

STOCHASTENMETHODE IN REGIONAAL WATERBEHEER

"Het beoordelen of met de stochastenmethode een goede indicatie van normafvoeren kan worden gegeven door gebruik te maken van een hydrologisch Simgro- model"



MASTERSCRIPTIE IN

CIVIELE TECHNIEK

WATER ENGINEERING AND MANAGEMENT

SEBASTIAAN MEURS

STOCHASTENMETHODE IN REGIONAAL WATERBEHEER

MASTERSCRIPTIE IN

CIVIELE TECHNIEK

WATER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Student: Sebastiaan Meurs
Universiteit Twente
s.meurs@student.utwente.nl

Locatie en tijd: Opperdoes, 4 december 2013

Afstudeercommissie: Dr. Ir. M.S. Krol
Universiteit Twente, Afdeling Water Engineering and Management
Dr. Ir. M.J. Booij
Universiteit Twente, Afdeling Water Engineering and Management
Ing. J.A. Cok
Waterschap Peel en Maasvallei

UNIVERSITY OF TWENTE.



Samenvatting

De Nederlandse waterschappen is ten doel gesteld om de regionale watersystemen in hun beheergebied te toetsen aan de normen van wateroverlast. Aanleiding voor deze doelstelling zijn de extreme neerslaggebeurtenissen in de jaren 90. Verschillende neerslaggebeurtenissen hebben in deze jaren de kwetsbaarheid van de regionale watersystemen aangetoond. De normen van wateroverlast variëren van herhalingscycli van eens in de 10 tot 100 jaar. Deze variatie is het gevolg van de verschillende maatschappelijke en economische waarden die het landoppervlakte kan vervullen. Wanneer niet wordt voldaan aan de normen hebben de waterschappen de opdracht om het regionale watersysteem vóór 2021 op orde te brengen.

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (2003) staat beschreven dat de normen van wateroverlast gekwantificeerd kunnen worden met de tijdreeksmethode en de stochastenmethode. Beide methoden zijn gebaseerd op statistiek. Bij de tijdreeksmethode wordt een meerjarige neerslagreeks gesimuleerd. De gesimuleerde reeks wordt vervolgens gebruikt om de normen van wateroverlast te bepalen. De stochastenmethode, een relatief nieuwe methode, heeft als uitgangspunt dat hoge afvoeren/waterstanden het gevolg kunnen zijn van verschillende hydrologische en meteorologische omstandigheden. De omstandigheden worden stochasten genoemd. Voorafgaand aan het toepassen van een model worden daarom eerst belangrijke stochasten geïdentificeerd. Elke stochast kan verschillende toestanden aannemen (denk aan verschillende neerslagvolumes). De toestanden hebben een kans van voorkomen die op basis van extreme neerslagstatistiek is bepaald. Gebeurtenissen worden verkregen door de toestanden van de verschillende stochasten te combineren. Omdat wordt aangenomen dat de toestanden van de verschillende stochasten onafhankelijk zijn, is de kans van een gebeurtenis gelijk aan het product van de kansen van de gecombineerde toestanden. Na het samenstellen van de gebeurtenissen worden de gebeurtenissen gesimuleerd met een model. De simulaties worden gebruikt om normafvoeren te bepalen.

Het Waterschap Peel en Maasvallei (WPM) wil de normen van wateroverlast kwantificeren met de stochastenmethode. Naast de gedachte om de stochastenmethode toe te passen, wil WPM de normen van wateroverlast bepalen met het huidige gebruikte hydrologische Simgro- model. De doelstelling van dit onderzoek heeft een overeenkomstige strekking, namelijk het beoordelen of met de stochastenmethode en gebruikmakend van het hydrologische Simgro- model een goede indicatie van de normafvoeren kan worden gegeven.

De oorspronkelijke modelprestaties maken duidelijk dat met het huidige Simgro- model afvoerpieken worden onderschat (gemiddeld met een factor twee). Daarnaast is de gemeten afvoer bij de benedenstroomse afvoermeetlocatie gemiddeld zo'n 30% hoger. Voor het bepalen van de normafvoeren is het belangrijk dat afvoerpieken goed worden gesimuleerd. Om deze reden is een modelverbeterplan opgesteld. Het modelverbeterplan bevat verschillende aanpassingsactiviteiten, die als doel hebben de modelprestaties en vooral het simuleren van afvoerpieken te verbeteren. Simulaties van de modelaanpassingen laten zien dat zowel de gemiddelde afvoer als de afvoerpieken beter worden

gesimuleerd. De onderschatting van afvoerpieken is alleen nog steeds 20-30%. Door het grote belang van het simuleren van afvoerpieken bij het bepalen van de normen van wateroverlast is dit een redelijke grote onderschatting. Desondanks is de keuze gemaakt om de stochasteberekening met dit model uit te voeren.

De stochasteberekening is gedaan door naast neerslaggerelateerde stochasten (neerslagvolume en – patroon) ook de initiële verzadigingsgraad van de bodem mee te nemen. De neerslagkenmerken en de verzadigingsgraad van de bodem laat per jaargetijde duidelijke verschillen zien. Om deze reden is de keuze gemaakt twee seizoenen toe te passen, namelijk het groeiseizoen (maart-oktober) en de winter (november-februari). Naast het volume en het patroon kan een neerslaggebeurtenis ook variëren in duur. Voor dit onderzoek is de keuze gemaakt de neerslagduur vereenvoudigd mee te nemen. Dit is gedaan door voorafgaand aan de stochasteberekening per seizoen één maatgevende neerslagduur te kiezen. In de winter is een neerslagduur van vier dagen gekozen en in het groeiseizoen een duur van één dag. Deze keuze is berust op simulaties met het verbeterde Simgro- model. In totaal zijn er 182 gebeurtenissen samengesteld en doorgerekend met het verbeterde Simgro- model.

De resultaten van de stochasteberekening maken duidelijk dat de normafvoeren gebaseerd op de metingen groter zijn dan de normafvoeren gebaseerd op de stochasteberekening. Dit verschil is ongeveer 12-20%. De tweede bevinding van de stochasteberekening is dat intensieve neerslaggebeurtenissen in het groeiseizoen een grotere bijdrage hebben op simuleren van hoge afvoeren dan wintergebeurtenissen. Het belang van de initiële verzadigingsgraad van de bodem is volgens de simulaties relatief klein. De beperkte relevantie van wintergebeurtenissen en de initiële verzadigingsgraad is tegengesteld aan de verwachtingen. Waargenomen gebeurtenissen laten namelijk zien dat hoge afvoeren vooral tijdens de winter hebben plaatsgevonden en het gevolg waren van een natte initiële conditie.

De gesimuleerde gebeurtenissen maken duidelijk dat de normafvoeren gebaseerd op de metingen hoger liggen. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de wijze waarop de infiltratiecapaciteit voor het beschrijven van de oppervlakkige afvoer is beschreven. De toegepaste infiltratiecapaciteit is stationair en houdt geen rekening met de bodemverzadiging. Het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit, die afhankelijk is van de bodemverzadiging resulteert waarschijnlijk in betere simulaties van afvoerpieken. Ook het verkleinen van de drainageweerstand resulteert mogelijk in verbeterde modelprestaties. De lagere normafvoeren worden mogelijk ook veroorzaakt door de wijze waarop de initiële verzadigingsgraad van de bodem voor wintergebeurtenissen is gediscretiseerd. Er wordt daarom geadviseerd om een nattere initiële bodemconditie voor wintergebeurtenissen toe te passen. Door het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit, het verkleinen van de drainageweerstand en het toepassen van een nattere initiële conditie in de winter is de verwachting dat de normafvoeren tussen de metingen en stochasteberekening meer overeenkomen. Ook is het belangrijk de afhankelijkheden tussen de stochasten beter vast te stellen.

De onderzoeksdoelstelling kan zodoende voorzichtig positief worden beantwoord. Op dit moment is het, gebruikmakend van het Simgro- model, niet mogelijk normafvoeren met de stochastemethode te kwantificeren, maar het uitvoeren van de aanbevelingen neemt mogelijk deze twijfel weg.

Summary

The Dutch waterboards face with the objective to verify the safety of regional water systems by controlling the safety standards. Heavy rainfall events during the 90s showed the vulnerability of the regional water systems and gave rise to the objective. The safety standards vary from return periods of once per year till once per hundred years. The variation of safety standards is the result of different social and economical values that the landsurface can perform. When safety standards are exceeded, the Dutch waterboards are assigned to restore the regional watersystem before 2021.

The Nationaal Bestuursakkoord Water (2003) prescribes that safety standards can be quantified by applying the time series methodology or the stochastic methodology. Both methods are based on statistics. In case of the time series methodology, the safety standards are quantified after modeling a long historical rainfall period. The main principle of the stochastic methodology, a relative new methodology in the field of water management, is that extreme water levels/discharges can be explained by different hydrological and meteorological circumstances. The circumstances are called stochasts. Important stochasts are identified first. Each stochast can perform different conditions (different rainfall volumes for example). The probability of the conditions is based on statistics of extreme rainfall. Stochastic events are obtained by combining conditions of the different stochasts. Because of the assumption that the conditions of the different stochasts are independent, the probability of an event equals the product of the probabilities of the combined conditions. All of the events are simulated. The simulated discharges are used to quantify the safety standards.

The Dutch waterboard Peel en Maasvallei (WPM) wants to quantify the safety standards with the stochastic methodology. Added to the quantification of the safety standards with the stochastic methodology, WPM wants to determine the safety standards by applying the currently used hydrological Simgro- model. The research objective of this study is comparable and is stated by the examination whether the stochastic methodology may be appropriate in the determination of safety standards by using the hydrological Simgro- model.

The current Simgro- model shows a bad model performance. Peak discharges are underestimated (by factor two) and the observed average discharge downstream is underestimated with about 30%. To quantify the safety standards, the simulation of peak discharges is the primary concern. As result of that, a plan to improve the model performance is initiated. The plan contains several model adjustments. The simulation of the model adjustments show that both the underestimation of the average discharge and peak discharges are reduced. However, the underestimation of peak discharges is still 20-30%. Due to the high importance of modeling peak discharges, the underestimation of peak discharges is still relatively large. Despite of that, it is decided to accept it for this study.

The stochastic methodology is conducted by considering rainfall related stochasts (rainfall volume and intensity) and the initial saturation condition of the soil. Due to the varying features of rainfall and the variation of saturation conditions per season, two seasons are considered; the growing season (March-October) and the winter (November-February). The rainfall duration is also considered, but it is decided

to simplify this stochastic. The simplification emerges by considering one rainfall duration per season. Calculations, concerning the determination of the rainfall pattern, make clear that one-day events are prominent for events during the growing season and four-day events for the winter. The total number of stochastic events, which are simulated with the improved Simgro- model, is 182.

When the quantified safety standards are compared to the observations it is made clear that the simulations show lower discharges. The difference is 12-20%. The results of the simulation of the stochastic events also show that high discharges are mainly simulated during the growing season. The importance of the saturation condition of the soil is in according the simulation relatively small. The limited added value of winter events and the saturation of the soil is in contrast with the expectations. Observed rainfall events show that high discharges mainly occur during the winter and are caused by a saturated soil.

The simulated events show that the quantified safety standards based on the observations are higher. The difference may be forced by the way the infiltration capacity is incorporated to consider the surface runoff. The applied infiltration capacity is stationary and does not consider the saturation of the soil. Applying a non- stationary infiltration capacity, which is dependent on the soil saturation, may improve the simulation of peak discharges. Secondly, reducing the drainage resistance may, caused by the faster runoff, provide better simulations of peak discharges. The simulation of lower discharges may also be induced by the applied discretisation of the initial soil saturation during winter events. When incorporating a wetter soil condition during the winter, it is expected that the quantified safety standards based on simulations are more comparable to the quantified safety standards based on observations. Added to these recommendations, it is also advised to do more investigation to the dependency between stochastic.

The research objective may be answered cautiously positive. By using the Simgro- model, it is not possible to quantify safety standards currently, but executing the recommendations may possibly remove doubts about the stochastic methodology in combination with the Simgro- model.

Voorwoord

Dit rapport is mijn afstudeeronderzoek voor de afronding van mijn opleiding Water Engineering and Management aan de Universiteit van Twente. Het onderzoek gaat in op de toepasbaarheid van de stochastenmethode voor het analyseren van regionale watersystemen. De toepasbaarheid is beoordeeld door een stochastenberekening uit te voeren met een verbeterd hydrologisch Simgro-model.

Tijdens het uitvoeren van mijn afstudeeronderzoek ben ik vanuit de universiteit op professionele en correcte wijze begeleid door Maarten Krol en Martijn Booi. Beiden hebben mij altijd ondersteund en goede adviezen gegeven over de wijze waarop ik mijn onderzoek het beste kon aanpakken. Ik wil beide dan ook bedanken voor hun inspanning de afgelopen maanden. Naast mijn dank voor de begeleiding vanuit de universiteit ben ik ook zeer veel dank verschuldigd aan mijn dagelijkse begeleiders van Waterschap Peel en Maasvallei (WPM). Ik heb in de periode van januari tot oktober de mogelijkheid gekregen om bij het waterschap mijn onderzoek uit te voeren. In deze periode kon ik altijd terecht bij mij eerste begeleider Jurriaan Cok. Jurriaan heeft ongelooflijk veel tijd en energie in mijn onderzoek gestoken, ook als ik hier niet direct om vroeg. De toegevoegde waarde hiervan is groot geweest. Daarnaast wil ik Jacques Peerboom en Nila Taminiau van WPM bedanken voor hun bijdrage tijdens de voortgangsgesprekken. Door hun wetenschappelijke achtergrond hadden zij altijd het vermogen een positieve wending te geven aan mijn onderzoek. Tijdens mijn afstudeerperiode ben ik ook in aanraking gekomen met de Wageningen Universiteit (WUR) en het advies- en onderzoeksbureau HKV. Ik wil via deze weg ook Ab Veldhuizen (WUR) en Rudolf Versteeg (HKV) bedanken voor hun bijdrage aan mijn onderzoek.

Dit rapport vormt tevens de afronding van mijn studieperiode. Een zevenjarige periode, waarbij ik na vier jaar HBO Civiele Techniek de keuze heb gemaakt om een masterstudie te gaan volgen. Deze keuze was destijds vooral berust op het idee dat ik meer wilde leren en nog jong was. Ik heb nooit spijt gehad van deze keuze, niet alleen omdat ik veel heb geleerd van de masterstudie, maar ook door de nieuwe vrienden die ik heb gemaakt en mijn sterke sociale ontwikkeling de afgelopen jaren. Ik wil dan ook mijn studievrienden bedanken voor de samenwerking, gezelligheid en de blijvende herinneringen. Als afsluiting wil ik mijn ouders bedanken voor hun ondersteuning en vertrouwen. Mijn ouders hebben ervoor gezorgd dat ik zonder enige vorm van zorg mijn studie heb kunnen doen. Wanneer er problemen waren kon ik altijd bij ze terecht en als ik geen zin had om over mijn studie te praten hoefde dit ook niet.

Sebastiaan Meurs

Opferdoes, december 2013

Inhoudsopgave

Lijst van figuren.....	11
Lijst van tabellen	13
1 Inleiding.....	15
1.1 Kader	15
1.2 Probleemstelling	16
1.2.1 Statistische methoden	16
1.2.2 Case study	18
1.3 Onderzoek.....	18
1.3.1 Doelstelling	18
1.3.2 Onderzoeksvragen	19
1.3.3 Onderzoeksmethode.....	19
2 Studiegebied	21
2.1 Geografische ligging.....	21
2.2 Landgebruik.....	22
2.3 Maaiveld.....	24
2.4 Bodemopbouw.....	24
2.4.1 Tegelenbreuk	24
2.4.2 Bodemtype.....	25
2.5 Hydrologische situatie.....	26
2.5.1 Beschikbaarheid meetgegevens	26
3 Model.....	29
3.1 Beschrijving Simgro- model	29
3.1.1 Modelopbouw.....	29
3.1.2 Fluxen tussen grond-, bodem en oppervlaktewater.....	30
3.1.3 Afwatering naar watergangen	30
3.2 Analyse model.....	30
3.2.1 Beoordelingscriteria modelprestaties.....	30
3.2.2 Prestaties huidig model	31
4 Invulling verbeterplan modelprestaties.....	37
4.1 Verbeterplan	37
4.2 Stappen verbeterplan	38

4.2.1	Stap 1: Aanpassingen ten behoeve van reduceren volumeverschil De Smakt.....	38
4.2.2	Stap 2: Aanpassing neerslaginvoer	40
4.2.3	Stap 3: Toevoegen oppervlakkige afvoer.....	41
5	Resultaten modelverbeteringsproces.....	43
5.1	Modelresultaten	43
5.1.1	Resultaten aanpassingen ten behoeve van reduceren volumeverschil	43
5.1.2	Aanpassen neerslaginvoer	45
5.1.3	Toevoegen oppervlakkige afvoer.....	46
5.2	Modelvalidatie	47
5.2.1	Aanvoerreeks Vredepaal.....	47
5.2.2	Resultaten modelvalidatie	48
5.3	Bevindingen prestaties verbeterd model	51
6	Invulling stochastenmethode	53
6.1	Stochasten.....	53
6.1.1	Seizoensgebondenheid	53
6.1.2	Neerslagvolume	54
6.1.3	Neerslagpatroon	54
6.1.4	Initiële verzadingsgraad bodem.....	54
6.2	Neerslagduur.....	56
6.3	Ruimtelijke spreiding neerslag.....	61
6.4	Stochastenberekeningen	62
6.4.1	Neerslagvolume	62
6.4.2	Neerslagpatroon	63
6.4.3	Aantal neerslaggebeurtenissen stochastenberekeningen.....	63
7	Resultaten stochastenberekening	67
7.1	Vergelijking normen van wateroverlast metingen en stochastenmethode	67
7.1.1	Normafvoeren gebaseerd op metingen.....	67
7.1.2	Normen van wateroverlast gebaseerd op stochastenberekening	69
7.1.3	Vergelijking normen van wateroverlast.....	71
7.2	Vergelijking waargenomen en gesimuleerde gebeurtenissen.....	71
7.2.1	Neerslaggebeurtenis januari 1995.....	72
7.2.2	Neerslaggebeurtenis oktober 1998	73

7.2.3	Neerslaggebeurtenis januari 2003	73
7.2.4	Conclusie	74
7.3	Identificeren prominente stochasten	74
7.3.1	Vergelijking groeiseizoen met winter	74
7.3.2	Vergelijking droge en natte initiële conditie.....	76
7.3.3	Vergelijking neerslagpatronen	78
7.4	Bevindingen stochastenberekening.....	80
8	Discussie.....	81
8.1	Aannamen en keuzes gerelateerd aan modelverbeteringsproces	81
8.2	Aannamen en keuzes gerelateerd aan stochastenberekening.....	82
9	Conclusies en aanbevelingen	85
9.1	Conclusies	85
9.2	Aanbevelingen	86
10	Bronnenlijst.....	89
	BIJLAGE I – PRESTATIES HUIDIG MODEL	91
	BIJLAGE II – AANPASSINGEN MODELVERBETERPLAN	105
	BIJLAGE III – MODELVERBETERINGSPROCES EN VALIDATIE	109
	BIJLAGE IV – NEERSLAGPATRONEN EN MAATGEVENDE NEERSLAGDUUR	119
	BIJLAGE V – NEERSLAGGEBEURTENISSEN STOCHASTENBEREKENING	127
	BIJLAGE VI – RESULTATEN STOCHASTENBEREKENINGEN	131

Lijst van figuren

Figuur 2-1: Ligging studiegebied: links ligging studiegebied ten opzichte van het beheergebied en rechts ligging studiegebied in gemeente Venray (zwarte vetgedrukte lijn) (Paarlberg, 2009)	21
Figuur 2-2: Landgebruikskarta (Hazeu, 2005).....	22
Figuur 2-3: Normeringskarta studiegebied (Zonderland, 2010).....	23
Figuur 2-4: Maaiveldverloop studiegebied (Hazeu, 2005).....	24
Figuur 2-5: Ligging Tegelenbreuk en weergave kwelomvang gedurende de winter (Paarlberg, 2009)	24
Figuur 2-6: Bodemtypekarta studiegebied	25
Figuur 2-7: Hoofdafwateringseenheden studiegebied: Afleidingskanaal (rood) en Loobeek (groen)	26
Figuur 2-8: Ligging Rioolwaterzuivering en afvoer- en grondwatermeetlocaties studiegebied.....	27
Figuur 3-1: Schematisatie processen en fluxen voor Simgro- model (De Graaff, et al., 2006).....	29
Figuur 3-2: Afvoersimulatie 2004 bij De Smakt met huidig model.....	32
Figuur 3-3: Afvoersimulatie 2004 bij Venrayse Broek met huidig model.....	33
Figuur 3-4: Grondwatersimulatie locatie B52A0224 (Aflleidingskanaal).....	34
Figuur 3-5: Grondwatersimulatie locatie B52B0450 (Loobeek)	35
Figuur 4-1: Aanvoermeetreeks Vredepaal 2004.....	39
Figuur 5-1: Resultaat meetlocatie De Smakt bij toepassen aangepaste aanvoerreeks.....	43
Figuur 5-2: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen aangepaste aanvoerreeks en effluentreeks.....	44
Figuur 5-3: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen rasterdata op dagbasis	45
Figuur 5-4: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen rasterdata op uurbasis	46
Figuur 5-5: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen stationaire infiltratiecapaciteit van 25mm/dag.....	47
Figuur 5-6: Aanvoerreeks Vredepaal voor modelvalidatie	48
Figuur 5-7: Resultaat modelvalidatie bij De Smakt.....	49
Figuur 5-8: Resultaat modelvalidatie bij Venrayse Broek.....	49
Figuur 5-9: Resultaat modelvalidatie grondwatermeetlocatie B52A0224 (Aflleidingskanaal)	50
Figuur 5-10: Resultaat modelvalidatie grondwatermeetlocatie B52B0450 (Loobeek)	50
Figuur 6-1: Verloop bergingstoestand per jaar in m ³	55
Figuur 6-2: Overschrijdingskansen voor de beschikbare berging in de bodem.....	56
Figuur 6-3: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen met neerslagpatroon "UNIFORM"	58
Figuur 6-4: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen met neerslagpatroon "HOOG"	59
Figuur 6-5: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter met neerslagpatroon "UNIFORM"	59
Figuur 6-6: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter met neerslagpatroon "HOOG"	60
Figuur 6-7: Neerslagregimes met Venray als zwarte stip in de figuur opgenomen (Buishand, et al., 2009)	61
Figuur 6-8: Richtlijnen voor toepassen correctiefactor tijdens het groeiseizoen (Overeen, 2009)	62

Figuur 6-9: Neerslagpatronen met bijbehorende kans voor het groeiseizoen (ééndaagse patronen)	64
Figuur 6-10: Neerslagpatronen met bijbehorende kans voor winterseizoen (vierdaagse patronen)	65
Figuur 7-1: Gumbelplot De Smakt.....	68
Figuur 7-2: Gumbelplot Venrayse Broek.....	68
Figuur 7-3: Normeringoverschrijdingsgrafiek bij De Smakt (gebaseerd op zowel metingen als stochasteberekening)	70
Figuur 7-4: Normeringoverschrijdingsgrafiek bij Venrayse Broek (gebaseerd op zowel metingen als stochasteberekening)	70
Figuur 7-5: Neerslagverdeling waargenomen gebeurtenissen.....	72
Figuur 7-6: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met droge initiële conditie.....	75
Figuur 7-7: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte initiële conditie	75
Figuur 7-8: Normoverschrijdingsgrafieken voor groeiseizoen en winter	76
Figuur 7-9: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen.....	77
Figuur 7-10: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter	77
Figuur 7-11: Normoverschrijdingsgrafieken voor de vier initiële condities	78
Figuur 7-12: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte beginconditie tijdens groeiseizoen.....	79
Figuur 7-13: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte beginconditie tijdens winter.....	79
Figuur 8-1: Verloop infiltratiecapaciteit bij een constante neerslagintensiteit van 10mm/uur (De Klein, et al., 2013)	81
Figuur 8-2: Neerslagpatronen voor de verschillende seizoenen bij neerslagduur van 24 uur (Versteeg, 2013)	83

Lijst van tabellen

Tabel 1-1: Normen en criteria voor de verschillende landsgebruikstypen (Kragt, et al., 2007).....	15
Tabel 2-1: Percentage aan ontbrekende meetgegevens per jaar per afvoermeetlocatie.....	27
Tabel 2-2: Percentage ontbrekende meetgegevens per grondwatermeetlocatie over de periode 1994-2004	27
Tabel 3-1: Richtlijnen statistische waarden	31
Tabel 3-2: Prestatie huidig model per jaar ter hoogte van De Smakt (n = aantal waarnemingen)	32
Tabel 3-3: Prestatie model per jaar ter hoogte van Venrayse Broek (n = aantal waarnemingen)	33
Tabel 3-4: Prestatie model ter hoogte van de grondwatermeetlocaties (n= aantal waarnemingen).....	35
Tabel 4-1: Toegekende effluentvolumes per neerslaginterval	40
Tabel 5-1: Resultaten beoordelingscriteria bij toepassen rasterdata op dagbasis Venrayse Broek	45
Tabel 5-2: Resultaten beoordelingscriteria voor de verschillende infiltratiecapaciteiten	46
Tabel 5-3: Resultaten modelvalidatie voor grondwaterverloop (n= aantal waarnemingen)	51
Tabel 6-1: Bergingstoestanden voor groeiseizoen en winter (m ³)	56
Tabel 6-2: Toegepaste gebeurtenissen met bijbehorende toestanden ten aanzien van bepalen maatgevende neerslagduur (kansen neerslagpatroon tussen haakjes)	57
Tabel 6-3: Kans van optreden voor gediscretiseerde neerslagvolumes	62
Tabel 6-4: De vijf hoogst gemeten neerslagvolumes in periode 1972-2012 voor groeiseizoen (duur één dag) en winter (duur vier dagen)	63
Tabel 7-1: Normafvoeren (m ³ /s) gebaseerd op metingen.....	69
Tabel 7-2: Normafvoeren (m ³ /s) gebaseerd op stochastische berekeningen	71
Tabel 7-3: Kenmerken neerslaggebeurtenissen	72

1 Inleiding

1.1 Kader

Extreme neerslaggebeurtenissen eind jaren 90 hebben de kwetsbaarheid van regionale watersystemen voor overvloedige regenval duidelijk gemaakt. Omdat de overheid de wettelijke verplichting heeft om burgers te beschermen tegen het water en de verwachting was dat ontwikkelingen als klimaatverandering, verstedelijking en bodemdaling een vergrotend effect hebben op de kwetsbaarheid van regionale watersystemen, is een nieuw beleidsprogramma ontwikkeld. Dit beleidsprogramma, het Nationaal Bestuursakkoord Water, is in 2003 door het Rijk, de provincies, het Samenwerkingsverband Interprovinciaal Overleg (IPO), de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) en de Unie van Waterschappen (UvW) ondertekend (Huizinga-Heringa, et al., 2003). Het beleidsprogramma beschrijft richtlijnen voor de waterschappen over hoe de regionale watersystemen getoetst kunnen worden. Het is echter geen wettelijke verplichting deze richtlijnen op te volgen. De bescherming van burgers tegen het water is daarentegen wel een wettelijke verplichting.

Een belangrijk onderdeel van het beleidsprogramma is dat waterschappen ten doel is gesteld om hun beheergebied te toetsen aan de normen van wateroverlast. De normen van wateroverlast zijn herhalingstijden van maatgevende afvoeren/waterstanden door de watergangen. Omdat bebouwde gebieden een grotere maatschappelijke en economische waarde hebben dan bijvoorbeeld grasland zijn er verschillende normen. De normen variëren van eens in de 10 tot eens in de 100 jaar (Tabel 1-1). De bijbehorende criteria geven aan welk percentage land mag inunderen voordat er sprake is van een overschrijding van het beschermingsniveau (Kragt, et al., 2007).

Tabel 1-1: Normen en criteria voor de verschillende landsgebruikstypen (Kragt, et al., 2007)

Landgebruikstype	Norm (1/jaar)	Criteria (%)
Grasland	1/10	5
Akkerbouw	1/25	1
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1/50	1
Glastuinbouw	1/50	1
Bebouwd gebied	1/100	0

In het Nationaal Bestuursakkoord Water, hierna te noemen NBW, staat omschreven dat elk waterschap vóór 2006 zelfstandig een toetsing diende uit te voeren. Als oriëntatie naar hoe de verschillende waterschappen de toetsing in 2006 hebben uitgevoerd heeft er in 2007 een evaluatiebijeenkomst plaatsgevonden. Tijdens deze evaluatiebijeenkomst is duidelijk geworden dat er vele benaderingsmethoden zijn toegepast (Spijker, 2010), (Kragt, et al., 2007). Het toepassen van verschillende methoden betekende dat er vele vragen opkwamen over de juistheid van de verschillende benaderingen en of hiermee de kwetsbaarheid van de regionale watersystemen wel op een correcte wijze werd vastgesteld. De betrokken partijen concludeerden dat voor het vaststellen van de kwetsbaarheid van de regionale watersystemen een uniforme werkwijze opgesteld moest worden. Voor het realiseren van een uniforme werkwijze was tevens de gedachte dat waterschappen onderling van elkaar konden leren. Naar aanleiding van de conclusies tijdens de evaluatiebijeenkomst is de Unie van Waterschappen het initiatief gestart om algemene richtlijnen op te stellen voor de toetsing. Enkele jaren

na het initiatief is het programma Watersysteemtoets, met daarin de algemene richtlijnen, voltooid. Een belangrijk kenmerk van het programma is dat de toetsing van het watersysteem is opgesplitst in drie analyses, namelijk de watersysteem-, knelpunt- en oplossingsanalyse (Spijker, 2010) & (Velner & Spijker, 2011). De oplossingsanalyse bevat geen richtlijnen. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat doeltreffende maatregelen per regionaal watersysteem sterk kunnen variëren. Regionale watersystemen met veel reliëf vragen bijvoorbeeld naar een andere oplossingsbenadering dan poldergebieden. Hierdoor is het moeilijk algemene richtlijnen op te stellen. Naast de opdeling van het programma in drie analyses staat in het programma ook omschreven dat van de waterschappen wordt verwacht uiterlijk in 2015 een beeld te hebben van de wateropgave. De wateropgave is het geïnundeerde landoppervlakte in m² dat niet binnen de normen van wateroverlast valt.

De eerste analyse, de watersysteemanalyse, wordt gekenmerkt door algemene richtlijnen die voornamelijk gericht zijn op het gereedmaken van een geschikt model en op het kwantificeren van normen. Voor het gereedmaken van een geschikt model is het van groot belang dat extreem natte situaties goed worden gesimuleerd. Deze situaties zijn namelijk maatgevend voor de normen van wateroverlast. Het kwantificeren van normen komt tot uiting door voor iedere norm een maatgevende afvoer/waterstand toe te kennen. De algemene richtlijnen beschrijven dat normen kunnen worden gekwantificeerd met de tijdreeksmethode of met de stochastenmethode. Beide methoden hebben een statistische grondslag. In sectie 1.2.1 wordt verder ingegaan op de methoden. Het eindresultaat van de watersysteemanalyse is het in kaart brengen van de inundaties. Het optreden van inundaties vanuit de watergangen betekent, zoals duidelijk gemaakt in Tabel 1-1, niet direct dat er ook sprake is van een wateropgave. Voor grasland is het bijvoorbeeld toegestaan dat 5% van het land inundeert door een gebeurtenis met een herhalingstijd van eens per tien jaar. Het beoordelen van de gesimuleerde inundaties is onderdeel van de knelpuntanalyse, de tweede analyse van de Watersysteemtoets. De knelpuntanalyse is voor dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

1.2 Probleemstelling

De watersysteemanalyse is van essentieel belang voor het uitwerken van de Watersysteemtoets. Wanneer modelsimulaties afwijken of het kwantificeren van normen onzorgvuldig is, bestaat het risico dat tijdens de knelpuntanalyse een verkeerde inschatting wordt gemaakt van de wateropgave. Een verkeerde inschatting van de wateropgave heeft als risico dat voorgedragen maatregelen onnodig hoge kosten met zich meebrengen bij een overschatting van de wateropgave of juist een ongeoorloofde waterschade bij een onderschatting van de wateropgave. Dit onderzoek heeft een focus op de watersysteemanalyse. Voordat een nadere toelichting wordt gegeven over dit onderzoek is een beschrijving gegeven over de tijdreeksmethode en de stochastenmethode (1.2.1).

1.2.1 Statistische methoden

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) wordt aangegeven dat er twee gangbare statistische methoden zijn om de watersysteemanalyse uit te voeren, namelijk de tijdreeksmethode en de stochastenmethode (Huizinga-Heringa, et al., 2003). Beide methoden zijn hieronder toegelicht.

Tijdreeksmethode

Bij de tijdreeksmethode wordt een langjarige neerslagreeks met een model doorgerekend. De gesimuleerde reeks wordt vervolgens gebruikt om normen statistisch te kwantificeren. Hierbij wordt, uitgaande van het doorrekenen van een 100-jarige reeks, de hoogst gesimuleerde afvoer/waterstand als de eens in de 100 jaar situatie gedefinieerd. Deze wijze van definiëren geeft een grote onzekerheid, omdat de meest extreme situatie in een 100-jarige reeks een momentopname is en daardoor een grote onzekerheid met zich meebrengt. In de meeste gevallen is er zelfs geen 100-jarige neerslagreeks beschikbaar. In dit geval worden de gesimuleerde afvoeren/waterstanden gebruikt om met een statistische verdelingsmethode de normen te benaderen. Een verdelingsmethode heeft een mathematische grondslag en houdt geen rekening met de niet-lineaire reacties van het watersysteem onder extreme omstandigheden (Klemes, 1993), (Velner & Spijker, 2011), (De Graaf & Versteeg, 2003).

Stochastenmethode

De stochastenmethode kent zijn basisprincipe uit het bepalen van faalkansen van dijken (Meer van der, 1992), maar is door de samenwerking tussen het meteorologisch instituut KNMI en advies- en onderzoeksbureau HKV aangepast naar een methode die ook toepasbaar is op het gebied van waterbeheer (Spijker, 2010). De stochastenmethode heeft als basisprincipe dat hoge afvoeren/waterstanden kunnen worden veroorzaakt door verschillende hydrologische en meteorologische omstandigheden. Voorafgaand aan het toepassen van een model worden daarom de omstandigheden die mogelijk de oorzaak zijn van natte situaties geïdentificeerd en gecombineerd tot gebeurtenissen. De gebeurtenissen worden gesimuleerd, waarna de simulaties worden gebruikt om normen te kwantificeren. Het aantal omstandigheden dat wordt gekozen is een vrije keuze. Om de niet-lineaire reactie van het watersysteem vast te kunnen stellen is het echter wel belangrijk om verschillende extreme situaties te kiezen. Dit is ook belangrijk om de dimensionering van mogelijke ingrepen te kunnen faciliteren.

Vaak toegepaste omstandigheden zijn neerslagvolume, neerslagpatroon en de initiële verzadigingsgraad van de bodem. Omstandigheden worden over het algemeen aangeduid als stochasten. Een stochast is een toevalsgrootheid waarvan het niet precies bekend is hoe groot de grootheid is, maar waarvan wel een indruk bestaat over wat de kans van voorkomen is van de grootheid. Een voorbeeld is een dobbelsteen. Bij het gooien van een dobbelsteen is het niet bekend welk aantal ogen wordt gegooid. Het is echter wel bekend dat de kans op het gooien van een bepaald aantal ogen $1/6$ is. Dit principe is in grote lijnen ook toepasbaar op een stochast. Aangenomen wordt dat de kansverdeling van de toestanden per stochast onafhankelijk is. De neerslagtoestanden hebben een kans die op basis van extreme neerslagstatistiek is bepaald. De kansverdeling is, in tegenstelling tot een dobbelsteen, echter ongelijk verdeeld.

Aanvullend op de relevantie van het identificeren van belangrijke stochasten en het toekennen van een kansverdeling is het bij het toepassen van de stochastenmethode ook belangrijk dat verantwoord wordt omgegaan met de eventuele afhankelijkheid tussen de stochasten (Velner & Spijker, 2011). Vanuit rekenkundig oogpunt wordt er vanuit gegaan dat de gecombineerde toestanden onderling onafhankelijk zijn. Dit uitgangspunt betekent dat de kans van een gebeurtenis gelijk is aan het product van de kansen van de gecombineerde toestanden. In werkelijkheid zijn sommige stochasten vanuit hydrologisch en

meteorologisch oogpunt echter wel afhankelijk. Een voorbeeld is de neerslagverdeling van een ééndaagse gebeurtenis en een meerdaagse gebeurtenis. De neerslagsom voor een ééndaagse gebeurtenis is ten opzichte van een meerdaagse gebeurtenis veelal kleiner, maar de intensiteit is meestal groter. Desbetreffende afhankelijkheden zijn meegenomen door de verdeling van de neerslagpatronen voor verschillende neerslagduren te bepalen (Smits, et al., 2004), (BIJLAGE IV).

1.2.2 Case study

Het Waterschap Peel en Maasvallei (WPM) is één van de waterschappen die de opdracht hebben gekregen om uiterlijk in 2015 de wateropgave te bepalen in hun beheergebied. Het beheergebied van WPM is gelegen in het noorden en midden van de provincie Limburg. WPM wil de normen kwantificeren met de stochastenmethode. Naast de gedachte om de stochastenmethode toe te passen, wil WPM de Watersysteemtoets uitvoeren met een verbeterde versie van het huidige gebruikte hydrologische Simgro- model. Het huidige Simgro- model is tot dusverre alleen toegepast voor regulier peilbeheer en droogteproblematiek. Hierdoor ontbreken enkele onderdelen in het huidige modelconcept, die van belang zijn voor het beschrijven van extreme neerslaggebeurtenissen.

Omdat het huidige model nog niet gereed is voor de toetsing van het watersysteem (zie paragraaf 3.1 en 3.2) en de kennis over de stochastenmethode beperkt is, wil WPM een oriëntatiestudie uitvoeren. Het uitvoeren van een oriëntatiestudie heeft als doel een indruk te krijgen van de kracht van zowel het huidige model als van de stochastenmethode. Op basis van de oriëntatiestudie kunnen aanbevelingen worden gedaan over de verdere uitvoering van de Watersysteemtoets in het beheergebied van WPM.

1.3 Onderzoek

Naar aanleiding van het hierboven beschreven kader (1.1) en probleemsituatie (1.2) is een onderzoeksdoel geformuleerd (1.3.1). De gerelateerde onderzoeksvragen en de wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd zijn in paragraaf 1.3.2 en 1.3.3 toegelicht.

1.3.1 Doelstelling

De onderzoeksdoelstelling is als volgt:

"Het beoordelen of met de stochastenmethode een goede indicatie van normafvoeren kan worden gegeven door gebruik te maken van een hydrologisch Simgro- model"

Voor het onderzoek is stroomgebied Loobeek gekozen als studiegebied. Het studiegebied is in hoofdstuk 2 verder toegelicht.

1.3.2 Onderzoeksvragen

Op basis van de doelstelling van dit onderzoek (1.3.1) zijn onderzoeksvragen opgesteld. De onderzoeksvragen geven sturing aan de uitwerking van het onderzoek en zijn verder toegelicht in paragraaf 1.3.3.

1. In hoeverre is het mogelijk om met het Simgro- model op een realistische wijze afvoerpieken te simuleren?
2. Zijn de normafvoeren gebaseerd op de stochastenmethode vergelijkbaar met de normafvoeren gebaseerd op metingen?
3. Welke stochasten hebben een prominente rol in het beschrijven van afvoerpieken en is dit volgens de verwachtingen?

1.3.3 Onderzoeksmethode

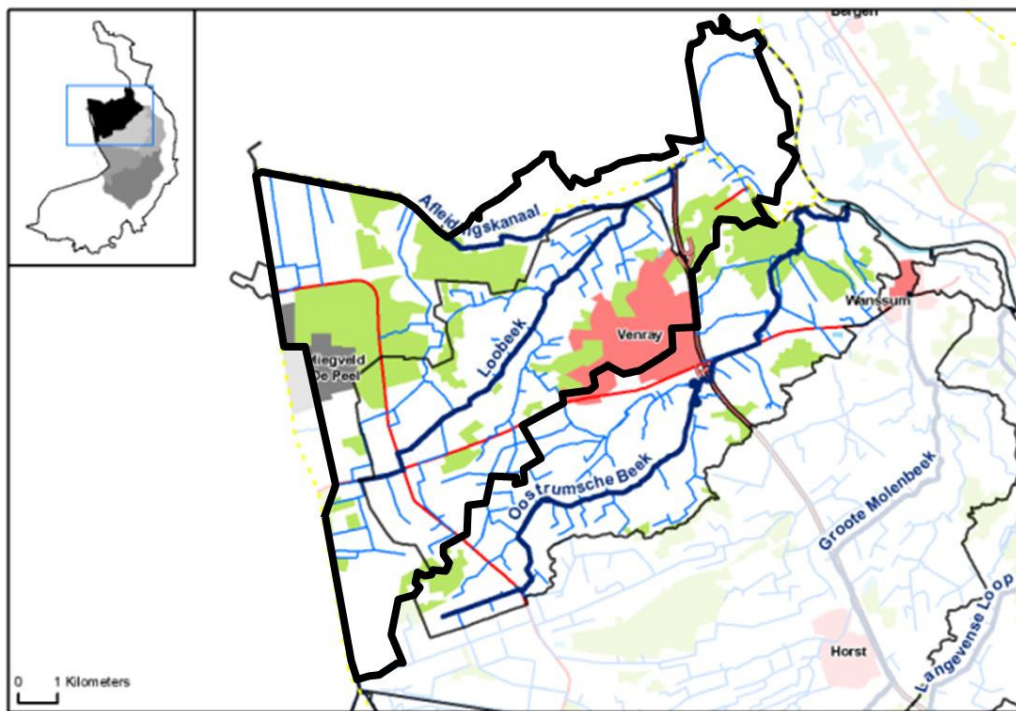
Na een beschrijving van het studiegebied (hoofdstuk 2) zijn de prestaties van het huidige model geanalyseerd (hoofdstuk 3). Omdat het huidige model niet is ontwikkeld voor het beschrijven van extreme neerslaggebeurtenissen zijn er een aantal verbeteringsactiviteiten uitgevoerd. De verbeteringsactiviteiten zijn uitgevoerd volgens een modelverbeterplan. Dit plan beschrijft de bijbehorende activiteiten en de volgorde van het uitvoeren van de activiteiten (hoofdstuk 0). De resultaten van de verbeteringsactiviteiten zijn beschreven in hoofdstuk 5 en vormen de basis voor het beantwoorden van de eerste onderzoeksvraag. Na het verbeteren van de modelprestaties is het stochastenonderzoek gedaan. Evenals voor het verbeteringsproces is voor het stochastenonderzoek een werkwijze gehanteerd en zijn vooraf keuzes gemaakt over welke stochasten en het aantal toestanden die zijn meegenomen (hoofdstuk 6). Het beschrijven van de resultaten van de stochasteberekening is onderdeel van hoofdstuk 7 en is gericht op drie activiteiten. De eerste activiteit is dat de normafvoeren zijn bepaald. Dit is gedaan voor de twee afvoermeetlocaties in het studiegebied. Bij het bepalen van de normafvoeren is per gebeurtenis de maximaal gesimuleerde afvoer gebruikt. De normafvoeren gebaseerd op de stochasteberekening zijn vergeleken met de normafvoeren gebaseerd op metingen. Als tweede activiteit is beoordeeld in hoeverre de gesimuleerde gebeurtenissen overeenkomen met de waargenomen neerslaggebeurtenissen. De beoordeling is gedaan door voor enkele waargenomen gebeurtenissen de hydrologische en meteorologische kenmerken te herleiden naar stochasten. De derde en tevens laatste activiteit van het analyseren van de resultaten is het identificeren van prominente stochasten. Dit heeft als doel een antwoord te geven op de derde onderzoeksvraag. Op basis van het modelverbeteringsproces en de resultaten van de stochasteberekening is het mogelijk een antwoord te geven op de doelstelling van dit onderzoek. Dit is gedaan nadat eerst kritisch is gekeken naar de mogelijke invloed van de gemaakte aannamen en keuzes. Dit is onderdeel van de discussie (hoofdstuk 8). Het onderzoek wordt afgesloten met een hoofdstuk waarin conclusies en aanbevelingen voor vervolgstudies zijn gedaan (hoofdstuk 9).

2 Studiegebied

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van het studiegebied Loobeek. Loobeek is één van de tien hoofdstroomgebieden in het beheergebied van WPM. De keuze om Loobeek als studiegebied te gebruiken is vanwege de grotere beschikbaarheid aan meetgegevens in vergelijking met de andere negen stroomgebieden. De beschrijving van het studiegebied gaat in op de geografie, het landgebruik, de geologie en de hydrologie.

2.1 Geografische ligging

Het studiegebied bevindt zich in het noordoosten van het beheergebied van Waterschap Peel en Maasvallei en heeft een grootte van circa 4.700 hectare. Het gebied grenst aan de noord- en westzijde aan de provincie Noord-Brabant (Teunissen, 2009) (Verlinden & Visman, 2002). De onderstaande figuur geeft een weergave van de geografische ligging.

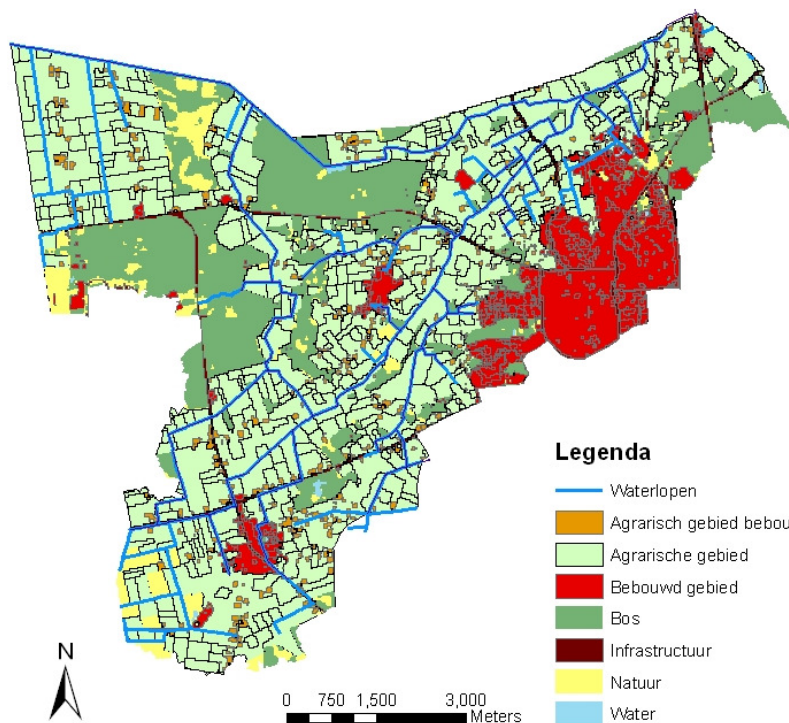


Figuur 2-1: Ligging studiegebied: links ligging studiegebied ten opzichte van het beheergebied en rechts ligging studiegebied in gemeente Venray (zwarte vetgedrukte lijn) (Paarlberg, 2009)

Het studiegebied gelegen is in de gemeente Venray. De plaats Venray, dat voor 80% in het studiegebied gelegen is, is met zo'n 30.000 inwoners de grootste woonkern in het studiegebied. Ook de kleinere woonkernen De Smakt, Merselo, Vredepeel en deels Ysselsteyn zijn in het studiegebied gelegen.

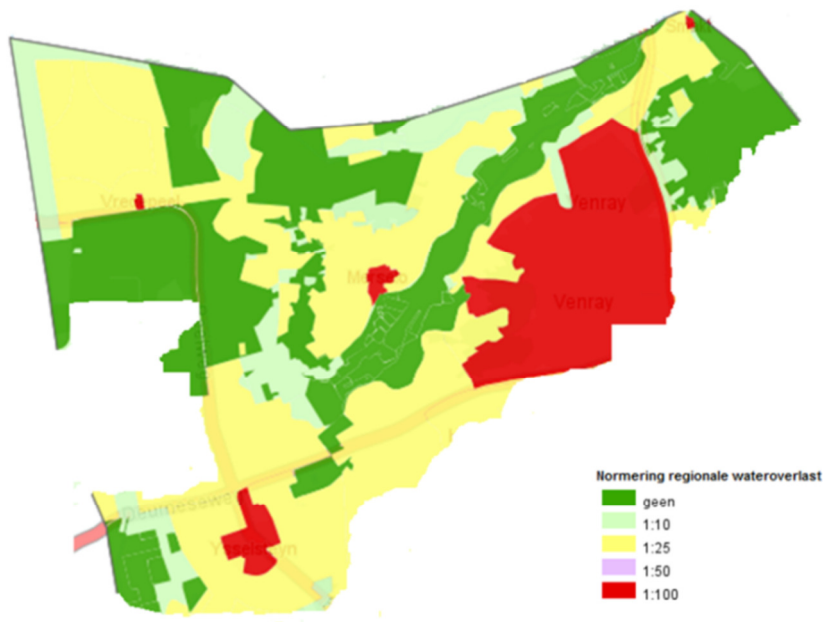
2.2 Landgebruik

De normen van wateroverlast worden bepaald door het landgebruik. De landgebruikskarta maakt duidelijk dat het studiegebied voornamelijk uit agrarisch gebied bestaat. Het agrarische gebied neemt ongeveer 63% van de totale oppervlakte van het studiegebied in. De landbouwgronden worden voornamelijk gebruikt voor het verbouwen van mais en voor de intensieve varkenshouderijen. In het oostelijke gedeelte van het studiegebied bevindt zich een redelijk groot verhard gebied, namelijk de stad Venray (Figuur 2-2). In totaal bestaat het studiegebied uit ongeveer 16% verhard gebied (naast het stedelijke gebied Venray voornamelijk bestaande uit infrastructuur). Opvallend in het studiegebied is het relatief grote percentage bos, namelijk 18%. De bossen bestaan voornamelijk uit naald- en loofbomen en zijn grotendeels halverwege de twintigste eeuw aangeplant. Het studiegebied wordt gekenmerkt door weinig natuur (3%) en open water (1%). Het geringe oppervlakte open water is door de verwachte toename van regenintensiteiten en de verwachte variabiliteit van waterstanden als gevolg van de klimaatverandering voor beleidsbepalers aanleiding geweest gerichte beleidsplannen op te stellen. De beleidsplannen zijn gericht op het realiseren van meer ruimte voor het water. In de stroomgebiedsvisie van het studiegebied staat dit specifieker beschreven (Verlinden & Visman, 2002).



Figuur 2-2: Landgebruikskarta (Hazeu, 2005)

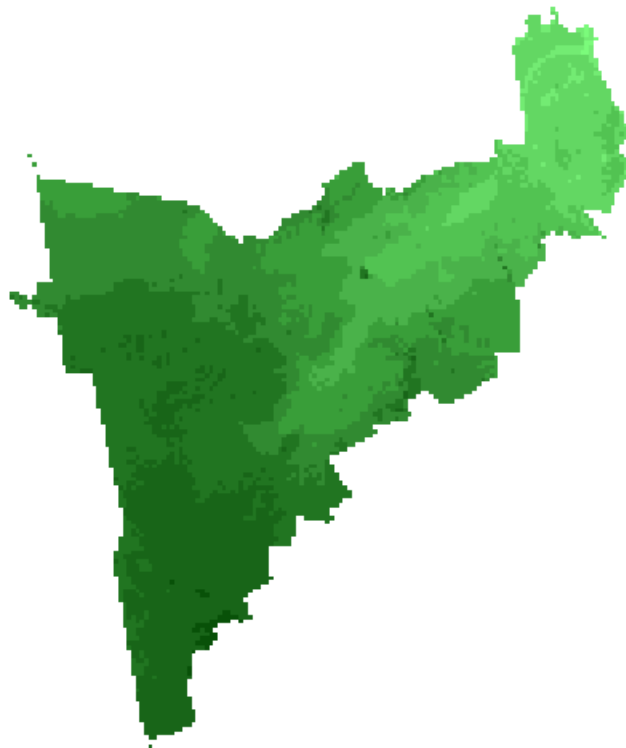
Op basis van de landgebruikskaat is ook een normeringskaart voor het studiegebied gerealiseerd (Figuur 2-3). De normeringskaart laat zien dat voor grote delen van het agrarische en bosgebied geen normering is toegekend. Daarnaast is er een zeer klein oppervlakte met een herhalingstijd van 50 jaar.



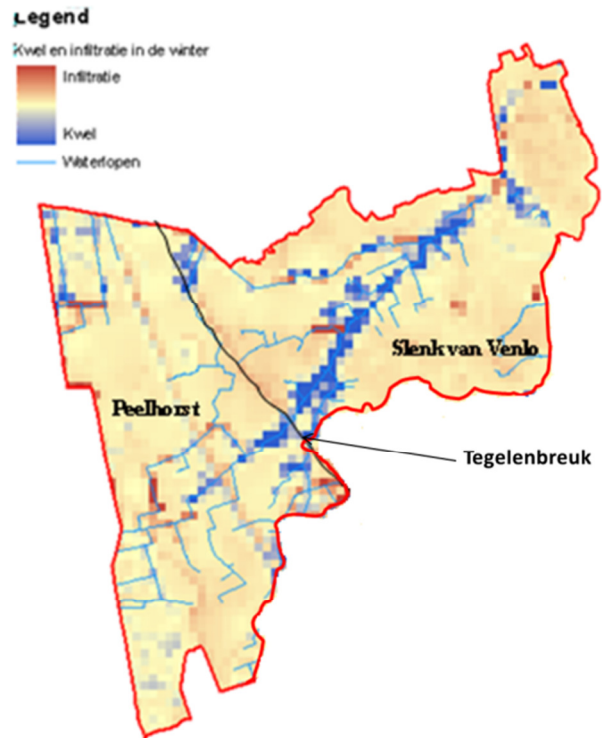
Figuur 2-3: Normeringskaart studiegebied (Zonderland, 2010)

2.3 Maaiveld

Het maaiveldhoogteverloop is belangrijk voor het verklaren van stromingsrichtingen. In het studiegebied is sprake van een noordoostelijk georiënteerd maaiveldhoogteverloop. Het hoogteverschil tussen het zuidwesten en noordoosten is ongeveer 22,5m. Het hoogste punt in het studiegebied is ongeveer NAP +32,50m en het laagste ongeveer NAP +10,00m (Figuur 2-4). Het reliëf in het studiegebied is beperkt.



Figuur 2-4: Maaiveldverloop studiegebied (Hazeu, 2005)



Figuur 2-5: Ligging Tegelenbreuk en weergave kwelomvang gedurende de winter (Paarlberg, 2009)

2.4 Bodemopbouw

De bodemkenmerken kunnen van grote invloed zijn op het gedrag van het bodem- en grondwater. Er moet hierbij worden gedacht aan het gedrag van het bodem- en grondwater door watervoerende en infiltrerende kenmerken. Aardkorstbreuken is een voorbeeld dat het gedrag van het bodem- en grondwater kan beïnvloeden. Door de ondoorlatendheid vormen aardkorstbreuken vaak een blokkade. In het studiegebied is er sprake van een aardkorstbreuk.

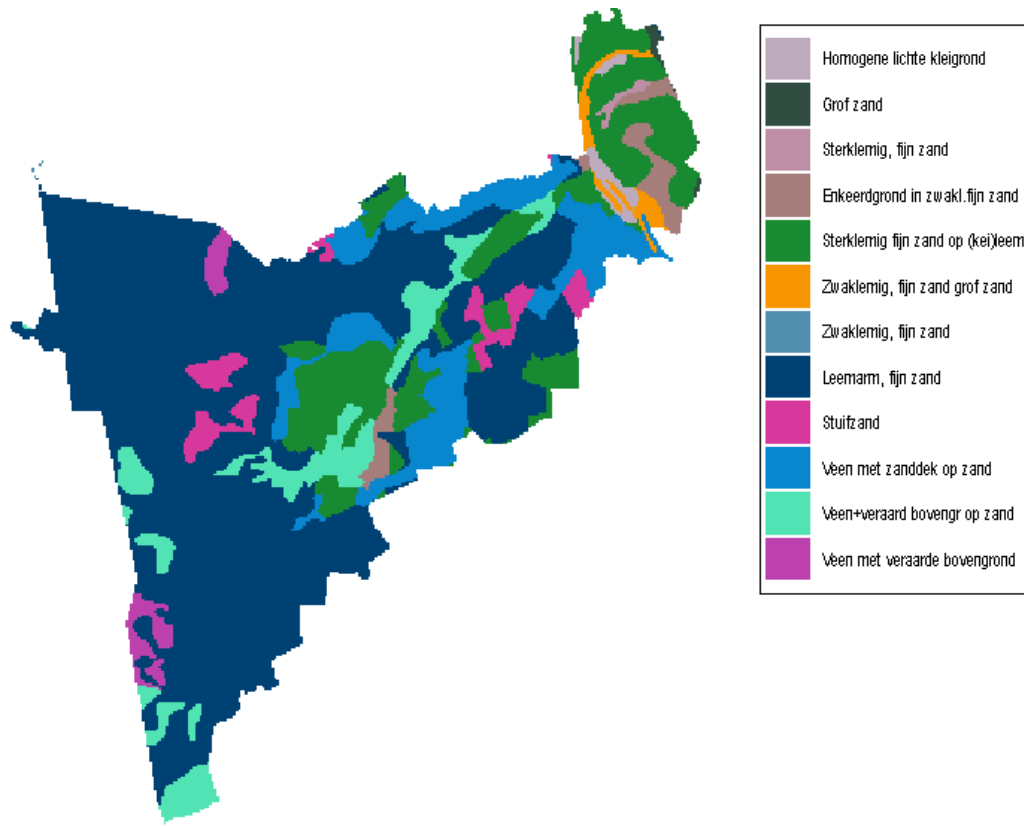
2.4.1 Tegelenbreuk

De bodemopbouw in het studiegebied wordt door de aanwezigheid van een aardkorstbreuk in tweeën opgesplitst. De aardkorstbreuk, genaamd Tegelenbreuk, is zuidoostelijk georiënteerd (Figuur 2-5). De aardkorst ten westen van de breuk wordt Peelhoort genoemd, terwijl de aardkorst ten oosten van de breuk met Slenk van Venlo wordt genoemd. In Figuur 2-5 is ook het verschil in kwelomvang tussen de twee aardkorsten duidelijk gemaakt. Het gaat hierbij om de kwel gedurende het winterseizoen. Het verschil in kwelomvang is te verklaren door de aanwezigheid van een slecht waterdoorlatende klei- en leemlaag in de bodemopbouw van de Slenk van Venlo. Deze klei- en leemlaag is ontstaan door afzettingen van de Maas. De Maas bevindt zich enkele kilometers ten oosten van het studiegebied.

Omdat de Maas ten oosten van het studiegebied gelegen bevinden zich de klei- en leemafzettingen voornamelijk in het oosten van het studiegebied (Figuur 2-6).

2.4.2 Bodemtype

Het overheersende bodemtype in het studiegebied is fijn zandgrond. De zandgronden zijn in het oosten door afzettingen van de Maas vaak vermengd met leem of veen (Figuur 2-6). In totaal zijn er 12 van de 23 PAWN- bodemtypen in het studiegebied aanwezig. PAWN, een afkorting voor Policy Analysis for Water management of the Netherlands, is een coderingsmethode voor bodemtypen dat gebruikt wordt voor modelinvoer.

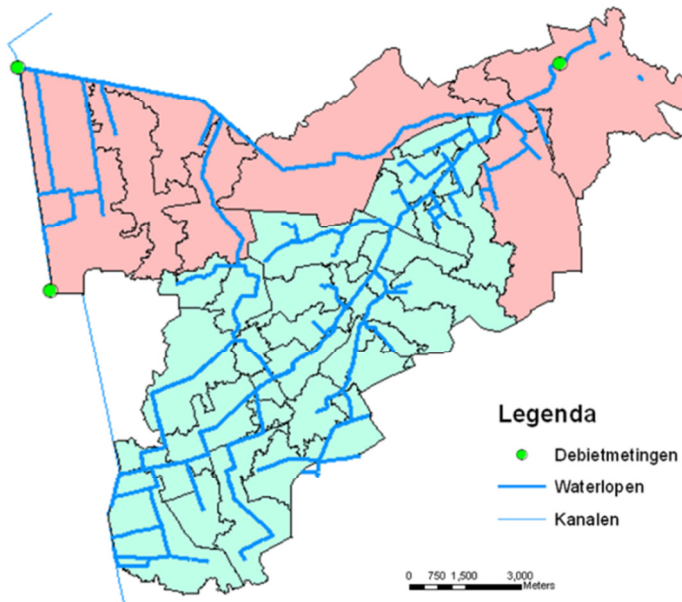


Figuur 2-6: Bodemtypekaart studiegebied

Zandgronden hebben een groot infiltrerend en watervoerend vermogen. Het infiltrerende en watervoerende vermogen van leem en klei is daarentegen minder. Het gevolg is dat het infiltrerende en watervoerende vermogen in het westen van het studiegebied (Peelhorst) groter is dan in het oosten van het studiegebied (Slenk van Venlo). Figuur 2-5 laat dit ook zien. Op zandgronden worden vaak alleen gewassen die diepgeworteld zijn verbouwd. Ook bomen groeien goed op desbetreffende gronden. Zoals eerder vermeld bestaat het landgebruik in het studiegebied voor een substantieel deel uit bossen en maisvelden. De bossen en maisvelden bevinden zich door de aanwezigheid van zandgronden voornamelijk in het westen van het studiegebied.

2.5 Hydrologische situatie

De afwatering in het stroomgebied wordt sterk bepaald door twee watergangen, namelijk het Afleidingskanaal en de Loobeek. Het bijbehorende afwateringsgebied is duidelijk gemaakt in Figuur 2-7. Omdat het studiegebied primair gericht is op de behoeften van de agrarische sector is de waterhuishouding sterk genormaliseerd. De genormaliseerde watergangen, de ligging van de watergangen ten opzichte van de landbouwgronden en de 22 stuwen maken dit duidelijk. Het Afleidingskanaal is de meest noordelijk gelegen watergang in het studiegebied en stroomt in oostelijke richting. De Loobeek is noordoostelijk georiënteerd en ontspringt in het Peelgebied, ten westen van het studiegebied. Ter hoogte van woonkern De Smakt, dat in het noordoosten van het studiegebied gelegen is, watert de Loobeek af op het Afleidingskanaal. Stroomafwaarts van De Smakt verlaat de samengekomen watergang het stroomgebied en watert af op de Maas. De Maas ligt enkele kilometers ten oosten van het studiegebied (Teunissen, 2009).



Figuur 2-7: Hoofdafwateringseenheden studiegebied: Afleidingskanaal (rood) en Loobeek (groen)

2.5.1 Beschikbaarheid meetgegevens

Het studiegebied wordt in vergelijking met andere stroomgebieden in het beheergebied van WPM gekenmerkt door relatief veel meetgegevens. In totaal zijn er vier afvoer- en acht grondwatermeetlocaties (Figuur 2-8). De afvoermetingen zijn uitgevoerd door het waterschap en hebben een tijdsinterval van 15 minuten, terwijl de grondwatermetingen afkomstig zijn van de online database van DINOloket en een 2-maandelijke tijdsinterval hebben. Er bevinden zich twee afvoerlocaties, namelijk Vredepaal en Vredepeel, aan de westzijde en dus bovenstrooms van het studiegebied. De afvoer die op deze locaties wordt gemeten is gebiedsvreemd inlaatwater. De Smakt bevindt zich benedenstrooms van het gehele studiegebied, terwijl Venrayse Broek benedenstrooms gelegen is van hoofdafwateringsgebied Loobeek. De afvoermeetlocaties zijn allemaal gelegen bij een stuw. De afvoer wordt bepaald door de klepstuwhoogte en de hoogte van de waterschijf dat over de

klepstuw stroomt. De klepstuw wordt handmatig bediend. De beschikbaarheid van meetgegevens is per meetlocatie en per jaar verschillend. Dit geldt zowel voor de afvoer- als grondwatermetingen (Tabel 2-1 en Tabel 2-2). Betreffende de afvoermetingen is het duidelijk dat De Smakt de meest complete meetlocatie is. Voor Venrayse Broek en Vredepeel zijn, evenals De Smakt, vanaf 1997 metingen beschikbaar. De beschikbaarheid van metingen is alleen duidelijk minder. De afvoermetingen bij Vredepeel zijn niet eerder beschikbaar dan 2003.

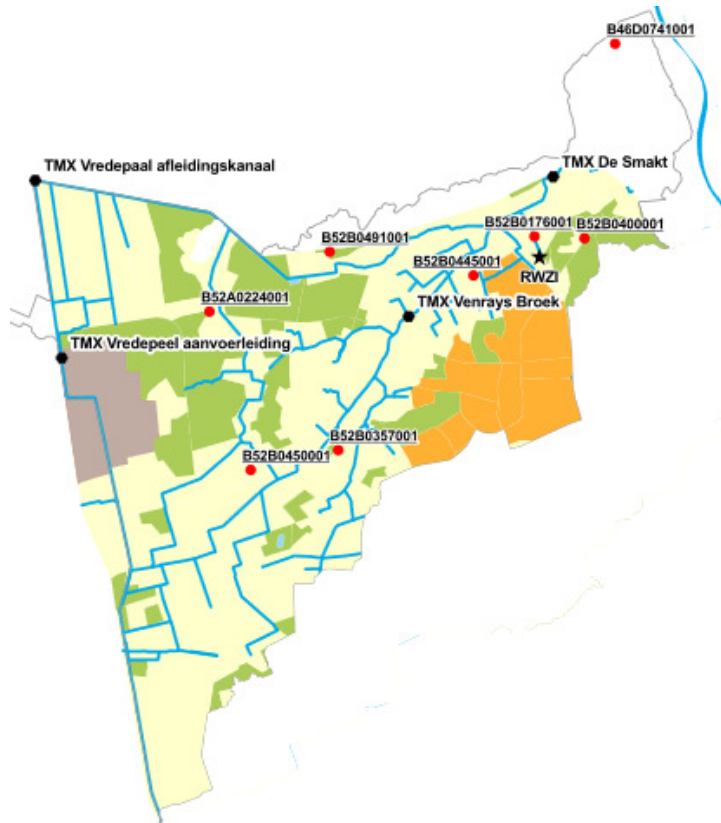
Tabel 2-1: Percentage aan ontbrekende meetgegevens per jaar per afvoermeetlocatie

Locatie	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Venrayse Broek	0,0	0,0	4,1	8,2	3,3	4,3	19,0	40,3
Vredepaal	100	100	100	100	100	100	15,1	0,0
Vredepeel	15,4	11,6	11,2	30,3	35,1	65,4	3,7	7,7
De Smakt	1,6	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	6,2	0,0

Het relatief grote percentage ontbrekende meetgegevens voor de grondwatermeetlocatie B52B0357 wordt veroorzaakt doordat in de periode januari 1994 tot september 1995 geen metingen zijn uitgevoerd. Wanneer deze periode buiten beschouwing wordt gelaten ontbreekt er slechts 9%. De overige grondwatermeetlocaties hebben weinig ontbrekende gegevens (Tabel 2-2).

Tabel 2-2: Percentage ontbrekende meetgegevens per grondwatermeetlocatie over de periode 1994-2004

Locatie	Ontbrekend percentage
B52B0445	3
B46D0741	17
B52A0224	6
B52B0176	4
B52B0357	23
B52B0400	14
B52B0450	6
B52B0491	4



Figuur 2-8: Ligging Rioolwaterzuivering en afvoer- en grondwatermeetlocaties studiegebied

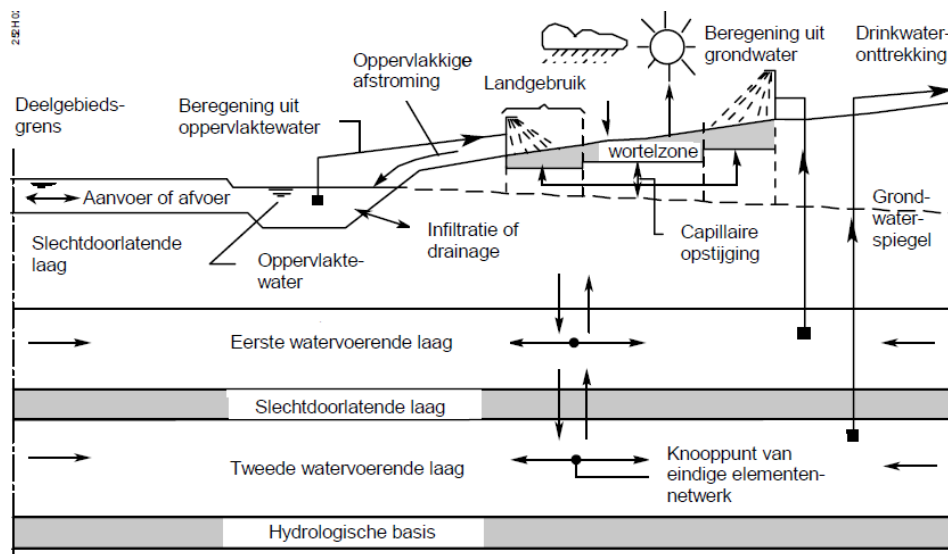
3 Model

WPM maakt gebruik van het hydrologische Simgro- model en wil het model gebruiken voor de toetsing van de regionale watersystemen. In dit hoofdstuk is allereerst een theoretische beschrijving gegeven over het model (3.1). Vervolgens zijn de huidige modelprestaties geanalyseerd (3.2).

3.1 Beschrijving Simgro- model

3.1.1 Modelopbouw

Het Simgro- model, een afkorting voor SIMulation of GROundwater, is een integraal model dat de hydrologische processen in het oppervlakte-, grond- en bodemwater beschrijft. De naam Simgro verwijst naar de originele toepassing van het model, namelijk het beschrijven van bodem- en grondwaterprocessen. De modeltoepassing is in de loop der jaren uitgebreid naar een model waarmee ook de hydrologische processen in het oppervlaktewater kunnen worden beschreven. Bij het Simgro- model van WPM wordt voor het beschrijven van de hydrologische processen gebruik gemaakt van drie modelconcepten die onderling fluxen uitwisselen. Het gaat hierbij om een modelconcept voor het oppervlaktewater (SurfW), één voor het bodemwater (MetaSWAP) en één voor het grondwater (MODLOW). De hydrologische processen en onderlinge fluxen zijn in de onderstaande figuur schematisch weergegeven (Figuur 3-1).



Figuur 3-1: Schematisatie processen en fluxen voor Simgro- model (De Graaff, et al., 2006)

Het huidige Simgro- model van WPM wordt voornamelijk toegepast voor bodem- en grondwaterstudies als de droogteproblematiek. Het gevolg is dat processen van het oppervlaktewater vereenvoudigd zijn meegenomen en het niet mogelijk is om een watersysteemanalyse uit te voeren met het huidige Simgro- model (Van Walsum, et al., 2012). Een voorbeeld van zo'n vereenvoudiging is de wijze waarop de oppervlakkige afstroming is gespecificeerd. Oppervlakkige afstroming kan optreden door bodemverzadiging, maar ook door het overschrijden van de infiltratiecapaciteit door de neerslag. Dit laatste proces is niet opgenomen in het huidige model.

3.1.2 Fluxen tussen grond-, bodem en oppervlaktewater

Zoals eerder aangegeven wisselen de drie modelcomponenten fluxen uit. De omvang van de flux vanuit het oppervlaktewater naar het bodem- en grondwater is grotendeels afhankelijk van de waterstand (h). De waterstand wordt bepaald door de afvoer (Q). Bij de modelontwikkeling zijn voor alle watergangen afvoer-waterstand relaties gemaakt. De Q-h relaties zijn gebaseerd op fracties van de specifieke afvoer. De specifieke afvoer is een gebiedskenmerkende afvoerintensiteit die afhankelijk is van het bodemgebruik, bodemtype, de drainagekarakteristieken en de grondwatertrap (Querner, 2003) (Hooghart, 1986). Voor 13 fracties van de specifieke afvoer, variërend van 0,05 tot 3 keer de specifieke afvoer, is voor elke watergang een waterstand gesimuleerd (Van Walsum, et al., 2012).

3.1.3 Afwatering naar watergangen

De afwatering van overtollig water naar de watergangen is belangrijk voor het beschrijven van de afvoer. In het Simgro- model is het studiegebied opgedeeld in afwateringseenheden. Elke afwateringseenheid water af op een watergang. De grootte en ligging van een afwateringseenheid wordt bepaald door het maaiveldhoogteverloop en eventuele blokkades als wegen. Het maaiveldhoogteverloop van een afwateringseenheid is door het toepassen van rastercellen van 5x5m zeer gedetailleerd meegenomen. Voor ieder rastercel zijn de bodemfysische kenmerken, hoogteligging en type landgebruik bekend.

3.2 Analyse model

Het toepassingsgebied van het huidige Simgro- model van WPM is door het beperkt meenemen van processen in het oppervlaktewater niet geschikt voor een watersysteemanalyse. In deze paragraaf is geanalyseerd in hoeverre het model niet geschikt is. Er is hiervoor een simulatie gemaakt van de periode 1994-2004. De simulaties zijn vergeleken met afvoer- en grondwatermetingen. Door het ontbreken van afvoermetingen is het alleen mogelijk de afvoersimulaties na 1996 te gebruiken. Alvorens de modelprestaties zijn beschreven (3.2.2) is een toelichting gegeven over hoe de modelprestaties zijn beoordeeld (3.2.1).

3.2.1 Beoordelingscriteria modelprestaties

De modelprestaties zijn beoordeeld door gebruik te maken van drie beoordelingscriteria. Het gaat hierbij om twee statistische waarden en om een verhoudingsgetal dat gebruikt wordt voor het beoordelen van afvoerpieken. Het beoordelen van afvoerpieken (AP) is gedaan door de verhouding van de gemeten en gesimuleerde afvoerpiek te bepalen. De afvoerpieken die zijn beoordeeld hebben een herhalingstijd van minimaal eens per jaar. Dit betekent dat bij meetlocatie De Smakt afvoerpieken zijn beoordeeld met een afvoer die groter of gelijk is aan $2,5\text{m}^3/\text{s}$ en bij Venrayse Broek van $0,7\text{m}^3/\text{s}$ of groter. Naast het beoordelen van afvoerpieken zijn er ook twee statistische waarden toegepast om de modelprestaties te beoordelen. Het gaat hierbij om de Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) en Percent Bias (PBIAS).

De beoordelingscriteria zijn als volgt geformuleerd (Moriassi, et al., 2007).

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right] \quad [1] \quad PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad [2]$$

$$AP = \frac{\text{gemeten afvoer}}{\text{gesimuleerde afvoer}} \quad [3]$$

De NSE- waarde geeft een indruk over de mate waarin de gesimuleerde afvoer een betere of mindere voorspelling is dan de gemiddeld gemeten afvoer. Wanneer NSE positief is, betekent dit dat de gesimuleerde afvoer een betere voorspelling is dan de gemiddeld gemeten afvoer. Een NSE- waarde van 1 duidt op een optimale simulatie. De PBIAS- waarde wordt gebruikt om het procentuele verschil tussen de gemeten en gesimuleerde afvoeren aan te duiden. De PBIAS- waarde wordt vaak toegepast om het volumeverschil tussen meting en simulatie te bepalen. Een negatieve waarde geeft aan dat de simulatie de gemeten afvoer overschat, terwijl een positieve waarde duidt op een onderschatting. De keuze voor het toepassen van de NSE en de PBIAS waarden is gebaseerd op het onderzoek uitgevoerd door Moriassi et al. (2007). Moriassi et al. (2007) heeft onderzoek gedaan naar statistische waarden die in het verleden zijn toegepast om simulaties van afvoeren en sediment- en nutriëntentransporten te beoordelen. Op basis van het onderzoek is een aanbeveling gedaan over welke statistische waarden het meest geschikt zijn om toe te passen. Daarnaast zijn richtlijnen voor de statistische waarden gegeven (Tabel 3-1).

Tabel 3-1: Richtlijnen statistische waarden

Beoordeling	NSE (-)	PBIAS (%)
Optimaal	1,00	0
Zeer goed	>0,75	<10
Goed	0,65-0,75	10-15
Voldoende	0,50-0,65	15-25
Onvoldoende	≤0,50	≥25

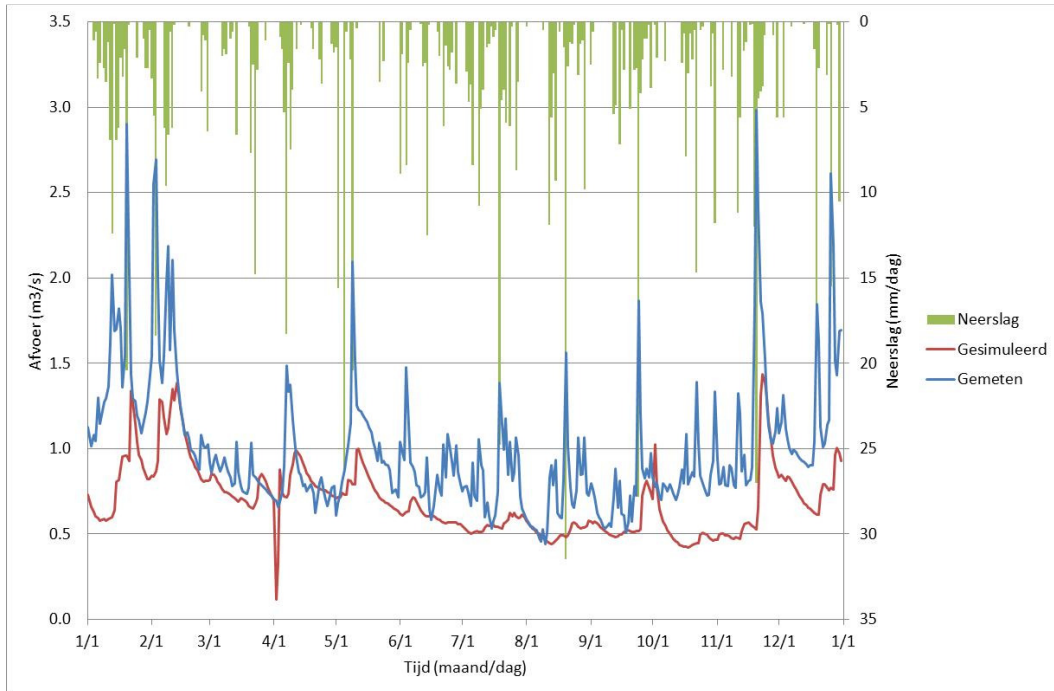
3.2.2 Prestaties huidig model

De onderstaande beschrijving is een toelichting op de huidige modelprestaties. Door de grote hoeveelheid figuren zijn slechts enkele figuren in dit rapport opgenomen. De overige figuren zijn geplaatst in BIJLAGE I. Voor de afvoersimulaties is de keuze gemaakt om alleen figuren voor het jaar 2004 te geven (Figuur 3-2 en Figuur 3-3). De keuze is gemaakt, omdat dit jaar als referentiejaar is gebruikt tijdens het modelverbeteringsproces. Voor meer informatie over het toepassen van 2004 tijdens het modelverbeteringsproces wordt verwezen naar paragraaf 4.1. De afvoersimulaties bij Vredepaal en Vredepeel zijn niet beschreven. In het model zijn deze twee locaties namelijk vertegenwoordigd door een constante winter- en zomeraanvoer. De twee afvoermeetlocaties kunnen zodoende alleen gebruikt worden om te analyseren of de constante aanvoerhoeveelheden goede inschattingen zijn van de werkelijkheid. Deze handeling is onderdeel van het modelverbeteringsproces en is beschreven in paragraaf 4.2.1. Er zijn ook twee figuren geplaatst die het simuleren van het grondwaterverloop laten zien. Het gaat hierbij om de locaties B52A0224 en B52B0450. De reden dat deze twee locaties zijn gekozen is omdat beide locaties weinig ontbrekende metingen bevatten en

omdat de ene locatie gelegen is in het afwateringsgebied van de Loobek (B52B0067) en de andere in het afwateringsgebied van het Afleidingskanaal (B52A0017).

Afvoersimulaties huidig model

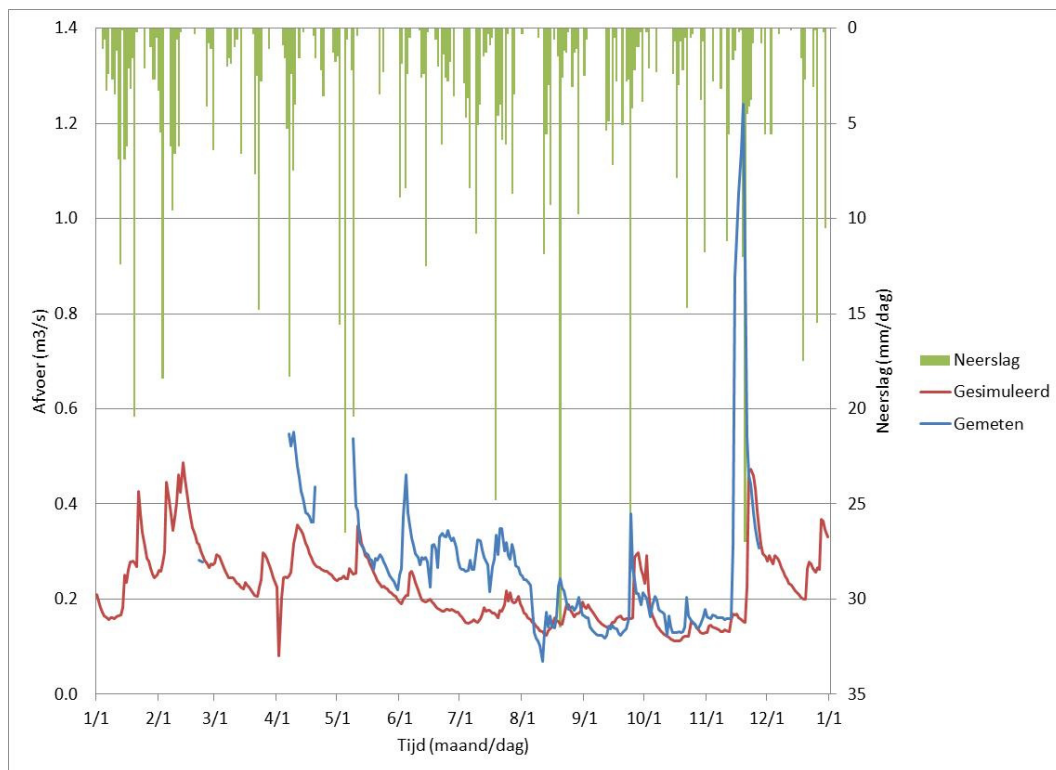
In Figuur 3-2 en Figuur 3-3 zijn de afvoersimulaties bij De Smakt en Venrayse Broek voor 2004 zichtbaar gemaakt. De modelprestaties voor de overige jaren worden in Tabel 3-2 en Tabel 3-3 duidelijk gemaakt.



Figuur 3-2: Afvoersimulatie 2004 bij De Smakt met huidig model

Tabel 3-2: Prestatie huidig model per jaar ter hoogte van De Smakt (n = aantal waarnemingen)

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Statistische waarden	n	359	365	363	365	365	365	347	366
	NSE (-)	-0,30	0,05	0,29	-0,18	-0,03	0,09	0,38	-0,37
	PBIAS (%)	37	32	21	31	29	28	24	30
Afvoerpieken (AP)	n	0	4	3	4	3	3	1	4
	Factor (-)	n.v.t.	2,2	1,9	2,1	1,8	1,9	2,1	2,2



Figuur 3-3: Afvoersimulatie 2004 bij Venrayse Broek met huidig model

Tabel 3-3: Prestatie model per jaar ter hoogte van Venrayse Broek (n = aantal waarnemingen)

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Statistische waarden	n	365	365	353	338	358	354	304	220
	NSE (-)	-0,84	0,27	0,32	0,13	0,23	0,28	0,29	-0,10
	PBIAS (%)	37	3	-15	-11	-15	-13	-7	27
Afvoerpieken (AP)	n	0	4	3	3	3	4	1	1
	Factor (-)	n.v.t.	1,8	1,3	1,7	1,4	1,8	1,4	2,4

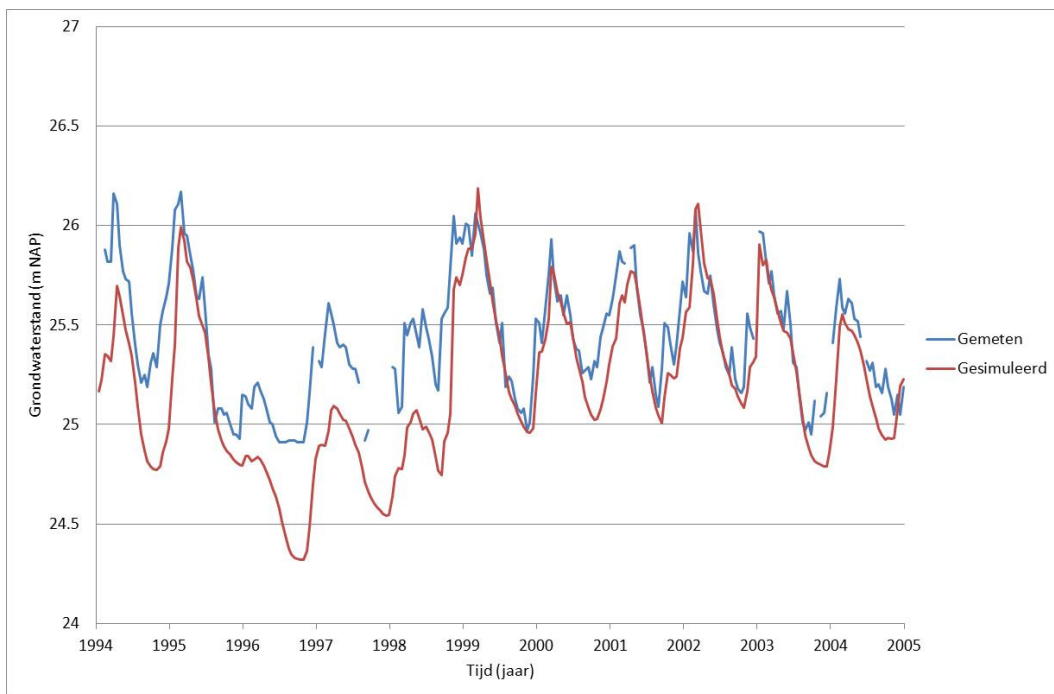
De bevindingen van de afvoersimulaties bij De Smakt en Venrayse Broek zijn als volgt (gebaseerd op zowel figuren als tabellen):

1. De gesimuleerde afvoer bij meetlocatie De Smakt wordt elk jaar onderschat. De negatieve NSE-waarden laten zelfs voor verschillende jaren zien dat de gemiddeld gemeten afvoer een betere benadering is dan de gesimuleerde afvoer. Het onderschatten van de afvoer bij meetlocatie De Smakt is wellicht het gevolg van het onjuist toekennen van de constante aanvoer van gebiedsvreemd water. Ook het ontbreken van de stedelijke afvoer en een effluentreeks voor de rioolwaterzuiveringsinstallatie liggen mogelijk ten grondslag aan het onderschatten van de afvoer. Bij meetlocatie Venrayse Broek wordt de gesimuleerde afvoer overschat. De mate van deze overschatting is echter veel kleiner en acceptabel.

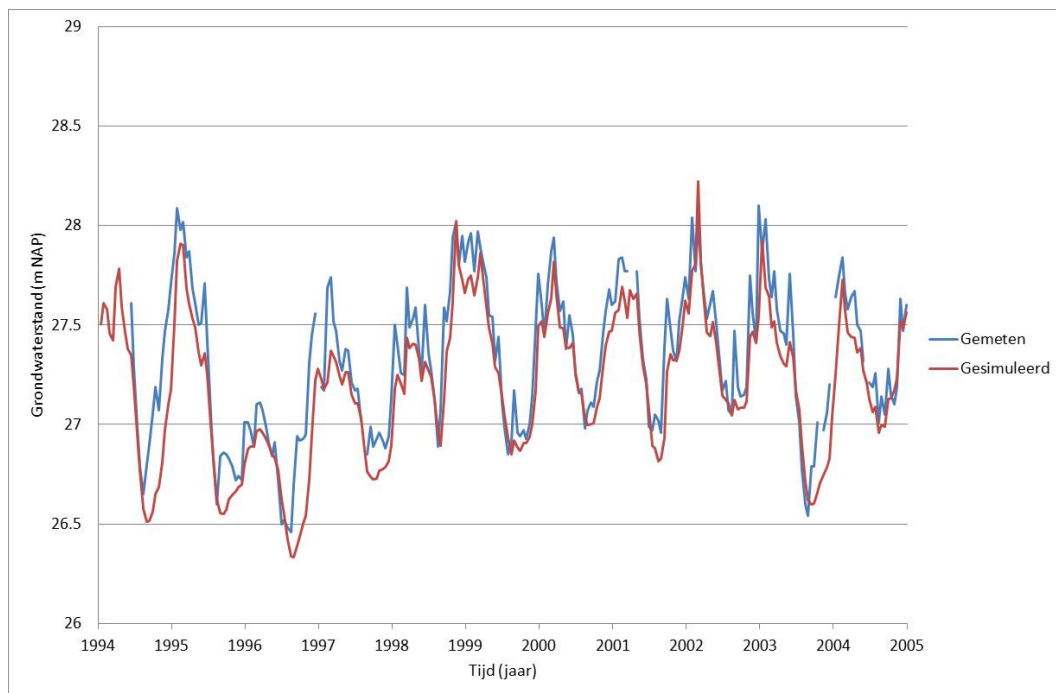
- Afvoerpieken worden onderschat. Dit geldt voor beide afvoermeetlocaties. De pieken worden bij meetlocatie De Smakt gemiddeld met een factor 2,0 onderschat. De onderschatting bij Venrayse Broek is ongeveer een factor 1,7. Het onderschatten van afvoerpieken is waarschijnlijk het gevolg van het ontbreken van een modelcomponent die de oppervlakkige afvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit van de bodem beschrijft. Het huidige model beschrijft alleen de oppervlakkige afvoer als gevolg van bodemverzadiging.

Grondwatersimulaties huidig model

Het grondwaterverloop wordt beter gesimuleerd dan de afvoeren (Figuur 3-4, Figuur 3-5 en Tabel 3-4). Dit laat voornamelijk de uitkomst van de PBIAS- waarde zien. De NSE- waarden, uitgezonderd locatie B52B0176, geven aan dat de grondwatersimulaties betere voorspellingen zijn dan de gemiddeld gemeten grondwaterstand.



Figuur 3-4: Grondwatersimulatie locatie B52A0224 (Afleidingskanaal)



Figuur 3-5: Grondwatersimulatie locatie B52B0450 (Loobeek)

Tabel 3-4: Prestatie model ter hoogte van de grondwatermeetlocaties (n= aantal waarnemingen)

		B52B 0445	B46D 0741	B52A 0224	B52B 0176	B52B 0357	B52B 0400	B52B 0450	B52B 0491
Statistische waarden	n	256	220	249	254	204	227	247	252
	NSE (-)	0,36	0,77	0,31	-0,29	0,43	0,00	0,34	0,16
	PBIAS (%)	-2	0	-5	-4	-7	-17	-2	-4

4 Invulling verbeterplan modelprestaties

Het huidige Simgro- model van WPM onderschat afvoerpieken en is daardoor niet geschikt voor een watersysteemanalyse. Er is zodoende een verbeterplan opgesteld. Het verbeterplan beschrijft de activiteiten en de volgorde van activiteiten die zijn uitgevoerd om de modelprestaties te verbeteren.

4.1 Verbeterplan

Om de modelprestaties te verbeteren zijn er verschillende activiteiten uitgevoerd. De activiteiten zijn beoordeeld door een vergelijking te maken met de afvoermetingen bij De Smakt en Venrayse Broek gedurende het jaar 2004. Tijdens het modelverbeteringsproces zijn de grondwatersimulaties niet beoordeeld. De grondwatersimulaties zijn alleen beoordeeld nadat het verbeteringsproces is voltooid. Deze keuze is gemaakt, omdat dit onderzoek gericht is op het verbeteren van de het simuleren van afvoerpieken.

De keuze om 2004 te gebruiken als referentiejaar is omdat op deze manier de afvoermetingen bij Vredepaal kunnen worden vergeleken met de constante aanvoerhoeveelheden (4.2.1). Daarnaast bevat 2004 enkele afvoerpieken, die het mogelijk maken de simulatie van afvoerpieken te beoordelen. Het toepassen van 2004 als referentiejaar betekent, door de ontbetrouwbaarheid van afvoermetingen bij Venrayse Broek in dat jaar, echter ook dat er sprake is van een beperking. Volgens de metingen was de gemiddelde afvoer bij Venrayse Broek in de zomerperiode ongeveer $0,3\text{m}^3/\text{s}$. Dit is, rekening houdend met de meteorologische omstandigheden, een onrealistisch grote afvoer. Op basis van de metingen gedurende de overige jaren is een gemiddelde zomerafvoer van ongeveer $0,15\text{m}^3/\text{s}$ waarschijnlijker. Het overschatten van de afvoer is waarschijnlijk het gevolg van het aannemen van een verkeerde klepstuwhoogte. De klepstuwhoogte wordt handmatig bediend en bepaalt samen met de hoogte van de waterschijf over de klepstuw de afvoer. Er kan op basis van de geregistreerde klepstuwhoogtes echter niet met zekerheid worden gesteld dat is uitgegaan van een foutieve klepstuwhoogte. Hierdoor is het ook niet mogelijk om een uitspraak te doen over wat de afvoer in de zomermaanden is geweest. Het gevolg van deze onzekerheden is dat de beoordeling van de modelaanpassingen bij Venrayse Broek wordt gekenmerkt door beperkingen. Het verbeterplan houdt hier rekening mee.

Het verbeterplan bestaat uit drie stappen. De eerste stap is het toevoegen/aanpassen van modelcomponenten die mogelijk een bijdrage aan het reduceren van het volumeverschil bij De Smakt. De tweede stap heeft als doel betere afvoersimulaties te realiseren door voor de neerslaginvoer in plaats van stationsgegevens radargegevens toe te passen. Het laatste onderdeel van het modelverbeteringsproces heeft als doel afvoerpieken beter te beschrijven. De activiteiten die behoren tot de drie stappen zijn verder toegelicht in paragraaf 4.2. De stappen zijn achtereenvolgens uitgevoerd. Deze volgorde is gehanteerd, omdat de gedachte is dat eerst het volumeverschil gereduceerd dient te worden alvorens afvoerpieken beter beschreven kunnen worden. De aanpassingen zijn beoordeeld met dezelfde criteria als waarmee de huidige modelprestaties zijn beoordeeld (3.2.1). Wanneer één of meerdere modelaanpassingen tijdens de eerste stap een duidelijke bijdrage hebben op de simulatie van de afvoer, blijven deze aanpassingen onderdeel van het model tijdens de volgende stap van het modelverbeteringsproces.

Na het uitvoeren van het verbeterplan is een modelvalidatie uitgevoerd. Op basis van de validatie is een oordeel gegeven over de toepasbaarheid van het verbeterde model. De validatie is gedaan door een simulatie te maken over een andere periode dan waarover de modelaanpassingen zijn beoordeeld. Door de extreem natte omstandigheden is gekozen voor het jaar 1998 als validatiejaar.

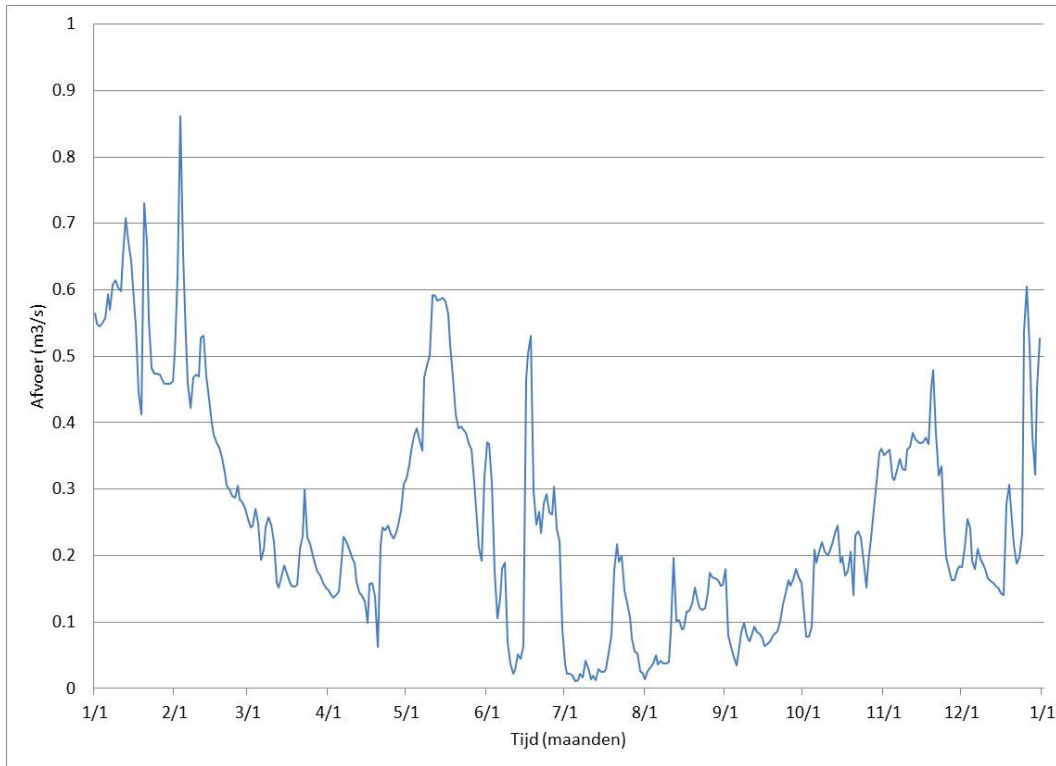
4.2 Stappen verbeterplan

4.2.1 Stap 1: Aanpassingen ten behoeve van reduceren volumeverschil De Smakt

Er zijn drie analyses die ten grondslag kunnen liggen aan het geobserveerde volumeverschil bij meetlocatie De Smakt. De eerste analyse is het vaststellen of de constante aanvoerhoeveelheid van gebiedsvreemd water realistisch is. Vervolgens is geanalyseerd wat de mogelijke bijdrage is van het effluentvolume afkomstig van de RWZI. Als laatste zijn overstortvolumes geanalyseerd. De omvang van de overstortvolumes bepaalt de keuze voor het eventueel toevoegen van de stedelijke afvoer op het model.

Aanvoer gebiedsvreemd water

Het onjuist meenemen van de aanvoer van gebiedsvreemd water is een mogelijke oorzaak van het geobserveerde volumeverschil bij De Smakt. Er zijn twee locaties waar gebiedsvreemd water het studiegebied binnenkomt, namelijk Vredepaal en Vredepeel. Beide locaties hebben alleen invloed op de afvoer bij meetlocatie De Smakt. In het huidige model zijn voor beide locaties constante aanvoerhoeveelheden toegepast voor zowel de winter (oktober-februari) als de zomer (maart-september). Bij Vredepaal is de winteraanvoer 150 l/s, terwijl de zomeraanvoer 300 l/s is. Tijdens de winterperiode is er geen aanvoer bij locatie Vredepeel. De zomeraanvoer bij Vredepeel is 75 l/s. Door een vergelijking te maken met de metingen is geanalyseerd in hoeverre de constante aanvoerhoeveelheden overeenkomen met de werkelijkheid. De vergelijking maakt duidelijk dat de constante aanvoerhoeveelheden voor beide locaties onjuiste afspiegelingen zijn (Figuur 4-1 voor Vredepaal en BIJLAGE II voor Vredepeel). De omvang van de aanvoer bij Vredepeel is echter zo klein dat de relevantie van deze aanvoerhoeveelheid beperkt is voor de afvoer bij De Smakt (dit geldt niet alleen voor 2004, maar ook voor de overige jaren). Om deze reden blijven de constante aanvoerhoeveelheden bij Vredepeel gehandhaafd. De omvang van de gemeten aanvoer bij Vredepaal ten opzichte van de gemiddelde afvoer bij De Smakt is aanzienlijk groter. De metingen laten daarnaast ook zien dat de zomeraanvoer kleiner is dan de winteraanvoer, terwijl het model uitgaat van een grotere aanvoer in de zomerperiode (Figuur 4-1). Als gevolg van deze bevindingen is de keuze gemaakt om de constante aanvoerhoeveelheid te vervangen voor de meetreeks van 2004.



Figuur 4-1: Aanvoermeteerreeks Vredepaal 2004

Riolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)

Naast het vervangen van de constante aanvoerhoeveelheden bij Vredepaal door een meetreeks is ook geanalyseerd wat de mogelijke invloed is van het ontbreken van een effluentreeks afkomstig van de RWZI. De RWZI ligt nabij meetlocatie De Smakt (Figuur 2-8). Het effluent heeft alleen invloed op de totale afvoer bij de benedenstroomse meetlocatie. Om de mogelijke toegevoegde waarde van het RWZI-effluent op de totale afvoer te beoordelen is geanalyseerd hoe groot de gemeten effluentvolumes zijn. De beschikbare effluentgegevens zijn dagtotalen vanaf 2007. Op basis van de gegevens is geconstateerd dat het effluentvolume in sterke mate wordt bepaald door de neerslag. Tijdens droge dagen is het effluentvolume ongeveer $12.500\text{m}^3/\text{dag}$. Bij een neerslagvolume van $20\text{mm}/\text{dag}$ kan het effluentvolume oplopen tot meer dan $35.000\text{m}^3/\text{dag}$. Een desbetreffende hoeveelheid komt overeen met $0,41\text{m}^3/\text{s}$. Op basis van deze bevindingen is geconcludeerd dat de RWZI-effluent een duidelijke bijdrage heeft op de afvoer bij De Smakt. Door de sterke afhankelijkheid voor neerslag heeft het effluent van de RWZI mogelijk ook invloed op het simuleren van afvoerpieken. Omdat er geen effluentgegevens zijn voor het jaar 2004 is een reeks samengesteld. Bij de reeks zijn voor verschillende neerslagintervallen effluentvolumes toegekend (Tabel 4-1). De toegepaste neerslagintervallen en bijbehorende effluentvolumes zijn gebaseerd op de metingen in de periode 2007-2012.

Tabel 4-1: Toegekende effluentvolumes per neerslaginterval

Neerslaginterval (mm)	Effluentvolume (m ³ /dag)
0-3	12.500
3-6	20.000
6-9	25.000
9-12	30.000
12-15	35.000
>15	40.000

Stedelijke afvoer

De derde mogelijke oorzaak voor het volumeverschil tussen de meting en de simulatie is het niet meenemen van de stedelijke afvoer in het huidige model. In het studiegebied bevinden zich verschillende overstorten, voornamelijk in de omgeving van Venray. De mogelijke toegevoegde waarde van de overstorten is bepaald door de gemeten overstortvolumes te analyseren. De gemeten overstortvolumes maken duidelijk dat de overstortvolumes zeer onbetrouwbaar zijn. Voor sommige overstorten zijn (bijna) geen overstortvolumes gemeten, terwijl monsters van het oppervlaktewater het tegenovergestelde aantonen. Ook zijn onrealistisch grote overstortvolumes gemeten van meer dan 1 miljoen m³ over een periode van 6 dagen. Dit komt overeen met een gemiddelde overstortafvoer van 2,8m³/s. Aanvullend op het analyseren van de gemeten overstortvolumes is een optimalisatiestudie van ingenieursbureau Tauw geraadpleegd (Kluck, 2006). De optimalisatiestudie is gericht op het verbeteren van het afvalwatersysteem rondom Venray. Als onderdeel van deze studie is een modelsimulatie gemaakt van het rioleringsysteem. De simulatie geeft een voorspelling van overstortvolumes als gevolg van extreme buien. De voorspelde overstortvolumes zijn relatief klein, namelijk ongeveer 0,15m³/s bij een bui met een herhalingsijd van eens in de tien jaar. Door de onbetrouwbare metingen en de bevindingen van de optimalisatiestudie is de keuze gemaakt om in het vervolg van dit onderzoek de invloed van de stedelijke afvoer niet te beschouwen.

4.2.2 Stap 2: Aanpassing neerslaginvoer

Het model maakt op dit moment gebruik van de gemeten neerslag bij het KNMI- meetstation in Venray. Het gaat hierbij om dagwaarden. De gemeten waarden zijn voor het gehele studiegebied zonder ruimtelijke differentiatie toegepast. Dit betekent dat is aangenomen dat de gemeten neerslag in Venray ook is opgetreden in de rest van het studiegebied. Deze aanname resulteert mogelijk in een onder- of overschatting van de werkelijk opgetreden neerslag en daarmee van de afvoer. Om deze reden is de neerslaginvoer aangepast. Dit is gedaan door voor de neerslag radargegevens te gebruiken. De radargegevens zijn afkomstig van Meteobase.nl, een online serviceverlening van STOWA (STOWA, 2013). De radargegevens zijn echter schattingen. De schattingen zijn door verbeterde radarbeelden vanaf 2000 nauwkeuriger (Versteeg, et al., 2013). Het verbeteringsproces is gedaan over het jaar 2004, wat betekent dat de afvoersimulaties zijn beoordeeld met de verbeterde schattingen. Het gebruikmaken van radarbeelden heeft als voordeel dat er beter rekening wordt gehouden met de ruimtelijke differentiatie van neerslag. De radarbeelden van Meteobase zijn op een ruimtelijke schaal van 1x1km. Daarnaast bevatten de radarbeelden neerslaggegevens op uurbasis. Door gebruik te maken van neerslaggegevens op een hoger detailniveau in tijd en plaats is de verwachting dat de afvoer beter

wordt gesimuleerd. Dit geldt niet alleen voor het gemiddelde afvoerpatroon, maar door het toepassen van een kleinere tijdschaal ook voor afvoerpieken.

Om de afzonderlijke invloed van de neerslagdetailtering in plaats en tijd vast te stellen, zijn er twee analyses uitgevoerd. Allereerst is een analyse uitgevoerd die is gebaseerd op het verkleinen van de ruimtelijke schaal en vervolgens een analyse die is gebaseerd op het verkleinen van de tijdschaal. Door de onbetrouwbaarheid van de metingen bij meetlocatie Venrayse Broek is het niet mogelijk een vergelijking met de afvoermetingen over het jaar 2004 te maken. Om de invloed van de ruimtelijke detailtering, de eerste analyse, vast te stellen zijn voor Venrayse Broek de jaren 2000-2002 als vergelijking gebruikt. De afvoermetreeksen voor deze jaren zijn allemaal redelijk compleet en bevatten voldoende afvoerpieken (Tabel 2-1 en BIJLAGE I). De tweede analyse is alleen gedaan voor meetlocatie De Smakt. Het is eventueel mogelijk om de invloed van het simuleren op uurbasis bij Venrayse Broek te beoordelen over een ander jaar dan 2004. Dit vraagt alleen naar een grote extra rekenintensiteit, waardoor dit niet is gedaan.

4.2.3 Stap 3: Toevoegen oppervlakkige afvoer

Het optreden van stromingen over het maaiveld naar de watergangen kan worden veroorzaakt door:

1. Bodemverzadiging
2. Overschrijding infiltratiecapaciteit bodem door grote neerslagintensiteit

Het huidige model houdt voor het beschrijven van de oppervlakkige afvoer alleen rekening met bodemverzadiging. Een verzadigde bodem is vaak het gevolg van langdurige gebeurtenissen, waarbij de grondwaterstand het maaiveld bereikt. Desbetreffende gebeurtenissen spelen veelal in de winter een rol. Het huidige model simuleert geen oppervlakkige afvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit van de bodem. De infiltratiecapaciteit wordt bepaald door factoren als het bodemtype, bodemgebruik, begroeiing en reliëf (Massop, et al., 2012). Als onderdeel van het modelverbeteringsproces is de mogelijke toegevoegde waarde van het optreden van oppervlakkige afvoer door het overschrijden van de infiltratiecapaciteit onderzocht.

Het Simgro- model biedt de mogelijkheid om de infiltratiecapaciteit voor verharde en onverharde gebieden in te stellen. Door de beperkte mogelijkheid van verharde gebieden om water op te nemen is deze infiltratiecapaciteit ingesteld op 1mm/dag. Deze hoeveelheid betekent dat er oppervlakkige afvoer optreedt bij een overschrijding van een neerslagetmaalsom van 1mm. Bij verharde gebieden stroomt dit water voornamelijk via de riolering af naar een RWZI. Het gezuiverde water wordt vervolgens geloosd op het oppervlaktewater. De invloed van het RWZI- effluent op de afvoer is onderdeel van de eerste stap in het verbeteringsproces (4.2.1). De infiltratiecapaciteit van onverharde gebieden is groter en afhankelijk van meerdere factoren. De infiltratiecapaciteit is vaak zeer locatie- en tijdsafhankelijk. Voor dit onderzoek is er echter de keuze gemaakt om voor onverharde gebieden een stationaire waarde toe te passen voor de infiltratiecapaciteit. Dit betekent dat de mogelijke differentiatie van de infiltratiecapaciteit in tijd en plaats niet wordt meegenomen. Deze keuze is mede gebaseerd op de bevindingen van het onderzoek van Massop et al. (2012). Massop et al. (2012) heeft onderzoek gedaan naar de oppervlakkige afstroming bij zandige landbouwgronden in Noord- en Midden- Limburg. Er zijn

hierbij op drie proeflocaties infiltratiecapaciteiten bepaald en afstroomvolumes gemeten. De resultaten laten zien dat het moeilijk te voorspellen is wat de omvang van het afstroomvolume is bij een bepaalde infiltratiecapaciteit en/of neerslagvolume. De maatgevende infiltratiecapaciteit is daarom bepaald door een relatief grote variatie van infiltratiecapaciteit te onderzoeken. Het gaat om stationaire infiltratiecapaciteiten van 25, 30, 40 en 50mm/dag.

Voor dit onderzoek is alleen de invloed van de oppervlakkige afvoer beoordeeld bij meetlocatie De Smakt gedurende het jaar 2004. De onbetrouwbare meetgegevens over het jaar 2004 en de grote rekenintensiteit bij het kiezen van een ander jaar zijn de redenen voor het buiten beschouwing laten van meetlocatie Venrayse Broek.

5 Resultaten modelverbeteringsproces

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de modelaanpassingen beschreven (5.1). De resultaten bepalen de keuze voor het wel of niet toevoegen van de aanpassing op het model. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de modelvalidatie (5.2). De validatie vindt plaats door het verbeterde model over een andere periode te gebruiken, in dit geval het jaar 1998.

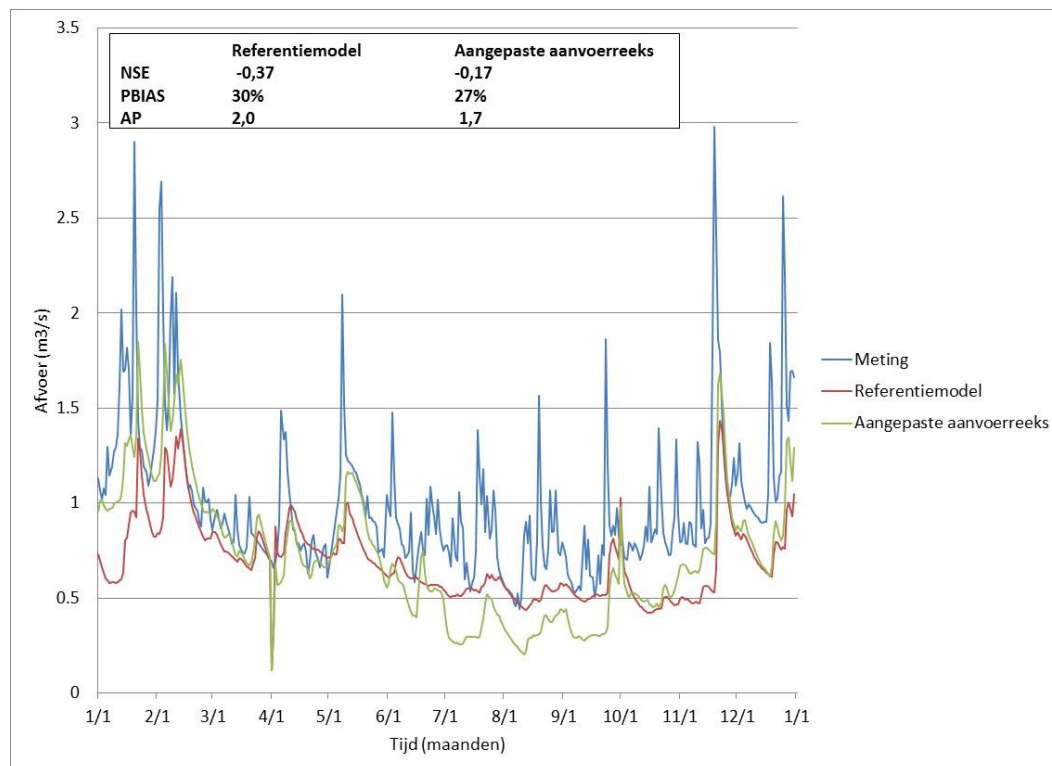
5.1 Modelresultaten

Bij de beschrijving van de modelresultaten zijn de drie stappen van het verbeteringsproces (reduceren volumeverschil, aanpassen neerslaginvoer en toevoegen oppervlakkige afvoer) achtereenvolgens toegelicht (5.1.1-5.1.3).

5.1.1 Resultaten aanpassingen ten behoeve van reduceren volumeverschil

Aanvoer gebiedsvreemd water

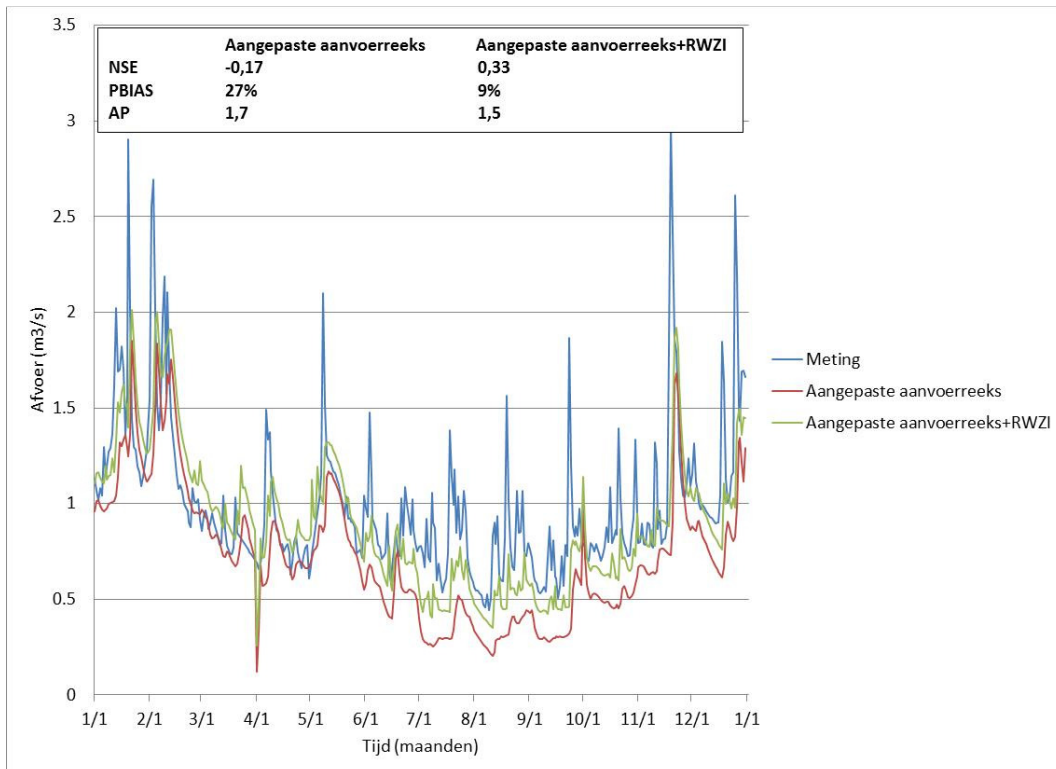
Door het gebiedsvreemde water bij Vredepaal als reeks mee te nemen wordt de afvoer bij meetlocatie De Smakt beter gesimuleerd. Deze bevinding is gebaseerd op de uitkomsten van de statistische waarden (Figuur 5-1). De NSE-waarde neemt toe van -0,37 naar -0,17, terwijl het volumeverschil afneemt van 30 naar 27%. Het volumeverschil blijft relatief groot doordat er in de zomerperiode sprake is van een duidelijke onderschatting van de gemeten afvoer. Het derde beoordelingscriterium, het simuleren van afvoerpieken, laat zien dat de onderschatting van pieken is afgenomen van factor 2,0 naar ongeveer 1,7. Door de positieve uitwerking op de modelresultaten wordt de aanvoerreeks opgenomen in het model.



Figuur 5-1: Resultaat meetlocatie De Smakt bij toepassen aangepaste aanvoerreeks

Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)

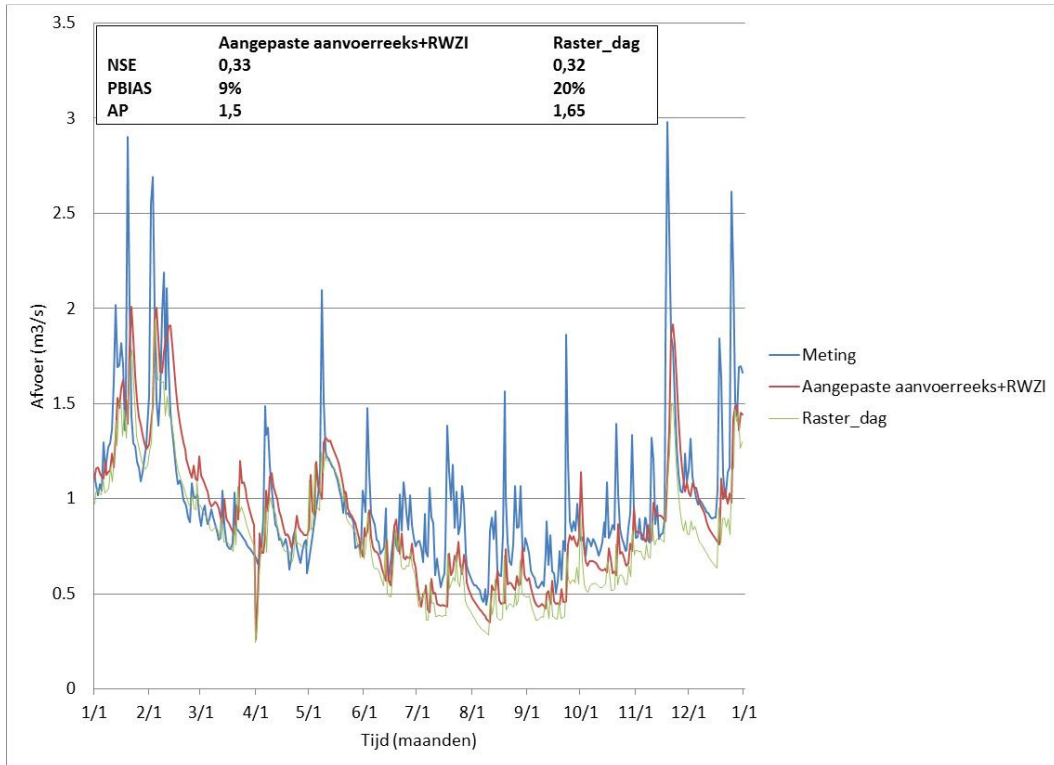
Aanvullend op het toepassen van een aanvoerreeks bij Vredepaal is een effluentreeks voor de RWZI samengesteld. De resultaten laten zien dat ook deze aanpassing een positieve uitwerking heeft op de afvoersimulatie bij De Smakt (Figuur 5-2). De effluentreeks wordt in het vervolg van dit onderzoek dan ook meegenomen. De figuur en de uitkomsten van de beoordelingscriteira maken duidelijk dat zowel de gemiddelde afvoer als de pieken beter worden benaderd. De figuur laat ook het verschil zien tussen het toevoegen van alleen een gemeten aanvoerreeks en een reeks voor zowel het gebiedsvreemde water als de RWZI. Het volumeverschil is volgens de PBIAS- waarde gereduceerd van zo'n 27 naar 9% en de NSE- waarde toegenomen naar 0,33. De sterke reductie van de PBIAS- waarde en de toename van de NSE- waarde wordt voornamelijk veroorzaakt doordat in de zomerperiode geen sprake meer is van een sterke onderschatting van de gemiddelde afvoer. Het beter benaderen van de afvoer in de zomerperiode is het gevolg van permanente basiseffluent van ongeveer 150 liter per seconde. Het toevoegen van een effluentreeks van de RWZI betekent ook dat de onderschatting van pieken gemiddeld afneemt van 1,7 naar 1,5.



Figuur 5-2: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen aangepaste aanvoerreeks en effluentreeks

5.1.2 Aanpassen neerslaginvoer

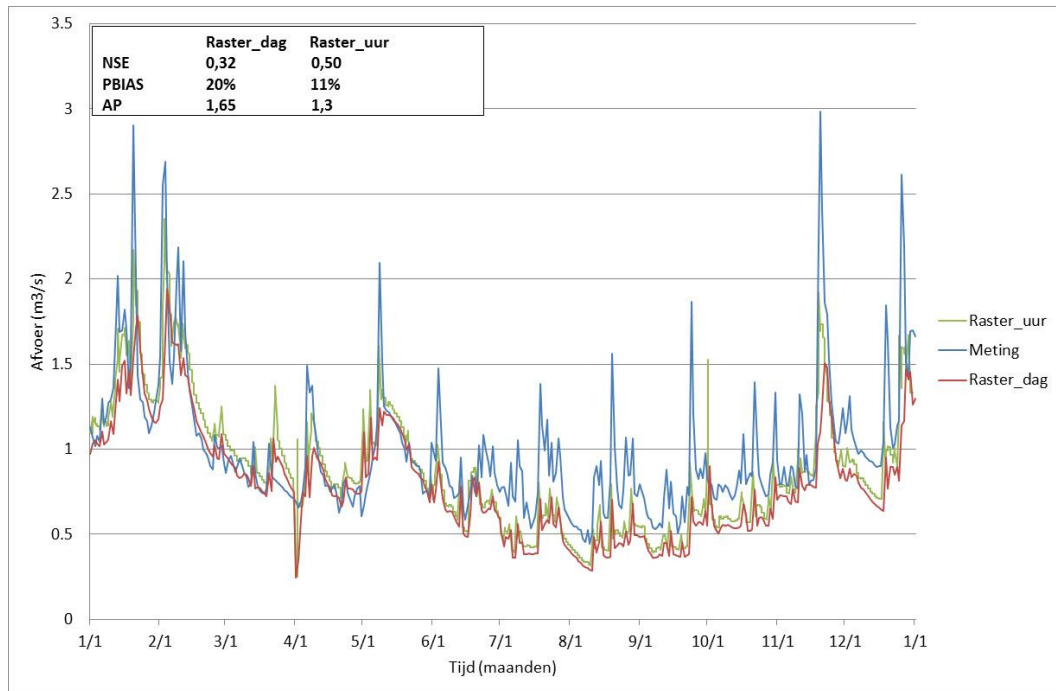
Het gebruikmaken van radarbeelden voor de neerslag op dagbasis heeft een negatieve invloed op alle beoordelingscriteria. Dit geldt voor beide afvoermeetlocaties (Figuur 5-3, Figuur 5-4, Tabel 5-1 en BIJLAGE III). Het verkleinen van het tijdsinterval heeft wel een positieve bijdrage. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de invloed van het verkleinen van het tijdsinterval bij Venrayse Broek niet is onderzocht. Omdat het verkleinen van alleen de ruimtelijke schaal overeenkomstige resultaten laat zien voor beide afvoermeetlocaties wordt verondersteld dat het toepassen van urengegevens ook bij Venrayse Broek een toegevoegde waarde heeft.



Figuur 5-3: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen rasterdata op dagbasis

Tabel 5-1: Resultaten beoordelingscriteria bij toepassen rasterdata op dagbasis Venrayse Broek

		2000	2001	2002
Referentiemodel	NS (-)	0,13	0,23	0,28
	PBIAS (%)	-11	-15	-13
	AP (-)	1,5	1,4	1,7
Raster_dag	NS (-)	0,06	0,14	0,37
	PBIAS (%)	9	23	7
	AP(-)	3,3	2,4	2,1



Figuur 5-4: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen rasterdata op uurbasis

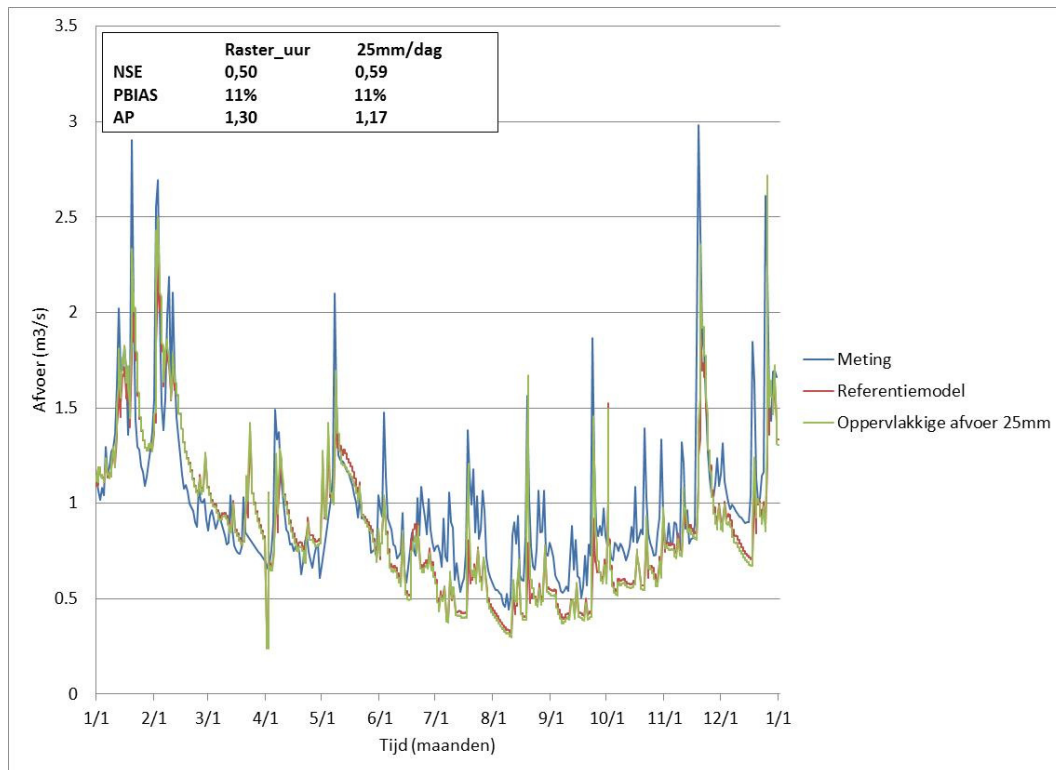
5.1.3 Toevoegen oppervlakkige afvoer

Het meenemen van de oppervlakkige afvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit van de bodem heeft als doel afvoerpieken beter te simuleren. Voor dit onderzoek zijn verschillende infiltratiecapaciteiten onderzocht, variërend van 25 tot 50mm/dag. De modelresultaten laten zien dat, ongeacht de omvang van de infiltratiecapaciteit, de afvoerpieken onderschat worden. Het toepassen van een infiltratiecapaciteit kleiner dan 25mm/dag heeft waarschijnlijk geen toegevoegde waarde. De waarden van de beoordelingscriteria laten namelijk zien dat voor infiltratiecapaciteiten kleiner dan 40mm/dag weinig verbetering zichtbaar is (Tabel 5-2). Daarnaast is een infiltratiecapaciteit op zandgronden die kleiner is dan 25mm/dag niet realistisch (Massop, et al., 2012).

Tabel 5-2: Resultaten beoordelingscriteria voor de verschillende infiltratiecapaciteiten

	Raster_uur	Infiltratiecapaciteit (mm/dag)			
		25	30	40	50
NS (-)	0,50	0,59	0,58	0,56	0,47
PBIAS (%)	11	11	11	11	11
AP (-)	1,30	1,17	1,19	1,21	1,24

Omdat bij een infiltratiecapaciteit van 25mm/dag de pieken het beste worden benaderd en de statistische waarden ook het hoogste scoren is gekozen voor deze waarde (Figuur 5-5). Voor de figuren met een infiltratiecapaciteit van 30, 40 en 50mm/dag wordt verwezen naar BIJLAGE III.



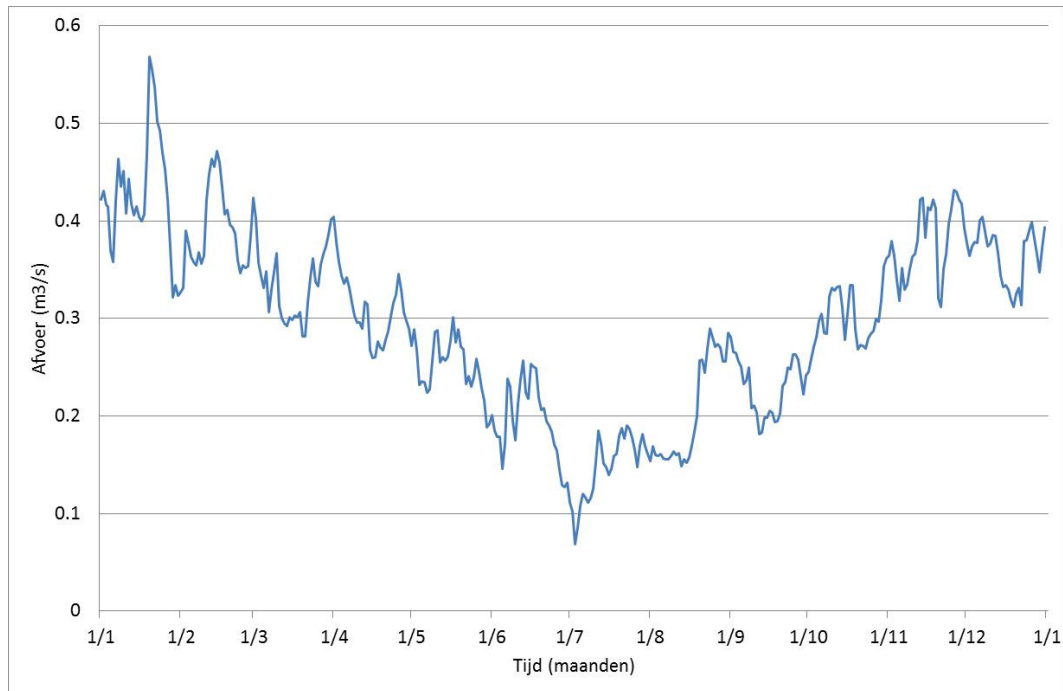
Figuur 5-5: Resultaat voor meetlocatie De Smakt bij toepassen stationaire infiltratiecapaciteit van 25mm/dag

5.2 Modelvalidatie

De resultaten van het modelverbeteringsproces hebben laten zien dat een aanvoerreeks bij Vredepaal, een effluentreeks voor de RWZI, het toepassen van neerslagdata afkomstig van radarbeelden op uurbasis en een oppervlakkige afvoer van 25mm een verbetering geeft op de gesimuleerde afvoer. De statistische waarden duiden op een goed beschrijvend model, alleen de afvoerpieken worden nog steeds met zo'n 25% onderschat. Om de toepasbaarheid van het verbeterde model te bepalen is een modelvalidatie uitgevoerd. Dit is gedaan over het jaar 1998.

5.2.1 Aanvoerreeks Vredepaal

Voor de modelvalidatie zijn de eerder genoemde modelaanpassingen toegepast. Omdat er geen afvoermetingen beschikbaar zijn bij Vredepaal voor het jaar 1998 is het niet mogelijk een gemeten aanvoerreeks voor Vredepaal toe te passen voor de modelvalidatie. Er is daarom voor gekozen om een aanvoerreeks samen te stellen, die gerelateerd is aan de metingen in de periode 2004-2012. De samengestelde aanvoerreeks is gebaseerd op de gemiddelde dagelijkse aanvoerhoeveelheid over de periode 2004-2012 (Figuur 5-6). Dit betekent dat, ervan uitgaande dat er geen ontbrekende meetgegevens zijn, de daghoeveelheden bestaan uit het gemiddelde van negen aanvoerhoeveelheden.

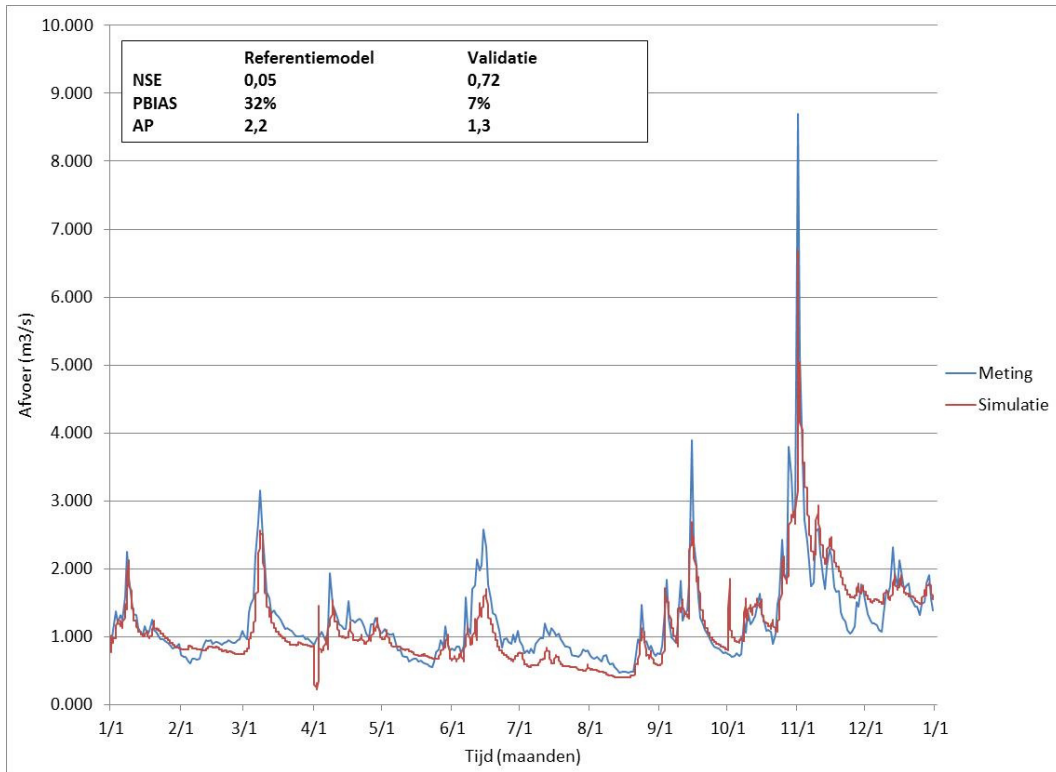


Figuur 5-6: Aanvoerreeks Vredepaal voor modelvalidatie

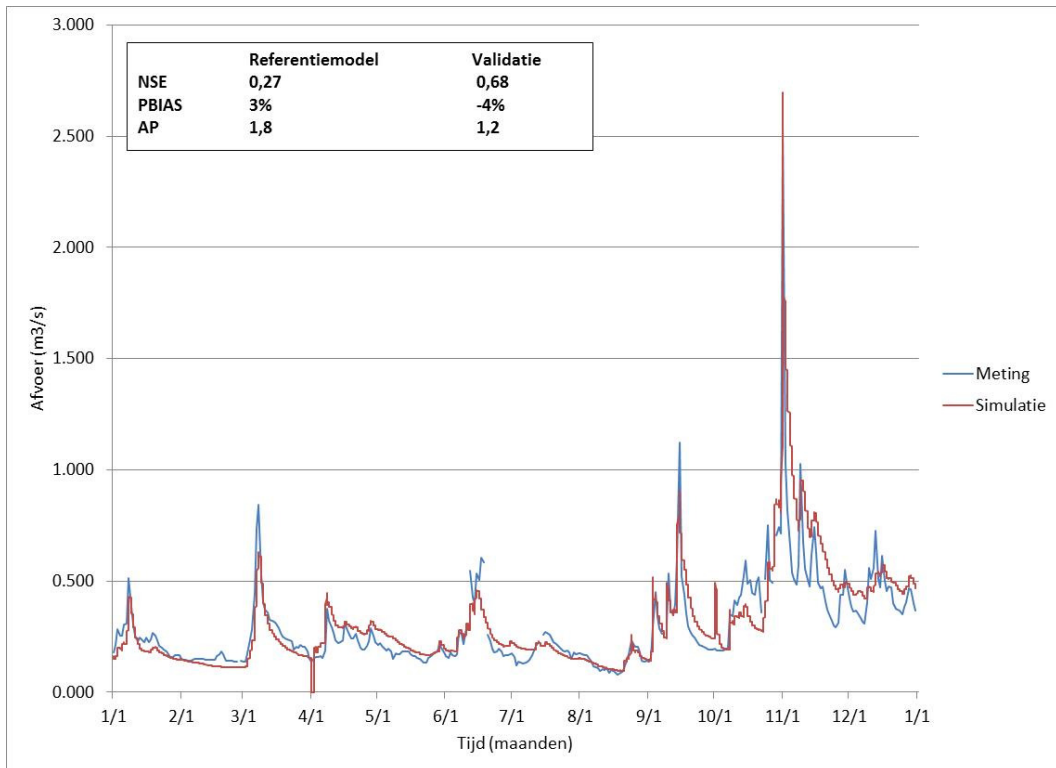
5.2.2 Resultaten modelvalidatie

De modelvalidatie laat goede afvoersimulaties zien. Dit betekent dat de modelaanpassingen ook een positieve uitwerking hebben op het jaar 1998. Er is er geen sprake van een negatieve invloed van het beperkt meenemen van meetlocatie Venrayse Broek tijdens het modelverbeteringsproces. De beoordelingscriteria laten zelfs zien dat de modelvalidatie betere resultaten geeft (Figuur 5-7 en Figuur 5-8). Een kanttekening is de wijze waarop afvoerpieken worden gesimuleerd. Afvoerpieken worden ook bij de modelvalidatie gemiddeld met ongeveer 25% onderschat. De onderschatting bij meetlocatie De Smakt (30%) is gemiddeld groter dan bij meetlocatie Venrayse Broek (20%). Dit heeft consequenties voor de watersysteemanalyse. Voor dit onderzoek is de keuze gemaakt om geen verdere pogingen te doen om deze beperking te verbeteren. Er dient bij de stochastische berekening echter wel rekening mee gehouden te worden. Hier wordt verder op ingegaan bij de beschrijving van de resultaten van de stochastische berekening (paragraaf 7.1) en in de discussie (hoofdstuk 8).

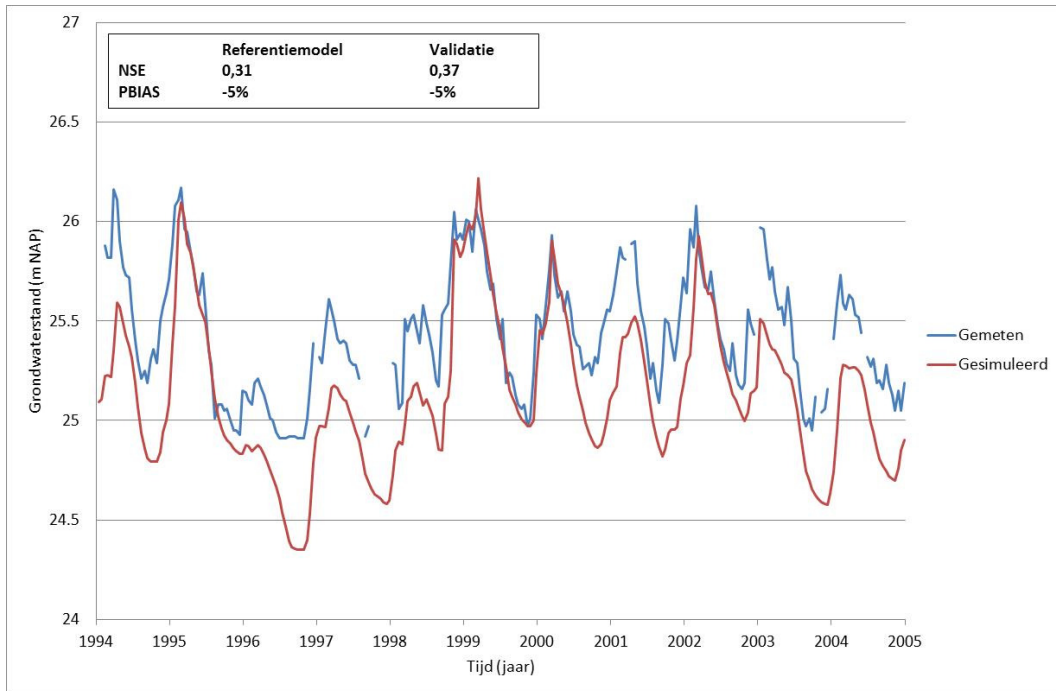
Aanvullend op de afvoersimulaties zijn ook de effecten van de modelaanpassingen op het simuleren van het grondwaterverloop in beeld gebracht (Figuur 5-9, Figuur 5-10, Tabel 5-3 en BIJLAGE III). De simulaties van het grondwater zijn ook verbeterd, alleen in mindere mate. Dit is een logisch resultaat, aangezien de modelaanpassingen gericht waren op het verbeterd simuleren van de afvoer. Daarnaast is voor het analyseren van de grondwatersimulaties een simulatie gedaan op dagbasis. Deze keuze is gemaakt, omdat het doorrekenen van een 11-jarige periode op uurbasis een grote rekenduur heeft. Voor een traag reagerend systeem als het grondwatersysteem heeft dit waarschijnlijk weinig consequenties.



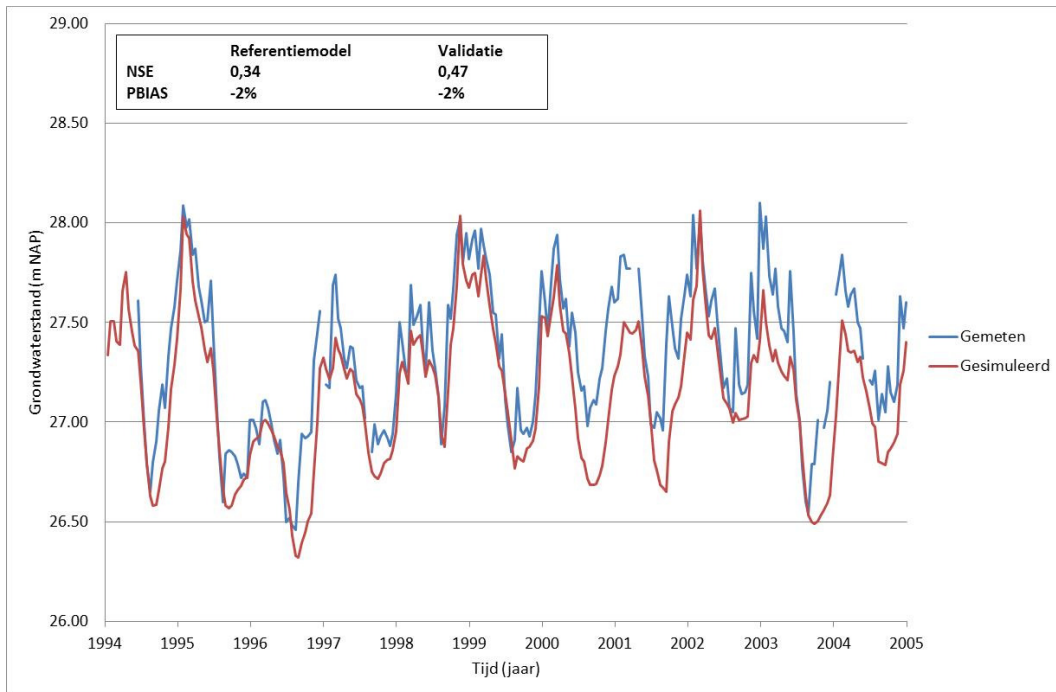
Figuur 5-7: Resultaat modelvalidatie bij De Smakt



Figuur 5-8: Resultaat modelvalidatie bij Venrayse Broek



Figuur 5-9: Resultaat modelvalidatie grondwatermeetlocatie B52A0224 (Afleidingskanaal)



Figuur 5-10: Resultaat modelvalidatie grondwatermeetlocatie B52B0450 (Loobeek)

Tabel 5-3: Resultaten modelvalidatie voor grondwaterverloop (n= aantal waarnemingen)

		B52B 0445	B46D 0741	B52A 0224	B52B 0176	B52B 0357	B52B 0400	B52B 0450	B52B 0491
Statistische waarden	n	256	220	249	254	204	227	247	252
	NSE (-)	0,49	0,98	0,37	-0,27	0,45	0,23	0,47	0,16
	PBIAS (%)	-2	0	-5	-4	-7	-14	-2	-4

5.3 Bevindingen prestaties verbeterd model

Het verbeteringsproces heeft geresulteerd in betere modelprestaties. De beoordelingscriteria en de figuren laten dit zien. Daarnaast duiden de resultaten van de modelvalidatie op een brede toepasbaarheid van het verbeterde model. Ondanks de verbeterde simulaties is de onderschatting van afvoerpieken nog steeds ongeveer 25%. Door het grote belang van het goed simuleren van afvoerpieken is deze mate van onderschatten mogelijk te groot. Het onderschatten van de afvoerpieken kan worden veroorzaakt door drie mogelijkheden. De eerste mogelijkheid is de vereenvoudigde wijze waarop de infiltratiecapaciteit voor het beschrijven van de oppervlakkige afvoer in het model is gespecificeerd. De toegepaste infiltratiecapaciteit houdt geen rekening met de ruimtelijke differentiatie van de infiltratiecapaciteit. De infiltratiecapaciteit is door de afhankelijkheid van factoren als bodemtype, bodemgebruik en reliëf echter locatiespecifiek. Daarnaast is de infiltratiecapaciteit een stationaire waarde van 25mm/dag. De infiltratiecapaciteit is echter sterk afhankelijk van de bodemverzadiging als gevolg van neerslag (De Klein, et al., 2013). De tweede mogelijkheid is dat instellingen van bergings- en afvoercoëfficiënten in de bodem de oorzaak zijn van het onderschatten van afvoerpieken. Wanneer het bergings- en afvoerproces sneller plaatsvindt is de verwachting dat afvoerpieken beter worden gesimuleerd. Een derde mogelijke oorzaak van het onderschatten van afvoerpieken is dat de stedelijke afvoer niet is meegenomen. Door de onbetrouwbare overstortmetingen en de resultaten van de optimalisatiestudie van Tauw is de keuze gemaakt om overstorten buiten beschouwing te laten (4.2.1). Er kan echter niet ontkend worden dat de overstorten mogelijk van invloed zijn op het beschrijven van afvoerpieken.

6 Invulling stochastenmethode

In de theoretische beschrijving is duidelijk gemaakt dat de stochastenmethode wordt gekenmerkt door het voorafgaand maken van aannamen en keuzes (1.2.1). Dit hoofdstuk vormt een beschrijving over de aannamen en keuzes die voor dit onderzoek zijn gemaakt. De aannamen en keuzes hebben allereerst betrekking op de afweging over welke stochasten er voor dit onderzoek zijn meegenomen. Daarnaast is beschreven welke kansverdeling per stochast is toegepast en hoe is omgegaan met afhankelijkheden tussen stochasten. Voor de resultaten van de stochastenberekeningen wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

6.1 Stochasten

De stochasten en bijbehorende toestanden die worden gekozen bepalen de mate van nauwkeurigheid over de uitspraken die gedaan kunnen worden over de modelresultaten. Voor dit onderzoek hebben de stochastenberekeningen als doel een indruk te krijgen over de toepasbaarheid van de methode voor het voorspellen van natte situaties met een herhalingstijd van 10 tot 100 jaar. De volgende stochasten zijn voor dit onderzoek meegenomen.

1. Seizoensgebondenheid
2. Neerslagvolume
3. Neerslagpatroon
4. Initiële verzadigingsgraad bodem

Aanvullend op de bovenstaande stochasten is ook de neerslagduur meegenomen. De neerslagduur is voor dit onderzoek niet als stochast gekozen, omdat er geen directe kans van voorkomen aan gekoppeld is. De kansverdeling voor de neerslagduur is verwerkt in de toestanden voor het neerslagvolume en de neerslagpatronen. In paragraaf 6.2 is een beschrijving gegeven over hoe voor dit onderzoek is omgegaan met de neerslagduur. Ook is onderzocht of het neerslagvolumestochast als gevolg van ruimtelijke neerslagspreiding gecorrigeerd dient te worden (6.3). De kansverdeling van het neerslagvolumestochast is namelijk gebaseerd op een 100- jarige meetreeks bij KNMI- meetstation De Bilt. De omvang van extremen neerslagvolumes in De Bilt is mogelijk anders dan in het studiegebied. Daarnaast is het onwaarschijnlijk dat het neerslagvolume over het gehele studiegebied gelijk is. In paragraaf 6.3 is hierover een beschrijving gegeven.

Voor dit onderzoek zijn er ook enkele mogelijke stochasten buiten beschouwing gelaten. De initiële begroeiingsconditie in de watergangen en het falen van stuwten zijn hier een voorbeeld van. De invloed van beide stochasten kunnen het toepassen van een hydrologisch model beperkt worden vastgesteld. Ook is het expliciet meenemen van de Maas als stochast buiten beschouwing gelaten. De invloed van de Maas op de grondwaterstand wordt reeds meegenomen in de initiële verzadigingsgraad van de bodem. De invloed van de waterstand van de Maas op het lozen van overtollig water vanuit het studiegebied is voor dit onderzoek niet meegenomen.

6.1.1 Seizoensgebondenheid

Bij de stochastenberekeningen is rekening gehouden met de variërende hydrologische en meteorologische omstandigheden tussen de verschillende seizoenen. Neerslagstatistiek laat zien dat

neerslagintensiteiten en –volumes variëren per jaargetijde (Smits, et al., 2004). Daarnaast is de verzadigingsgraad van de bodem in de zomerperiode vaak kleiner dan in de winterperiode. Voor dit onderzoek zijn er twee seizoenen toegepast, namelijk het groeiseizoen (maart-oktober) en de winter (november-februari). Omdat het groeiseizoen een periode van acht maanden inneemt en de winter vier, is de bijbehorende kansverdeling 2/3 om 1/3.

6.1.2 Neerslagvolume

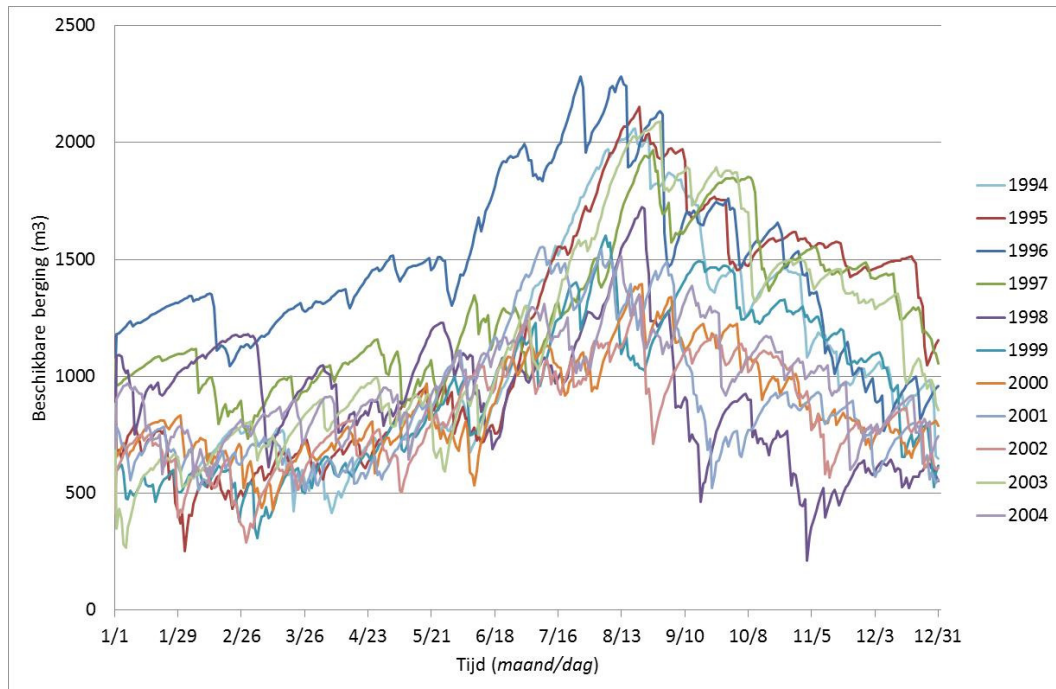
HKV en het KNMI hebben op basis van extreme neerslagstatistiek voor zowel het groeiseizoen als het winterseizoen kansverdelingen gemaakt voor de neerslagvolumes (Smits, et al., 2004). De kansverdelingen verschillen per neerslagduur en per seizoen. Het aantal neerslagvolumes dat tijdens de stochastische berekening kan worden meegenomen is onbeperkt. Over het algemeen wordt een discretisatie toegepast met stappen van 10mm. Deze discretisatie is ook toegepast voor dit onderzoek. Omdat de kansverdeling van de neerslagvolumes afhankelijk is van de neerslagduur is de toegepaste discretisatie met bijbehorende kansverdeling na het kiezen van de maatgevende neerslagduren gegeven (6.2).

6.1.3 Neerslagpatroon

HKV en het KNMI hebben op basis van extreme neerslagstatistiek zeven neerslagpatronen samengesteld (Smits, et al., 2004). De patronen bestaan uit gelijkmatig tot piekvormige neerslagverdelingen. De neerslag- en kansverdeling van de patronen is per seizoen en per neerslagduur verschillend. De patronen variëren niet per neerslagvolume. De neerslagpatronen met bijbehorende kansverdeling zijn daarom gegeven nadat de maatgevende neerslagduur is bepaald (6.2). Voor een toelichting over hoe de neerslagpatronen op basis van extreme neerslagstatistiek zijn samengesteld wordt verwezen naar BIJLAGE IV.

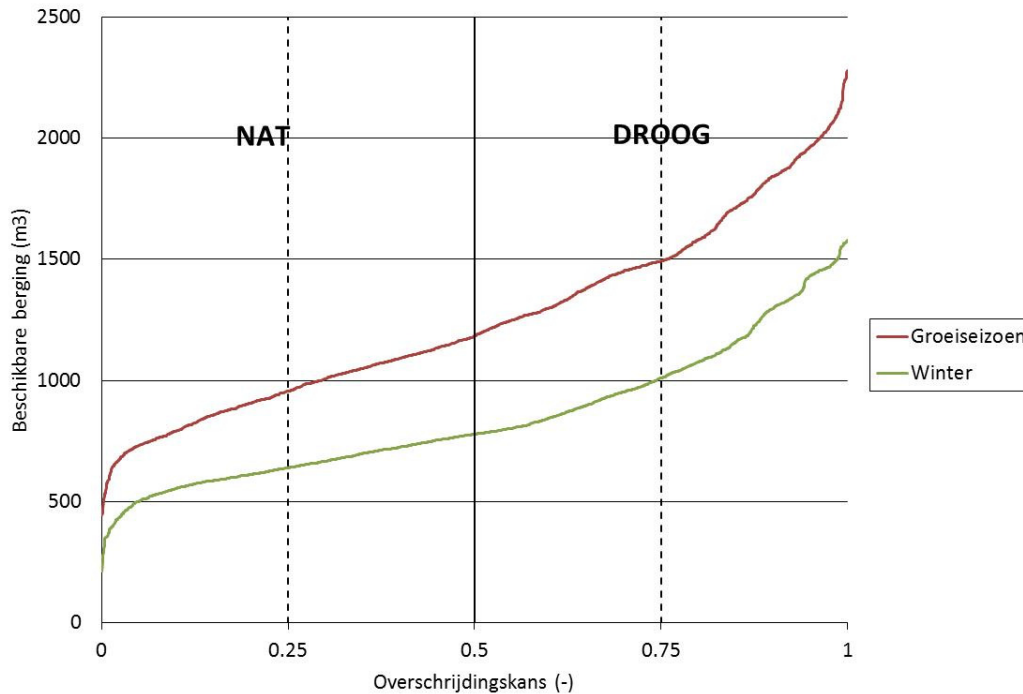
6.1.4 Initiële verzadigingsgraad bodem

De verzadigingsgraad van de bodem kan bij het starten van een neerslaggebeurtenis van grote invloed zijn op de afvoer door de watergangen. Bij een initieel grote verzadigingsgraad (natte conditie) is de bodem in beperkte mate in staat water te bergen. Hierdoor is het waarschijnlijk dat bij een initieel grote verzadigingsgraad grotere afvoeren optreden. Voor dit onderzoek is per seizoen een droge en natte initiële conditie gedefinieerd. Bij het definiëren van de initiële condities is de keuze gemaakt om niet een te natte initiële conditie toe te passen. Dit omdat desbetreffende condities met grote waarschijnlijkheid veroorzaakt worden door een neerslaggebeurtenis en er dus sprake is van afhankelijkheid met de neerslag. De verzadigingstoestanden zijn gedefinieerd door een 11- jarige modelsimulatie uit te voeren met het verbeterde model (1994-2004). Het model simuleert elke dag de beschikbare berging in de bodem van het gehele studiegebied. De gesimuleerde bergingstoestand is zodoende een gebiedsdekkende waarde die de beschikbare berging in de bodem tussen maaiveld en één meter onder maaiveld aanduidt. In Figuur 6-1 is een indruk gegeven over het verloop van de jaarlijkse bergingstoestand. De figuur maakt duidelijk dat de bergingscapaciteit in de zomer over het algemeen groter is. Deze eigenschap kan worden verklaard door de grotere mate aan verdamping gedurende de zomer.



Figuur 6-1: Verloop bergingstoestand per jaar in m³

Het bepalen van lage en hoge initiële condities is gedaan door gebruik te maken van de overschrijdingskansgrafiek van de beschikbare berging (Figuur 6-2). De overschrijdingskansgrafiek is zowel voor het groeiseizoen als de winter gemaakt. Wanneer de overschrijdingskans gelijk is aan 0,2 betekent dit dat er 20% kans is dat de beschikbare berging in de bodem kleiner is. De termen “DROOG” en “NAT” duiden op de discretisaties die behoren tot de initiële condities. De discretisaties hebben, door de aanname dat lage en hoge bergingstoestanden onafhankelijk zijn van de neerslag, een gelijke kans van voorkomen, namelijk 0,5.



Figuur 6-2: Overschrijdingskansen voor de beschikbare berging in de bodem

Voor de droge en natte bergingstoestand is het midden genomen van de discretisaties (dus overschrijdingskansen van 0,25 en 0,75). De bijbehorende bergingstoestanden laten zien dat de beschikbare berging tussen het groeiseizoen en de winter ongeveer 50% verschilt (Tabel 6-1). De bergingstoestanden geven echter wel aan dat het verschil tussen een natte beginconditie in het groeiseizoen en een droge beginconditie in de winter klein is.

Tabel 6-1: Bergingstoestanden voor groeiseizoen en winter (m³)

	Veel beschikbare berging	Weinig beschikbare berging
Winter	1012	640
Groeiseizoen	1493	956

6.2 Neerslagduur

De kenmerkende neerslagduur voor het beschrijven van hoge afvoeren is seizoensgebonden. Het groeiseizoen wordt meestal gekenmerkt door kortdurende intensieve neerslaggebeurtenissen, terwijl wintergebeurtenissen vaak gelijkmatig over meerdere dagen zijn verdeeld (Smits, et al., 2004), (Versteeg, 2013). HKV en het KNMI hebben op basis van extreme neerslagstatistiek neerslagduren samengesteld, die variëren van enkele uren tot negen dagen. Bij dit onderzoek is de keuze gemaakt om per seizoen één neerslagduur door te rekenen. De gekozen neerslagduur is opgevat als de maatgevende neerslagduur. De reden dat per seizoen niet meerdere duran zijn doorgerekend is omdat de maatgevende neerslagduur vaak wordt bepaald door gebiedskenmerken. Het toepassen van meerdere duran heeft daarnaast de verwachting dat berekeningen worden uitgevoerd die voor dit onderzoek weinig toegevoegde waarde hebben. Een belangrijk kenmerk dat van invloed is op de maatgevende neerslagduur is de mate van hoogteverschillen en landgebruik. Een gebied met veel reliëf en een relatief

groot verhard oppervlakte is vaak gevoelig voor korte neerslagduren (<24uur). In het studiegebied is zowel de mate van reliëf als de omvang van het verharde oppervlakte beperkt. Daarom zijn neerslagduren korter dan een dag voor dit onderzoek niet beschouwd. Neerslagduren langer dan een dag zijn niet bij voorbaat uitgesloten en daarom verder onderzocht. Het gaat hierbij om neerslagduren van één, twee, vier en negen dagen.

Zoals eerder aangegeven is per seizoen één neerslagduur gekozen. De maatgevende neerslagduur is bepaald door per seizoen enkele gebeurtenissen te simuleren met het verbeterde model. Dit is gedaan voor neerslagduren van één, twee, vier en negen dagen. De neerslagduur waarvan de bijbehorende gebeurtenissen de grootste afvoeren simuleren is opgevat als de maatgevende neerslagduur. De gesimuleerde gebeurtenissen hebben allemaal een neerslagvolume met een gelijke kans, namelijk eens in de 25 jaar. Ook is de keuze gemaakt om de berekening uit te voeren met een initieel natte conditie voor de bodem. De reden om een redelijk extreem neerslagvolume en een natte conditie te kiezen is omdat deze omstandigheden met zekerheid resulteren in (redelijk) hoge afvoeren. Bij het onderzoeken welke neerslagduur per seizoen maatgevend is, is per duur gebruik gemaakt van zowel een gelijkmatig verdeeld neerslagpatroon (patroon “UNIFORM”) als van een piekvormig neerslagpatroon (patroon “HOOG”). Hiermee worden acht neerslaggebeurtenissen verkregen die zijn gebruikt voor het bepalen van de maatgevende neerslagduur (Tabel 6-2).

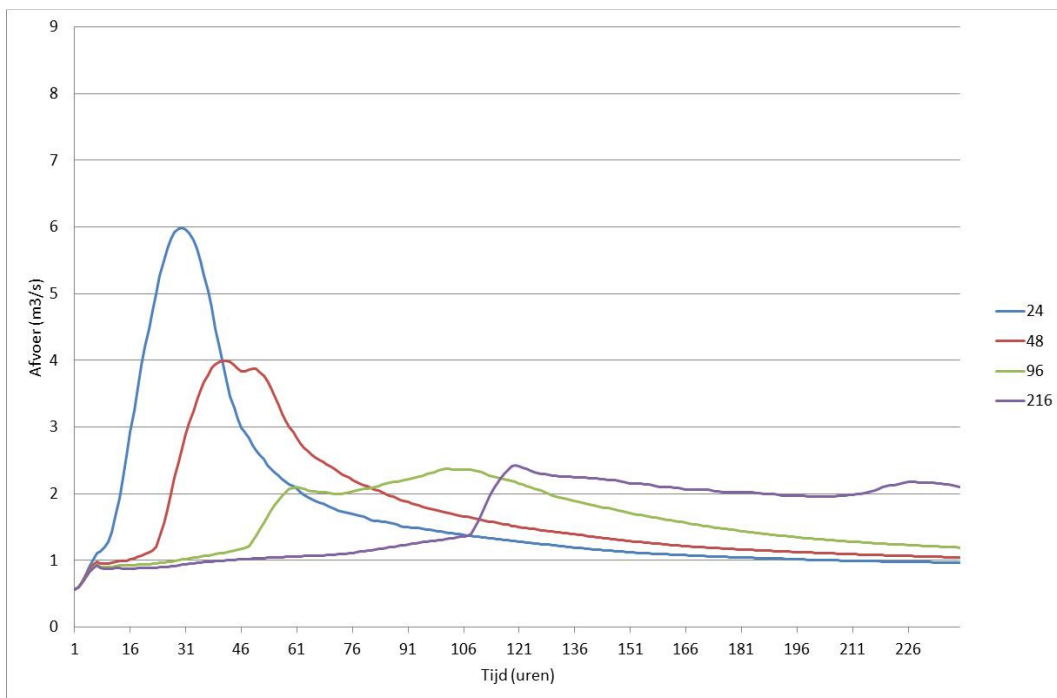
Tabel 6-2: Toegepaste gebeurtenissen met bijbehorende toestanden ten aanzien van bepalen maatgevende neerslagduur (kansen neerslagpatroon tussen haakjes)

	Neerslagduur	Neerslagvolume in mm met kans van 0,04	Neerslagpatroon
Winter	24	42	Uniform (0,184) Hoog (0,152)
	48	55	Uniform (0,084) Hoog (0,144)
	96	72	Uniform (0,116) Hoog (0,146)
	216	99	Uniform (0,184) Hoog (0,133)
Groei seizoen	24	62	Uniform (0,089) Hoog (0,169)
	48	74	Uniform (0,085) Hoog (0,152)
	96	89	Uniform (0,094) Hoog (0,146)
	216	118	Uniform (0,127) Hoog (0,142)

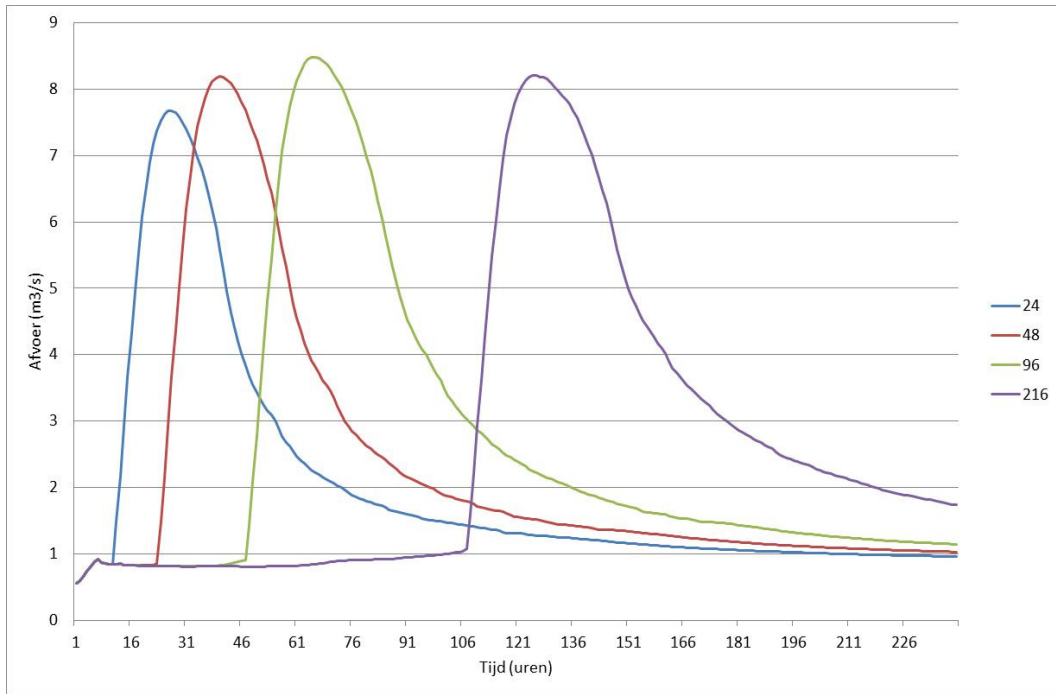
Bij het doorrekenen is een vaste aanvoerhoeveelheid vanaf Vredepaal aangenomen. Daarnaast is een constant effluentvolume afkomstig van de RWZI aangehouden. Het toepassen van constante hoeveelheden betekent dat de invloed van de aanvoerhoeveelheid en RWZI beperkt is meegenomen. Dit is gedaan omdat onvoldoende bekend is over hoe beiden reageren op grote neerslagvolumes. De effluentreeks van de RWZI gaat bijvoorbeeld uit van een effluentvolume van 40.000m³/dag bij een

neerslagetmaalsom van 15mm of groter (4.2.1). Dit betekent dat bij een negendaagse neerslaggebeurtenis (bijna) elke dag 40.000m^3 op het oppervlaktewater wordt geloosd, terwijl bij een neerslaggebeurtenis van een dag, dat een veel grotere neerslagintensiteit heeft, slechts op één dag een desbetreffend volume wordt geloosd. In werkelijkheid is het volume op die ene dag veel groter en/of dit volume is over meerdere dagen verspreid. De effluentreeks houdt echter geen rekening met dergelijke verbanden, waardoor bij kortdurende neerslaggebeurtenissen de invloed van de RWZI niet evenredig tot uiting komt met de langdurende gebeurtenissen. Om deze reden is er bij het bepalen van de maatgevende neerslagduur voor gekozen een constante hoeveelheid voor de RWZI toe te passen.

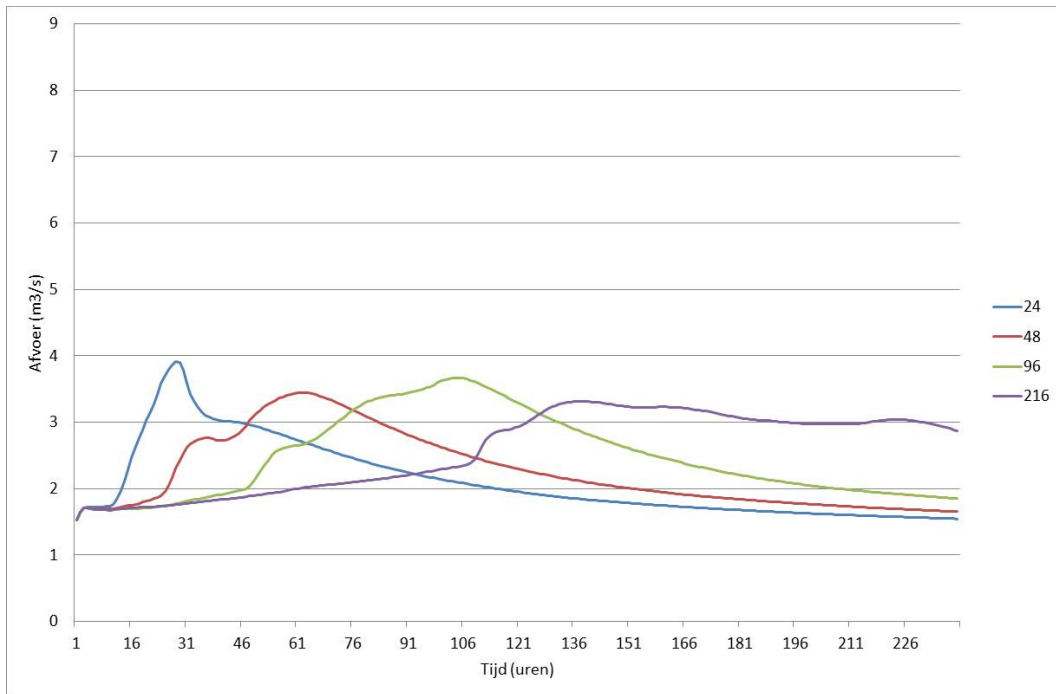
De resultaten van de berekeningen zijn geanalyseerd bij beide afvoermeetlocaties. In Figuur 6-3 tot en met Figuur 6-6 zijn de resultaten duidelijk gemaakt. Het gaat hierbij om de gesimuleerde afvoeren bij meetlocatie De Smakt. De resultaten bij meetlocatie Venrayse Broek hebben dezelfde kenmerken. Voor deze figuren wordt verwezen naar BIJLAGE IV.



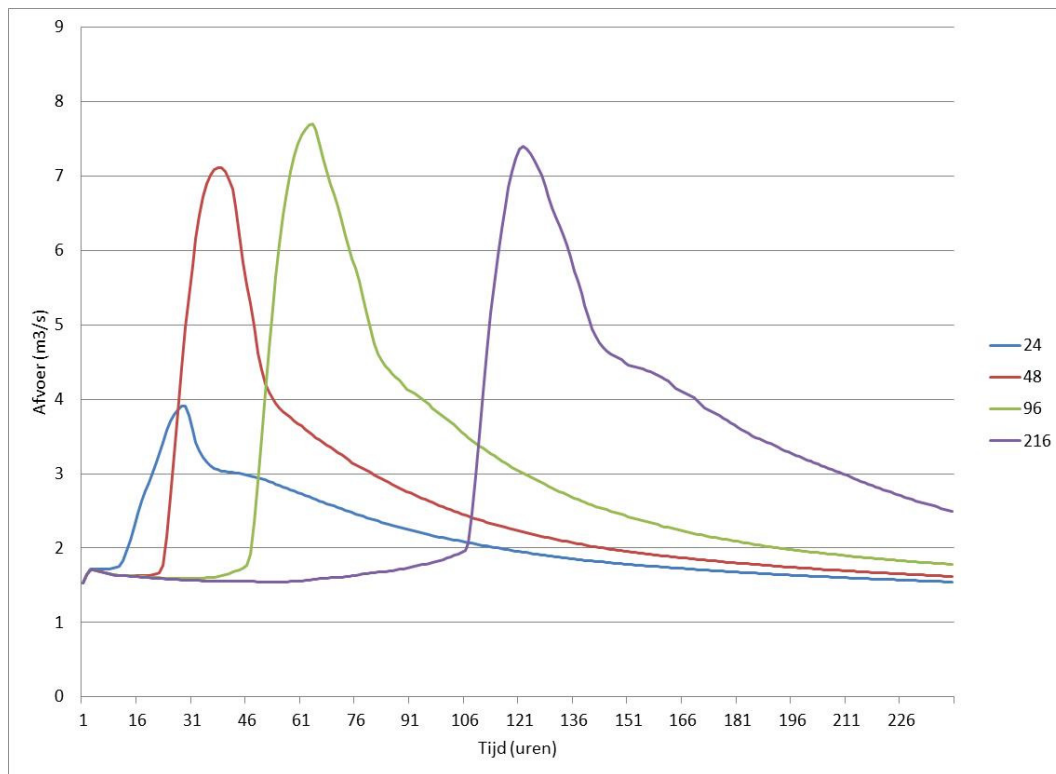
Figuur 6-3: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen met neerslagpatroon "UNIFORM"



Figuur 6-4: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen met neerslagpatroon “HOOG”



Figuur 6-5: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter met neerslagpatroon “UNIFORM”



Figuur 6-6: Gesimuleerde afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter met neerslagpatroon “HOOG”

De simulaties voor zowel het groeiseizoen als de winter laten zien dat het gesimuleerde watersysteem vooral gevoelig is voor gepiekte neerslaggebeurtenissen. In het groeiseizoen wordt dit waarschijnlijk veroorzaakt door het overschrijden van de infiltratiecapaciteit, terwijl het in de winter waarschijnlijk het gevolg is van bodemverzadiging (De Klein, et al., 2013), (Massop, et al., 2012).

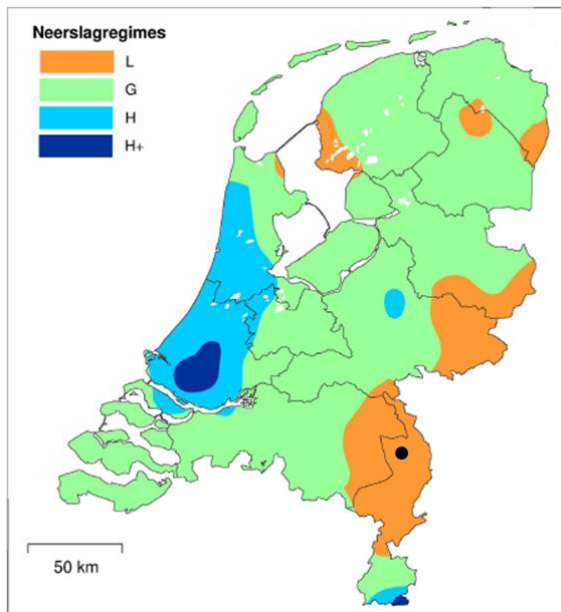
Wanneer het groeiseizoen nader wordt belicht is het duidelijk dat bij een gepiekt neerslagpatroon, ongeacht de neerslagduur, een grote afvoer wordt gesimuleerd. Bij een gelijkmatig neerslagverdeling komt de gevoeligheid van het watersysteem alleen tot uiting voor een korte neerslagduur. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de grotere neerslagintensiteit van de korte neerslagduur. Omdat het studiegebied bij een neerslagduur van 24 uur zowel gevoelig is voor gepiekte als gelijkmatig verdeelde neerslaggebeurtenissen is voor het groeiseizoen gekozen voor een maatgevende neerslagduur van 24 uur. De simulaties van de winterperiode maken duidelijk dat bij een gepiekt neerslagpatroon grotere afvoeren worden gesimuleerd. Bij gelijkmatig verdeelde neerslaggebeurtenissen komt deze gevoeligheid voor geen enkele duur specifiek tot uiting. Omdat bij een uniform neerslagpatroon de gesimuleerde afvoer duidelijk lager is (uitgezonderd een duur van 24 uur) is de keuze voor de maatgevende neerslagduur tijdens de winter gebaseerd op de simulaties met een gepiekt neerslagpatroon. Bij een gepiekt neerslagpatroon is de gesimuleerde afvoer bij een neerslagduur van 96 uur het grootste (Figuur 6-6). Deze neerslagduur is dan ook gekozen als de maatgevende neerslagduur tijdens de winter.

6.3 Ruimtelijke spreiding neerslag

De kansverdeling van het neerslagvolumestochast per seizoen en per neerslagduur is gebaseerd op een 100- jarige neerslagreeks bij het KNMI- meetstation in De Bilt. Omdat De Bilt niet gelegen is in het studiegebied en omdat door de grootte van het studiegebied van 47km² mogelijk sprake is van ruimtelijke differentiatie van de neerslag, is het belangrijk te analyseren wat de invloed van deze factoren zijn op de maatgevende neerslagvolumes. De volgende vragen spelen hierbij een rol:

1. Zijn de maatgevende neerslagvolumes met bijbehorende kansverdeling voor De Bilt ook toepasbaar voor het studiegebied?
2. Wat is de invloed van de grootte van het studiegebied op de ruimtelijke differentiatie van de neerslag?

Buishand et al. (2009) heeft onderzocht in hoeverre de extreme neerslagstatistiek in De Bilt toepasbaar is in de rest van Nederland. Het onderzoek maakt duidelijk dat er in Nederland sprake is van neerslagspreiding. De neerslagregimes laten dit zien (Figuur 6-7).

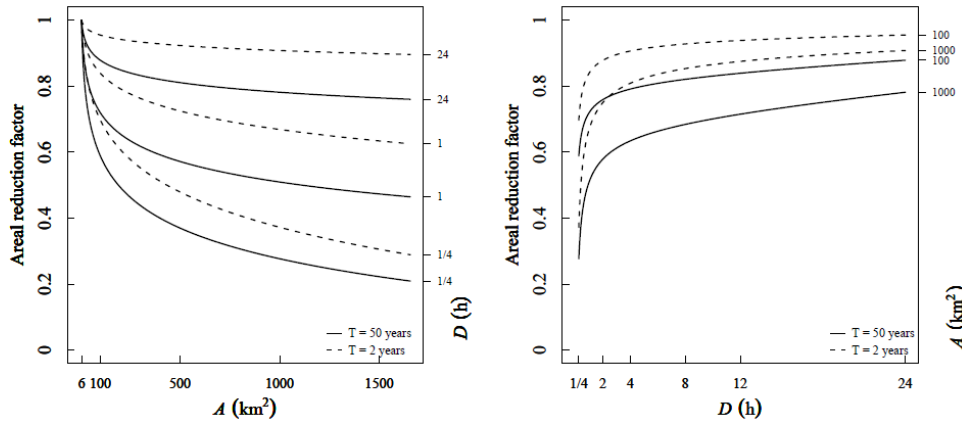


Figuur 6-7: Neerslagregimes met Venray als zwarte stip in de figuur opgenomen (Buishand, et al., 2009)

Het studiegebied bevindt zich in neerslagregime Laag (L). De Bilt is gelegen in het gemiddelde neerslagregime (G). De neerslagvolumes in neerslagregime L zijn gemiddeld 7% kleiner dan in neerslagregime G. Voor dit onderzoek is, ondanks het substantiële verschil, de keuze gemaakt om geen rekening te houden met de landelijke neerslagspreiding.

Aanvullend op de landelijke neerslagspreiding is ook onderzoek gedaan naar de mogelijke invloed van de ruimtelijke differentiatie van de neerslag in het studiegebied. De neerslaggebeurtenissen die worden doorgerekend zijn puntbelastingen. Dit betekent dat is aangenomen dat de omvang en het moment van plaatsvinden van de neerslaggebeurtenis in het gehele studiegebied gelijk is. Bij studiegebieden met een groot oppervlakte is dit een onwerkelijke situatie, met name voor gebeurtenissen met een kleine kans

van voorkomen en voor korte neerslagduren. Er zijn verschillende studies uitgevoerd die een beschrijving geven over de ruimtelijke differentiatie van neerslag (Overeen, 2009), (Witter, 1983), (Buishand & Velds, 1980). In deze studies is geconcludeerd dat in de winter bij een gebiedsgrootte kleiner dan 100km² geen rekening hoeft te worden gehouden met de ruimtelijke differentiatie. Het studiegebied van dit onderzoek heeft een grootte van ongeveer 47km². Dit betekent dat voor de wintergebeurtenissen geen neerslagcorrectie nodig is. Voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen is ook geen correctie toegepast (Figuur 6-8). De figuur maakt duidelijk dat voor een gebiedsgrootte van 47km² en een neerslagduur van een dag geen correctie nodig is.



Figuur 6-8: Richtlijnen voor toepassen correctiefactor tijdens het groeiseizoen (Overeen, 2009)

6.4 Stochastische berekeningen

Door het kiezen van een maatgevende neerslagduur en het analyseren van de ruimtelijke differentiatie is het mogelijk een kansverdeling te maken voor het neerslagvolume en -patroon. Tevens betekent dit dat het aantal neerslaggebeurtenissen voor de stochastische berekeningen bekend is.

6.4.1 Neerslagvolume

Voor zowel de winter als het groeiseizoen zijn neerslaggebeurtenissen met volumes van 30 tot en met 80mm doorgerekend. Daarnaast zijn voor de winter neerslaggebeurtenissen met een volume van 90mm gesimuleerd (Tabel 6-3). Voor het groeiseizoen zijn geen gebeurtenissen met een neerslagvolume van 90mm gesimuleerd. Dit volume heeft een zeer kleine kans van voorkomen, waardoor de bijbehorende gebeurtenissen weinig toegevoegde waarde hebben. De winterhoeveelheden zijn verdeeld over vier dagen, terwijl de hoeveelheden in het groeiseizoen daghoeveelheden zijn.

Tabel 6-3: Kans van optreden voor gediscrèteerde neerslagvolumes

Neerslagvolume (mm)	Groeiseizoen (24 uur)	Winter (96 uur)
30	0,633	1,417
40	0,430	0,887
50	0,132	0,327
60	0,044	0,123
70	0,016	0,048
80	0,011	0,019
90		0,013

De toegepaste discretisatie is vergeleken met de gemeten etmaalsommen bij meetlocatie Venray. De metingen bij het KNMI- station zijn sinds 1972 beschikbaar. Voor de winterhoeveelheden zijn vier achtereenvolgende dagen gesommeerd en vervolgens vergeleken met de gediscrètiseerde winterhoeveelheden. De vijf hoogst gemeten neerslaghoeveelheden in het groeiseizoen en de winter zijn als volgt:

Tabel 6-4: De vijf hoogst gemeten neerslagvolumes in periode 1972-2012 voor groeiseizoen (duur één dag) en winter (duur vier dagen)

	Groeiseizoen in mm	Winter in mm
1	58,5 (29-08-1996)	61,9 (15-11-2010)
2	44,9 (25-09-1988)	60,3 (30-01-1995)
3	43,3 (13-09-1989)	58,2 (29-11-1983)
4	41,0 (07-05-1999)	55,7 (27-11-2009)
5	40,6 (08-10-2009)	54,3 (09-02-1974)

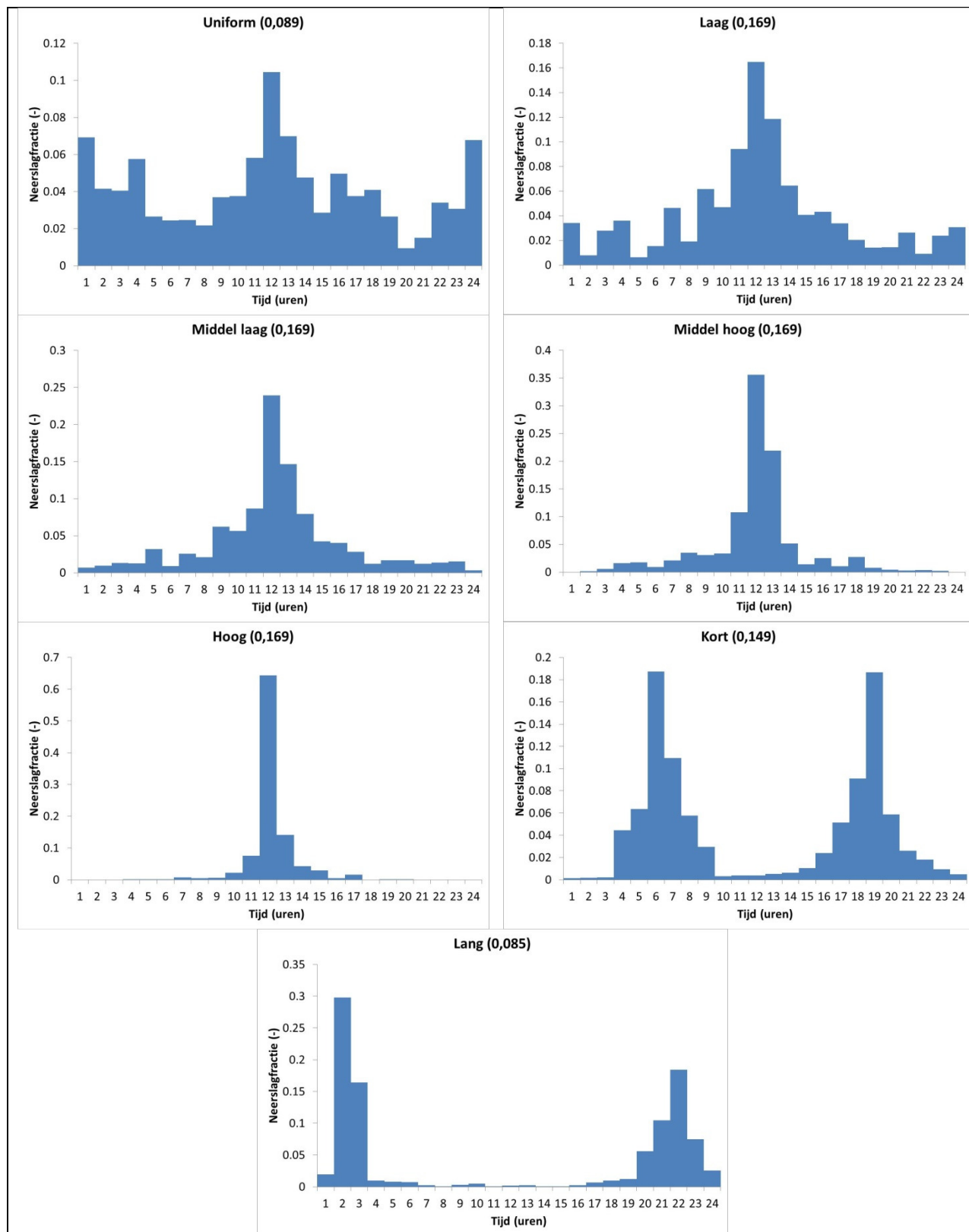
Wanneer de gemeten en gediscrètiseerde neerslaghoeveelheden worden vergeleken is het duidelijk dat de gediscrètiseerde neerslagvolumes groter zijn. Dit wordt grotendeels veroorzaakt doordat bij de gediscrètiseerde neerslagvolumes geen rekening is gehouden met de landelijke neerslagspreiding (6.3).

6.4.2 Neerslagpatroon

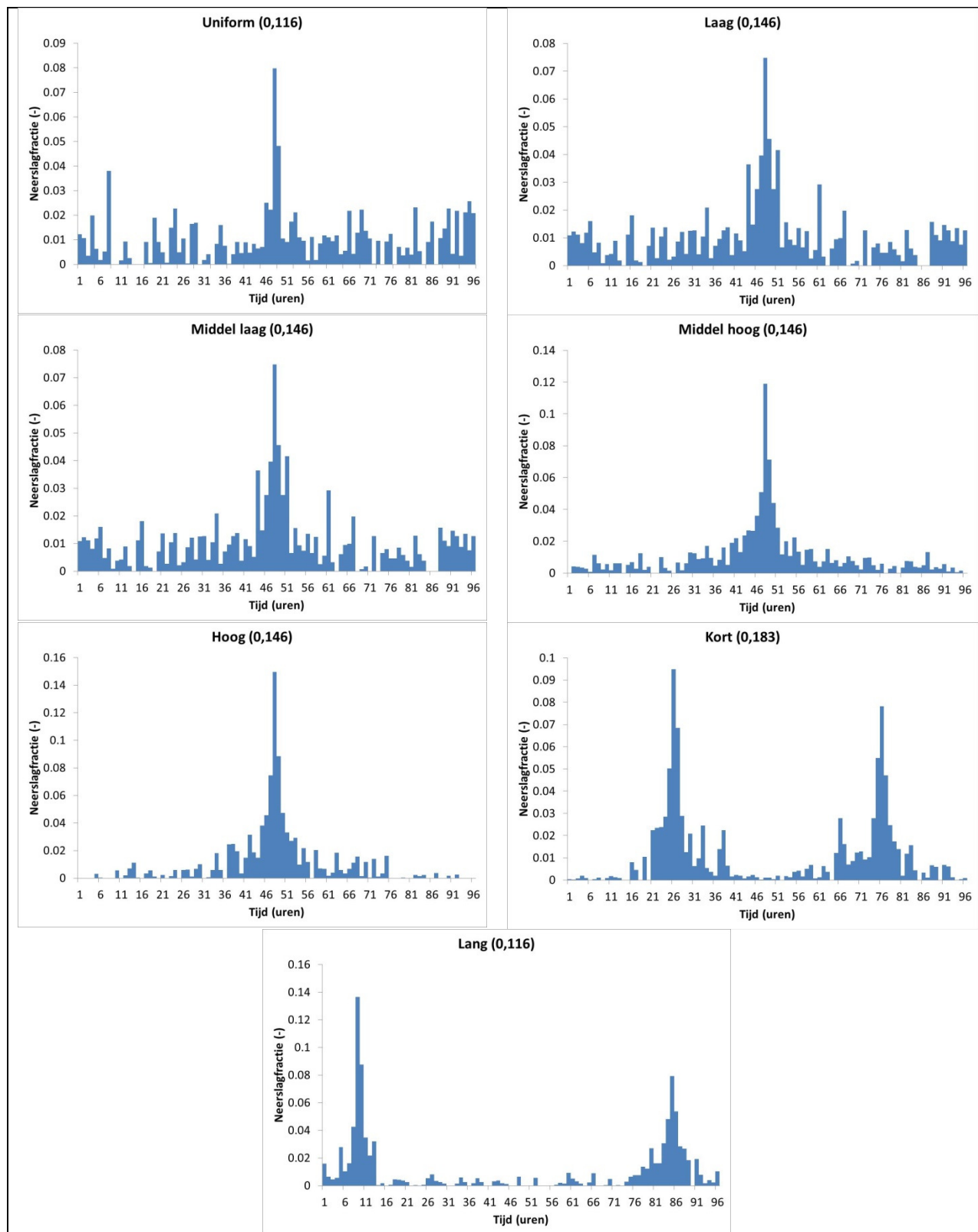
De kansverdeling en het verloop van de neerslagpatronen zijn in Figuur 6-9 en Figuur 6-10 duidelijk gemaakt.

6.4.3 Aantal neerslaggebeurtenissen stochasteberekeningen

Doordat het aantal toestanden per stochast is vastgesteld, is het aantal neerslaggebeurtenissen voor de stochasteberekening bekend. Ook de kansen van de gebeurtenissen zijn bekend. Voor het winterseizoen zijn er zeven neerslagvolumes toegekend. Elk volume is gecombineerd met zeven neerslagpatronen. Dit resulteert in 49 neerslaggebeurtenissen, die zowel kunnen voorkomen bij een grote als kleine initiële verzadigingsgraad van de bodem. Dit betekent dat er voor de winter 98 stochasteberekeningen zijn. Het groeiseizoen kent zes neerslagvolumes en zeven neerslagpatronen. Ook in dit seizoen is zowel een grote als kleine initiële verzadigingsgraad toegekend. Dit betekent dat er voor het groeiseizoen 84 stochasteberekeningen (6x7x2) zijn. In totaal betekent dit dat er 98+84 is 182 stochasteberekeningen zijn. De kenmerken en kansen van de gebeurtenissen zijn weergegeven in BIJLAGE V.



Figuur 6-9: Neerslagpatronen met bijbehorende kans voor het groeiseizoen (ééndaagse patronen)



Figuur 6-10: Neerslagpatronen met bijbehorende kans voor winterseizoen (vierdaagse patronen)

7 Resultaten stochasteberekening

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de stochasteberekening. De beschrijving is gericht op de tweede en derde onderzoeksvraag. Het hoofdstuk wordt afgesloten met het samenvatten van de belangrijkste bevindingen (7.4).

7.1 Vergelijking normen van wateroverlast metingen en stochastenmethode

Als onderdeel van dit onderzoek zijn op basis van de stochasteberekening de normen van wateroverlast gekwantificeerd. De normen van wateroverlast zijn gekwantificeerd voor afvoermeetlocaties De Smakt en Venrayse Broek (7.1.2). Om te beoordelen in hoeverre de normafvoeren realistisch zijn, is een vergelijking gemaakt met de normafvoeren gebaseerd op metingen (7.1.1).

7.1.1 Normafvoeren gebaseerd op metingen

Het bepalen van de normafvoeren op basis van metingen is gedaan door de kansverdelingsmethode van Gumbel toe te passen. De Gumbelmethode wordt vaak toegepast voor het statistisch verwerken van extreme afvoeren, waterstanden of windsnelheden. Aan de hand van de methode is het mogelijk om voorspellingen te doen over herhalingstijden. De frequentieverdeling van de Gumbelmethode ziet er als volgt uit:

$$F(x) = e^{-e^{\frac{(x-a)}{b}}} \quad [4]$$

Hierbij is x het jaarmaximum en a en b zijn constanten die afhankelijk zijn van het gemiddelde (μ) en de standaardafwijking (σ) van de jaarmaxima. De constanten zijn als volgt gedefinieerd:

$$a = \mu - 0,5772 \cdot b \quad [5]$$

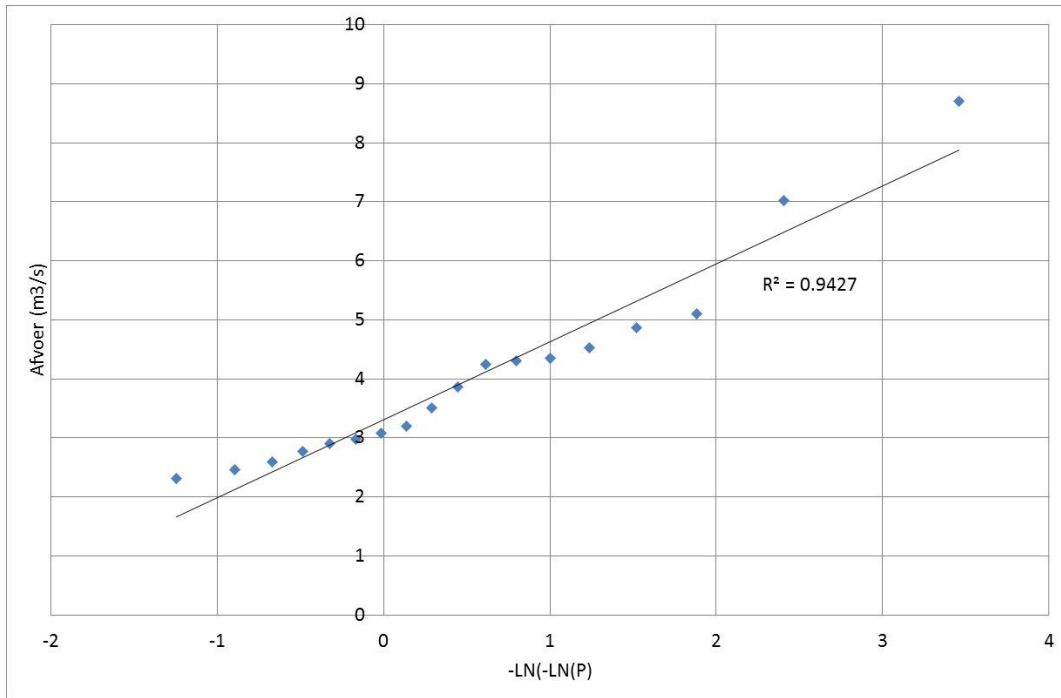
$$b = \frac{\sigma \cdot \sqrt{6}}{\pi} \quad [6]$$

Het aantal jaarmaxima bij de meetlocaties is beperkt. Dit wordt veroorzaakt doordat metingen pas sinds 1994 beschikbaar zijn en doordat de meetreeksen vele ontbrekende perioden kennen. Het aantal jaarmaxima voor meetlocaties De Smakt en Venrayse Broek is respectievelijk 18 en 16.

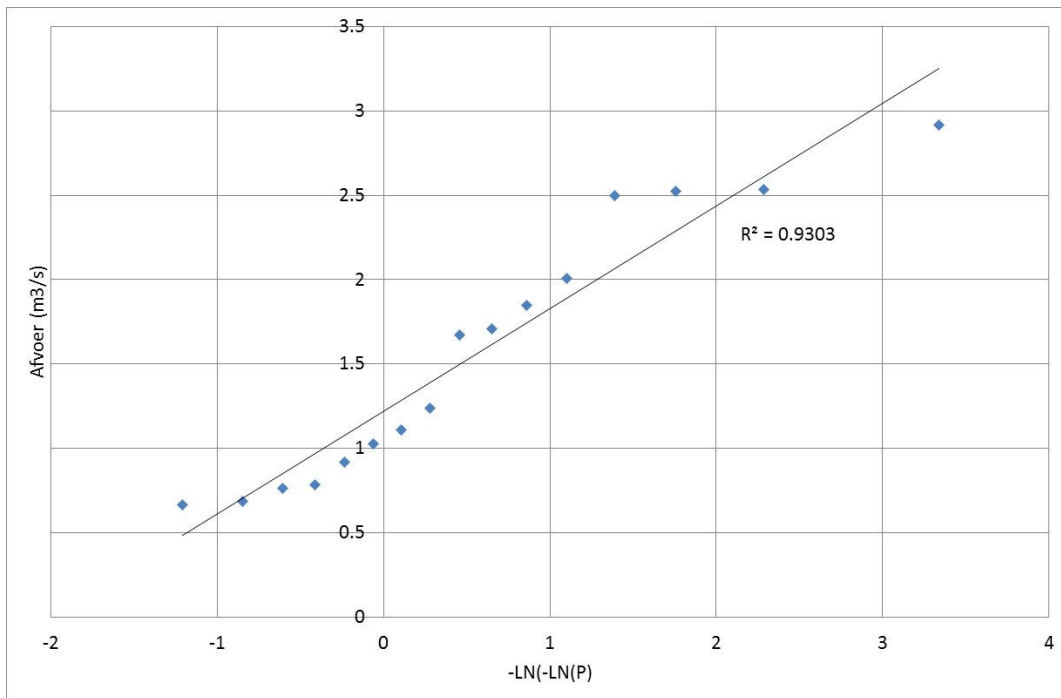
Voorspellingen over herhalingstijden zijn echter niet altijd geschikt om met de Gumbelmethode te doen. De geschiktheid van de Gumbelmethode is daarom getest door de Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) test toe te passen. De PPCC-test bepaalt of er op basis van de toegepaste kansverdelingsmethode sprake is van voldoende correlatie tussen de jaarmaxima (Stedinger, et al., 1992), (Heo, et al., 2008). Hiervoor dient allereerst een Gumbelplot gemaakt te worden (Figuur 7-1 en Figuur 7-2). De Gumbelplotten zijn gemaakt door middel van de plotposities van Gringorten. De plotpositie van Gringorten (P) is een vaak toegepaste methode om plotposities te beschrijven bij extremen. De bijbehorende formule is als volgt (Shaw, et al., 2010):

$$P = \frac{i - 0,44}{N + 0,12} \quad [7]$$

Hierbij is P de plotpositie van het jaarmaximum als een kanswaarde, i het rangnummer van het jaarmaximum (gesorteerd van klein naar groot, waarbij het kleinste jaarmaximum rangnummer één heeft) en N het aantal jaarmaxima.



Figuur 7-1: Gumbelplot De Smakt



Figuur 7-2: Gumbelplot Venrayse Broek

De geschiktheid van de Gumbelmethode wordt bepaald door verhouding tussen de minimaal benodigde correlatie (r_q) en de werkelijke correlatie (r). De werkelijke correlatie dient groter te zijn dan de minimaal benodigde correlatie. De minimaal benodigde correlatie is afhankelijk van het aantal waarnemingen (n) en het significantieniveau (q). Over het algemeen wordt een significantieniveau van 0,05 toegepast (Shaw, et al., 2010), (Stedinger, et al., 1992). Voor dit onderzoek is ook een significantieniveau van 0,05 aangehouden. Een significantieniveau betekent dat er sprake is van een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Bij een significantieniveau van 0,05 wordt de minimaal benodigde correlatie (r_q) beschreven door (Heo, et al., 2008):

$$\ln\left(\frac{1}{1-r_q}\right) = (2,54 - q^{0,146}) \cdot n^{0,152-0,00993-\ln(q)} \quad [8]$$

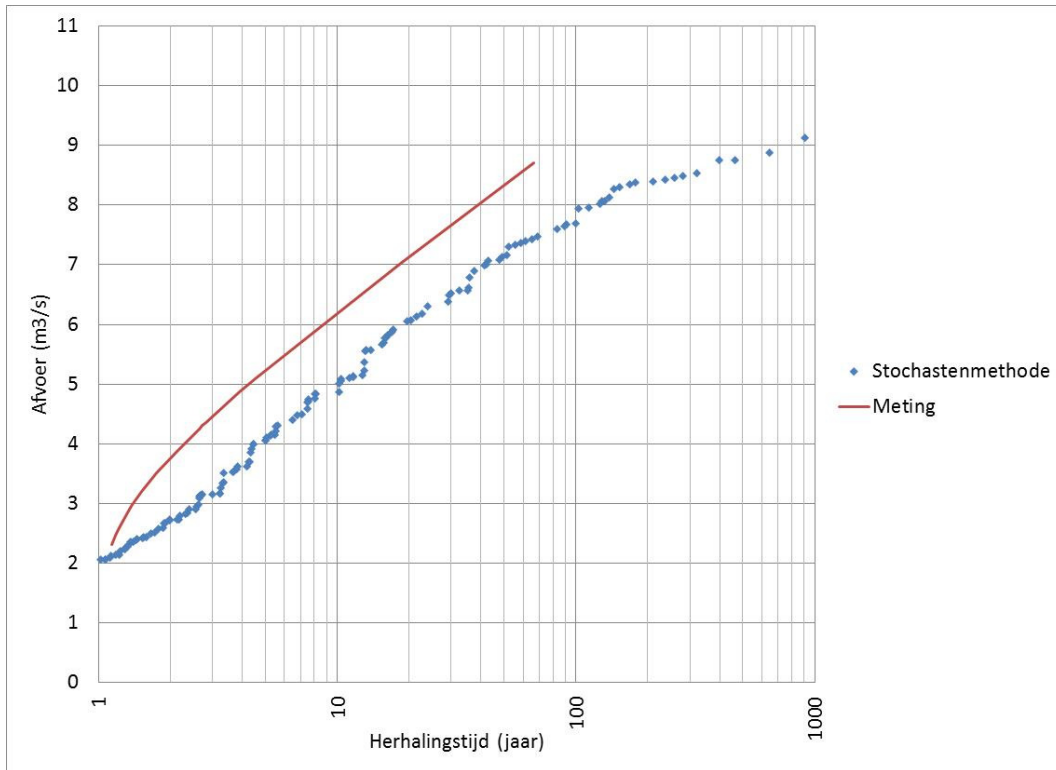
Voor De Smakt en Venrayse Broek dient de correlatie minimaal gelijk te zijn aan 0,959 en 0,957. De Gumbelplots laten zien dat de correlaties (r) gelijk zijn aan $\sqrt{0,943}$ en $\sqrt{0,930}$ (Figuur 7-1 en Figuur 7-2). Dit komt overeen met 0,971 voor De Smakt en 0,965 voor Venrayse Broek. Omdat de werkelijke correlaties (r) groter zijn dan de minimaal benodigde correlatie (r_q) is het mogelijk om op basis van de Gumbelverdeling voorspellingen te doen over de normafvoeren (Tabel 7-1).

Tabel 7-1: Normafvoeren (m^3/s) gebaseerd op metingen

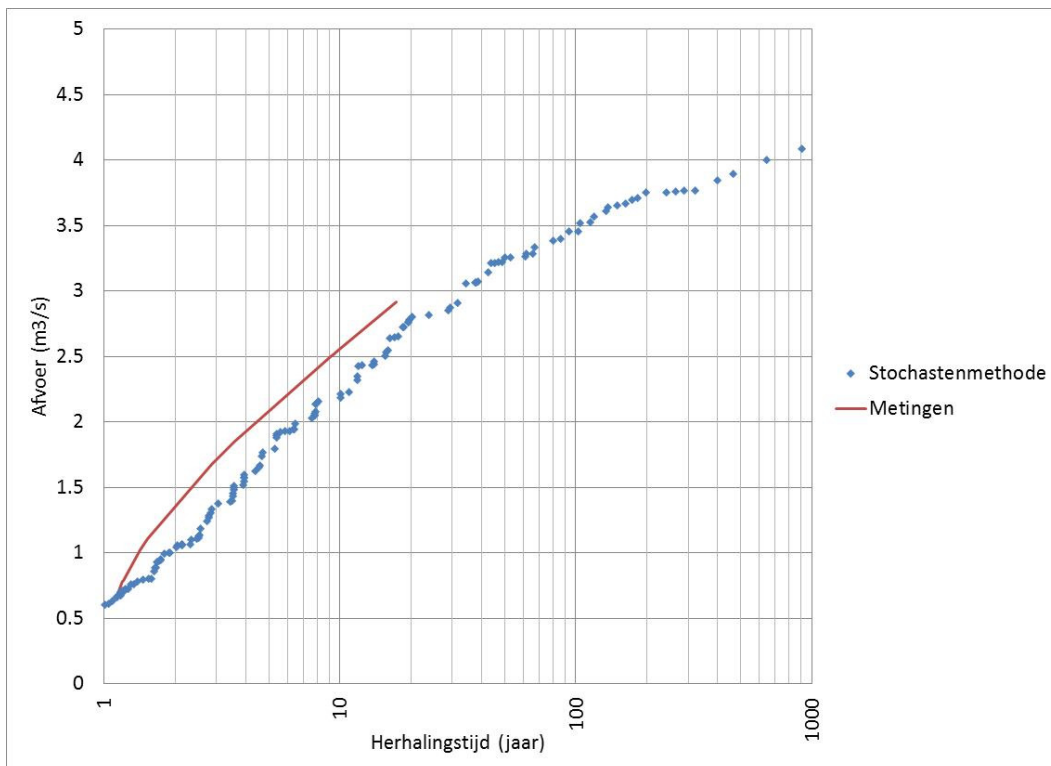
	De Smakt	Venrayse Broek
T=10	6,20	2,55
T=25	7,42	3,12
T=50	8,33	3,53
T=100	9,23	3,95

7.1.2 Normen van wateroverlast gebaseerd op stochasteberekening

Bij het kwantificeren van de normen van wateroverlast op basis van de stochasteberekening is per gebeurtenis de maximale afvoer gebruikt. Omdat de kans van voorkomen van elke gebeurtenis bekend is, is het mogelijk om voor beide afvoermeetlocaties een normoverschrijdingsgrafiek te maken (Figuur 7-3 en Figuur 7-4). De normoverschrijdingsgrafieken geven voor herhalingstijden van 1 tot 1000 jaar de normafvoeren weer. In de figuren zijn tevens de normoverschrijdingsgrafieken op basis van metingen weergegeven. Er dient voor de normoverschrijdingsgrafieken opgemerkt te worden dat voor de horizontale as, die op logaritmische schaal is weergegeven, een interval voor de herhalingstijd is gekozen dat varieert van 1-1000 jaar. Er zijn stochastische gebeurtenissen die niet binnen dit interval gelegen zijn. In totaal zijn er 33 gebeurtenissen waarvan de maximale afvoer een overschrijdingskans heeft van vaker dan eens per jaar en één gebeurtenis waarvan de maximale afvoer een overschrijdingskans heeft kleiner dan eens per 1000 jaar.



Figuur 7-3: Normeringoverschrijdingsgrafiek bij De Smakt (gebaseerd op zowel metingen als stochastenberekening)



Figuur 7-4: Normeringoverschrijdingsgrafiek bij Venrayse Broek (gebaseerd op zowel metingen als stochastenberekening)

De normafvoeren op basis van stochasteberekening zijn in Tabel 7-2 duidelijk gemaakt.

Tabel 7-2: Normafvoeren (m^3/s) gebaseerd op stochasteberekeningen

	De Smakt	Venrayse Broek
T=10	4,87	2,18
T=25	6,32	2,83
T=50	7,15	3,25
T=100	7,78	3,45

7.1.3 Vergelijking normen van wateroverlast

Wanneer de normafvoeren van de stochasteberekening worden vergeleken met die van de metingen is het duidelijk dat de normafvoeren gebaseerd op de stochasteberekening lager liggen (Figuur 7-3 en Figuur 7-4). Bij meetlocatie De Smakt is dit verschil zo'n 20%, terwijl bij Venrayse Broek de normafvoeren ongeveer 12% lager liggen. De variatie van deze procentuele verschillen is per herhalingstijd klein.

7.2 Vergelijking waargenomen en gesimuleerde gebeurtenissen

Naast het vergelijken van de normen van wateroverlast (7.1) is een vergelijking gemaakt tussen de waargenomen en gesimuleerde gebeurtenissen. Dit is gedaan door de hydrologische en meteorologische kenmerken van de waargenomen gebeurtenissen te vergelijken met de kenmerken van de gesimuleerde gebeurtenissen. Bij het bepalen van de meteorologische kenmerken is gebruik gemaakt van radargegevens, dit omdat de nauwkeurigheid van deze gegevens zowel in tijd als plaats groter is als de gegevens van meetstation Venray. Wanneer er geen radargegevens beschikbaar zijn, is gebruik gemaakt van de neerslagdaggegevens van KNMI- meetstation Venray.

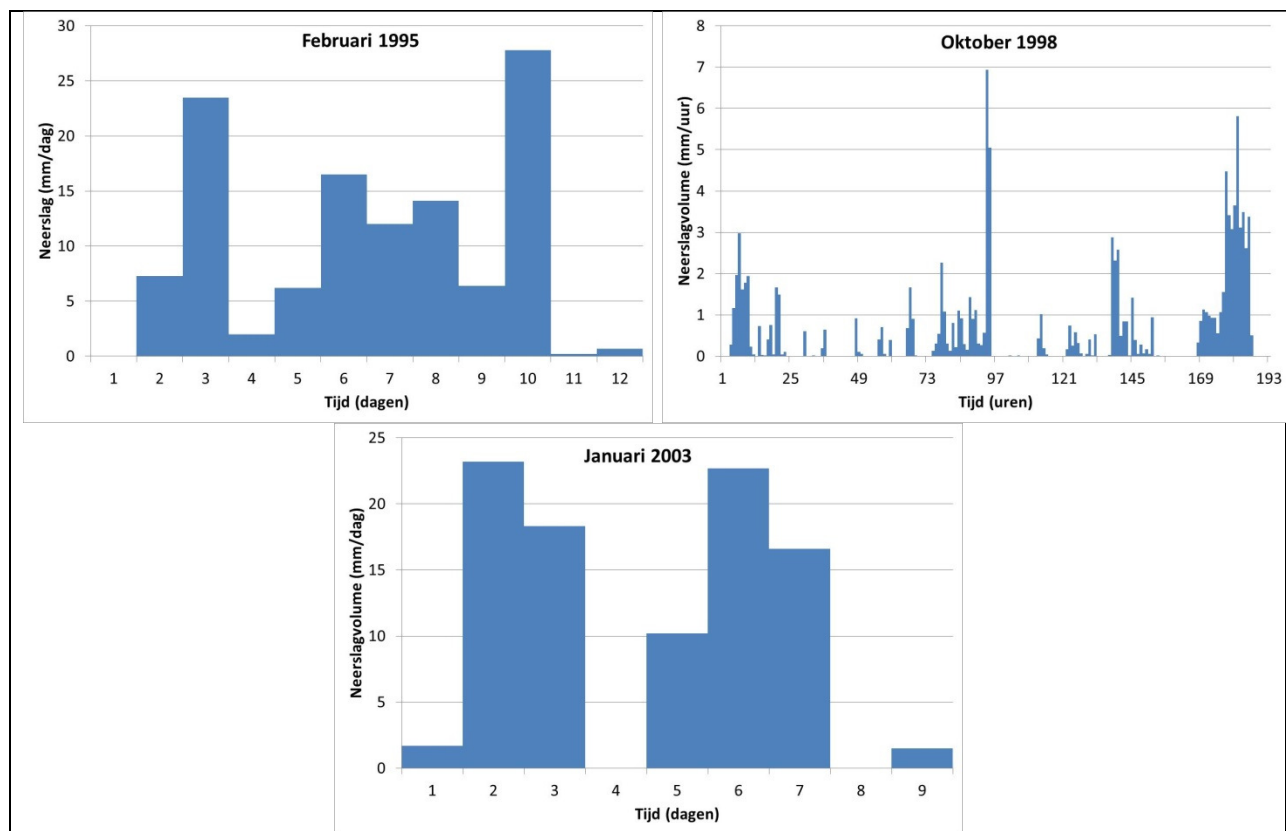
Omdat dit onderzoek een focus heeft op gebeurtenissen met een herhalingstijd van minimaal eens in de 10 jaar, zijn voor de vergelijking van waargenomen en gesimuleerde gebeurtenissen alleen de gebeurtenissen gebruikt waarvan de gemeten afvoer een herhalingstijd heeft van minimaal 10 jaar (bepaald op basis van de Gumbelverdeling in 7.1.1). Door de beperkte beschikbaarheid aan metingen betekent dit echter dat er slechts enkele waargenomen neerslaggebeurtenissen zijn geanalyseerd. Voor meetlocatie De Smakt gaat het om de gebeurtenissen in oktober 1998 en januari 2003. De gemeten afvoeren van deze gebeurtenissen hebben een herhalingstijd van respectievelijk 67 en 18 jaar (7.1.1). Voor de gebeurtenis in 2003 zijn geen radargegevens beschikbaar. Bij Venrayse Broek is in 1995 een afvoer gemeten met een herhalingstijd van eveneens 18 jaar (7.1.1). Door het ontbreken van radargegevens is ook voor deze gebeurtenis gebruik gemaakt van de gegevens van KNMI- meetstation Venray. Opvallend is dat de hoogst gemeten afvoerpiek bij De Smakt in 1998 in veel mindere mate is waargenomen bij meetlocatie Venrayse Broek. Bij Venrayse Broek heeft deze gebeurtenis een herhalingstijd van negen jaar.

De hydrologische en meteorologische kenmerken van neerslaggebeurtenissen maken duidelijk dat geen enkele gebeurtenis volledig tijdens het groeiseizoen heeft plaatsgevonden (Tabel 7-3). Alleen de gebeurtenis in 1998 heeft gedeeltelijk tijdens het groeiseizoen plaatsgevonden, namelijk op 31 oktober en 1 november. Omdat de afvoerpiek vooral het gevolg is van neerslag in oktober, is de gebeurtenis opgevat als een gebeurtenis gedurende het groeiseizoen. De neerslagverdelingen van de gebeurtenissen

laten zien dat geen enkele waargenomen gebeurtenis een gepiekt patroon heeft (Tabel 7-3 en Figuur 7-5).

Tabel 7-3: Kenmerken neerslaggebeurtenissen

	Januari 1995	Oktober 1998	Januari 2003
Gemeten afvoer (m ³ /s)	2,92	8,70	7,02
Afvoermeetlocatie (-)	Venrayse Broek	De Smakt	Venrayse Broek
Seizoen (-)	Winter	Groeiseizoen	Winter
Neerslagvolume (mm)	116	43	91
Neerslagpatroon (-)	Lang	Laag	Kort
Neerslagduur (dagen)	9	1	6



Figuur 7-5: Neerslagverdeling waargenomen gebeurtenissen

7.2.1 Neerslaggebeurtenis januari 1995

In de winter van 1995 is bij Venrayse Broek een afvoer gemeten van 2,92m³/s. Een desbetreffende afvoer heeft een herhalingsjijd van ongeveer 18 jaar (7.1). De gemeten afvoer wordt veroorzaakt door een negendaagse neerslaggebeurtenis. Bij de stochastenberekening zijn geen negendaagse neerslaggebeurtenissen gesimuleerd, waardoor het niet mogelijk is om een één-op-één vergelijking te maken met een gesimuleerde gebeurtenis. Om deze reden is de keuze gemaakt om de waargenomen gebeurtenis te benaderen door het gesimuleerde vierdaagse neerslagvolume van 90mm te gebruiken. Dit volume heeft een overeenkomstige kans als een neerslagvolume van 116mm gedurende negen

dagen. Bij het bepalen van de maatgevende neerslagduur is echter wel vastgesteld dat neerslagduren van meer dan vier dagen bij gelijkmatige verdeelde patronen resulteren in lagere afvoeren (6.2). Het verschil tussen vier en negen dagen is ongeveer 10%. De initiële bodemconditie bij het ingaan van de negendaagse neerslaggebeurtenis is vergelijkbaar met een natte begintoestand gedurende de winter. Deze bevinding is gebaseerd op het verloop van de bergingstoestanden in de periode 1994-2004 (Figuur 6-1).

Een neerslagvolume van 90mm, patroon "LANG" en een initieel natte bodem geeft volgens de stochastische berekening een afvoer $2,44\text{m}^3/\text{s}$. Deze hoeveelheid is ongeveer 20% lager dan de gemeten afvoer. Dit wordt grotendeels veroorzaakt doordat afvoerpieken bij Venrayse Broek met ongeveer 20% worden onderschat.

7.2.2 Neerslaggebeurtenis oktober 1998

Op 1 november 1998 is bij meetlocatie De Smakt een afvoer gemeten van $8,70\text{m}^3/\text{s}$. Een desbetreffende afvoer heeft een herhalingstijd van ongeveer 67 jaar (7.1). De afvoer is het gevolg van een ééndaagse neerslaggebeurtenis met een volume van 43mm (Tabel 7-3). Voorafgaand aan deze gebeurtenis is zeer veel neerslag gevallen. Deze bevinding is gebaseerd op de verzadigde bodem bij het ingaan van de gebeurtenis (Figuur 6-1). De beschikbare berging in de bodem aan het begin van de neerslaggebeurtenis was ongeveer 450m^3 . De kans dat een desbetreffende bergingshoeveelheid tijdens de winter wordt overschreden is ongeveer 0,01. Voor het groeiseizoen is de overschrijdingskans zelfs bijna verwaarloosbaar (Figuur 6-2). Door de zeer natte beginconditie is het niet mogelijk de neerslaggebeurtenis in 1998 te herleiden naar een gesimuleerde neerslaggebeurtenis.

Zoals eerder vermeld is de hoge afvoer alleen waargenomen bij meetlocatie De Smakt en niet bij Venrayse Broek. Dit wordt mogelijk verklaard doordat de bodemverzadiging nabij meetlocatie Venrayse Broek veel minder was. De bergingstoestanden van de bodem (Figuur 6-1) zijn namelijk gebiedsdekkend en niet locatiespecifiek. Het is echter niet mogelijk te bepalen of de ruimtelijke differentiatie van bodemverzadiging de oorzaak is van het grote verschil in gemeten afvoer.

7.2.3 Neerslaggebeurtenis januari 2003

In januari 2003 is bij meetlocatie De Smakt een afvoer gemeten van $7,02\text{m}^3/\text{s}$. Volgens de berekeningen heeft een desbetreffende afvoer een herhalingstijd van ongeveer 18 jaar (7.1). Bij de stochastische berekening zijn geen zesdaagse neerslaggebeurtenissen gesimuleerd, waardoor het niet mogelijk is om een één-op-één vergelijking te maken met een gesimuleerde gebeurtenis. Om deze reden is de keuze gemaakt om de waargenomen gebeurtenis te benaderen door het gesimuleerde vierdaagse neerslagvolume van 75mm te gebruiken. Dit volume heeft een overeenkomstige kans als een neerslagvolume van 91mm gedurende zes dagen. Bij het bepalen van de maatgevende neerslagduur is echter wel geconstateerd dat neerslagduren van meer dan vier dagen bij gelijkmatig verdeelde patronen resulteren in lagere afvoeren (6.2). De mate hiervan ten opzichte van zes dagen is ongeveer 5%. De initiële bergingstoestand bij het ingaan van de neerslaggebeurtenis is natter dan de voor de simulatie toegekende natte bergingstoestand voor de winter (Figuur 6-1).

Bij neerslagpatroon “KORT” als neerslagverdeling, een natte begintoestand van de bodem en 75mm neerslag in vier dagen is een afvoer van ongeveer $4,31\text{m}^3/\text{s}$ gesimuleerd. Deze hoeveelheid betekent dat de gemeten afvoer met ongeveer 39% wordt onderschat. Dit wordt gedeeltelijk verklaard doordat afvoerpieken bij Venrayse Broek met ongeveer 20% worden onderschat. Anderzijds is de afvoer bij het toepassen van een zesdaagse neerslaggeurtenis ongeveer 5% kleiner. Hierdoor is het verschil tussen de gemeten en gesimuleerde afvoer nog steeds ongeveer 25%. Dit verschil wordt mogelijk verklaard doordat de initiële bodemconditie natter was dan de natte wintergebeurtenissen die zijn gesimuleerd.

7.2.4 Conclusie

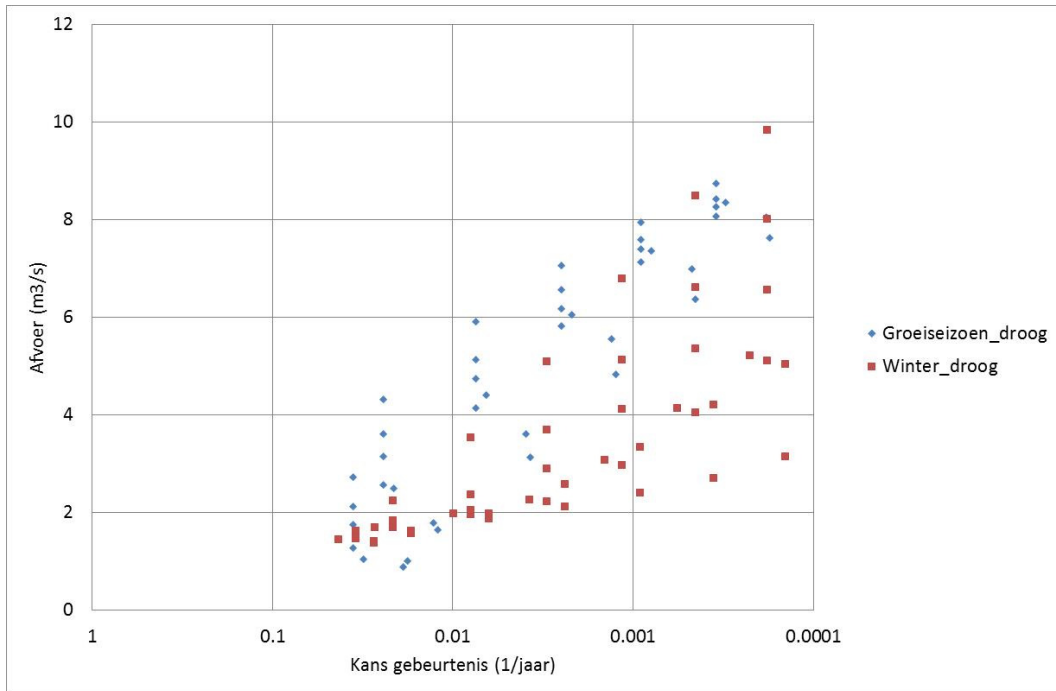
Het vergelijken van de waargenomen en de gesimuleerde gebeurtenissen maakt duidelijk dat het vertalen van waargenomen gebeurtenissen in stochasten moeilijk is. Omdat bij de stochastenberekening slechts één neerslagduur per seizoen gekozen is, wordt het relateren van waargenomen gebeurtenissen aan gesimuleerde gebeurtenissen tevens extra bemoeilijkt. Het onderschatten van de afvoerpieken in de winter wordt mogelijk veroorzaakt doordat bij de discretisatie van de initieel natte conditie een te grote overschrijdingskans is aangenomen. De gebeurtenissen in oktober 1998 en januari 2003 laten namelijk zien dat de verzadigingsgraad bij het ingaan van deze gebeurtenissen veel groter was en dat dit de oorzaak was van de hoge afvoeren die zijn gemeten.

7.3 Identificeren prominente stochasten

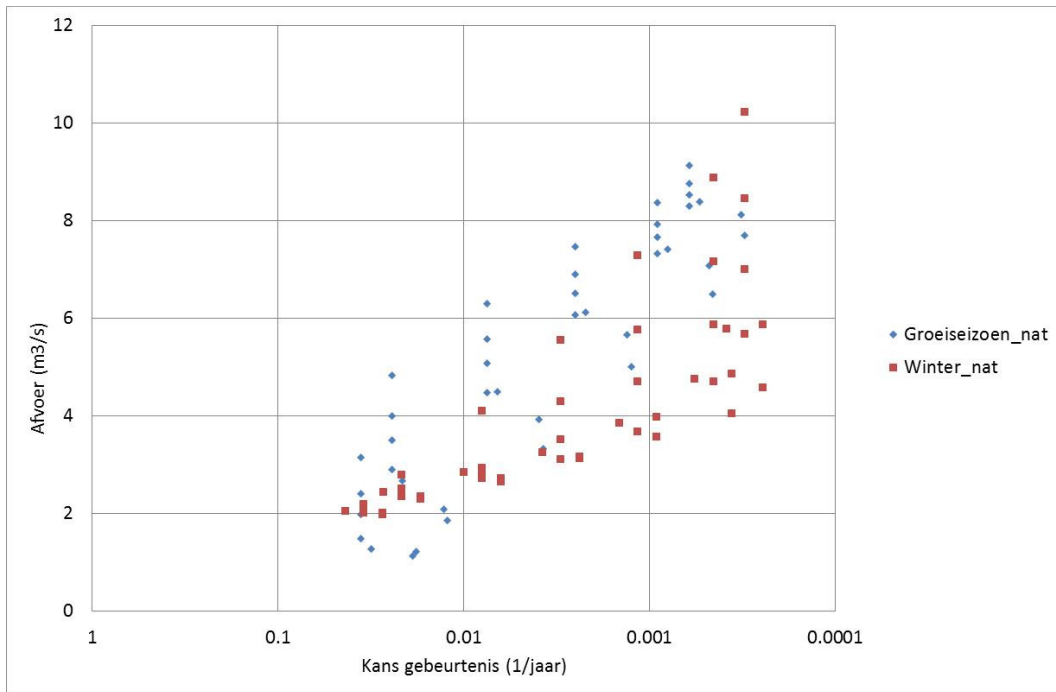
Het toepassen van onderscheidende en onafhankelijke hydrologische en meteorologische omstandigheden maakt het mogelijk om te analyseren welke omstandigheden volgens de simulaties van belang zijn. Er zijn hiervoor drie vergelijkingen gedaan. De eerste vergelijking is gebaseerd op het analyseren of hoge afvoeren voornamelijk in het groeiseizoen of tijdens de winter zijn gesimuleerd (7.3.1). Vervolgens is geanalyseerd hoe groot de invloed is van de initiële bodemtoestand (7.3.2) en als derde is een vergelijking gemaakt tussen de verschillende neerslagpatronen (7.3.3). De vergelijkingen zijn gedaan voor beide afvoermeetlocaties. Omdat de afvoermeetlocaties overeenkomstige resultaten laten zien zijn alleen figuren voor De Smakt gegeven. Voor de figuren van Venrayse Broek wordt verwezen naar BIJLAGE VI.

7.3.1 Vergelijking groeiseizoen met winter

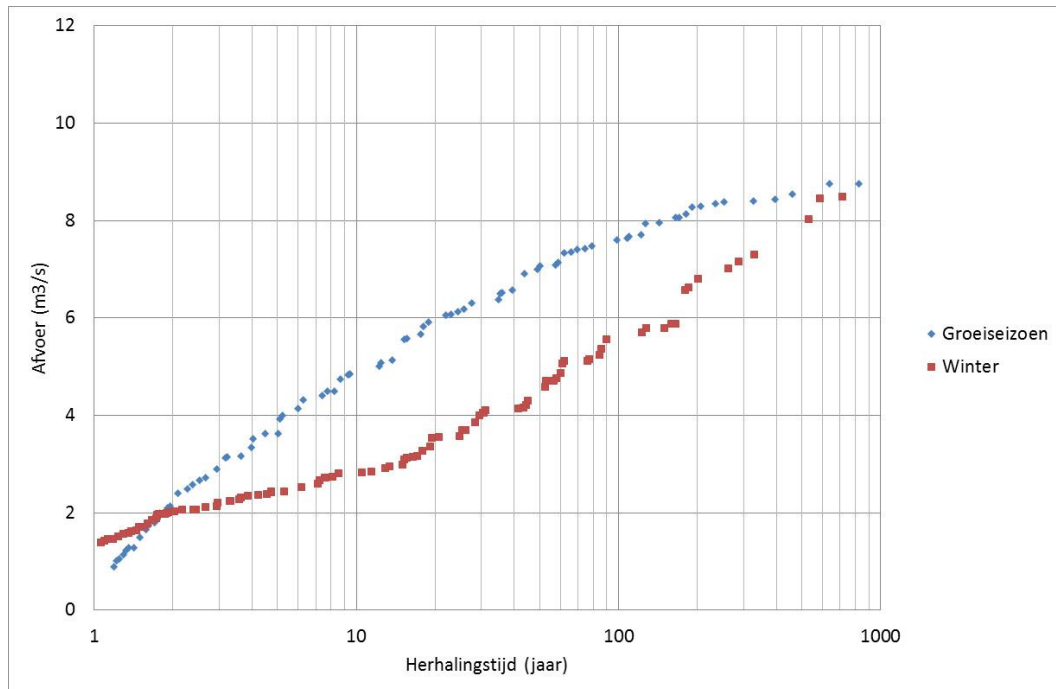
Bij de stochastenberekening zijn twee seizoenen toegepast, namelijk het groeiseizoen (maart-oktober) en de winter (november-februari). De seizoenen worden gekenmerkt door verschillende maatgevende neerslagduren (6.2), neerslagpatronen (6.4.2) en initiële condities (6.1.4). Bij het vergelijken van de twee seizoenen zijn alle gebeurtenissen met een droge en natte beginconditie afzonderlijk zichtbaar gemaakt (Figuur 7-6 en Figuur 7-7). De vooraf bepaalde kans op het optreden van een gebeurtenis is hierbij uitgezet tegenover de gesimuleerde afvoer. Daarnaast is er een normoverschrijdingsgrafiek gemaakt (Figuur 7-8). De normoverschrijdingsgrafiek maakt per seizoen de toegevoegde waarde duidelijk voor het beschrijven van de normafvoeren.



Figuur 7-6: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met droge initiële conditie



Figuur 7-7: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte initiële conditie

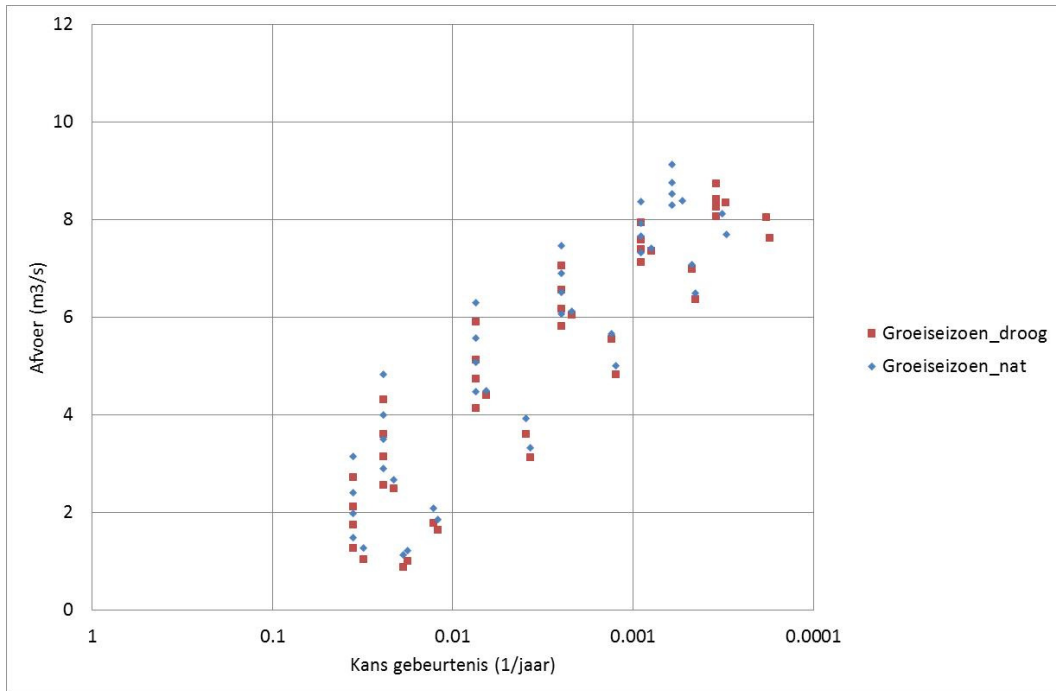


Figuur 7-8: Normoverschrijdingsgrafieken voor groeiseizoen en winter

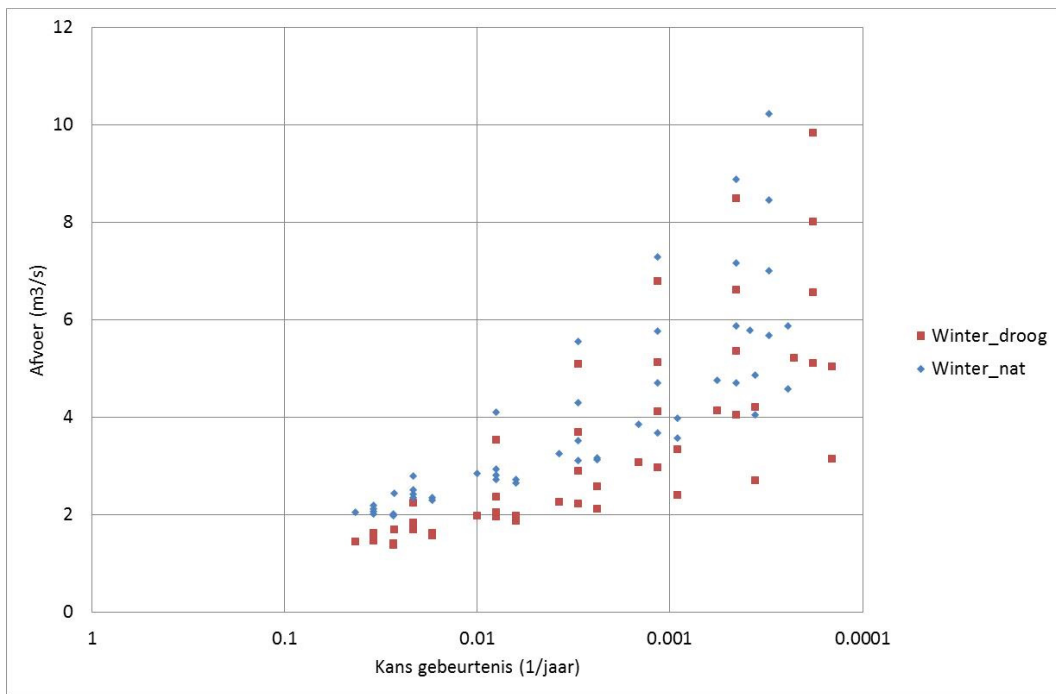
De resultaten laten zien dat hoge afvoeren voornamelijk het gevolg zijn van neerslaggebeurtenissen tijdens het groeiseizoen. Dit is een bevinding die niet conform de verwachtingen is. Hoge afvoeren hebben zich namelijk voornamelijk tijdens de winter voorgedaan.

7.3.2 Vergelijking droge en natte initiële conditie

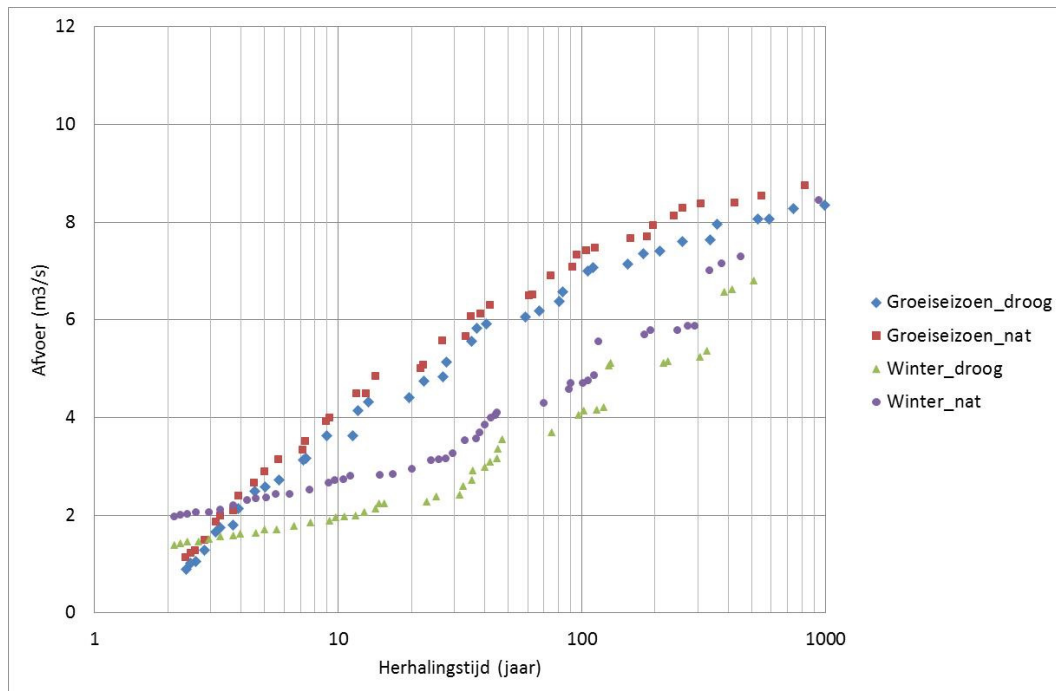
De tweede vergelijking heeft betrekking op het vaststellen in hoeverre de initiële bodemconditie aanleiding is op het veroorzaken van hoge afvoeren. Bij deze vergelijking is allereerst de kans van elke gebeurtenis uitgezet tegenover de gesimuleerde afvoer (Figuur 7-9 en Figuur 7-10). Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de seizoenen. Daarnaast is een normoverschrijdingsgrafiek gemaakt (Figuur 7-11). De normoverschrijdingsgrafiek maakt per initiële conditie de toegevoegde waarde duidelijk voor het beschrijven van de normafvoeren.



Figuur 7-9: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen tijdens het groeiseizoen



Figuur 7-10: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen tijdens de winter



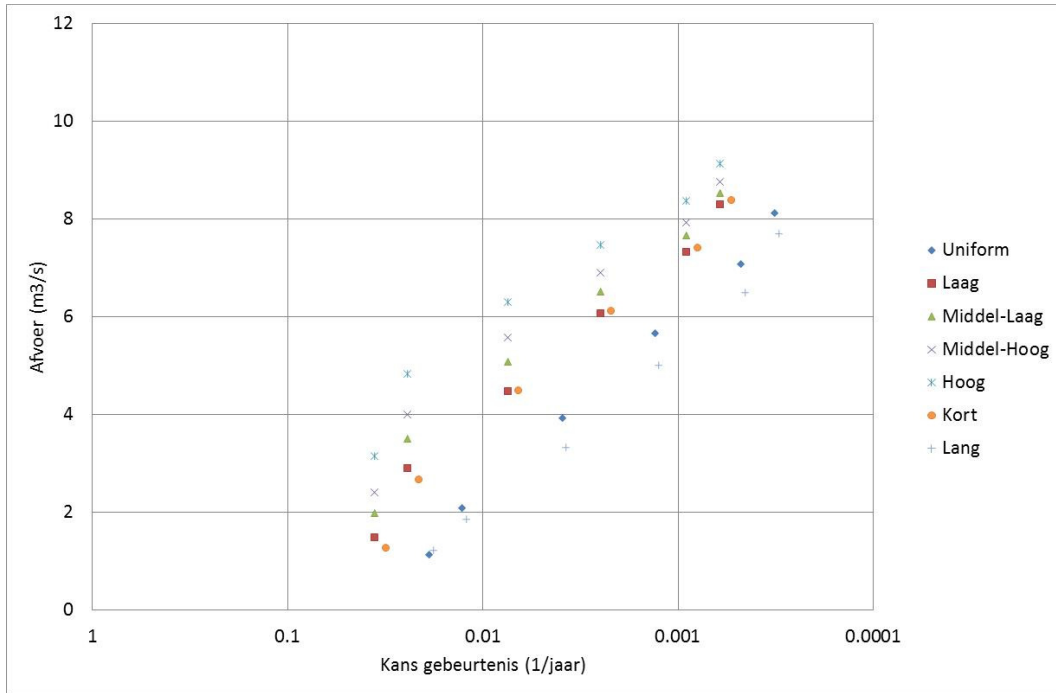
Figuur 7-11: Normoverschrijdingsgrafieken voor de vier initiële condities

De resultaten laten zien dat een natte initiële conditie resulteert in hogere afvoeren. Aangezien de bodem voor desbetreffende condities minder water kan bergen is dit een logisch resultaat. Daarnaast laten de resultaten zien dat het verschil van een droge en natte beginconditie meer zichtbaar is in de winterperiode. Dit resultaat is te verklaren doordat in het groeiseizoen, in tegenstelling tot het winterseizoen, vaak niet de verzadigingsgraad van de bodem maatgevend is, maar de intensiteit van de neerslaggebeurtenis (Massop, et al., 2012). Dit verklaart mogelijk ook het lineaire gedrag tijdens het groeiseizoen (Figuur 7-9) en het niet- lineaire gedrag tijdens het winterseizoen (Figuur 7-10). Bij kleine neerslagvolumes is de bodem gedurende de winter namelijk in staat de neerslag op te vangen. Dit geldt voornamelijk voor gelijkmatig verdeelde neerslaggebeurtenissen. Op het moment dat er sprake is van bodemverzadiging neemt de afvoer vervolgens exponentieel toe, waarna bij grotere volumes de lineariteit terugkeert. Op basis van de simulaties wordt ook duidelijk gemaakt dat het studiegebied gevoeliger is voor een droge beginconditie tijdens het groeiseizoen dan een natte beginconditie tijdens de winter (Figuur 7-11). Deze bevinding betekent dat het seizoen een prominentere rol speelt dan de initiële conditie.

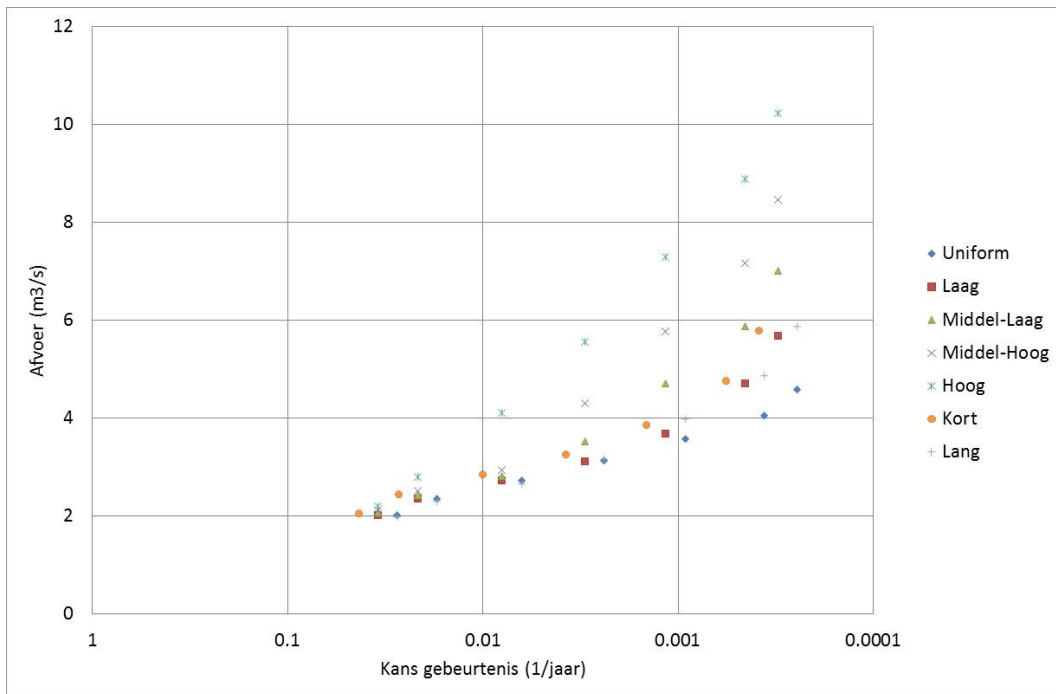
7.3.3 Vergelijking neerslagpatronen

De derde vergelijking heeft betrekking op de neerslagpatronen en heeft als doel te analyseren voor welke patronen het gesimuleerde watersysteem het meest gevoelig is. Bij de analyse is onderscheid gemaakt tussen het groeiseizoen en de winter. Dit onderscheid is gemaakt omdat de neerslagverdeling van de patronen per seizoen duidelijke verschillen laat zien. Bij het vergelijken van de patronen is opnieuw de kans van elke gebeurtenis uitgezet tegenover de gesimuleerde afvoer (Figuur 7-12 en Figuur 7-13). Omdat de resultaten tussen de droge en natte initiële conditie redelijk overeenkomen (7.3.2) zijn

alleen figuren die betrekking hebben op een natte initiële conditie weergegeven. De figuren die behoren tot de droge begintoestand zijn te vinden in BIJLAGE VI.



Figuur 7-12: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte beginconditie tijdens groeiseizoen



Figuur 7-13: Gesimuleerde maximale afvoeren voor gebeurtenissen met natte beginconditie tijdens winter

Volgens de simulaties zijn hoge afvoeren het gevolg van intensieve neerslaggebeurtenissen. Dit geldt voor beide seizoenen. De resultaten laten ook zien dat gedurende het winterseizoen de afvoer voor intensieve buien, bij een toename van het neerslagvolume, op een niet-lineaire wijze toeneemt. Tijdens het groeiseizoen laat een toename van het neerslagvolume daarentegen een linear verband zien. De bevindingen met betrekking tot lineariteit, die ook al in paragraaf 7.3.2 zijn gedaan, duiden op de afhankelijkheid van de initiële bodemconditie gedurende de winter en de afhankelijkheid van de neerslagintensiteit tijdens het groeiseizoen.

7.4 Bevindingen stochasteberekening

Het analyseren van de resultaten van de stochasteberekening heeft inzicht gegeven in de stochastemethode, maar ook in het functioneren van het watersysteem in studiegebied Loobeek. De bevindingen zijn hieronder samengevat. Het kritisch analyseren van de resultaten is onderdeel van de discussie (hoofdstuk 8).

Bevindingen ten aanzien van vaststellen normen van wateroverlast

1. De resultaten van de stochasteberekening laten zien dat de normafvoeren lager liggen dan de normafvoeren gebaseerd op metingen. Dit verschil is te verklaren doordat afvoerpieken door het verbeterde model worden onderschat.

Bevindingen bij vergelijken van waargenomen met gesimuleerde neerslaggebeurtenissen

1. Het vertalen van waargenomen neerslaggebeurtenissen in stochasten is moeilijk. Dit wordt veroorzaakt door het toepassen van slechts één neerslagduur per seizoen en door het moeilijk kunnen herleiden van een waargenomen neerslaggebeurtenis in een neerslagpatroon. Daarnaast beperkt het discretiseren van de initiële bodemconditie de mogelijkheid om waargenomen en gesimuleerde gebeurtenissen te vergelijken.
2. Hoge afvoeren zijn voornamelijk waargenomen in de winter. De stochasteberekening laat echter zien dat hoge afvoeren voornamelijk in het groeiseizoen zijn gesimuleerd. Deze tegenstelde bevinding wordt mogelijk veroorzaakt doordat met de toegepaste discretisatie voor de initiële bodemconditie onvoldoende rekening wordt gehouden met de initiële verzadigingsgraad van de bodem.

Bevindingen ten aanzien van identificeren prominente stochasten

1. De simulaties laten zien dat neerslaggebeurtenissen tijdens het groeiseizoen een grotere invloed hebben op het watersysteem dan neerslaggebeurtenissen die plaatsvinden tijdens de winter. Waargenomen gebeurtenissen laten echter een tegengesteld beeld zien
2. De initiële bergingstoestand speelt een kleinere rol dan het seizoen waarin een extreme neerslaggebeurtenis plaatsvindt.
3. De simulaties laten zien dat het watersysteem gevoelig is voor intensieve neerslaggebeurtenissen.

8 Discussie

In het modelverbeteringsproces en de stochastenmethode zijn er verschillende aannamen en keuzes toegepast, die van invloed zijn op de resultaten van de stochastenberekening. In dit hoofdstuk is kritisch gekeken naar de invloed van de aannamen en keuzes op de resultaten. Het gaat hierbij om een kwalitatieve beschrijving.

8.1 Aannamen en keuzes gerelateerd aan modelverbeteringsproces

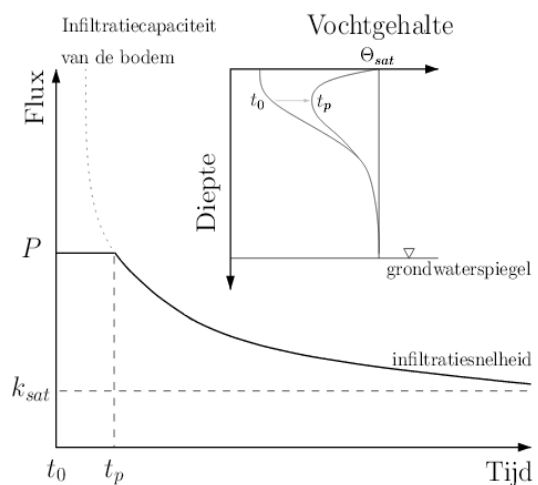
In het modelverbeteringsproces is geconstateerd dat afvoerpieken worden onderschat. Dit heeft een duidelijke invloed op de resultaten van de stochastenberekening.

Mogelijke oorzaken onderschatten afvoerpieken

Het onderschatten van de afvoerpieken wordt mogelijk veroorzaakt door het ontbreken van een gespecificeerde beschrijving van de infiltratiecapaciteit voor het simuleren van de oppervlakkige afvoer. De toegepaste infiltratiecapaciteiten zijn gebiedsoverdekkende hoeveelheden voor verharde gebieden en onverharde gebieden. Dit betekent dat er geen ruimtelijke differentiatie voor de infiltratiecapaciteit is toegepast. Hierdoor is de afhankelijkheid van de infiltratiecapaciteit voor factoren als bodemtype, bodemgebruik, begroeiing en reliëf niet meegenomen. Naast het ontbreken van een ruimtelijke differentiatie is door het toepassen van een stationaire infiltratiecapaciteit geen rekening gehouden met de voorgeschiedenis.

In werkelijkheid is de infiltratiecapaciteit niet-stationair, omdat de infiltratiesnelheid afneemt als gevolg van neerslag dat gedurende de voorgaande dag(en) is gevallen (Figuur 8-1). Voor dit onderzoek betekent dit dat bij een meerdaagse neerslaggebeurtenis de infiltratiecapaciteit van 25mm op dag één niet meer geldt voor dag twee, drie en later (De Klein, et al., 2013). Het toepassen van een niet-stationaire infiltratiecapaciteit heeft naar verwachting een grotere invloed op het beschrijven van afvoerpieken dan het toepassen van een ruimtelijke differentiatie. Het ruimtelijk differentiëren van de infiltratiecapaciteit betekent namelijk niet per definitie dat er ook meer oppervlakkige afvoer wordt gesimuleerd. Daarnaast is de ruimtelijke variatie in het studiegebied betreffende bodemtype, bodemgebruik en reliëf beperkt (Massop, et al., 2012).

Door de infiltratiecapaciteit afhankelijk te maken van de verzadigingsgraad van de bodem kan een niet-stationaire infiltratiecapaciteit worden toegepast. Door de infiltratiecapaciteit afhankelijk te maken van de verzadigingsgraad van de bodem wordt beter rekening gehouden met de bodemtoestand. Daarnaast speelt een neerslagafhankelijke infiltratiecapaciteit vooral een rol in het groeiseizoen (wintergebeurtenissen overschrijden de infiltratiecapaciteit namelijk bijna niet) en wordt de relevantie van de oppervlakkige afvoer tijdens de winter daardoor onvoldoende meegenomen. De verwachting is echter dat het onderschatten van afvoerpieken niet voor de volledigheid te verklaren is



Figuur 8-1: Verloop infiltratiecapaciteit bij een constante neerslagintensiteit van 10mm/uur (De Klein, et al., 2013)

door het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit. De toegepaste stationaire infiltratiecapaciteit van 25mm/dag is namelijk redelijk klein.

Volgens Veldhuizen & De Graaf (2013) wordt het onderschatten van afvoerpieken bepaald door de drainageweerstand in de bodem. Veldhuizen & De Graaf (2003) doen dan ook het voorstel om de afvoer van bodem- en grondwater te versnellen door de drainageweerstand van de bodem te verkleinen. De verwachting is dat het verkleinen van de drainageweerstand resulteert in betere en versnelde simulaties van afvoerpieken. De invloed van het verkleinen van de drainageweerstand op het simuleren van afvoerpieken kan, zonder dat het grote consequenties heeft op het onderzoek, eenvoudig worden vastgesteld.

Gevolgen stochasteberekening

Naast het onderschatten van afvoerpieken bij de stochasteberekening is bij het analyseren van de resultaten ook vastgesteld dat weinig hoge afvoeren tijdens de winter zijn gesimuleerd. Deze bevinding kan niet geheel los worden gezien van de wijze waarop de oppervlakkige afvoer in het huidige wordt beschreven. In de winter, waarbij een maatgevende neerslagduur van vier dagen is toegepast, wordt de toegepaste infiltratiecapaciteit bijna niet overschreden. Dit betekent dat voor de wintergebeurtenissen bijna geen oppervlakkige afvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit is gesimuleerd. Wanneer rekening wordt gehouden met een niet- stationaire infiltratiecapaciteit tijdens een meerdaagse neerslaggebeurtenis of wanneer een kleinere drainageweerstand wordt toegepast, is de verwachting dat er hogere afvoeren worden gesimuleerd tijdens wintergebeurtenissen.

Het onvoldoende specificeren van de oppervlakkige afvoer heeft waarschijnlijk niet alleen invloed op de relevantie van wintergebeurtenissen, maar mogelijk ook op het bepalen van de maatgevende neerslagduur. Voor dit onderzoek is de keuze gemaakt om per seizoen één neerslagduur toe te passen (6.2). Bij het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit die afhankelijk is van de bodemverzadiging is de verwachting dat langere neerslagduren een grotere rol van betekenis gaan spelen. Een desbetreffende bevinding is reeds gedaan bij het vergelijken van waargenomen gebeurtenissen met gesimuleerde gebeurtenissen (7.2). Hierbij is vastgesteld dat wintergebeurtenissen met langere neerslagduren vaak maatgevend zijn.

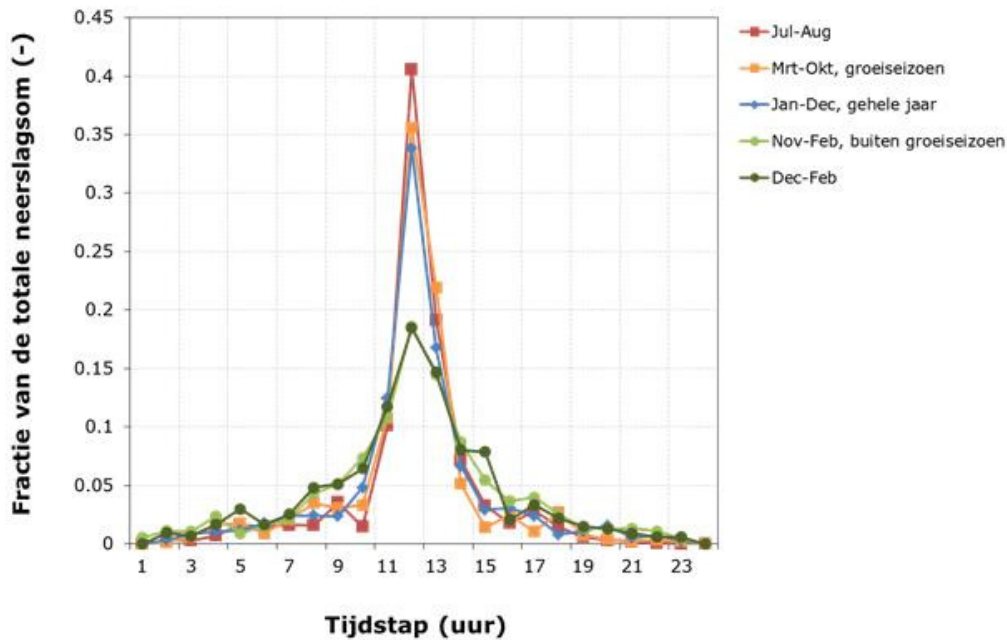
8.2 Aannamen en keuzes gerelateerd aan stochasteberekening

Voor dit onderzoek is gekozen om alleen neerslaggerelateerde stochasten en de initiële bodemconditie als stochast mee te nemen. Daarnaast is rekening gehouden met de seizoensafhankelijke kenmerken van de neerslag en de initiële bodemconditie. Er is ook rekening gehouden met de neerslagduur. De neerslagduur is voor dit onderzoek alleen niet als stochast beschouwd. In deze paragraaf is kritisch gekeken naar de wijze waarop de stochasten en de neerslagduur zijn toegepast.

Seizoensgebondenheid

De resultaten van de stochasteberekening laten de gevoeligheid van het gesimuleerde watersysteem zien voor intensieve neerslaggebeurtenissen tijdens het groeiseizoen. Een recente studie van Versteeg (2013) heeft aangetoond dat de intensiteit van zomergerbeurtenissen (juli-augustus) ongeveer 15% hoger ligt dan gebeurtenissen in het groeiseizoen (Figuur 8-2). Dit betekent dat de intensieve

zomergebeurtenissen door het toepassen van het groeiseizoen onvoldoende worden meegenomen. Het advies is dan ook om in het vervolg de invloed van zomergebeurtenissen te onderzoeken.



Figuur 8-2: Neerslagpatronen voor de verschillende seizoenen bij neerslagduur van 24 uur (Versteeg, 2013)

Neerslagpatronen

Bij de stochastenberekening is gebruik gemaakt van zeven neerslagpatronen. De kans- en neerslagverdeling is per neerslagduur en per seizoen verschillend (voor toelichting neerslagpatronen, zie BIJLAGE IV). De resultaten van de stochastenberekeningen laten zien dat neerslaggebeurtenissen met éénpiekspatronen resulteren in de grootste afvoeren. Dit is vanuit hydrologisch oogpunt een logisch resultaat. De wijze waarop de éénpiekspatronen zijn samengesteld bevatten echter enkele onzekerheden. De neerslagverdelingen van de éénpiekspatronen zijn namelijk zeer geconcentreerd. Daarnaast is de toegepaste kansverdeling van éénpiekspatronen discutabel. Beide aannamen resulteren mogelijk in een overschatting van de gesimuleerde afvoeren en daarmee tot een overschatting van de relevantie van de éénpiekspatronen ten opzichte van andere neerslagpatronen.

Initiële bodemconditie

De resultaten van de stochastenberekening laten zien dat de invloed van de initiële bodemconditie gering is. Uit een studie van Cirkel et al. (2003) is echter gebleken dat naast de neerslagstochasten de initiële verzadigingsgraad van de bodem sterk bepalend is voor de uitkomsten van de stochastenberekening. De analyse van de waargenomen gebeurtenissen (7.2) bevestigt de relevantie van de initiële bodemconditie. Dit geldt met name voor de winter. Het niet kunnen constateren van de relevantie van (zeer) natte bodemcondities met de stochastenberekening wordt mogelijk veroorzaakt door de toegepaste discretisatie. Het discretiseren is een nadeel van de stochastenmethode die zich bij de tijdreeksmethode niet voordoet. Door de discretisatie van de initiële bodemconditie in het vervolg beter te specificeren is het mogelijk om de invloed van (zeer) natte condities te bepalen. Het verbeterd

specificeren van de initiële conditie betekent dat een nog nattere initiële bodemconditie (met een kleinere overschrijdingskans) wordt toegepast. Naar aanleiding van de gebeurtenissen in 1998 en 2003 is de verwachting dat dit een duidelijke toegevoegde waarde heeft op het simuleren van hoge afvoeren. Het aanpassen van de discretisatie heeft invloed op de uitvoering van de stochastische berekening. Neerslaggebeurtenissen blijven namelijk onveranderd, alleen de beginconditie wijzigt.

Aanvullend op het advies om de discretisatie van de initiële bodemconditie tijdens de winter verbeterd te discretiseren heeft mogelijk ook het ruimtelijk specificeren van de berging een toegevoegde waarde. Bij het kiezen van bergingstoestanden is geen rekening gehouden met de ruimtelijke verdeling van de berging. Hierdoor is mogelijk de ruimtelijke verdeling van de beschikbare berging met een overschrijdingskans van bijvoorbeeld 0,75 sterk afwijkend van een bergingstoestand met een overschrijdingskans van 0,76. Dit betekent wellicht dat de resultaten van de stochastische berekening bij het kiezen van een bergingstoestand met een overschrijdingskans van 0,76 een ander beeld geven. De toegevoegde waarde van het ruimtelijk specificeren van de beschikbare berging is afhankelijk van hoe groot de ruimtelijke differentiaties zijn tussen de bergingstoestanden. Ook is het belangrijk vast te stellen wat de mogelijke invloed is van de ruimtelijke differentiatie op het simuleren van afvoerpieken. Het advies is dan ook om allereerst de toegevoegde waarde te bepalen van het ruimtelijk specificeren van de beschikbare berging in de bodem. De verwachting is dat de ruimtelijke differentiatie, door de uniforme neerslagverdeling en bodemopbouw in het studiegebied, redelijk klein is. Wanneer de ruimtelijke differentiatie van de bergingstoestand groot is, heeft dit mogelijk grote invloed op de onderzoeksmethode. Het toepassen van een ruimtelijke specificatie betekent namelijk dat de invloed van de beschikbare berging voor verschillende delen van het studiegebied afzonderlijk onderzocht moet worden. Dit kan bijvoorbeeld worden gedaan door het gebied op te delen en voor ieder deelgebied een droge en natte initiële conditie toe te kennen. Dit betekent dat de stochastische betreffende de initiële conditie niet bestaat uit twee toestanden (droge en natte conditie), maar uit het aantal deelgebieden maal twee (droog en nat).

9 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek is het beoordelen of met de stochastenmethode een goede indicatie kan worden gegeven over de normafvoeren door gebruik te maken van een hydrologisch Simgro- model. Ter ondersteuning zijn drie onderzoeksvragen opgesteld. In dit hoofdstuk is allereerst antwoord gegeven op de onderzoeksvragen, waarna als eindconclusie een antwoord is gegeven op het onderzoeksdoel (9.1). Naast de conclusies zijn aanbevelingen voor vervolgstudies gedaan (9.2).

9.1 Conclusies

In hoeverre is het mogelijk om met het Simgro- model op een realistische wijze afvoerpieken te simuleren?

Het verbeterde Simgro- model blijft, ondanks de modelaanpassingen, afvoerpieken onderschatten. Afvoerpieken worden bij meetlocatie De Smakt gemiddeld met 30% onderschat en bij meetlocatie Venrayse Broek gemiddeld met 20%. De uitgevoerde modelaanpassingen hebben echter wel geresulteerd in een duidelijke verbetering van de modelprestaties. Het oorspronkelijke model onderschat afvoerpieken gemiddeld met een factor 2. Daarnaast is het volumeverschil door de modelaanpassingen verkleind naar een acceptabele marge van 10%. Het onvoldoende simuleren van afvoerpieken kan naar verwachting worden verbeterd door het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit die afhankelijk is van de bodemverzadiging en door het verkleinen van de drainageweerstand in de bodem.

Zijn de normafvoeren gebaseerd op de stochastenmethode vergelijkbaar met de normafvoeren gebaseerd op metingen?

De normafvoeren gebaseerd op de stochastenberekening laten, ongeacht de herhalingsstijd, zien dat deze lager zijn dan de normafvoeren gebaseerd op afvoermetingen. Het procentuele verschil is bij meetlocatie De Smakt gemiddeld 20% en bij meetlocatie Venrayse Broek gemiddeld 11%. De variatie van het procentuele verschil per herhalingsstijd is klein. Het verschil tussen normafvoeren wordt waarschijnlijk mede veroorzaakt door het onderschatten van afvoerpieken door het model. Het onderschatten van afvoerpieken is echter ongeveer 10% groter. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat bij de stochastenberekening de keuze is gemaakt geen rekening te houden met de neerslagspreiding in Nederland. Neerslagstatistiek heeft aangetoond dat de extreme neerslagvolumes in het studiegebied ongeveer 7% lager liggen. Bij dit onderzoek is de neerslagstatistiek van De Bilt toegepast. Het verlagen van de neerslagvolumes met 7% of het corrigeren van de kansverdeling van de neerslagvolumes betekent waarschijnlijk dat het procentuele verschil tussen de normafvoeren nog meer overeenkomt met de procentuele onderschatting van de afvoerpieken.

Een tweede mogelijke oorzaak voor het verschil tussen de gemeten en gesimuleerde normafvoeren is het onvoldoende meenemen van een natte initiële bodemconditie in de winter. Bij de stochastenberekening is voor de wintergebeurtenissen onvoldoende rekening gehouden met de natte initiële verzadigingsgraad van de bodem. Deze bevinding is gebaseerd op het analyseren van waargenomen gebeurtenissen, die in de winter hebben geresulteerd in hoge afvoeren. Het onvoldoende meenemen van de initiële verzadigingsgraad heeft als gevolg is dat gesimuleerde maximale afvoeren voor wintergebeurtenissen waarschijnlijk kleiner zijn. Door een nattere initiële conditie mee te nemen is

de verwachting dat grotere afvoeren worden gesimuleerd en de normafvoeren op basis van de stochastenberekening groter zijn.

Welke stochasten hebben een prominente rol in het beschrijven van afvoerpieken en is dit volgens de verwachtingen?

De stochastenberekening heeft laten zien dat het gesimuleerde watersysteem vooral gevoelig is voor intensieve neerslaggebeurtenissen tijdens het groeiseizoen. Hoog gemeten afvoeren hebben echter voornamelijk in het winterseizoen plaatsgevonden. De reden dat bij de stochastenberekening weinig hoge afvoeren tijdens de winter zijn gesimuleerd is omdat bij de discretisatie van de initiële bodemverzadiging te weinig rekening is gehouden met een natte beginsituatie. De verwachting is dan ook dat bij meenemen van een nattere initiële bodemconditie de wintergebeurtenissen een prominentere rol gaan spelen. Ondanks dat er in het verleden weinig hoge afvoeren tijdens het groeiseizoen zijn waargenomen, is het belangrijk om bij de beoordeling van het regionale watersysteem rekening te houden met de gesimuleerde gevoeligheid van het watersysteem voor intensieve neerslaggebeurtenissen in het groeiseizoen.

Onderzoeksdoel: "Het beoordelen of met de stochastenmethode een goede indicatie van normafvoeren kan worden gegeven door gebruik te maken van een hydrologisch Simgro-model"

Het onderzoeksdoel kan voorzichtig bevestigend worden beantwoord. Het advies is dan ook om de toepasbaarheid van de stochastenmethode met het hydrologische Simgro- model verder te onderzoeken. Het modelverbeteringsproces en de validatie laten zien dat de prestaties van het hydrologische Simgro- model sterk zijn verbeterd, maar dat afvoerpieken nog steeds worden onderschat. Door het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit en door het verkleinen van de drainageweerstand is de verwachting dat afvoerpieken nog beter worden gesimuleerd. De onderschatting van afvoerpieken wordt ook duidelijk gemaakt bij het bepalen van normafvoeren. De normafvoeren op basis van metingen liggen namelijk hoger dan de normafvoeren op basis van de stochastenberekening. Naast het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit en het verkleinen van de drainageweerstanden liggen de normafvoeren mogelijk ook lager door de wijze waarop wintergebeurtenissen met een natte initiële conditie zijn gesimuleerd. Het discretiseren van de initiële conditie is, vooral in de winter, zeer bepalend. Aanvullend op de relevantie van het discretiseren van natte initiële condities is bij de stochastenmethode de wijze waarop de neerslagduren en –patronen zijn samengesteld niet geheel vrij van discussie. Combinaties van neerslagduren, neerslagpatronen en bodemcondities zijn namelijk niet onafhankelijk van elkaar en kunnen dus van invloed zijn op de normafvoeren.

9.2 Aanbevelingen

Zoals eerder beschreven is het advies om de toepasbaarheid van de stochastenmethode met het hydrologische Simgro- model verder te onderzoeken. Een belangrijk onderdeel hiervan is het onderzoeken van de invloed van het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit. De infiltratiecapaciteit wordt hierbij afhankelijk gemaakt van de bodemverzadiging. Ook het verkleinen van de drainageweerstand is een belangrijke aanbeveling. Zowel het toepassen van een niet- stationaire infiltratiecapaciteit als het verkleinen van de drainageweerstand hebben als doel de afvoerpieken beter

te simuleren. Ook wordt aanbevolen om een nattere initiële verzadigingsgraad tijdens de winter toe te passen. De verwachting is dat op deze manier de wintergebeurtenissen een grotere rol van betekenis gaan spelen. Naast het verbeterd discretiseren van de initiële bodemconditie wordt ook aanbevolen om bij het uitvoeren van de stochastenmethode rekening te houden met de landelijke spreiding van extreme neerslag. Dit betekent voor het studiegebied dat extreme neerslagvolumes 7% kleiner zijn. Omdat de stochastenberekening laat zien dat het gesimuleerde watersysteem gevoelig is voor intensieve neerslaggebeurtenissen wordt ook aanbevolen om de invloed van zomergerbeurtenissen te onderzoeken. De neerslagintensiteit in het zomerseizoen is ongeveer 15% groter.

Door het uitvoeren van de aanbevelingen is de verwachting dat de gemeten en gesimuleerde normafvoeren nog meer overeenkomen. Het is echter wel belangrijk dat altijd rekening wordt gehouden met de afhankelijkheden tussen de stochasten.

10 Bronnenlijst

- Bernard, A. & Bos-Levenbach, E., 1953. Het uiteenzetten van waarnemingen op waarschijnlijkheidspapier. In: *Statistica Neerlandica*. sl:sn, pp. 163-173.
- Buishand, A. & Velds, C., 1980. *Neerslag en verdamping*. De Bilt: KNMI.
- Buishand, T., Jilderda, R. & Wijngaard, J., 2009. *Regionale verschillen in extreme neerslag*, De Bilt: KNMI.
- Cirkel, D., Querner, E., Torfs, P. & Van Lanen, H., 2003. *Effecten van verdrogingsbestrijdende maatregelen en klimaatverandering op extreem hoge afvoeren*, Wageningen: Alterra Wageningen.
- De Graaf, B. & Versteeg, R., 2003. *Wateroverlast, zo goed als zeker*, Lelystad: HKV lijn in water.
- De Graaff, B., Veldhuizen, A. & Botterhuis, T., 2006. *Watersysteemanalyse Centrale Vallei*, Lelystad: HKV lijn in water.
- De Klein, J. et al., 2013. *Onderdeel Water*, Wageningen: Wageningen University.
- Hazeu, G., 2005. *Landelijk Grondgebruik Nederland 5 (LGN-5)*, Wageningen: Alterra Wageningen.
- Heo, J.-H. et al., 2008. Regression equations of probability plot correlation coefficient test statistics from several probability distributions. *Journal of Hydrology*, Volume 355, pp. 1-15.
- Hooghart, J., 1986. *Verklarende hydrologische woordenlijst*. Den Haag: Commissie van hydrologisch onderzoek TNO-III.
- Huizinga-Heringa, J., Franssen, J., Jorritsma, A. & Schaap, S., 2003. *Het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW)*, Lelystad: Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving.
- Klemes, V., 1993. Probability of extreme hydrometeorological events - a different approach. *Hydrological Sciences Journal*, pp. 167-176.
- Klopstra, D., 2004. *Afhankelijkheid negendaagse neerslagsommen*, Lelystad: HKV.
- Kluck, J., 2006. *Pilot OAS Venray*, Deventer: Tauw bv.
- Kragt, F., Gaalen van, F., Cleij, P. & Ligtoet, W., 2007. *Audit Waterbeleid 21e eeuw*, Bilthoven: Milieu en Natuur Planbureau.
- Massop, H., Noij, I., Appels, W. & Toorn van den, A., 2012. *Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden*, Wageningen: Alterra Wageningen.
- Meer van der, J., 1992. *TAW- publicatie hydraulische belastingen*, sl: Rijkswaterstaat.
- Moriasi, D. et al., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transaction of the ASABE*, pp. 885-900.

- Overeen, A., 2009. *Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar*, Wageningen: Wageningen University.
- Paarlberg, A., 2009. *Deelrapport Loobeek Oostrumsche Beek*, Blerick: Waterschap Peel en Maasvallei.
- Querner, E., 2003. Is grondwaterberging beter te benutten om afvoeren te verminderen?. *Stromingen, nummer 1*, pp. 23-32.
- Shaw, E., Beven, K., Chappell, N. & Lamb, R., 2010. *Hydrology in practice*, London: Spon Press.
- Smits, A., Wijngaard, J., Versteeg, R. & Kok, M., 2004. *Statistiek van extreme neerslag in Nederland*, sl: HKV & KNMI.
- Spijker, M., 2010. *Werkgroep Watersysteemtoets 2012 Advies*, Amersfoort: STOWA.
- Stedinger, J., Vogel, R. & Foufoula-Georgiou, E., 1992. Frequency analysis of extreme events (chapter 18). In: *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill Inc., p. 1143.
- STOWA, 2013. *Meteobase*. [Online]
Available at: <http://www.meteobase.nl/>
- Teunissen, H., 2009. *Ontwerp inrichtingsplan van Loobeekdal*, sl: Waterschap Peel en Maasvallei; provincie Limburg; Staatsbosbeheer; belangenbehartiger LLTB; gemeente Venray.
- University, W., 2005. *Landgebruikkaart Nederland 5 (LGN5)*, Wageningen: Wageningen University.
- Van Walsum, P., Veldhuizen, A. & Groenendijk, P., 2012. *SIMGRO: theory and model implementation*, Wageningen: Alterra Wageningen.
- Veldhuizen, A. & De Graaff, B., 2013. *Oorzaak onderschatting afvoerpieken Simgro- model* [Interview] (28 November 2013).
- Velner, R. & Spijker, M., 2011. *Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast*, Amersfoort: STOWA.
- Verlinden, A. & Visman, P., 2002. *Stroomgebiedsvisie Oostrumsche Beek en Loobeek*, sl: Waterschap Peel en Maasvallei; Zuiveringschap Limburg; Provincie Limburg.
- Versteeg, R., 2013. *Afleiding neerslagpatronen voor korte duren seizoenen*, Lelystad: HKV.
- Versteeg, R., Hakvoort, H., Bosch, S. & Kallen, M.-J., 2013. *Online archief van neerslag- en verdampingsgegevens voor het waterbeheer*, Amersfoort: STOWA.
- Witter, J., 1983. *Statistical areal reduction factors in the Netherlands*. Wageningen, Wageningen University.
- Zonderland, M., 2010. *Provinciale Omgevingsverordening*, Maastricht: Provincie Limburg.

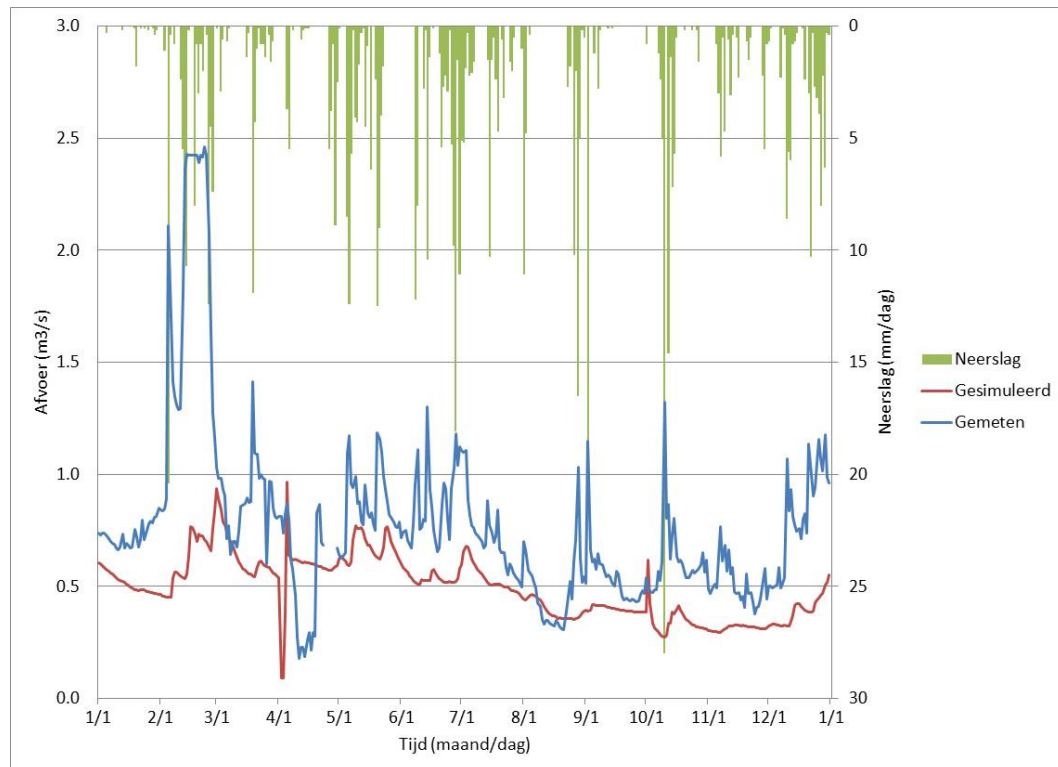
BIJLAGEN

BIJLAGE I – PRESTATIES HUIDIG MODEL

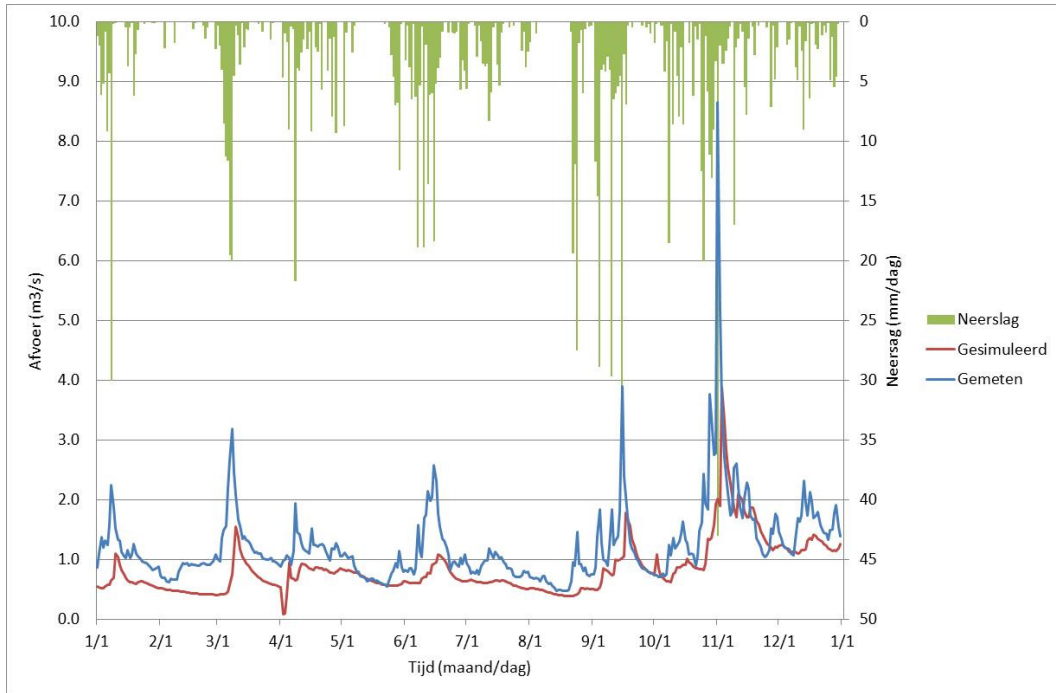
Deze bijlage laat door middel van figuren de modelprestaties zien van het huidige (onaangepaste) model. Voor een beschrijving over de modelprestaties wordt verwezen naar hoofdstuk 3.2. In deze bijlage zijn zowel de afvoersimulaties bij De Smakt en Venrayse Broek als grondwatersimulaties opgenomen.

Afvoersimulaties

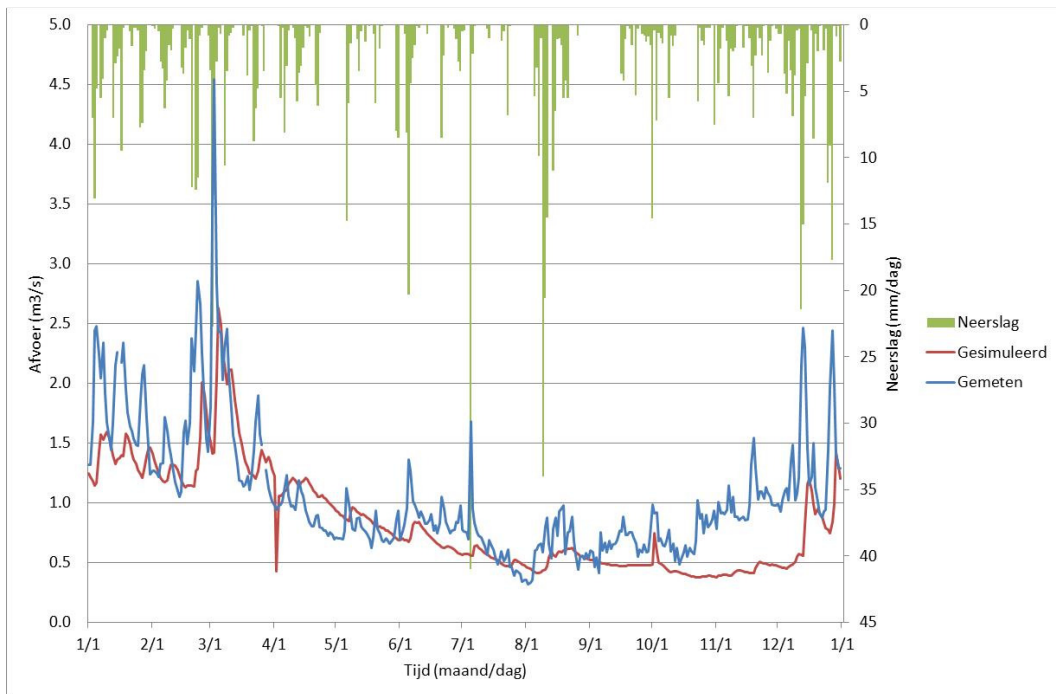
I-1. DE SMAKT_1997



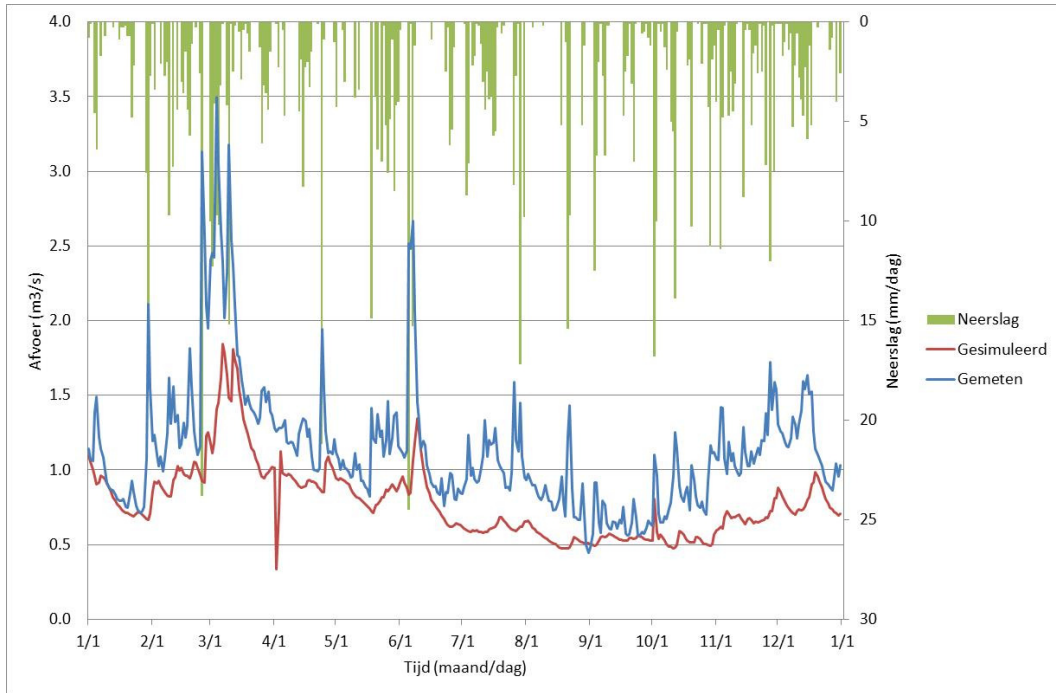
I-2. DE SMAKT_1998



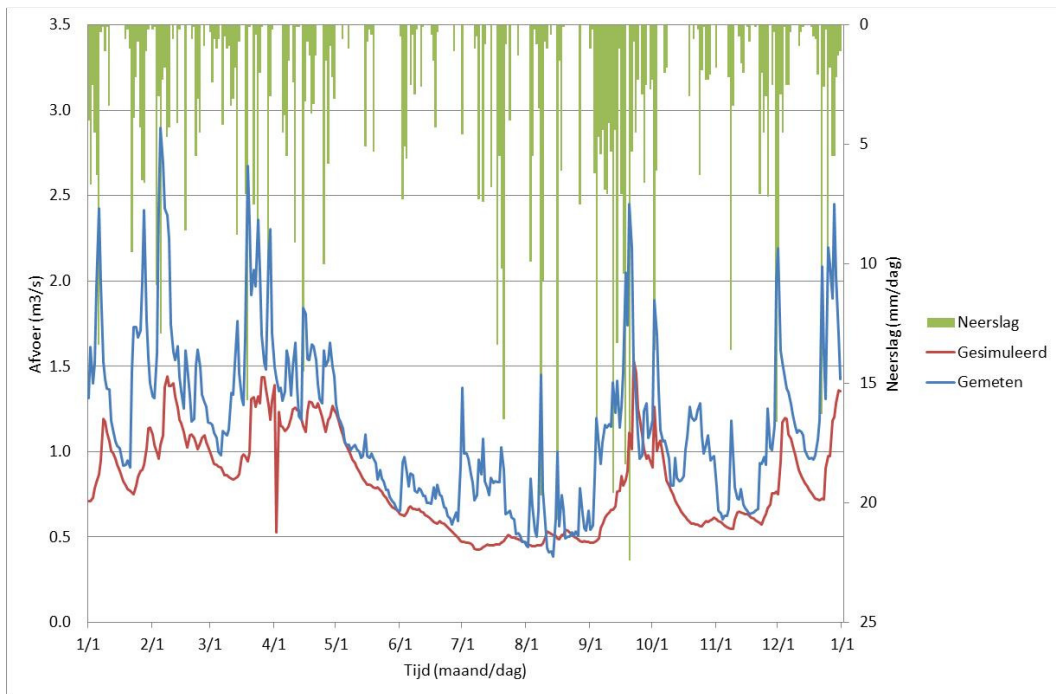
I-3. DE SMAKT_1999



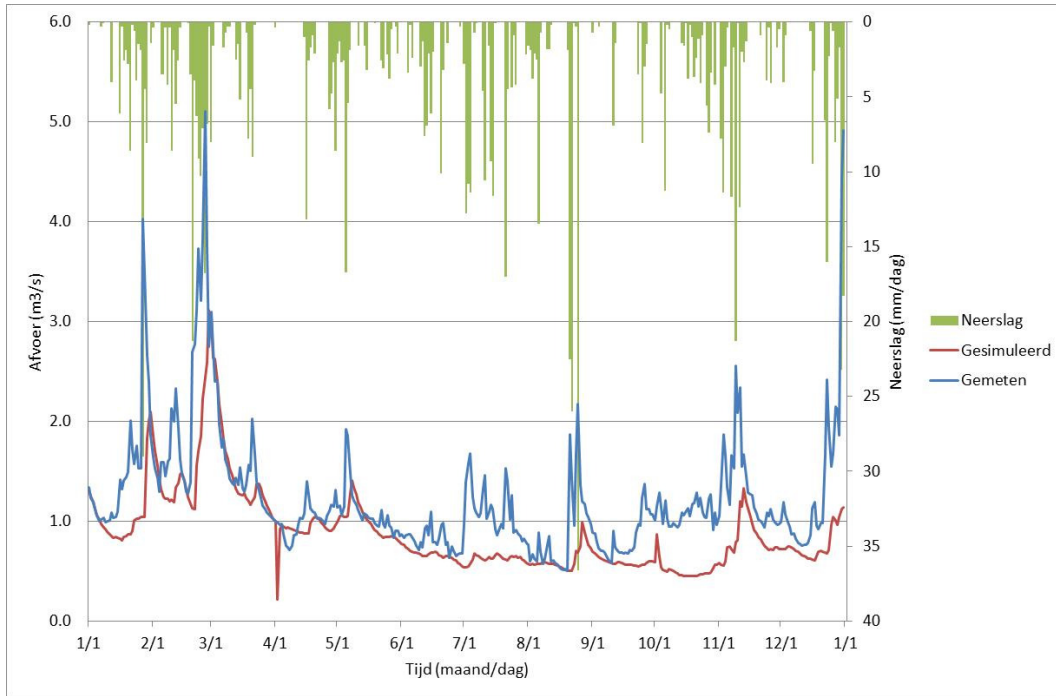
I-4. DE SMAKT_2000



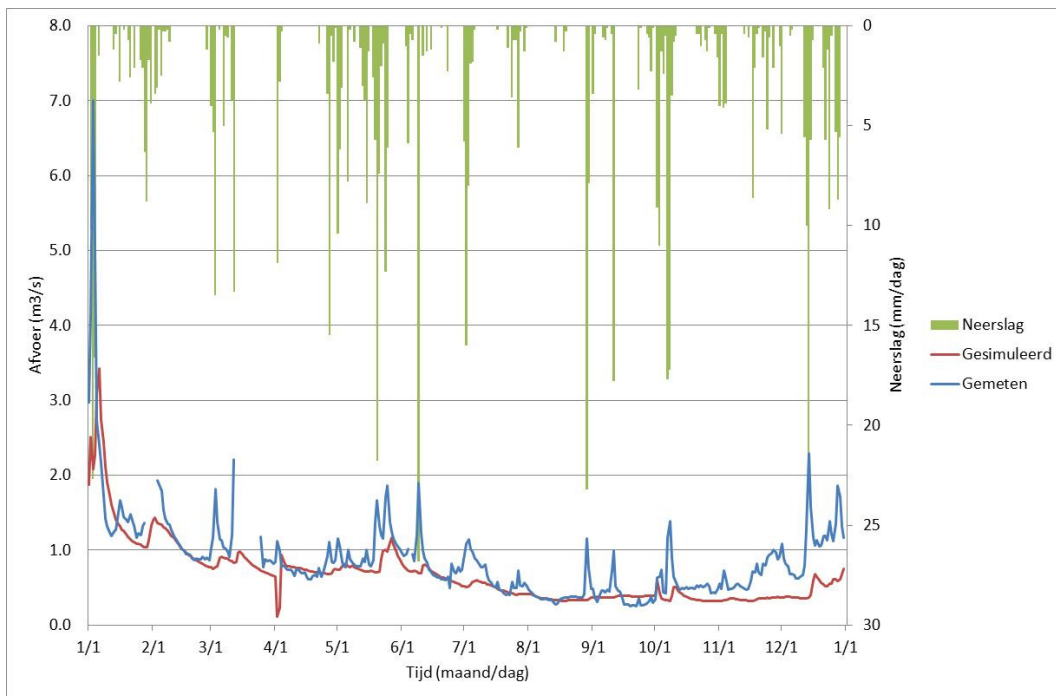
I-5. DE SMAKT_2001



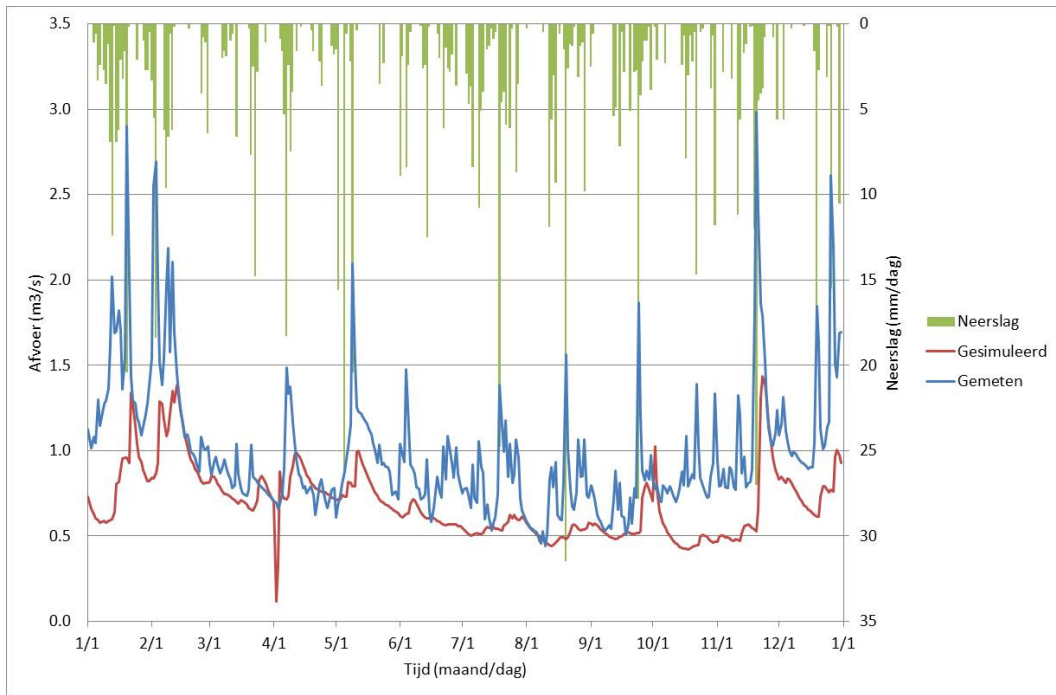
I-6. DE SMAKT_2002



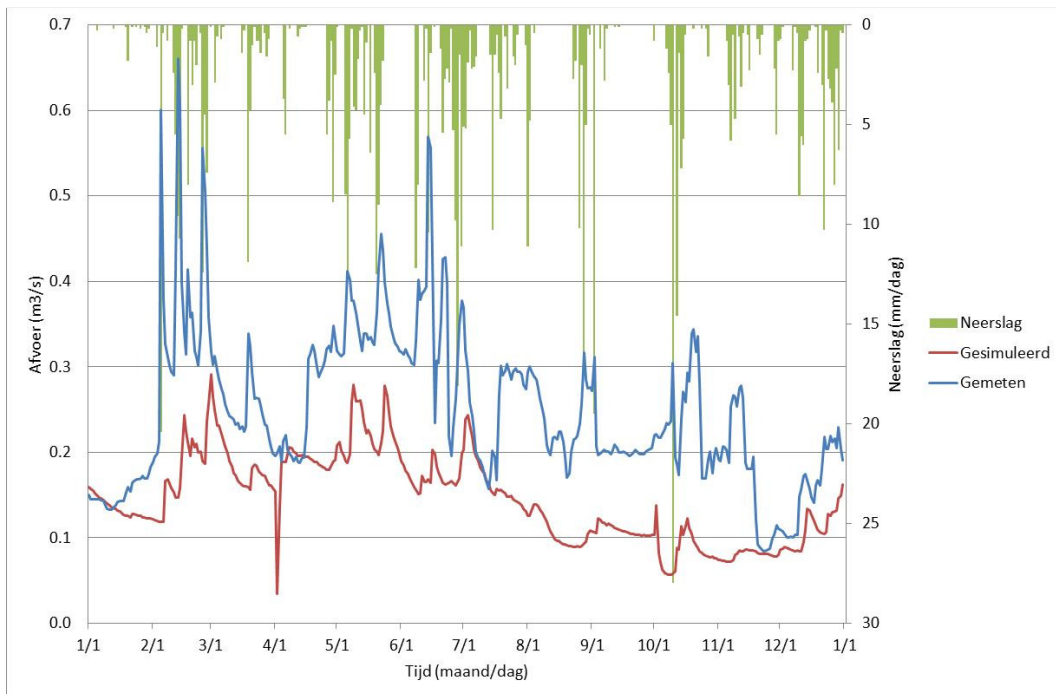
I-7. DE SMAKT_2003



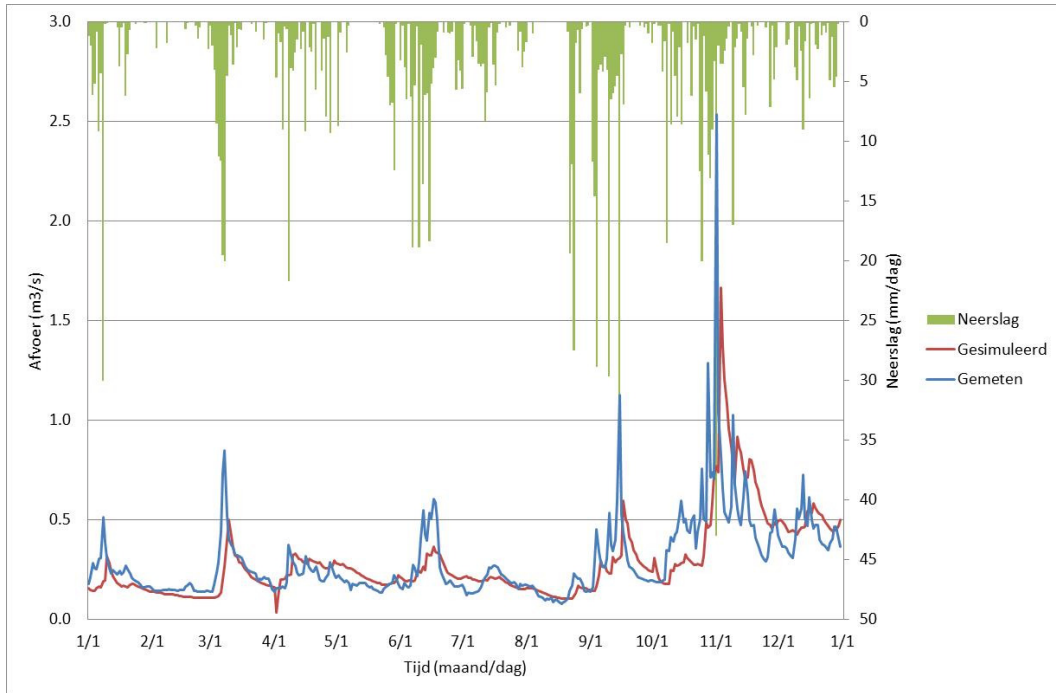
I-8. DE SMAKT_2004



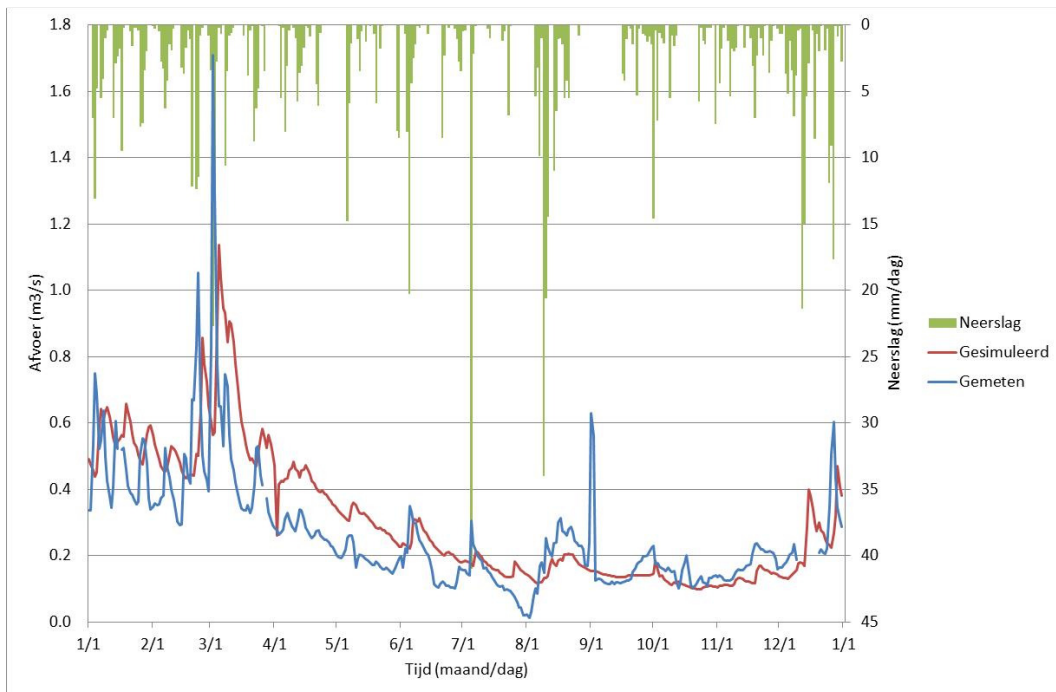
I-9. VENRAYSE BROEK_1997



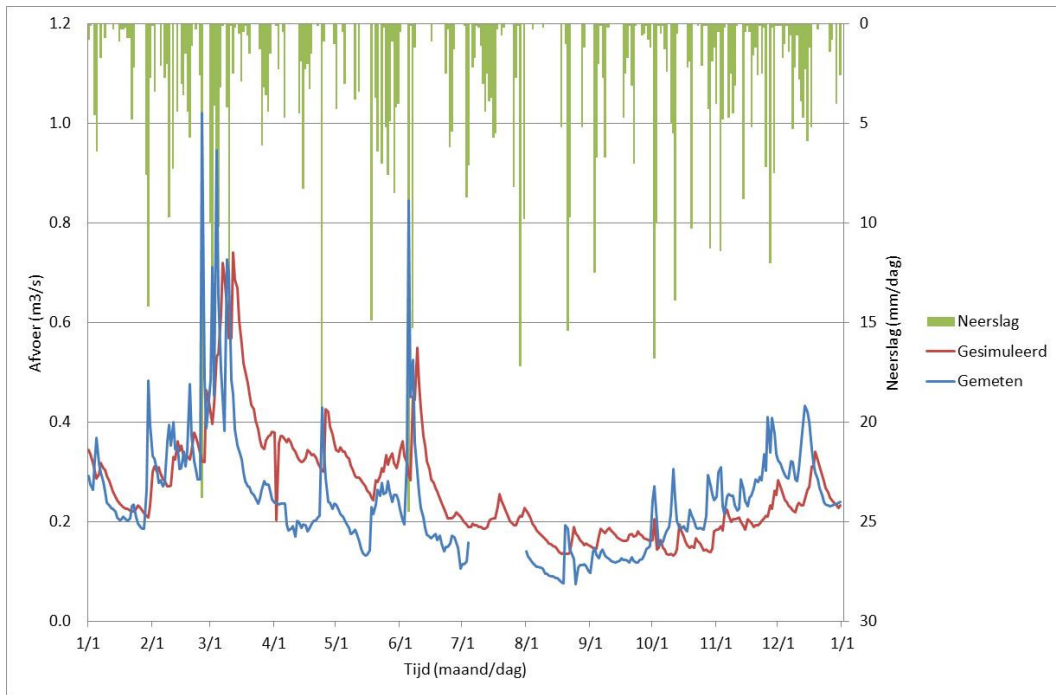
I-10 VENRAYSE BROEK_1998



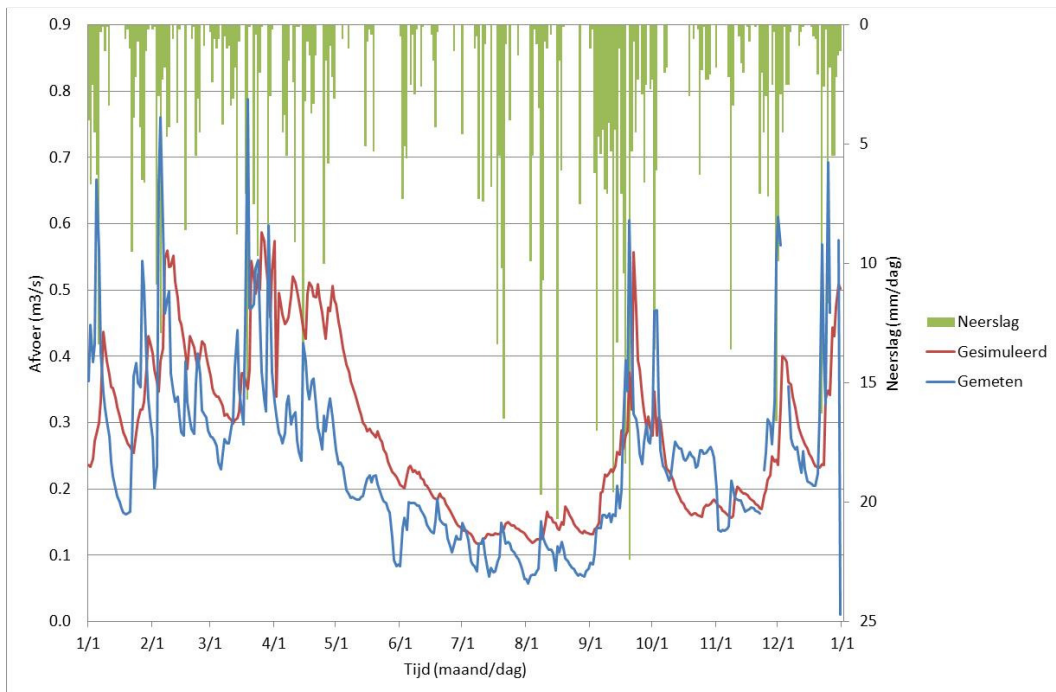
I-11. VENRAYSE BROEK_1999



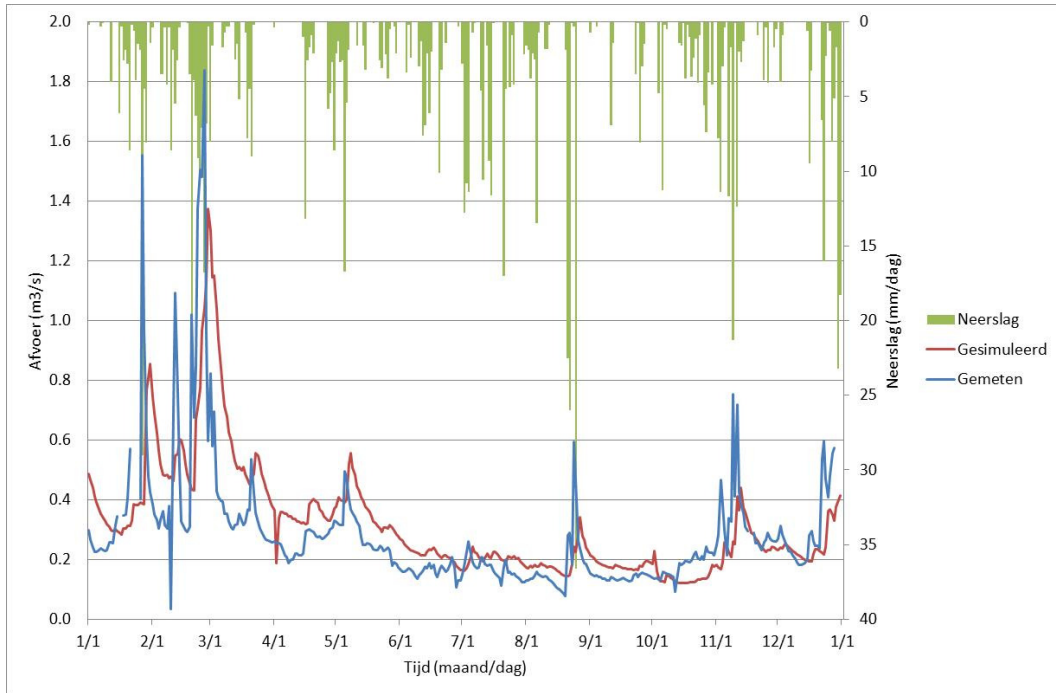
I-12 VENRAYSE BROEK_2000



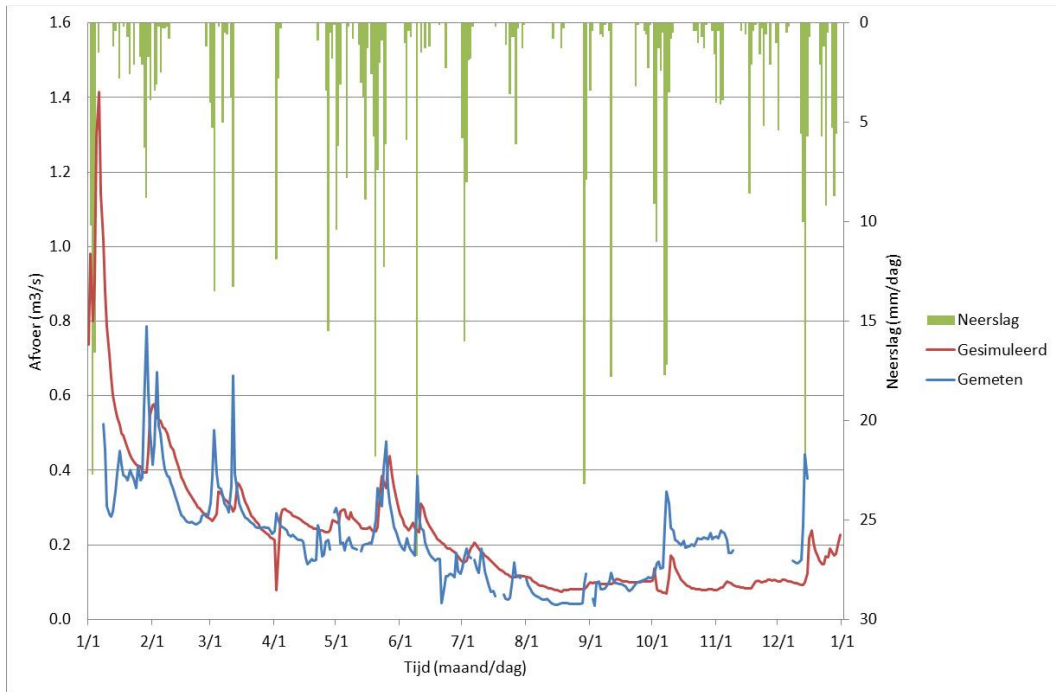
I-13. VENRAYSE BROEK_2001



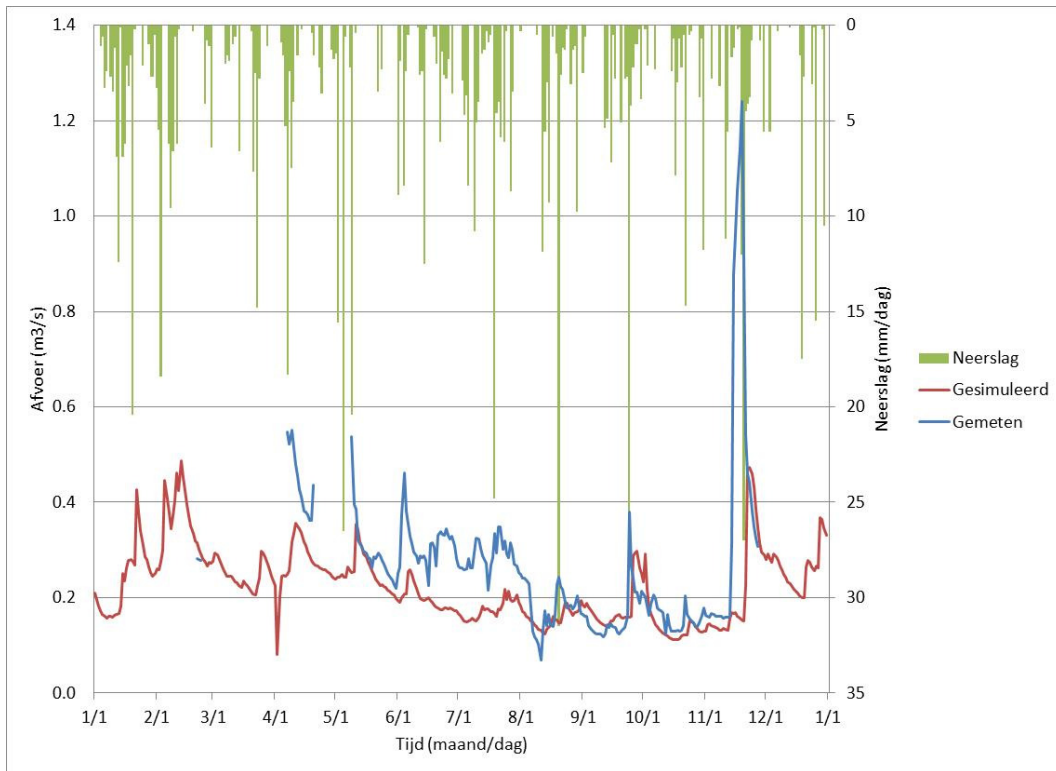
I-14. VENRAYSE BROEK_2002



I-15 VENRAYSE BROEK_2003

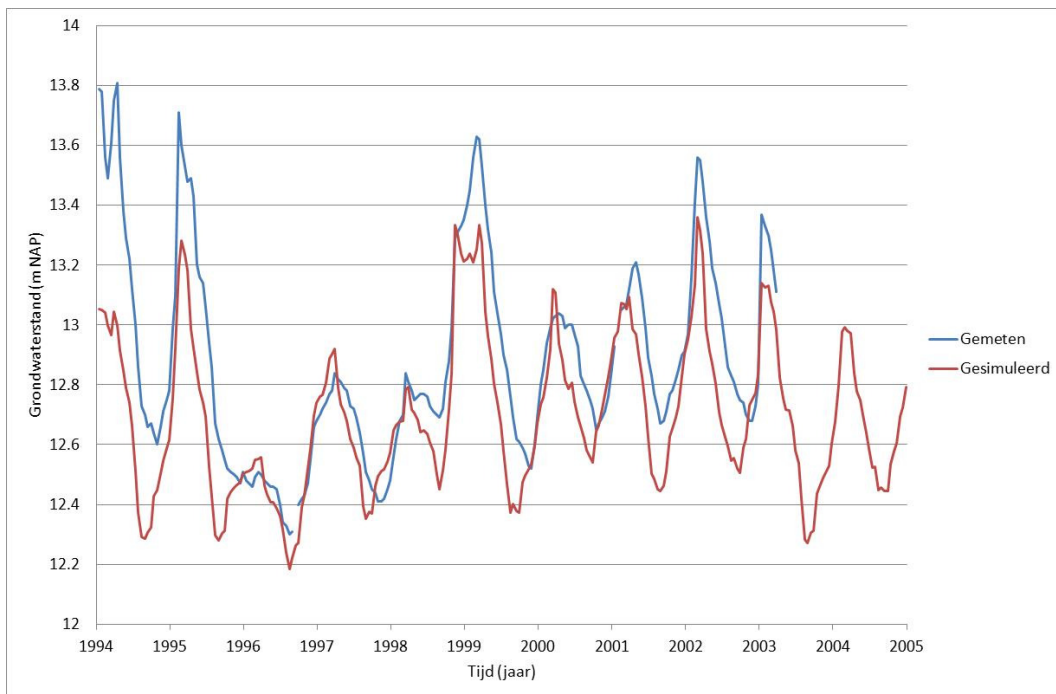


I-16 VENRAYSE BROEK_2004

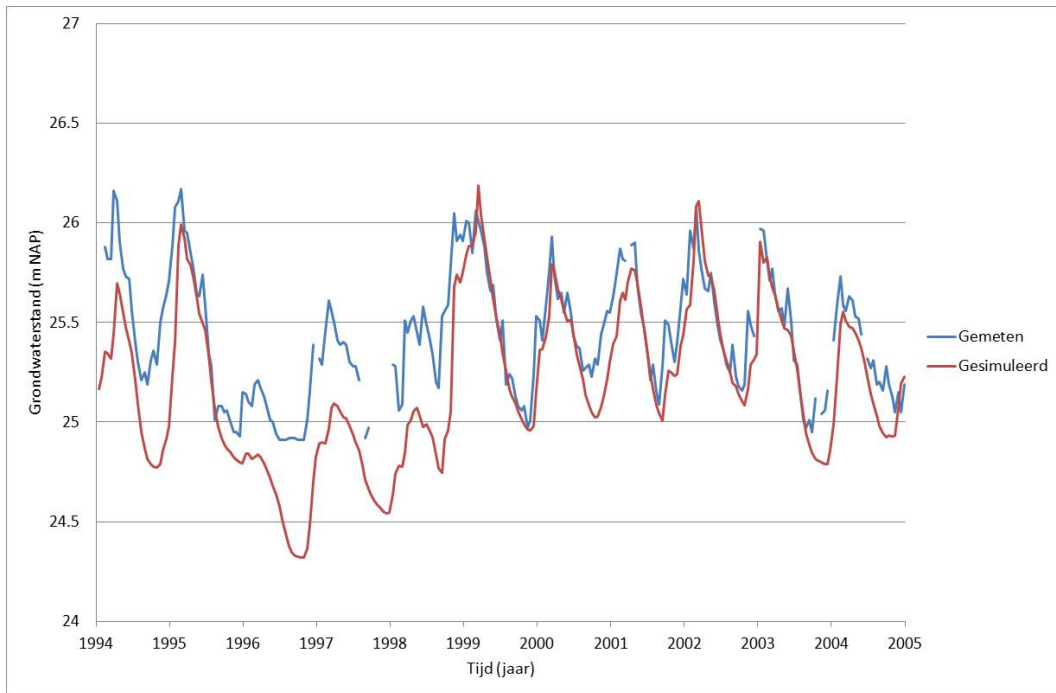


Grondwatersimulaties

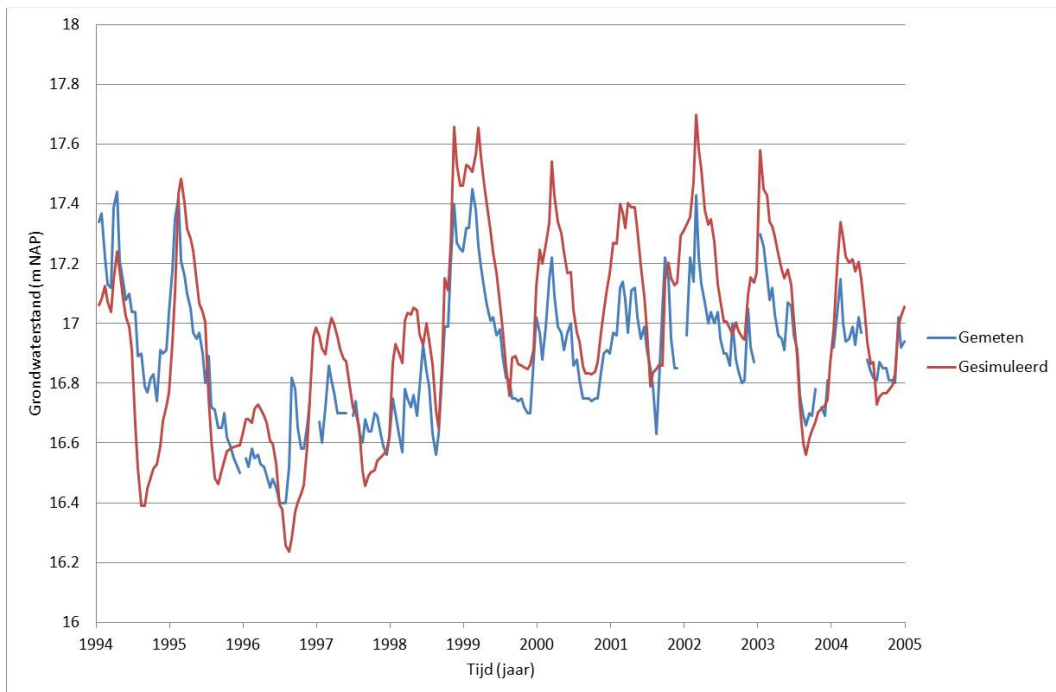
I-17. B46D0741



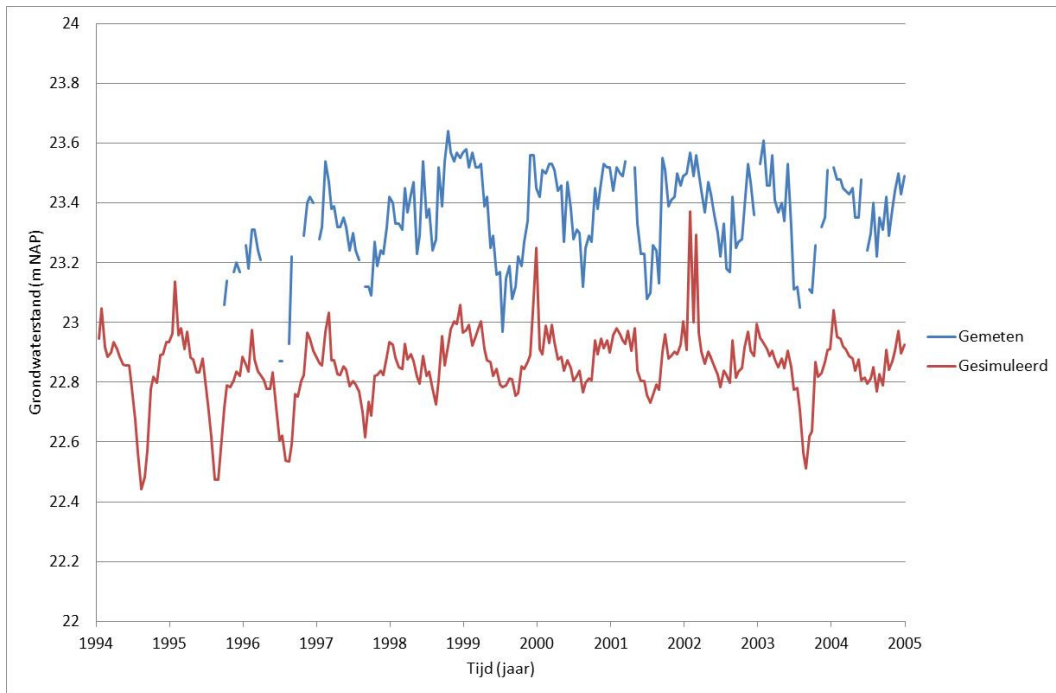
I-18. B52A0224



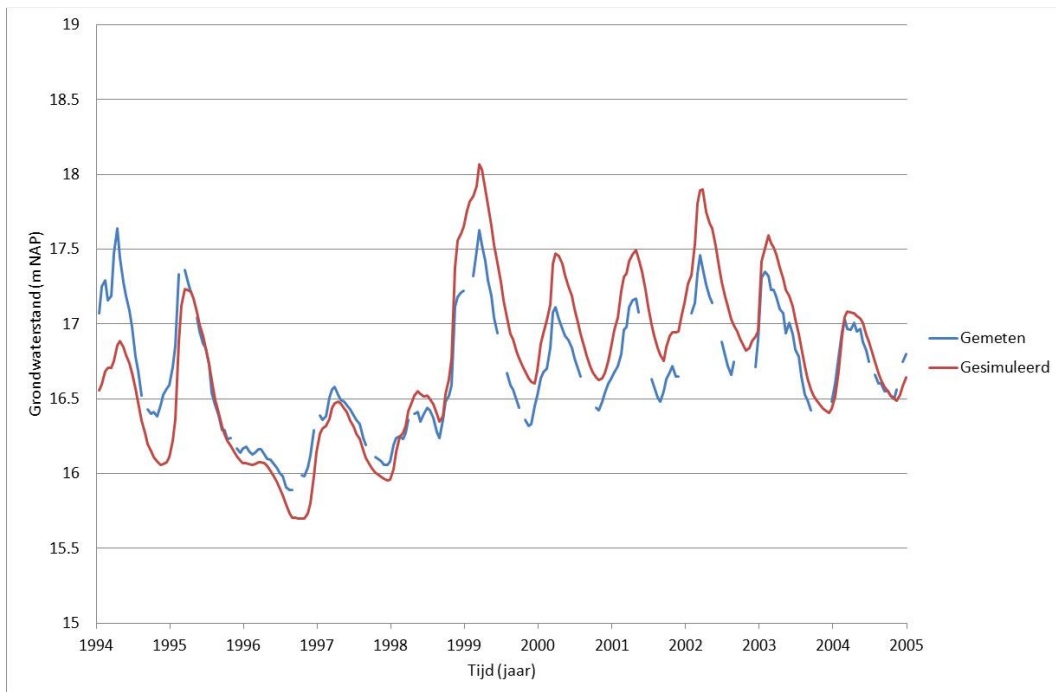
I-19. B52B0176



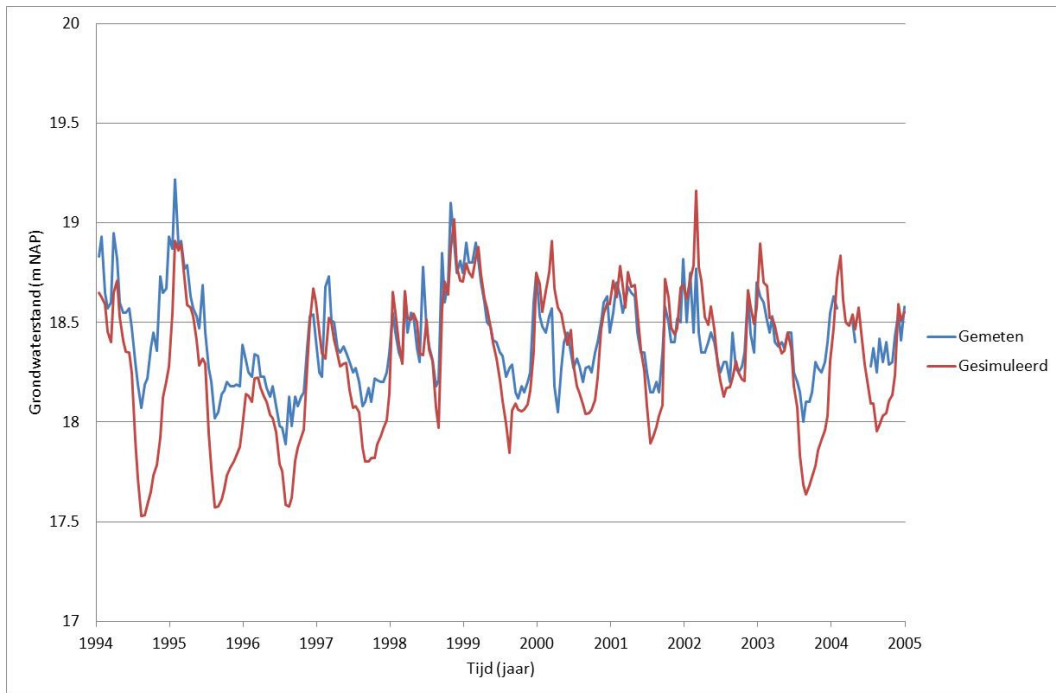
I-20. B52B0357



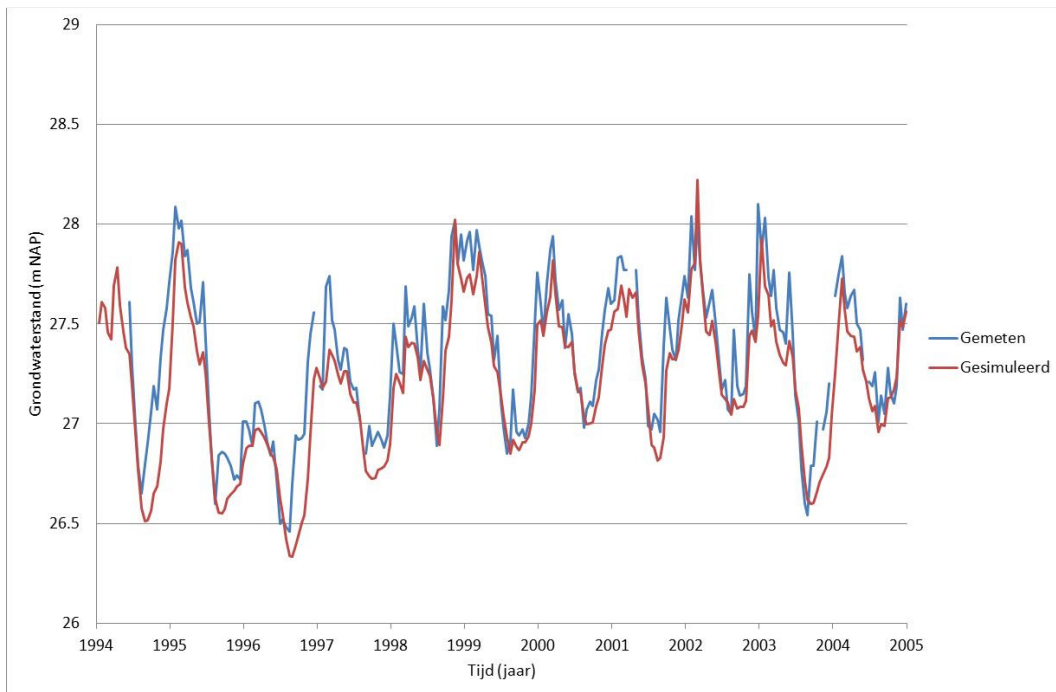
I-21. B52B0400



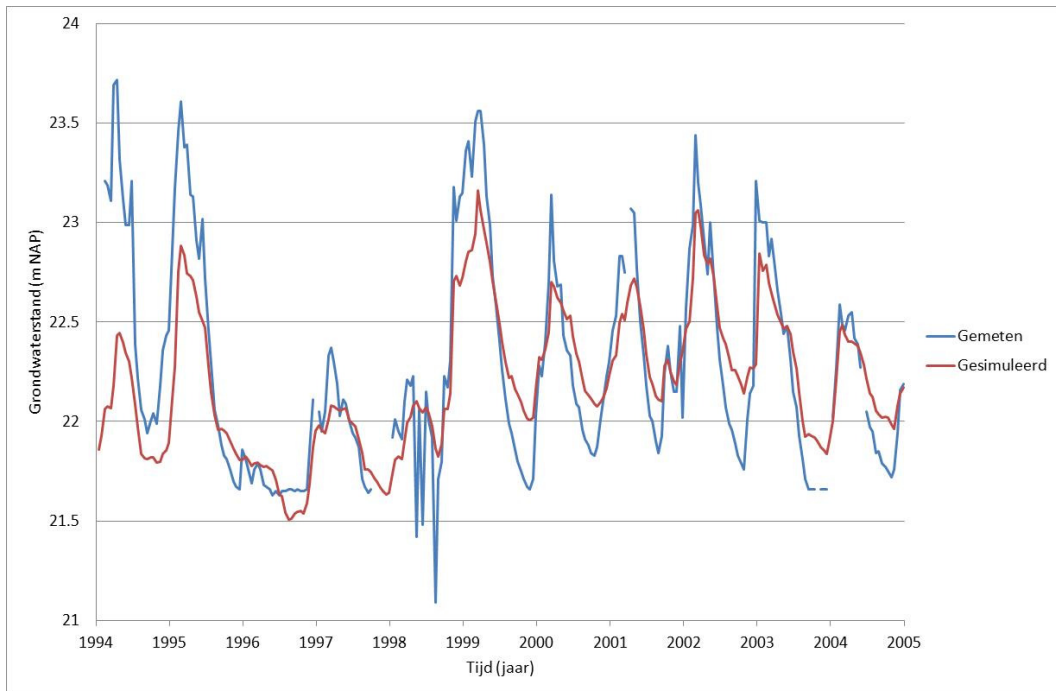
I-22. B52B0445



I-23. B52B0450



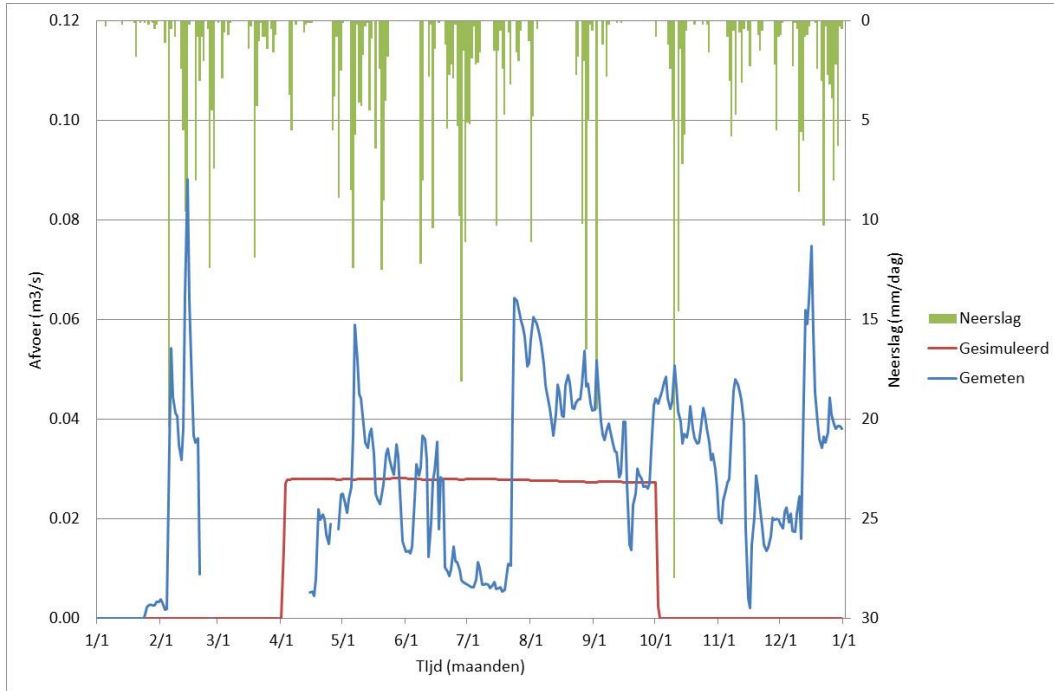
I-24. B52B0491



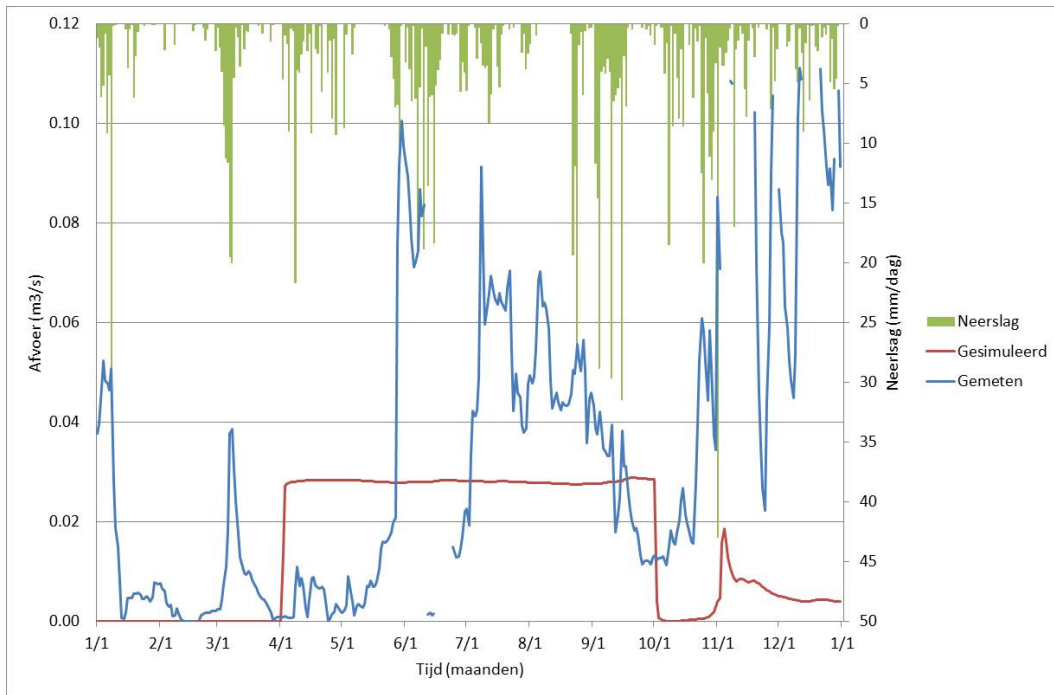
BIJLAGE II – AANPASSINGEN MODELVERBETERPLAN

Er zijn verschillende modelaanpassingen gedaan. Eén van deze aanpassingen is de aanvoer van gebiedsvreemd water. De metingen bij meetlocatie Vredepeel laten zien dat de aanvoerhoeveelheid zeer beperkt is. In deze bijlage zijn bijbehorende figuren gegeven. Door het ontbreken van meetgegevens zijn alleen de jaren 1997-1999, 2003 en 2004 vergeleken met de constante modelaanvoer.

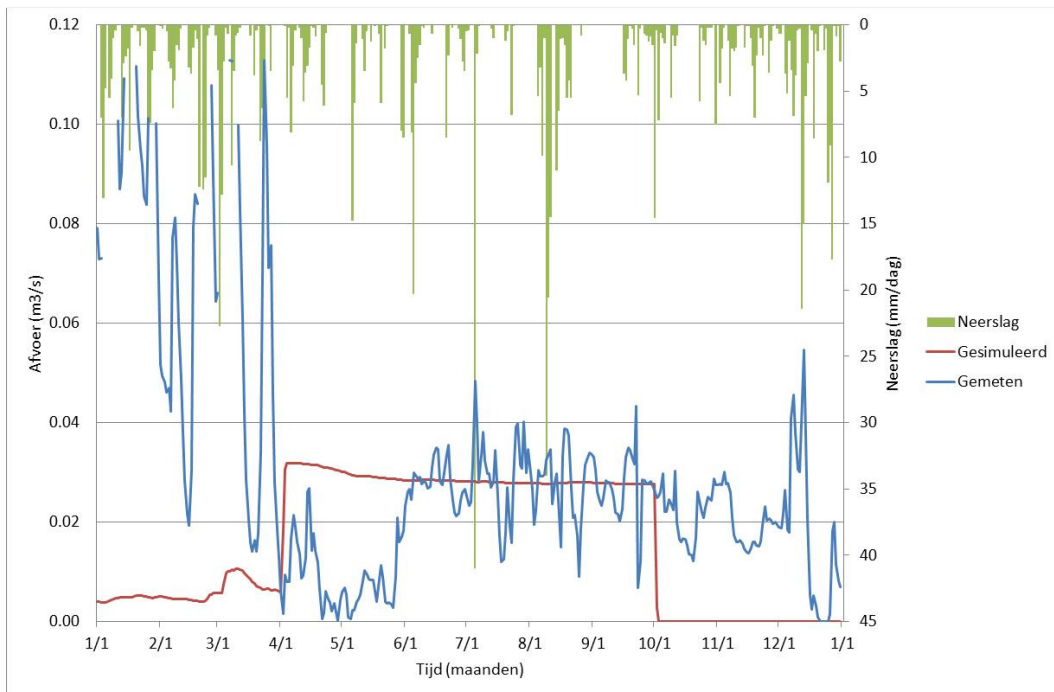
II-1. Vredepeel_1997



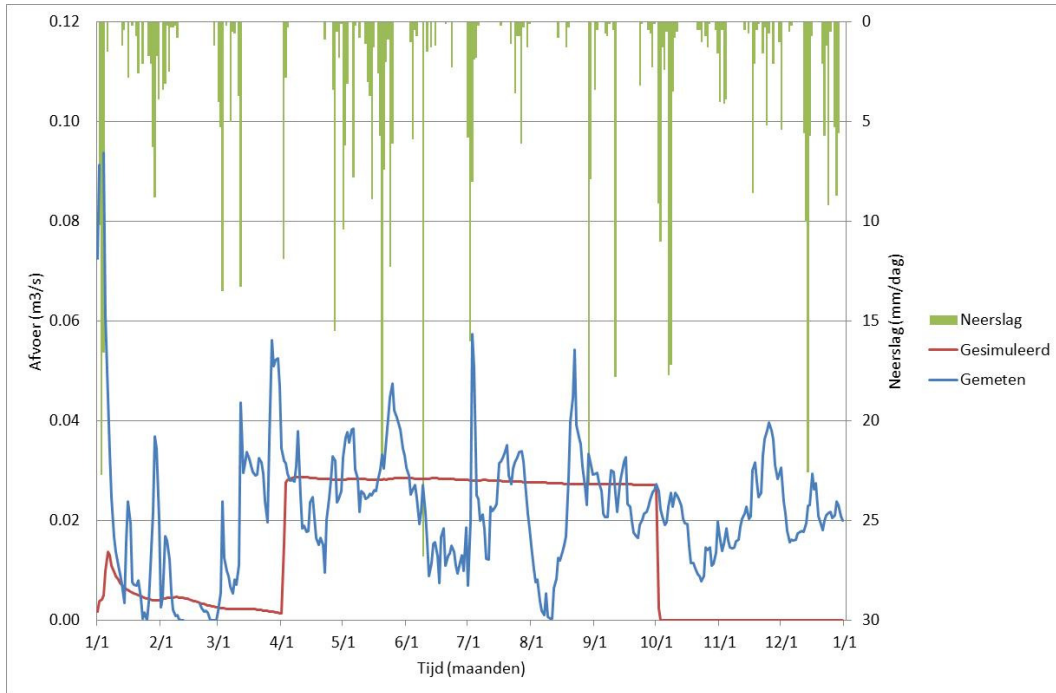
II-2. Vredepeel_1998



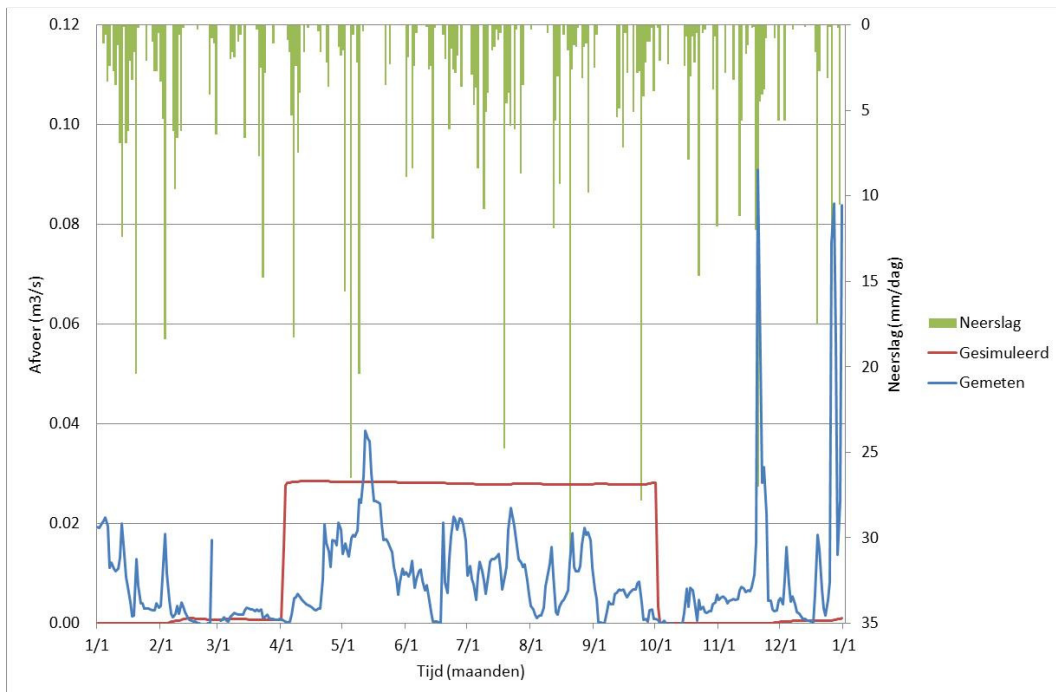
II-3. Vredepeel_1999



II-4. Vredepeel_2003



II-5. Vredepeel_2004

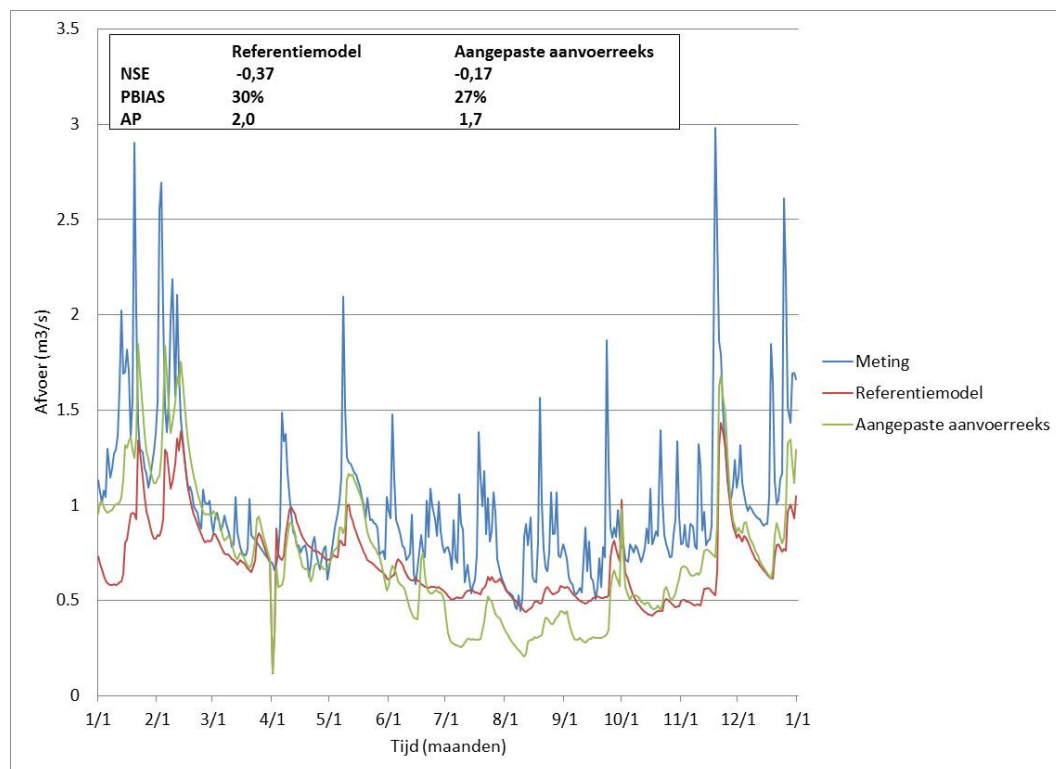


BIJLAGE III – MODELVERBETERINGSPROCES EN VALIDATIE

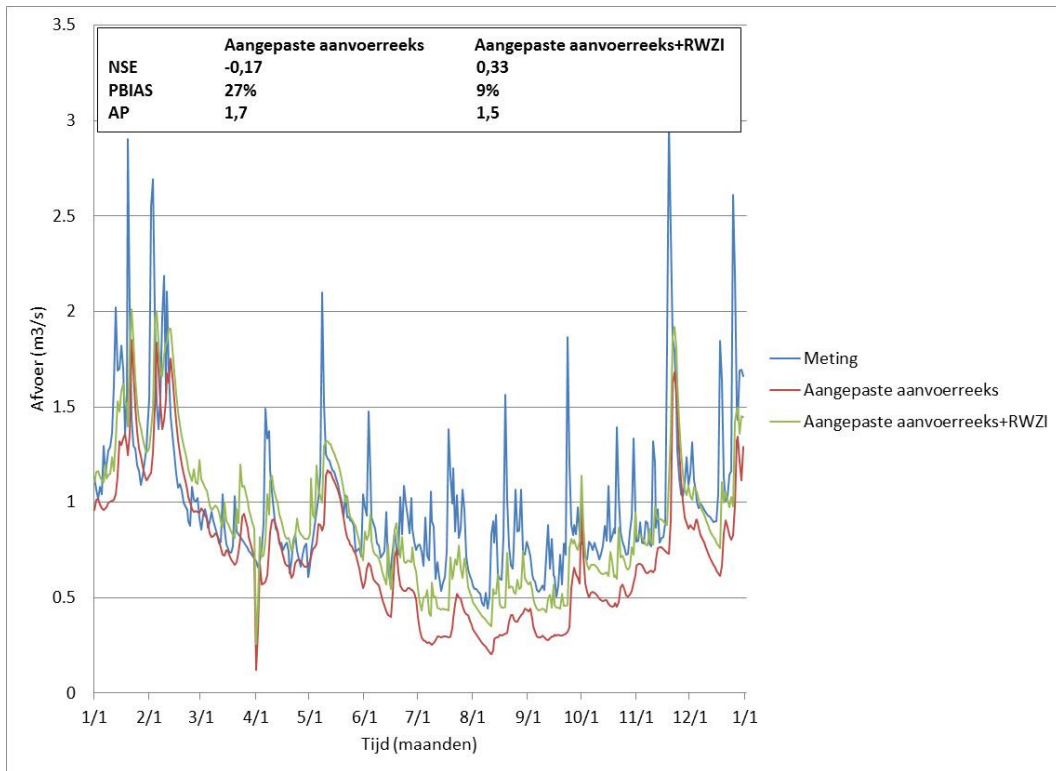
In deze bijlage zijn de figuren die behoren tot het modelverbeteringsproces en de validatie opgenomen. Het is als ondersteuning op hoofdstuk 5. Allereerst zijn de figuren ten aanzien van het modelverbeteringsproces gegeven (zowel voor De Smakt als Venrayse Broek), vervolgens de figuren ten aanzien van de modelvalidatie. Naast de figuren die behoren tot de modelvalidatie bij de afvoerlocaties zijn ook de grondwatersimulaties gegeven.

Modelverbeteringsproces

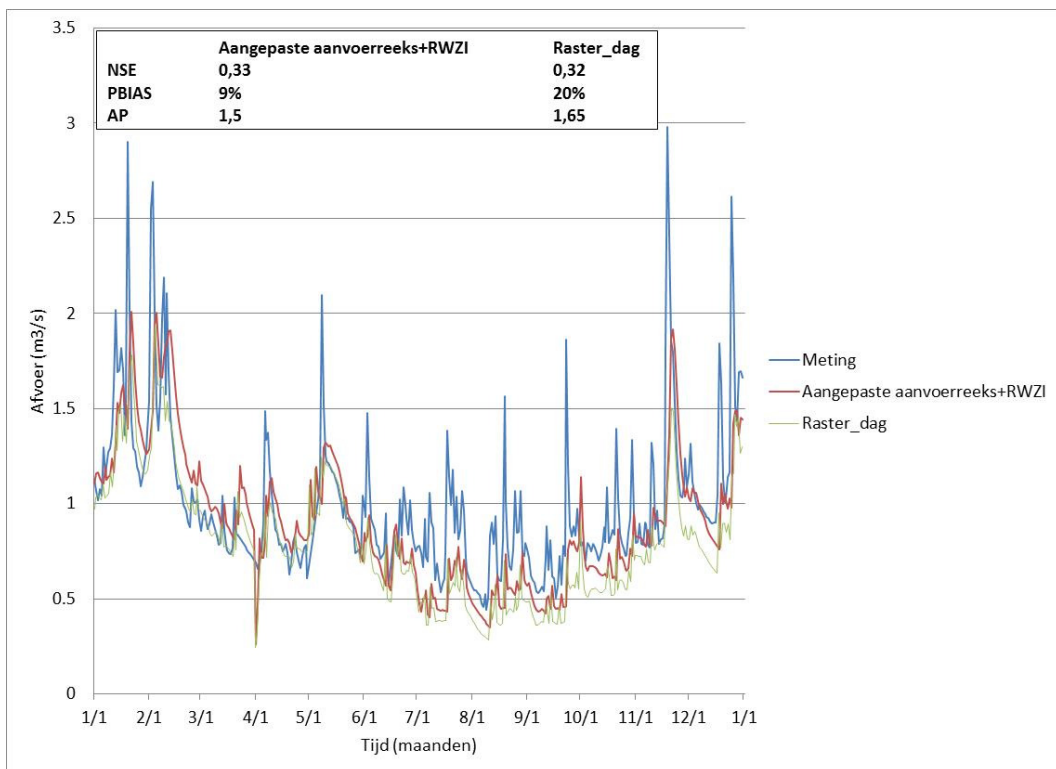
III-1. De Smakt_aangepaste aanvoer



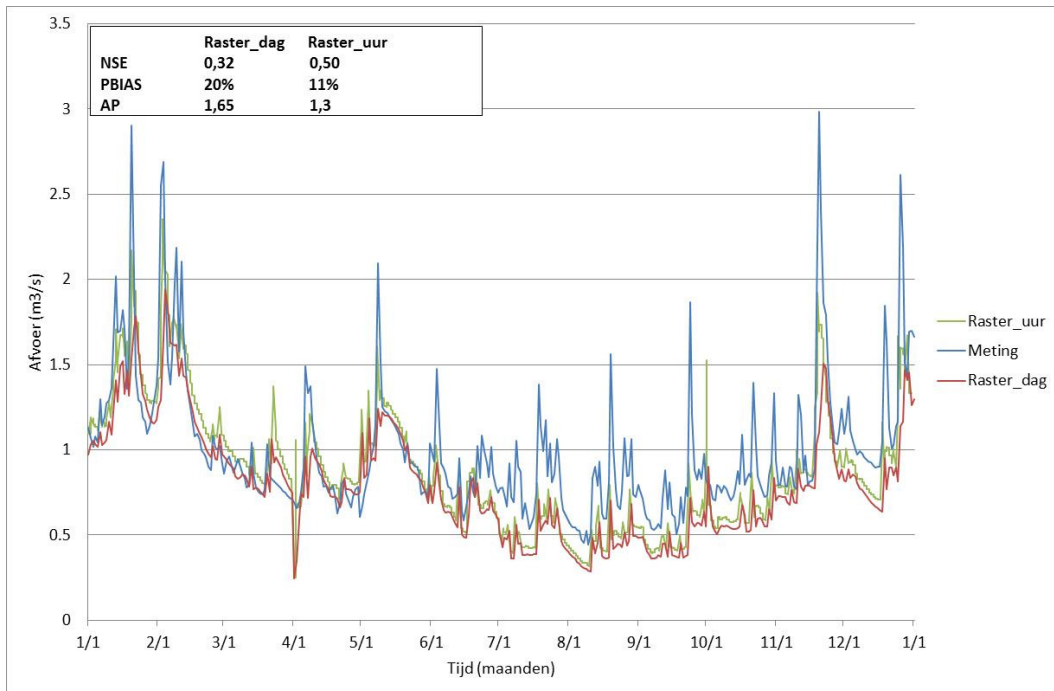
III-2. De Smakt_aangepaste aanvoer+RWZI



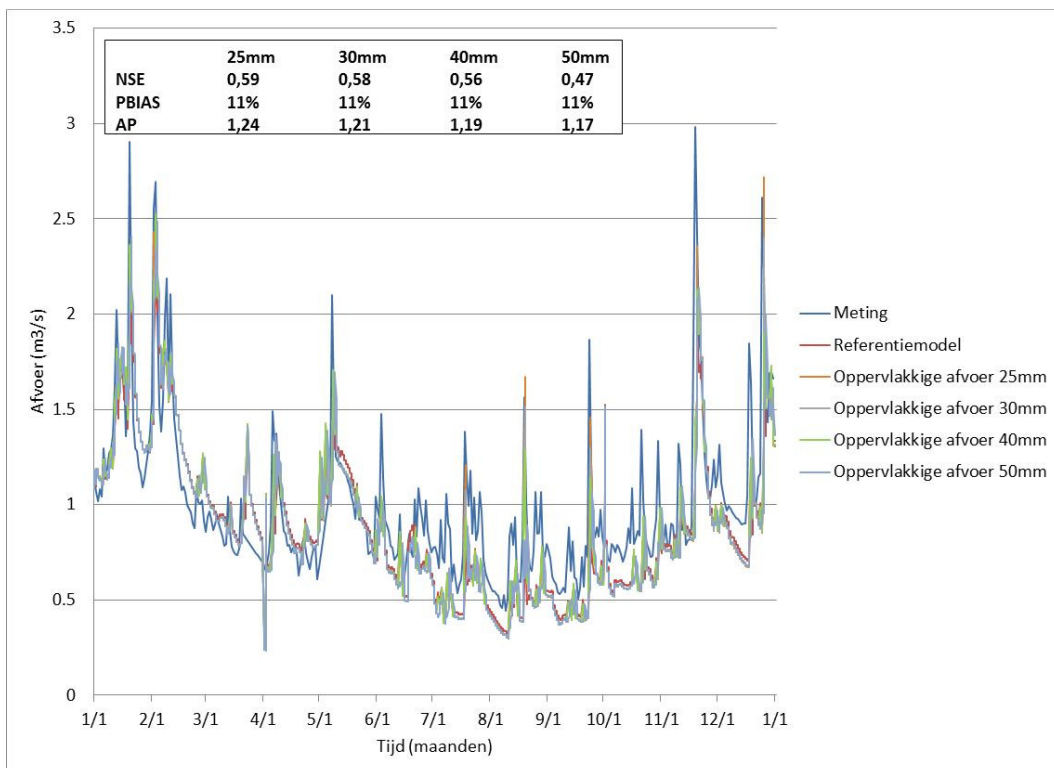
III-3. De Smakt_raster dag



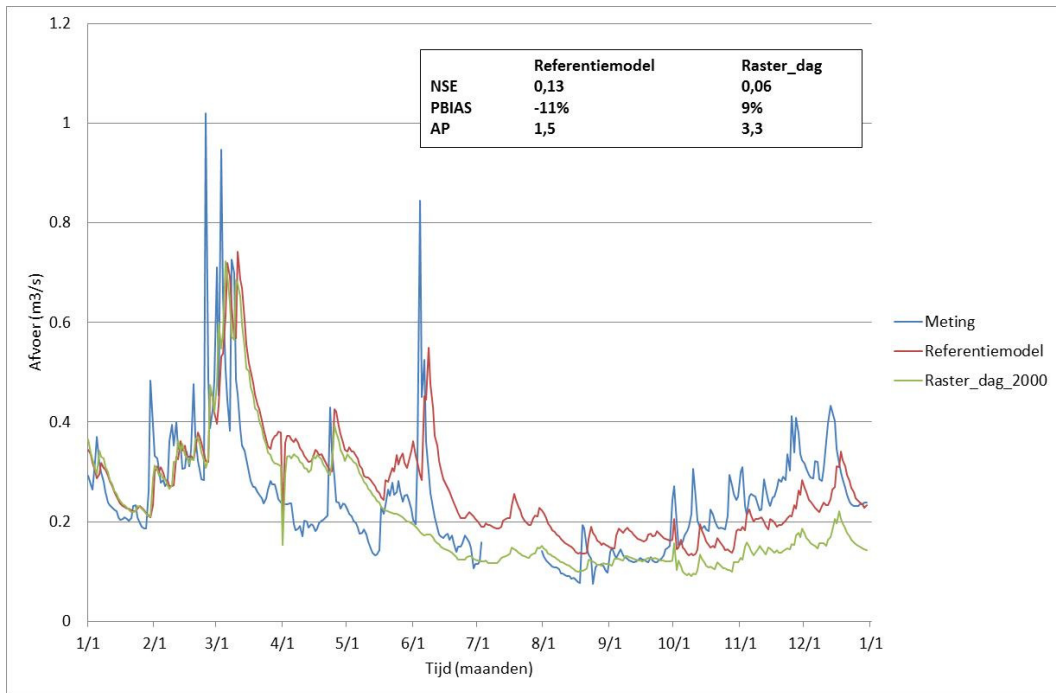
III-4. De Smakt_raster uur



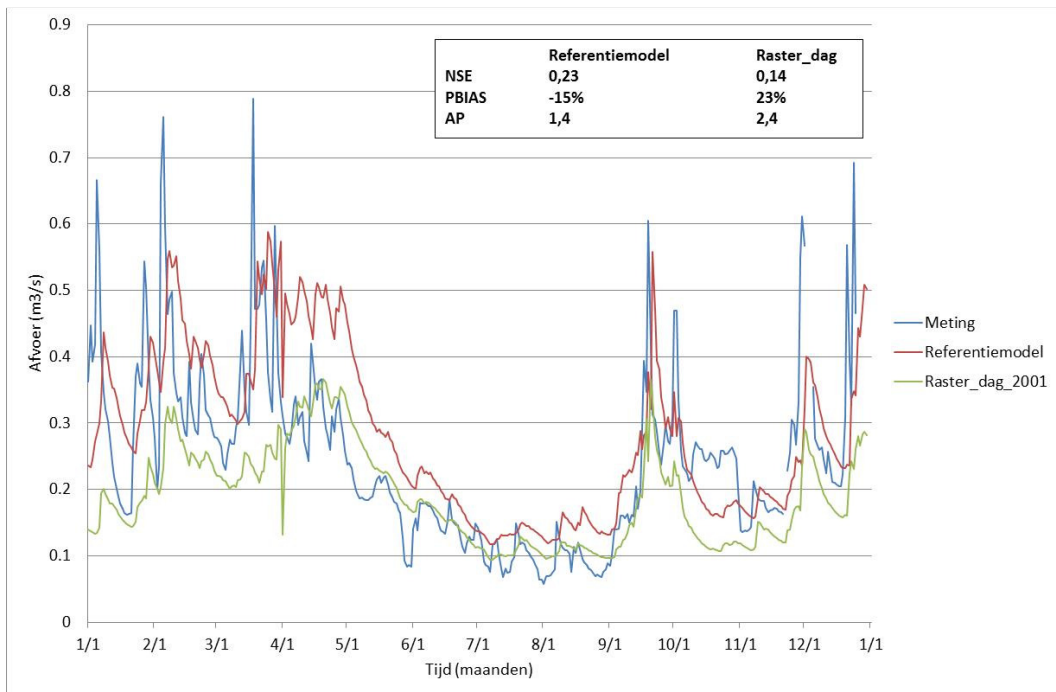
III-5. De Smakt_oppervlakkige afvoer



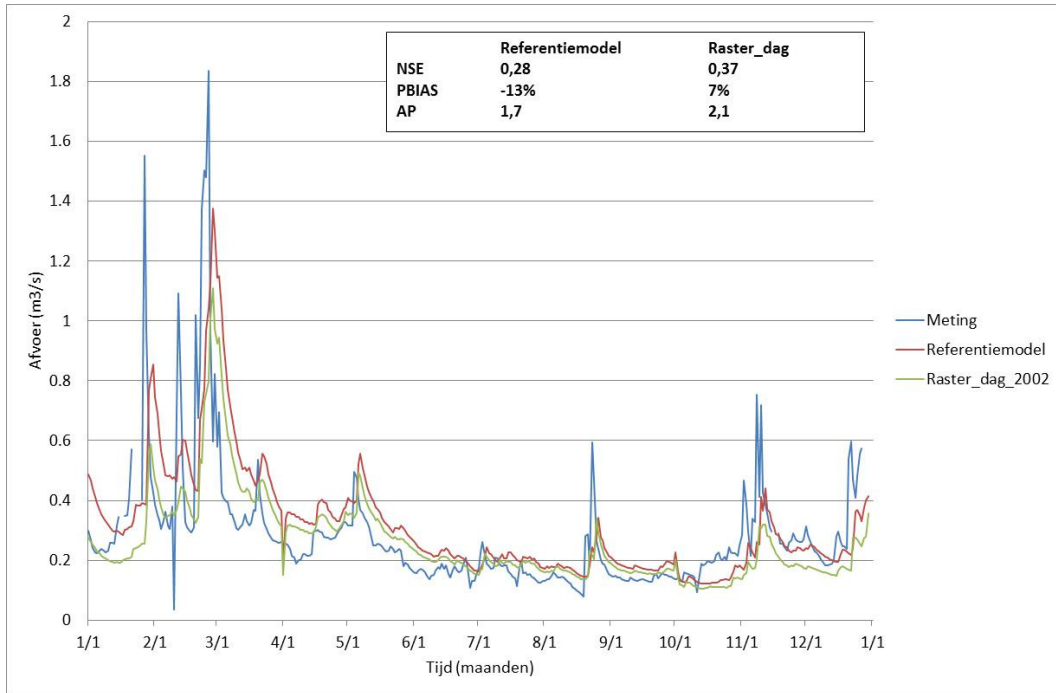
III-6. Venrayse Broek_raster dag_2000



III-7. Venrayse Broek_raster dag_2001

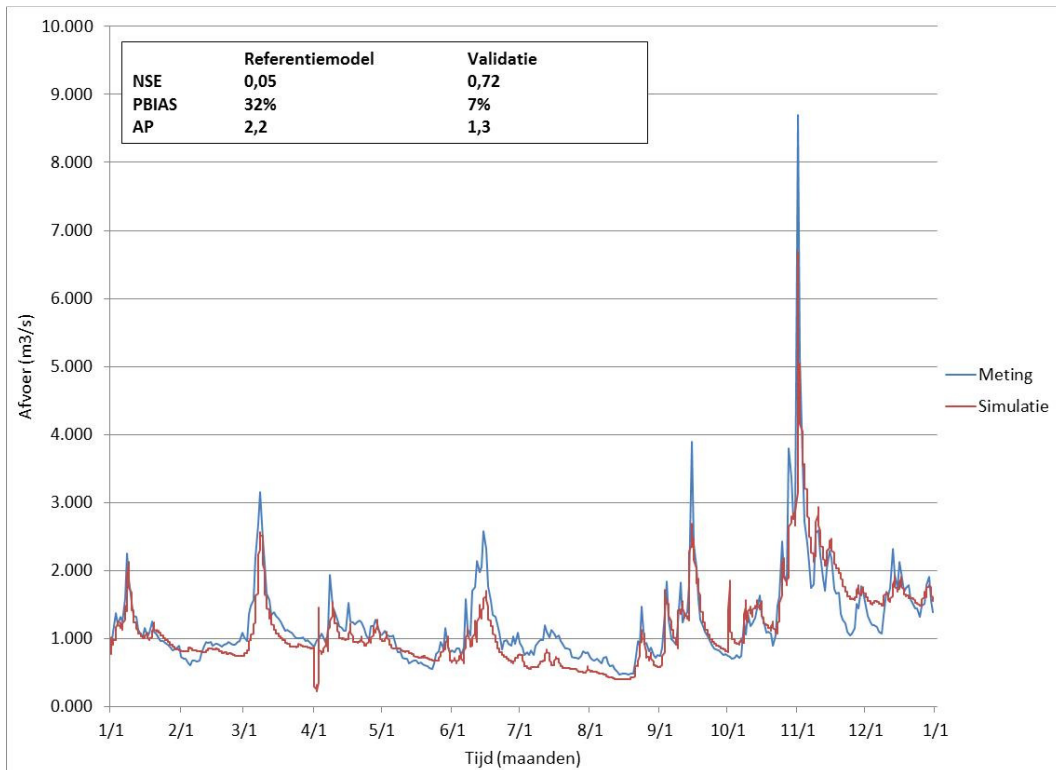


III-8. Venrayse Broek_raster dag_2002

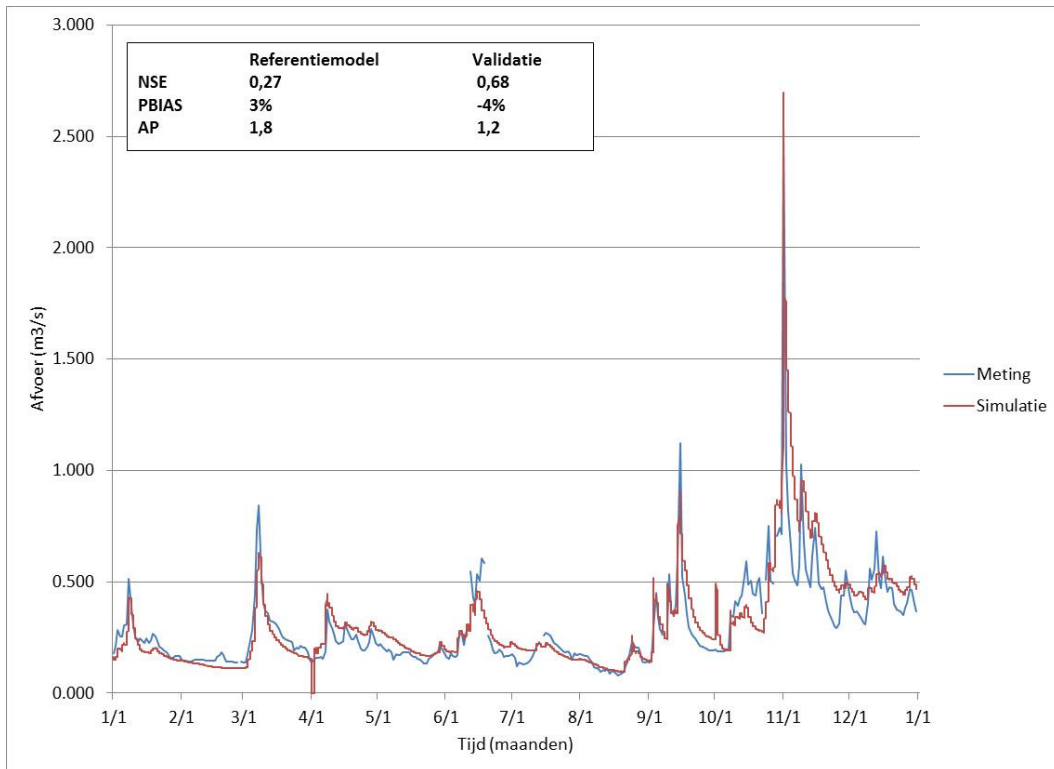


Validatie afvoer

III-9. De Smakt

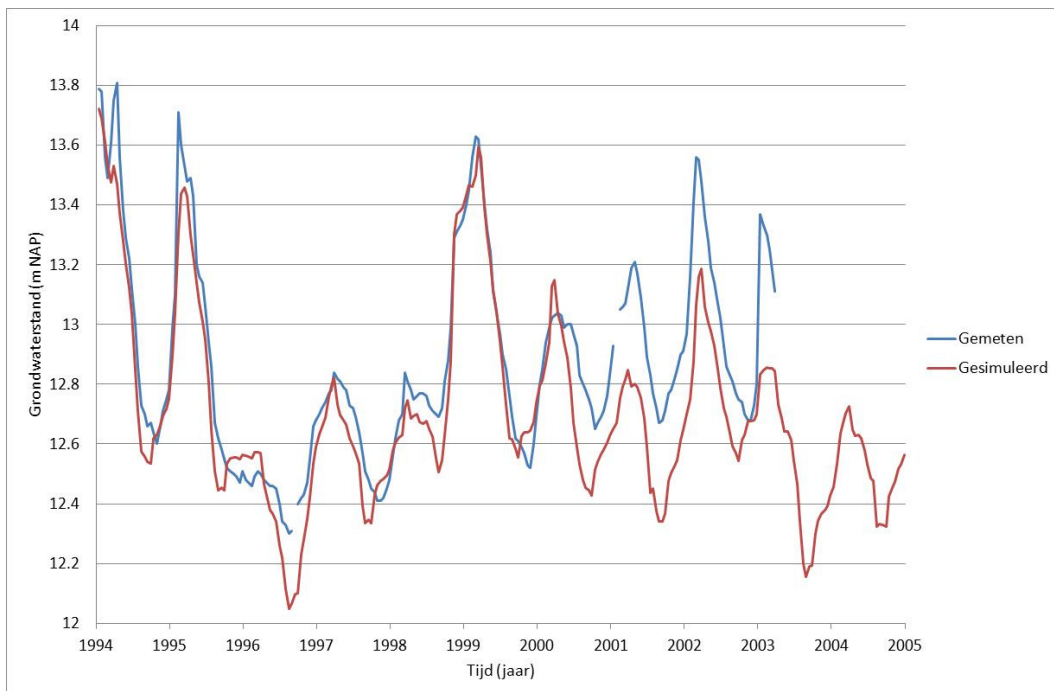


III-10. Venrayse Broek

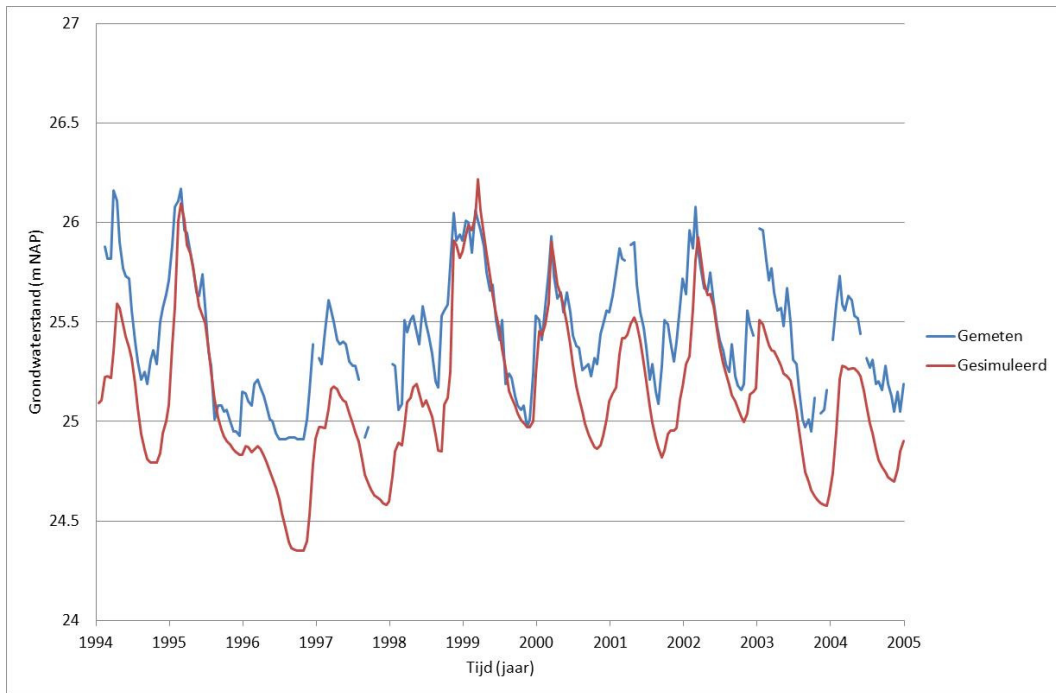


Validatie grondwaterverloop

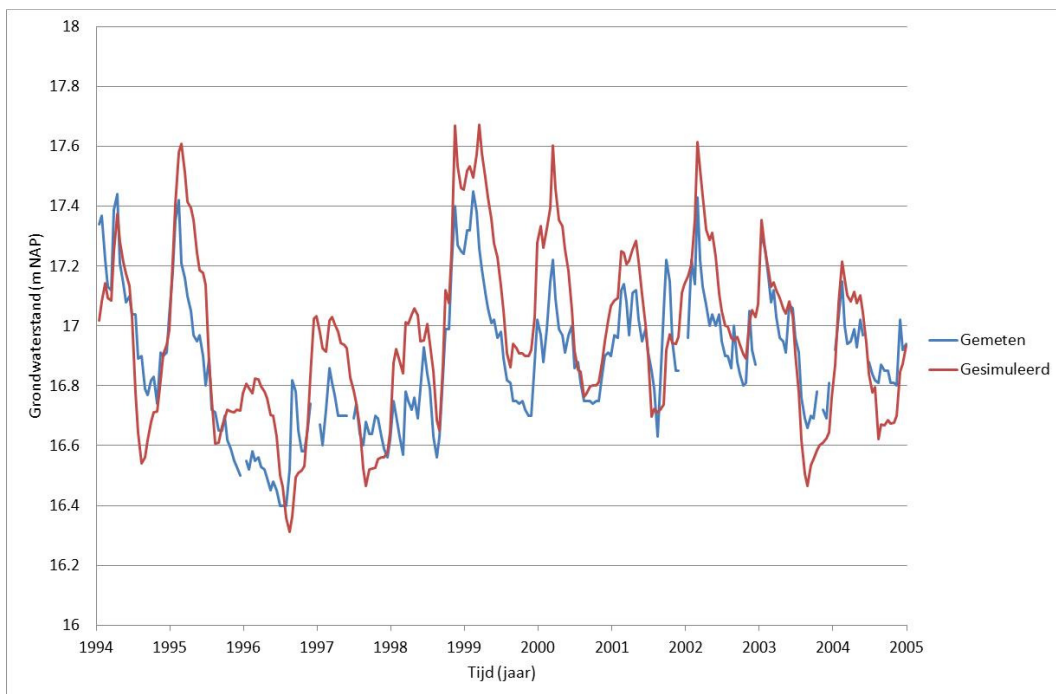
III-11. B46D0741



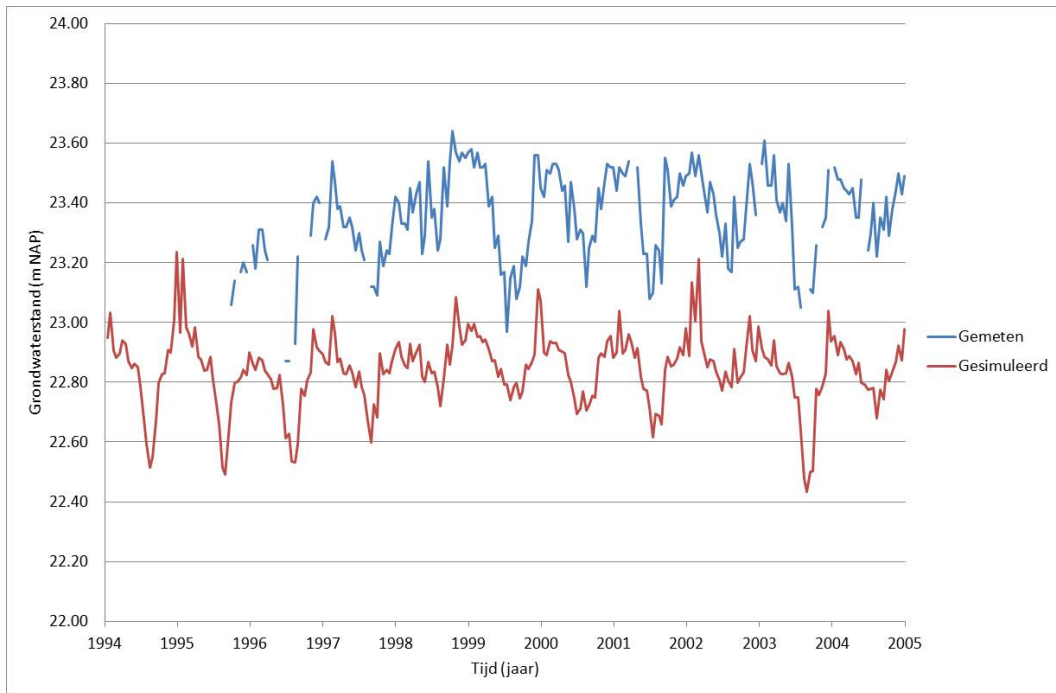
III-12. B52A0224



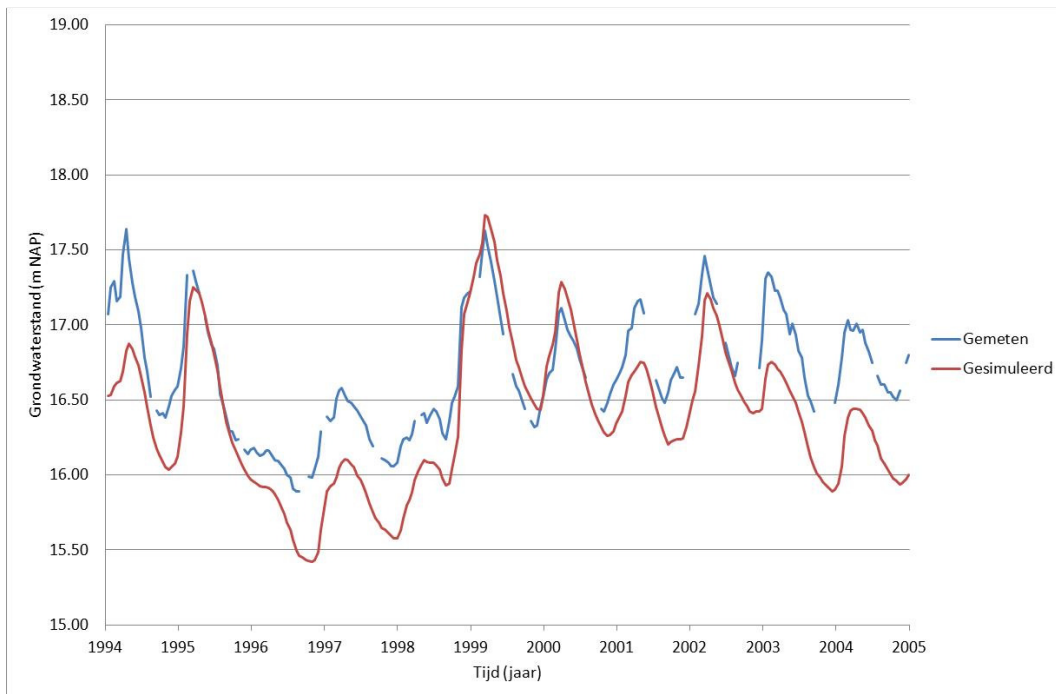
III-13. B52B0176



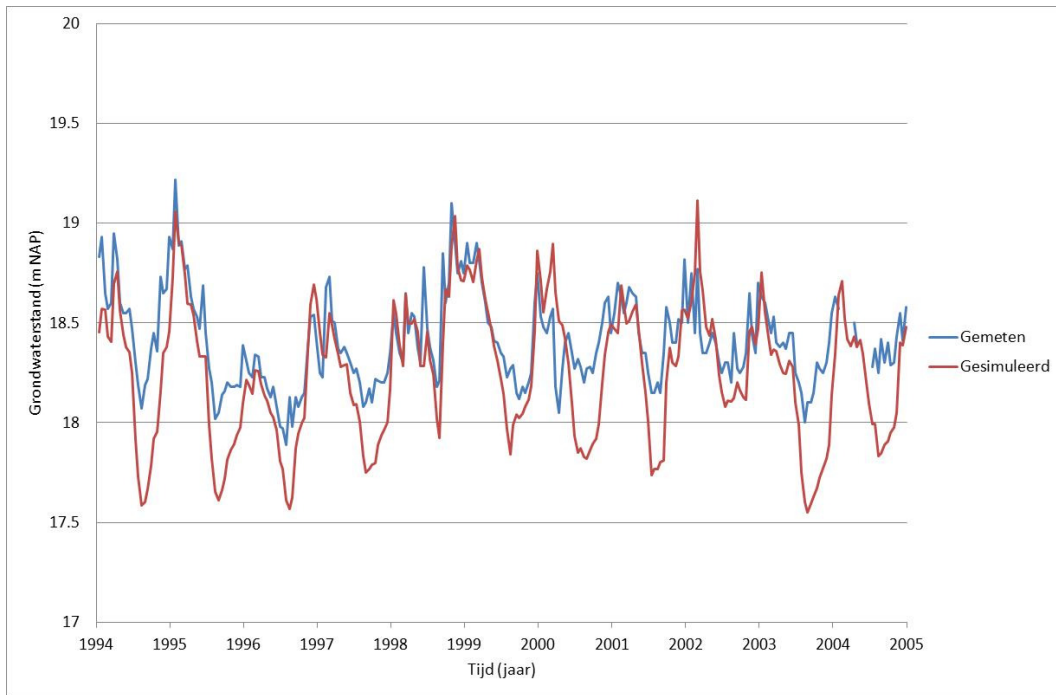
III-14. B52B0357



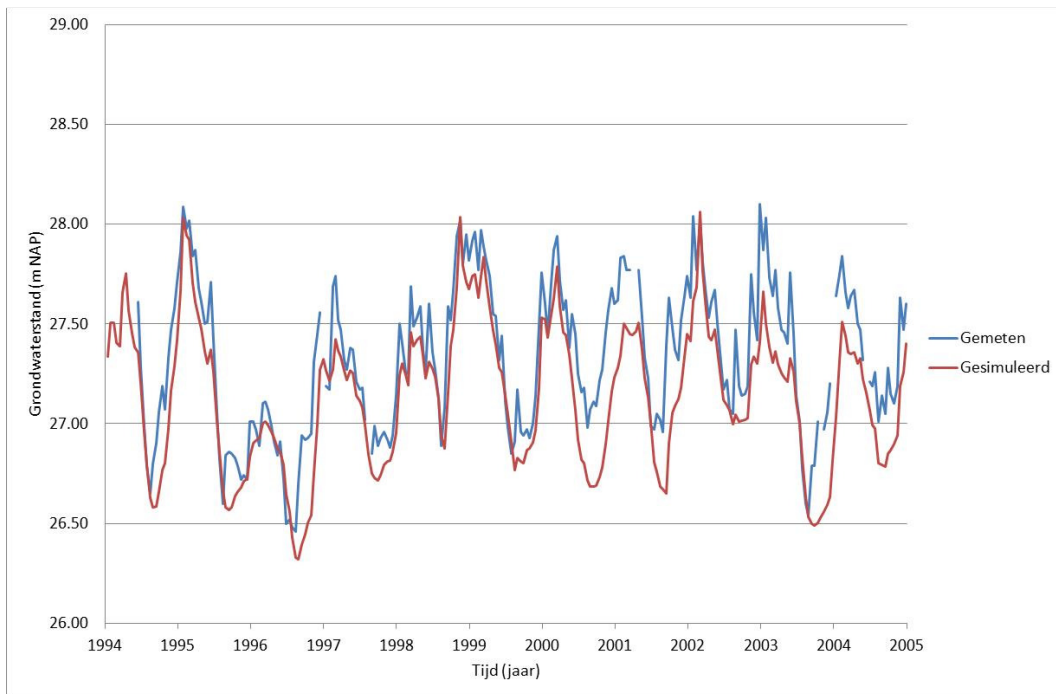
III-15. B52B0400



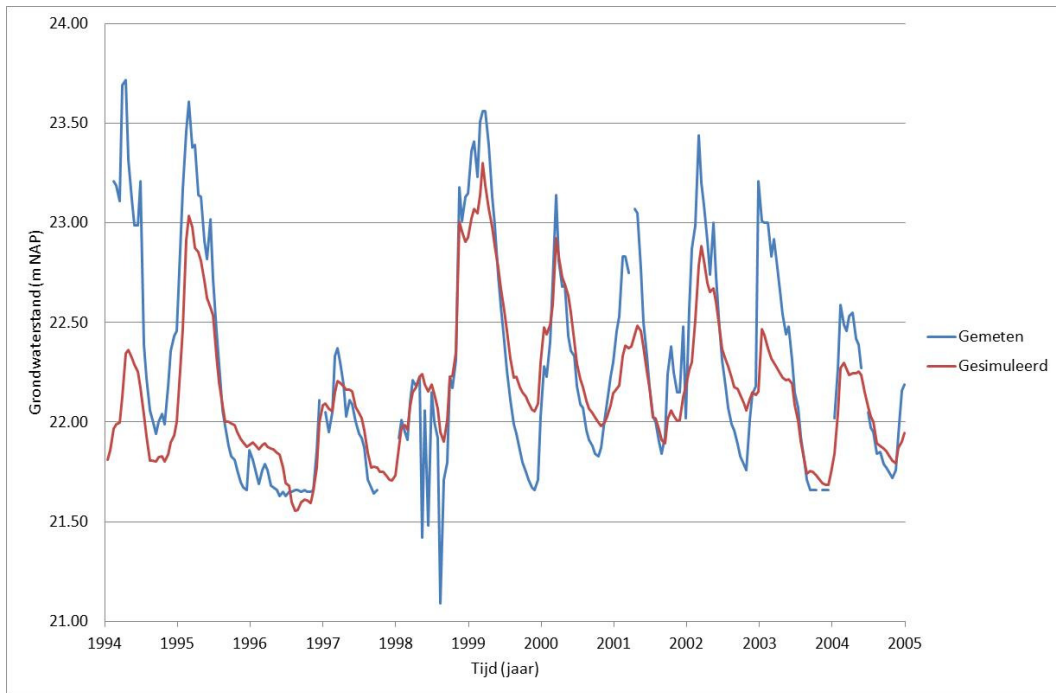
III-16. B52B0445



III-17. B52B0450



III-18. B52B0491



BIJLAGE IV – NEERSLAGPATRONEN EN MAATGEVENDE NEERSLAGDUUR

Deze bijlage is ter ondersteuning van hoofdstuk 6 (Invulling stochastenmethode) en gaat over twee onderdelen. Het eerste onderdeel is toelichting over de zeven neerslagpatronen, die worden toegepast voor de stochastenmethode. Het tweede onderdeel zijn aanvullende figuren die betrekking hebben op het bepalen van de maatgevende neerslagduur (zie paragraaf 6.2).

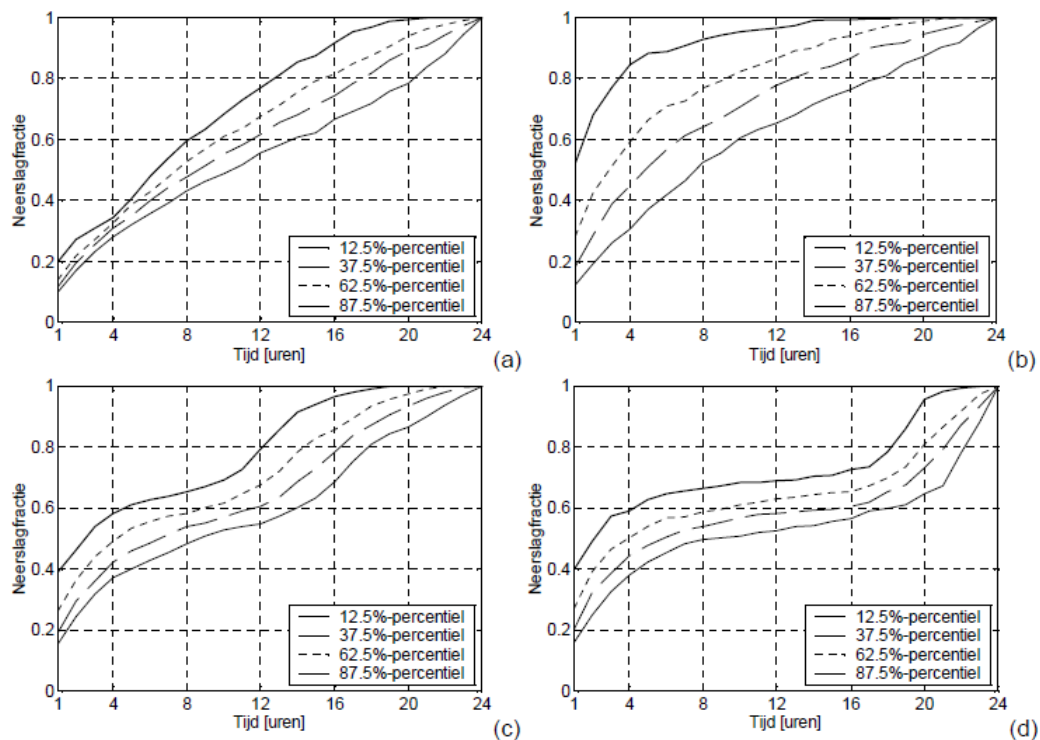
Toelichting neerslagpatronen

Bij de stochastenmethode is één van de neerslagstochasten het neerslagpatroon. Neerslagstatistiek heeft aangetoond dat de kans- en neerslagverdeling van de patronen varieert per neerslagduur en seizoen. De neerslagpatronen zijn bepaald door de 1000 meest extreme neerslaggebeurtenissen in de periode 1906-2003 te selecteren. De selectie is gedaan voor verschillende neerslagduren en seizoenen. Het gaat hierbij om neerslagduren van 1, 2, 4, 8, 12, 24, 48, 96, 192 en 216 uur en om de seizoenen maart-oktober, september-oktober en november-februari. De geselecteerde gebeurtenissen zijn vervolgens geanalyseerd. Bij deze analyse is er onderscheid gemaakt tussen drie typen neerslaggebeurtenissen, namelijk gebeurtenissen zonder piek, gebeurtenissen met één piek en gebeurtenissen met twee pieken. De gebeurtenissen zijn als volgt gedefinieerd:

- Eénpieksgebeurtenis: Een neerslaggebeurtenis waarbij er binnen 1/6- deel van de neerslagduur minstens 35% van de totale neerslagsom valt.
- Tweepieksgebeurtenis: Een gebeurtenis waarbij er, aanvullend op een éénpieksgebeurtenis, binnen een ander 1/6- deel van de neerslagduur nogmaals minimaal 25% van de totale neerslagsom valt. De twee pieken dienen echter wel een tussenliggende periode te hebben van minimaal 1/4- deel van de neerslagduur. Wanneer de tussenliggende periode groter is dan 55% van de totale neerslagduur wordt er gesproken over een tweepieksgebeurtenis met een lange tussenliggende periode. Anders is er sprake van een tweepieksgebeurtenis met een korte duur.
- Nulpieksgebeurtenis: Gebeurtenissen die niet voldoen aan de voorwaarden van een éénpieks- en een tweepieksgebeurtenis.

De kans op een bepaald type neerslaggebeurtenis wordt bepaald door het aantal neerslaggebeurtenissen dat behoort tot het type. Het aantal is afhankelijk van de neerslagduur en het seizoen.

Wanneer de gebeurtenissen gedurende het groeiseizoen (maart-oktober) met een duur van 24 uur als voorbeeld worden genomen, zijn de cumulatieve neerslagverdelingen voor de drie typen neerslaggebeurtenissen zoals weergegeven in Figuur IV-1. De cumulatieven zijn gebaseerd op neerslaguurhoeveelheden, waarbij het eerste uur de grootste gemeten uurhoeveelheid voorstelt, het tweede uur de tweede grootste uurhoeveelheid etc. De percentielen van de cumulatieven zijn overschrijdingskansen en geven een indruk over hoe geconcentreerd de neerslag valt. Een 12,5%-percentiel betekent dat de neerslag in een kort tijdbestek valt. Desbetreffende gebeurtenissen hebben een kleine overschrijdingskans. Een 87,5%- percentiel duidt op een langer tijdsbestek waarover de gebeurtenis plaatsvindt en heeft een grote overschrijdingskans.



Figuur IV-1: De cumulatieve verdelingen van 24- uurs neerslaggebeurtenissen tijdens het groeiseizoen. Het gaat hierbij om cumulatieven met bijbehorende percentielen voor gebeurtenissen zonder piek (a), één piek (b) en twee pieken met korte (c) en lange (d) tussenliggende periode (Smits, et al., 2004)

De percentielen van de gebeurtenissen zonder piek wijken niet veel van elkaar af. Bij het toekennen van zeven neerslagpatronen is zodoende de keuze gemaakt om één nulpieksgebeurtenis toe te passen. Er is hierbij gekozen voor het 15%- percentiel. Dit percentiel heeft volgens de neerslagstatistiek de meest uniforme neerslagverdeling en is daarom gekozen als neerslagpatron. De kans van dit neerslagpatron zonder piek wordt bepaald door het aantal gebeurtenissen van de 1000 geselecteerde gebeurtenissen die voldoen aan de definitie van een nulpieksgebeurtenis. De percentielen van de gebeurtenissen met één piek wijken wel duidelijk af. Om deze reden zijn de verschillende percentielen voor de eenpieksgebeurtenissen (Figuur IV-1) allemaal als afzonderlijk neerslagpatron gekozen. De kansverdeling van de éénpieksgebeurtenissen is gelijk en wordt bepaald door het aantal gebeurtenissen van de 1000 geselecteerde gebeurtenissen die voldoen aan de definitie voor een éénpieksgebeurtenis. Omdat de kansverdeling gelijk is, is de kans op een percentieel gelijk aan een kwart van de totale kans op een éénpieksgebeurtenis. Voor de neerslaggebeurtenissen met twee pieken zijn de 50%-percentielen gekozen. De kansen van de tweepieksgebeurtenissen worden ook weer bepaald door het aantal gebeurtenissen die voldoen aan de definitie van een tweepieksgebeurtenis. In totaal resulteert dit in zeven neerslagpatronen (één nulpieksgebeurtenis, vier éénpieksgebeurtenissen en twee tweepieksgebeurtenissen).

Voor de neerslagverdeling van de zeven patronen is gebruik gemaakt van de cumulatieve verdelingen. Bij het uniforme neerslagpatron vindt de hoogste neerslaguurhoeveelheid halverwege de neerslaggebeurtenis plaats, terwijl de tweede en derde hoogste uurhoeveelheid tijdens respectievelijk

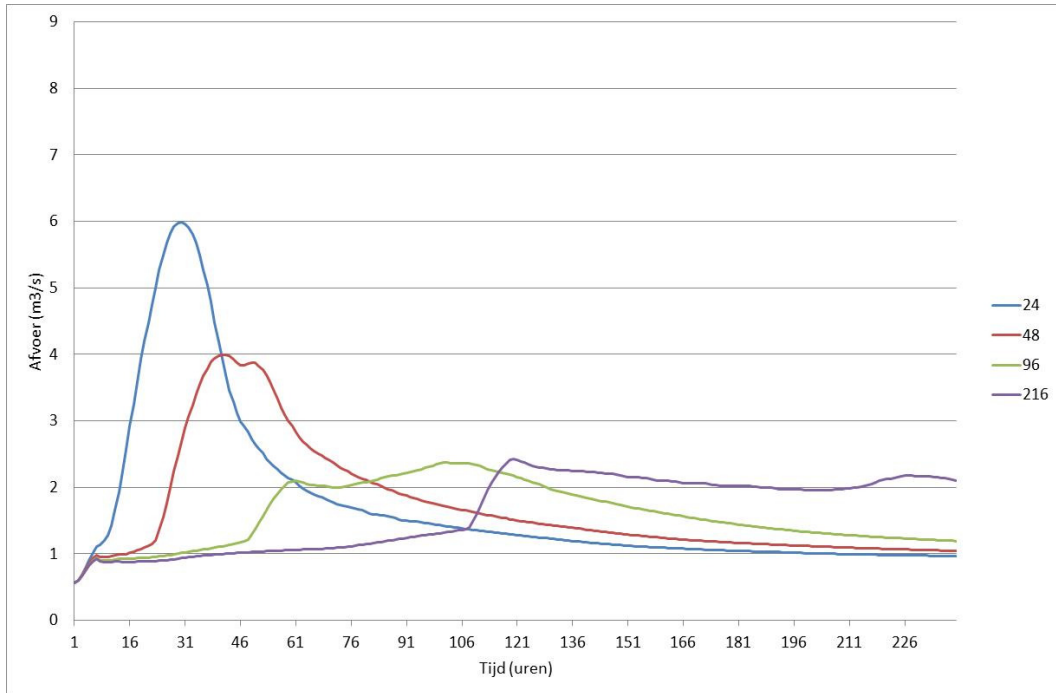
het eerste en laatste uur plaatsvinden. Bij de vier patronen met één piek vindt eveneens de hoogst gemeten neerslaguurhoeveelheid halverwege de gebeurtenis plaats. De tweede en derde hoogste uurhoeveelheden vinden vervolgens het uur voor en na de hoogste uurhoeveelheid plaats. De vierde en vijfde hoogste uurhoeveelheden vinden vervolgens weer een uur voor en na de tweede en derde hoogste uurhoeveelheid plaats. Dit principe herhaalt zich tot het eerste en laatste uur is bereikt. De wijze waarop de éénpiekspatronen zijn samengesteld betekent dat er sprake is van hoog geconcentreerde neerslagverdelingen. In werkelijkheid wordt het hoogste uurgemiddelde niet altijd opgevolgd door het tweede hoogste uurgemiddelde, maar is de verdeling minder geconcentreerd en dus meer verdeeld gedurende een neerslaggebeurtenis. De twee tweepiekspatronen zijn vormgegeven door naast de cumulatieve verdelingen ook de selecteerde neerslaggebeurtenissen te analyseren. Bij deze analyse is onderzocht hoe groot het gemiddelde tijdsinterval is tussen de twee pieken (zowel voor de korte als lange tussenduur is dit geanalyseerd). Vervolgens is voor het samenstellen van de gebeurtenissen hetzelfde principe toegepast als bij de éénpiekspatronen.

Resultaten bepalen maatgevende neerslagduur

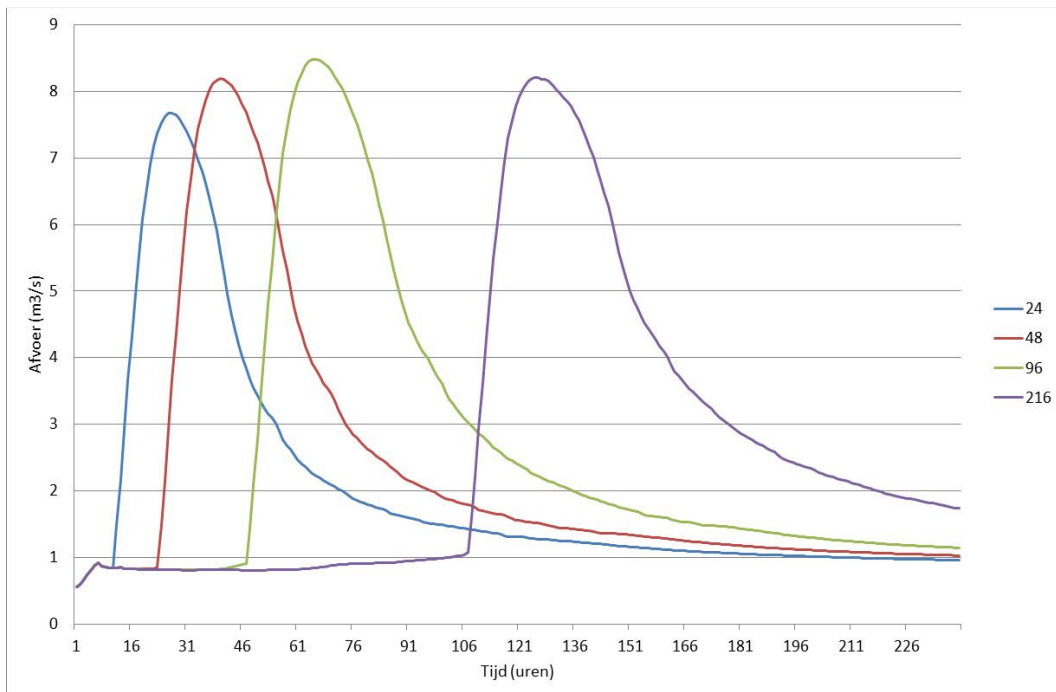
Het tweede onderdeel van deze bijlage is gerelateerd aan het bepalen van de maatgevende neerslagduur. In deze bijlage zijn de bijbehorende figuren gegeven. Elke figuur (IV1 tot IV-8) geeft voor de vier onderzochte neerslagduren (24, 48, 96 en 216 uur) het verloop van de gesimuleerde afvoer weer tijdens de gebeurtenis. De onderstaande tabel geeft een opsomming van de kenmerken van de gesimuleerde gebeurtenissen.

Figurnummer	Locatie	Seizoen	Patroon
IV-1.	De Smakt	Groeiseizoen	Uniform
IV-2.	De Smakt	Groeiseizoen	Hoog
IV-3.	De Smakt	Winter	Uniform
IV-4.	De Smakt	Winter	Hoog
IV-5.	Venrayse Broek	Groeiseizoen	Uniform
IV-6.	Venrayse Broek	Groeiseizoen	Hoog
IV-7.	Venrayse Broek	Winter	Uniform
IV-8.	Venrayse Broek	Winter	Hoog

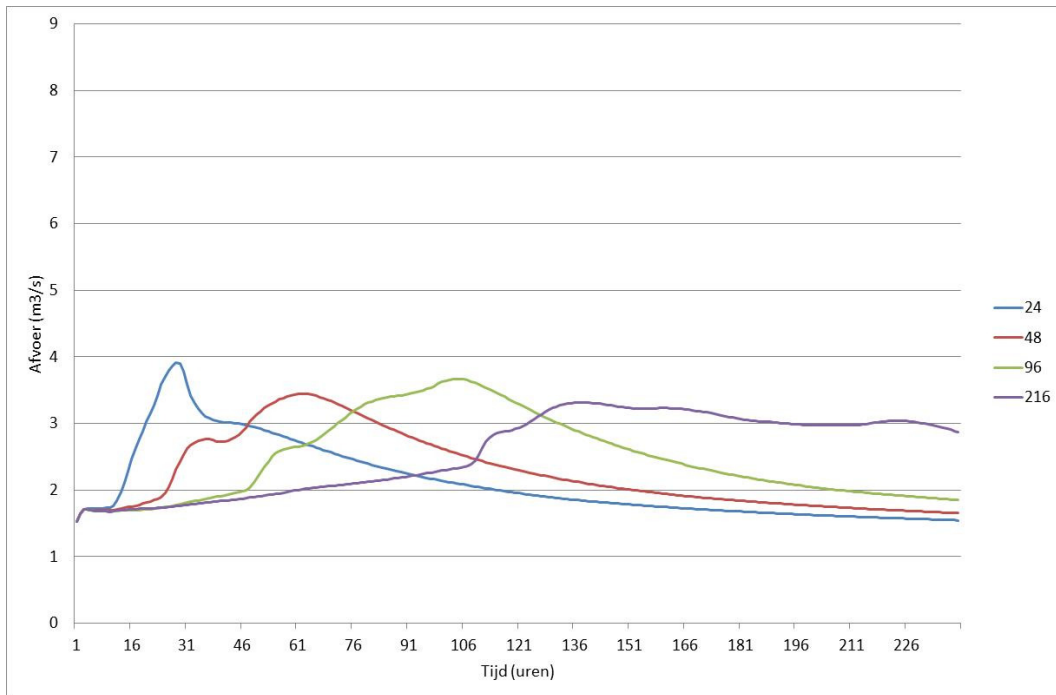
IV-1. DE SMAKT_GROEISEIZOEN_UNIFORM



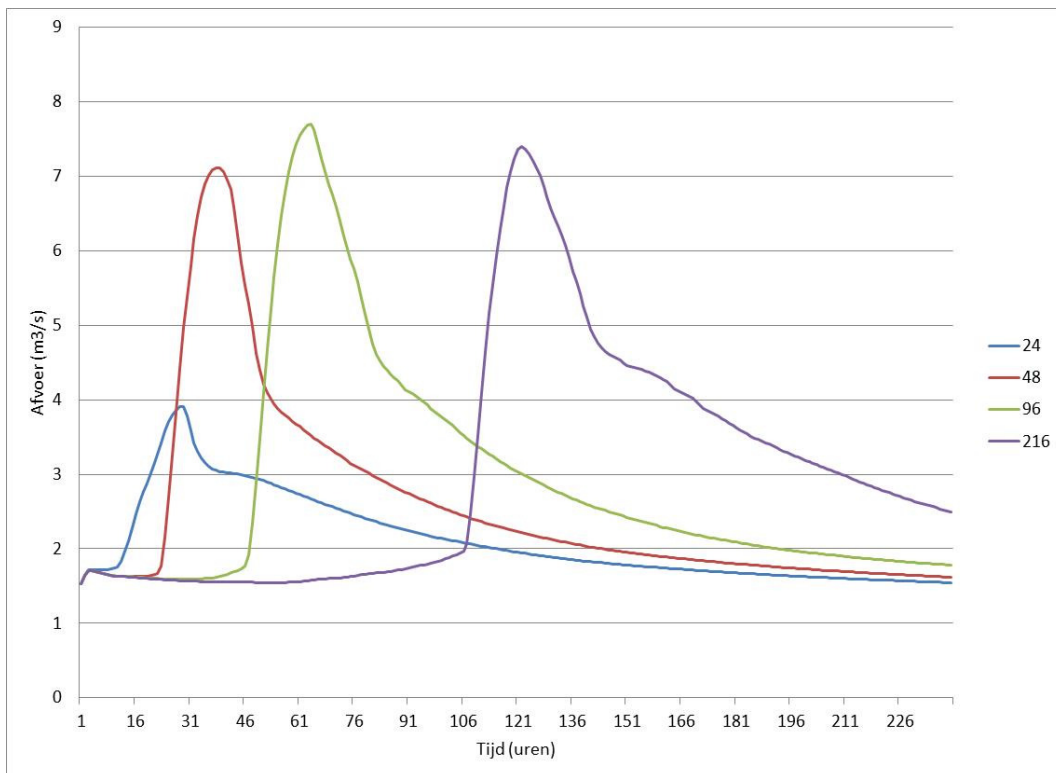
IV-2. DE SMAKT_GROEISEIZOEN_HOOG



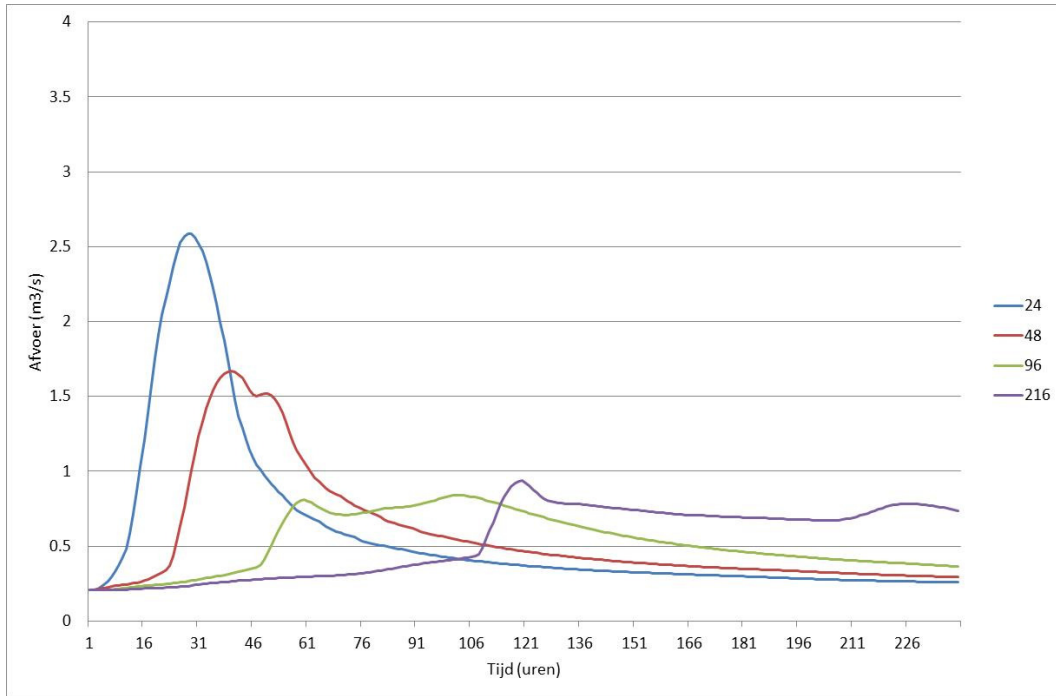
IV-3. DE SMAKT_WINTER_UNIFORM



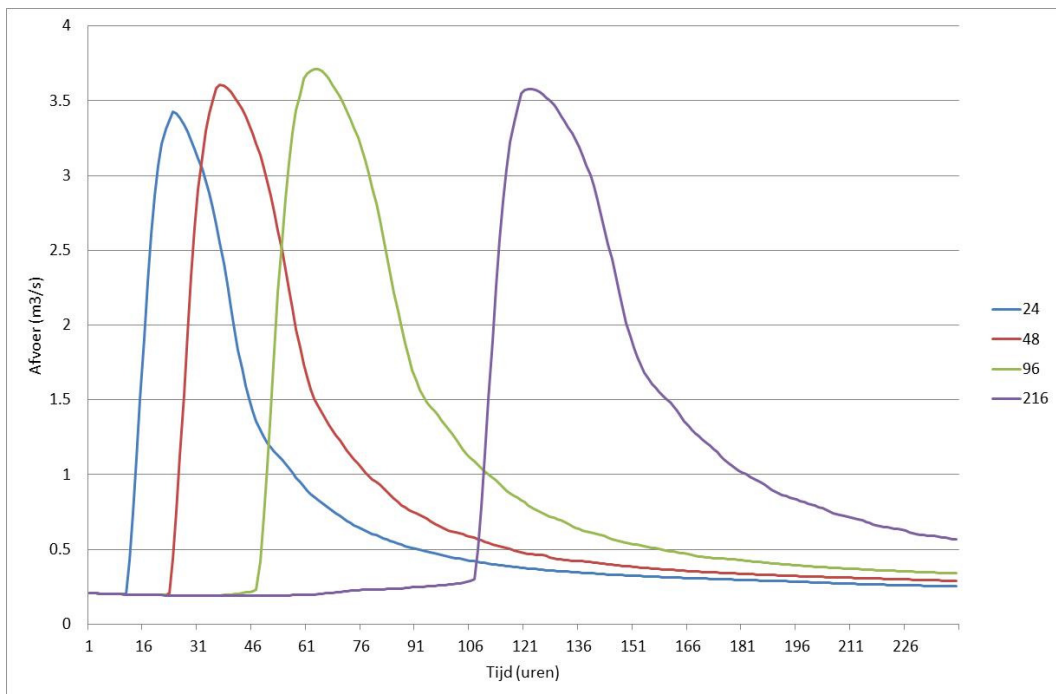
IV-4. DE SMAKT_WINTER_HOOG



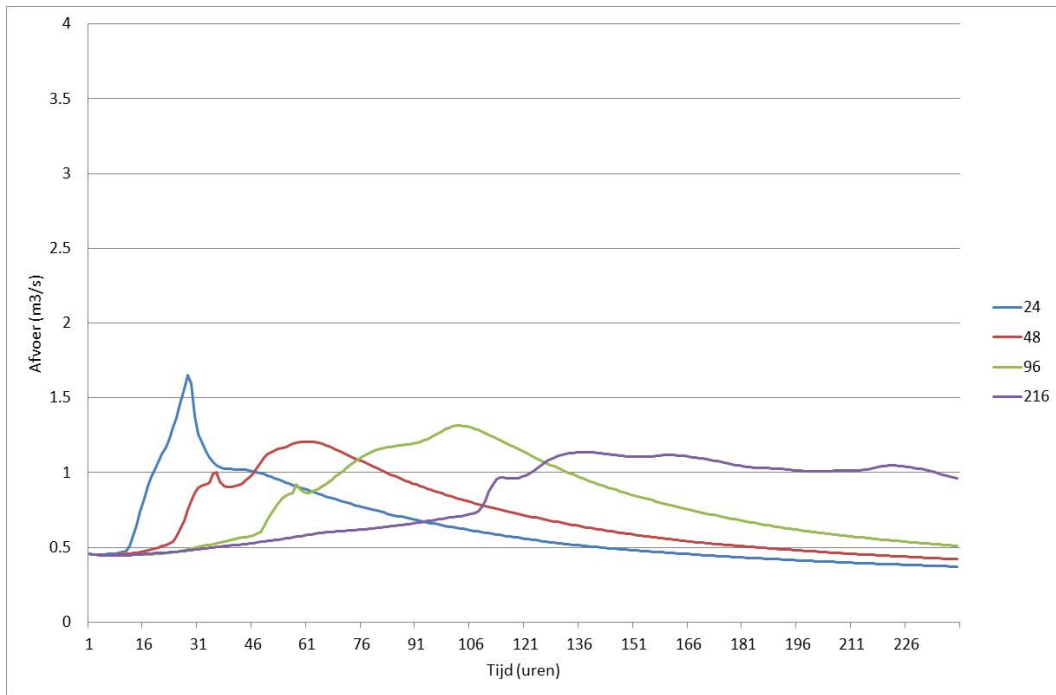
IV-5. VENRAYSE BROEK_GROEISEIZOEN_UNIFORM



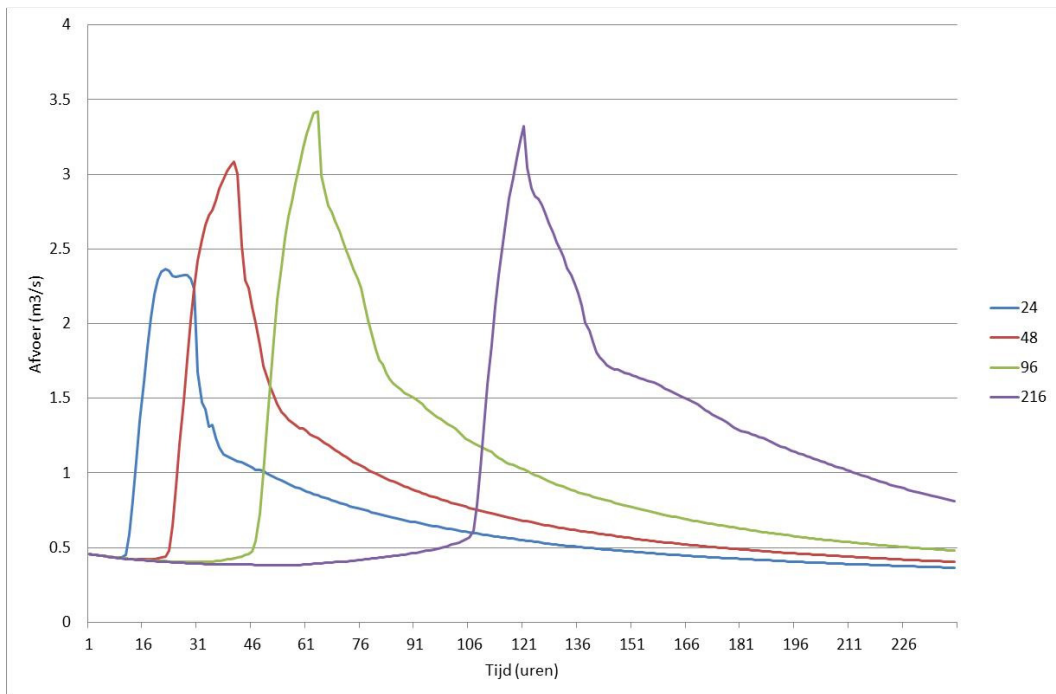
IV-6. VENRAYSE BROEK_GROEISEIZOEN_HOOG



IV-7. VENRAYSE BROEK_WINTER_UNIFORM



IV-8. VENRAYSE BROEK_WINTER_HOOG



BIJLAGE V – NEERSLAGGEBEURTENISSEN STOCHASTENBEREKENING

Deze bijlage geeft een overzicht van de 182 neerslaggebeurtenissen die ten aanzien van de stochasteberekening zijn doorgerekend.

Naam	Kans	Seizoen	Berging	Patroon	Volume	Duur
Gdroog_1	0.0188	Groeiseizoen	Droog	Uniform	30	24
Gdroog_2	0.0128	Groeiseizoen	Droog	Uniform	40	24
Gdroog_3	0.0039	Groeiseizoen	Droog	Uniform	50	24
Gdroog_4	0.0013	Groeiseizoen	Droog	Uniform	60	24
Gdroog_5	0.0005	Groeiseizoen	Droog	Uniform	70	24
Gdroog_6	0.0003	Groeiseizoen	Droog	Uniform	80	24
Gdroog_7	0.0357	Groeiseizoen	Droog	Laag	30	24
Gdroog_8	0.0243	Groeiseizoen	Droog	Laag	40	24
Gdroog_9	0.0074	Groeiseizoen	Droog	Laag	50	24
Gdroog_10	0.0025	Groeiseizoen	Droog	Laag	60	24
Gdroog_11	0.0009	Groeiseizoen	Droog	Laag	70	24
Gdroog_12	0.0006	Groeiseizoen	Droog	Laag	80	24
Gdroog_13	0.0357	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	30	24
Gdroog_14	0.0243	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	40	24
Gdroog_15	0.0074	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	50	24
Gdroog_16	0.0025	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	60	24
Gdroog_17	0.0009	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	70	24
Gdroog_18	0.0006	Groeiseizoen	Droog	Middel laag	80	24
Gdroog_19	0.0357	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	30	24
Gdroog_20	0.0243	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	40	24
Gdroog_21	0.0074	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	50	24
Gdroog_22	0.0025	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	60	24
Gdroog_23	0.0009	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	70	24
Gdroog_24	0.0006	Groeiseizoen	Droog	Middel hoog	80	24
Gdroog_25	0.0357	Groeiseizoen	Droog	Hoog	30	24
Gdroog_26	0.0243	Groeiseizoen	Droog	Hoog	40	24
Gdroog_27	0.0074	Groeiseizoen	Droog	Hoog	50	24
Gdroog_28	0.0025	Groeiseizoen	Droog	Hoog	60	24
Gdroog_29	0.0009	Groeiseizoen	Droog	Hoog	70	24
Gdroog_30	0.0006	Groeiseizoen	Droog	Hoog	80	24
Gdroog_31	0.0315	Groeiseizoen	Droog	Kort	30	24
Gdroog_32	0.0214	Groeiseizoen	Droog	Kort	40	24
Gdroog_33	0.0066	Groeiseizoen	Droog	Kort	50	24
Gdroog_34	0.0022	Groeiseizoen	Droog	Kort	60	24
Gdroog_35	0.0008	Groeiseizoen	Droog	Kort	70	24
Gdroog_36	0.0005	Groeiseizoen	Droog	Kort	80	24
Gdroog_37	0.0179	Groeiseizoen	Droog	Lang	30	24
Gdroog_38	0.0122	Groeiseizoen	Droog	Lang	40	24
Gdroog_39	0.0037	Groeiseizoen	Droog	Lang	50	24
Gdroog_40	0.0013	Groeiseizoen	Droog	Lang	60	24
Gdroog_41	0.0005	Groeiseizoen	Droog	Lang	70	24
Gdroog_42	0.0003	Groeiseizoen	Droog	Lang	80	24

Naam	Kans	Seizoen	Berging	Patroon	Volume	Duur
Gnat_1	0.0188	Groeiseizoen	Nat	Uniform	30	24
Gnat_2	0.0128	Groeiseizoen	Nat	Uniform	40	24
Gnat_3	0.0039	Groeiseizoen	Nat	Uniform	50	24
Gnat_4	0.0013	Groeiseizoen	Nat	Uniform	60	24
Gnat_5	0.0005	Groeiseizoen	Nat	Uniform	70	24
Gnat_6	0.0003	Groeiseizoen	Nat	Uniform	80	24
Gnat_7	0.0357	Groeiseizoen	Nat	Laag	30	24
Gnat_8	0.0243	Groeiseizoen	Nat	Laag	40	24
Gnat_9	0.0074	Groeiseizoen	Nat	Laag	50	24
Gnat_10	0.0025	Groeiseizoen	Nat	Laag	60	24
Gnat_11	0.0009	Groeiseizoen	Nat	Laag	70	24
Gnat_12	0.0006	Groeiseizoen	Nat	Laag	80	24
Gnat_13	0.0357	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	30	24
Gnat_14	0.0243	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	40	24
Gnat_15	0.0074	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	50	24
Gnat_16	0.0025	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	60	24
Gnat_17	0.0009	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	70	24
Gnat_18	0.0006	Groeiseizoen	Nat	Middel laag	80	24
Gnat_19	0.0357	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	30	24
Gnat_20	0.0243	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	40	24
Gnat_21	0.0074	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	50	24
Gnat_22	0.0025	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	60	24
Gnat_23	0.0009	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	70	24
Gnat_24	0.0006	Groeiseizoen	Nat	Middel hoog	80	24
Gnat_25	0.0357	Groeiseizoen	Nat	Hoog	30	24
Gnat_26	0.0243	Groeiseizoen	Nat	Hoog	40	24
Gnat_27	0.0074	Groeiseizoen	Nat	Hoog	50	24
Gnat_28	0.0025	Groeiseizoen	Nat	Hoog	60	24
Gnat_29	0.0009	Groeiseizoen	Nat	Hoog	70	24
Gnat_30	0.0006	Groeiseizoen	Nat	Hoog	80	24
Gnat_31	0.0315	Groeiseizoen	Nat	Kort	30	24
Gnat_32	0.0214	Groeiseizoen	Nat	Kort	40	24
Gnat_33	0.0066	Groeiseizoen	Nat	Kort	50	24
Gnat_34	0.0022	Groeiseizoen	Nat	Kort	60	24
Gnat_35	0.0008	Groeiseizoen	Nat	Kort	70	24
Gnat_36	0.0005	Groeiseizoen	Nat	Kort	80	24
Gnat_37	0.0179	Groeiseizoen	Nat	Lang	30	24
Gnat_38	0.0122	Groeiseizoen	Nat	Lang	40	24
Gnat_39	0.0037	Groeiseizoen	Nat	Lang	50	24
Gnat_40	0.0013	Groeiseizoen	Nat	Lang	60	24
Gnat_41	0.0005	Groeiseizoen	Nat	Lang	70	24
Gnat_42	0.0003	Groeiseizoen	Nat	Lang	80	24

Naam	Kans	Seizoen	Berging	Patroon	Volume	Duur
Wdroog_1	0.0274	Winter	Droog	Uniform	30	96
Wdroog_2	0.0171	Winter	Droog	Uniform	40	96
Wdroog_3	0.0063	Winter	Droog	Uniform	50	96
Wdroog_4	0.0024	Winter	Droog	Uniform	60	96
Wdroog_5	0.0009	Winter	Droog	Uniform	70	96
Wdroog_6	0.0004	Winter	Droog	Uniform	80	96
Wdroog_7	0.0002	Winter	Droog	Uniform	90	96
Wdroog_8	0.0345	Winter	Droog	Laag	30	96
Wdroog_9	0.0216	Winter	Droog	Laag	40	96
Wdroog_10	0.0080	Winter	Droog	Laag	50	96
Wdroog_11	0.0030	Winter	Droog	Laag	60	96
Wdroog_12	0.0012	Winter	Droog	Laag	70	96
Wdroog_13	0.0005	Winter	Droog	Laag	80	96
Wdroog_14	0.0003	Winter	Droog	Laag	90	96
Wdroog_15	0.0345	Winter	Droog	Middel laag	30	96
Wdroog_16	0.0216	Winter	Droog	Middel laag	40	96
Wdroog_17	0.0080	Winter	Droog	Middel laag	50	96
Wdroog_18	0.0030	Winter	Droog	Middel laag	60	96
Wdroog_19	0.0012	Winter	Droog	Middel laag	70	96
Wdroog_20	0.0005	Winter	Droog	Middel laag	80	96
Wdroog_21	0.0003	Winter	Droog	Middel laag	90	96
Wdroog_22	0.0345	Winter	Droog	Middel hoog	30	96
Wdroog_23	0.0216	Winter	Droog	Middel hoog	40	96
Wdroog_24	0.0080	Winter	Droog	Middel hoog	50	96
Wdroog_25	0.0030	Winter	Droog	Middel hoog	60	96
Wdroog_26	0.0012	Winter	Droog	Middel hoog	70	96
Wdroog_27	0.0005	Winter	Droog	Middel hoog	80	96
Wdroog_28	0.0003	Winter	Droog	Middel hoog	90	96
Wdroog_29	0.0345	Winter	Droog	Hoog	30	96
Wdroog_30	0.0216	Winter	Droog	Hoog	40	96
Wdroog_31	0.0080	Winter	Droog	Hoog	50	96
Wdroog_32	0.0030	Winter	Droog	Hoog	60	96
Wdroog_33	0.0012	Winter	Droog	Hoog	70	96
Wdroog_34	0.0005	Winter	Droog	Hoog	80	96
Wdroog_35	0.0003	Winter	Droog	Hoog	90	96
Wdroog_36	0.0432	Winter	Droog	Kort	30	96
Wdroog_37	0.0270	Winter	Droog	Kort	40	96
Wdroog_38	0.0100	Winter	Droog	Kort	50	96
Wdroog_39	0.0038	Winter	Droog	Kort	60	96
Wdroog_40	0.0014	Winter	Droog	Kort	70	96
Wdroog_41	0.0006	Winter	Droog	Kort	80	96
Wdroog_42	0.0004	Winter	Droog	Kort	90	96
Wdroog_43	0.0274	Winter	Droog	Lang	30	96
Wdroog_44	0.0171	Winter	Droog	Lang	40	96
Wdroog_45	0.0063	Winter	Droog	Lang	50	96
Wdroog_46	0.0024	Winter	Droog	Lang	60	96
Wdroog_47	0.0009	Winter	Droog	Lang	70	96
Wdroog_48	0.0004	Winter	Droog	Lang	80	96
Wdroog_49	0.0002	Winter	Droog	Lang	90	96

Naam	Kans	Seizoen	Berging	Patroon	Volume	Duur
Want_1	0.0274	Winter	Nat	Uniform	30	96
Want_2	0.0171	Winter	Nat	Uniform	40	96
Want_3	0.0063	Winter	Nat	Uniform	50	96
Want_4	0.0024	Winter	Nat	Uniform	60	96
Want_5	0.0009	Winter	Nat	Uniform	70	96
Want_6	0.0004	Winter	Nat	Uniform	80	96
Want_7	0.0002	Winter	Nat	Uniform	90	96
Want_8	0.0345	Winter	Nat	Laag	30	96
Want_9	0.0216	Winter	Nat	Laag	40	96
Want_10	0.0080	Winter	Nat	Laag	50	96
Want_11	0.0030	Winter	Nat	Laag	60	96
Want_12	0.0012	Winter	Nat	Laag	70	96
Want_13	0.0005	Winter	Nat	Laag	80	96
Want_14	0.0003	Winter	Nat	Laag	90	96
Want_15	0.0345	Winter	Nat	Middel laag	30	96
Want_16	0.0216	Winter	Nat	Middel laag	40	96
Want_17	0.0080	Winter	Nat	Middel laag	50	96
Want_18	0.0030	Winter	Nat	Middel laag	60	96
Want_19	0.0012	Winter	Nat	Middel laag	70	96
Want_20	0.0005	Winter	Nat	Middel laag	80	96
Want_21	0.0003	Winter	Nat	Middel laag	90	96
Want_22	0.0345	Winter	Nat	Middel hoog	30	96
Want_23	0.0216	Winter	Nat	Middel hoog	40	96
Want_24	0.0080	Winter	Nat	Middel hoog	50	96
Want_25	0.0030	Winter	Nat	Middel hoog	60	96
Want_26	0.0012	Winter	Nat	Middel hoog	70	96
Want_27	0.0005	Winter	Nat	Middel hoog	80	96
Want_28	0.0003	Winter	Nat	Middel hoog	90	96
Want_29	0.0345	Winter	Nat	Hoog	30	96
Want_30	0.0216	Winter	Nat	Hoog	40	96
Want_31	0.0080	Winter	Nat	Hoog	50	96
Want_32	0.0030	Winter	Nat	Hoog	60	96
Want_33	0.0012	Winter	Nat	Hoog	70	96
Want_34	0.0005	Winter	Nat	Hoog	80	96
Want_35	0.0003	Winter	Nat	Hoog	90	96
Want_36	0.0432	Winter	Nat	Kort	30	96
Want_37	0.0270	Winter	Nat	Kort	40	96
Want_38	0.0100	Winter	Nat	Kort	50	96
Want_39	0.0038	Winter	Nat	Kort	60	96
Want_40	0.0014	Winter	Nat	Kort	70	96
Want_41	0.0006	Winter	Nat	Kort	80	96
Want_42	0.0004	Winter	Nat	Kort	90	96
Want_43	0.0274	Winter	Nat	Lang	30	96
Want_44	0.0171	Winter	Nat	Lang	40	96
Want_45	0.0063	Winter	Nat	Lang	50	96
Want_46	0.0024	Winter	Nat	Lang	60	96
Want_47	0.0009	Winter	Nat	Lang	70	96
Want_48	0.0004	Winter	Nat	Lang	80	96
Want_49	0.0002	Winter	Nat	Lang	90	96

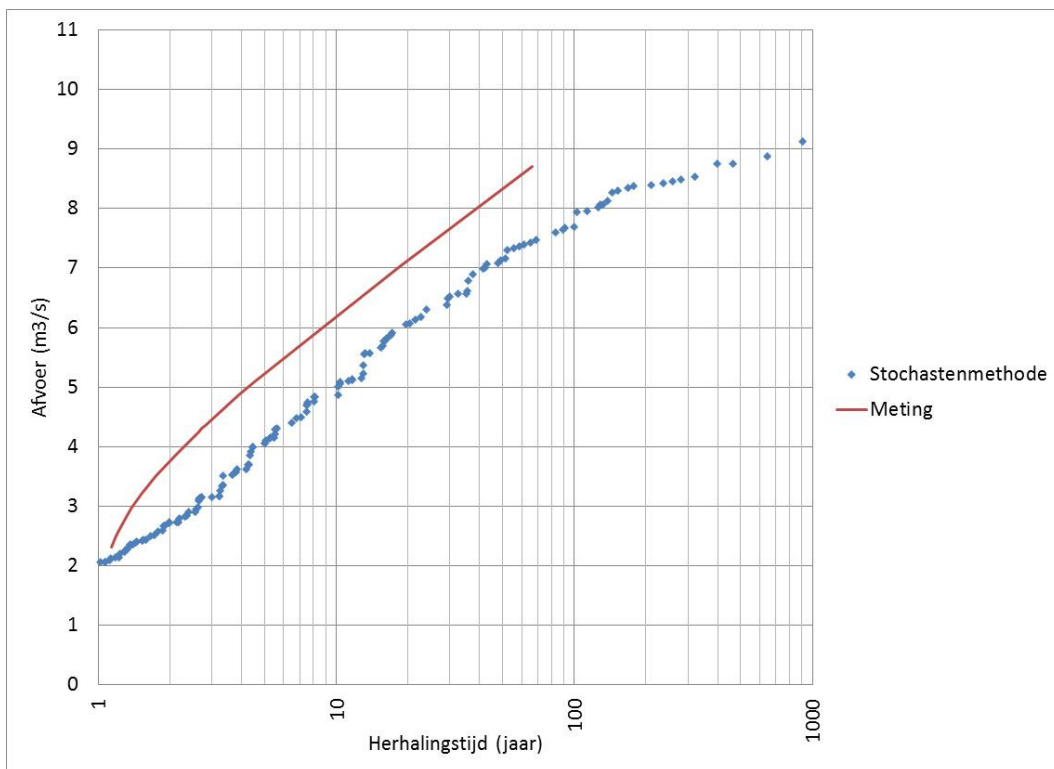
BIJLAGE VI – RESULTATEN STOCHASTENBEREKENINGEN

Deze bijlage laat door middel van figuren de resultaten zien van de stochastenberekening. De figuren hebben betrekking op de gesimuleerde afvoeren bij meetlocatie De Smakt en Venrayse Broek. De figuren die behoren bij De Smakt zijn grotendeels ook terug te vinden in hoofdstuk 7.

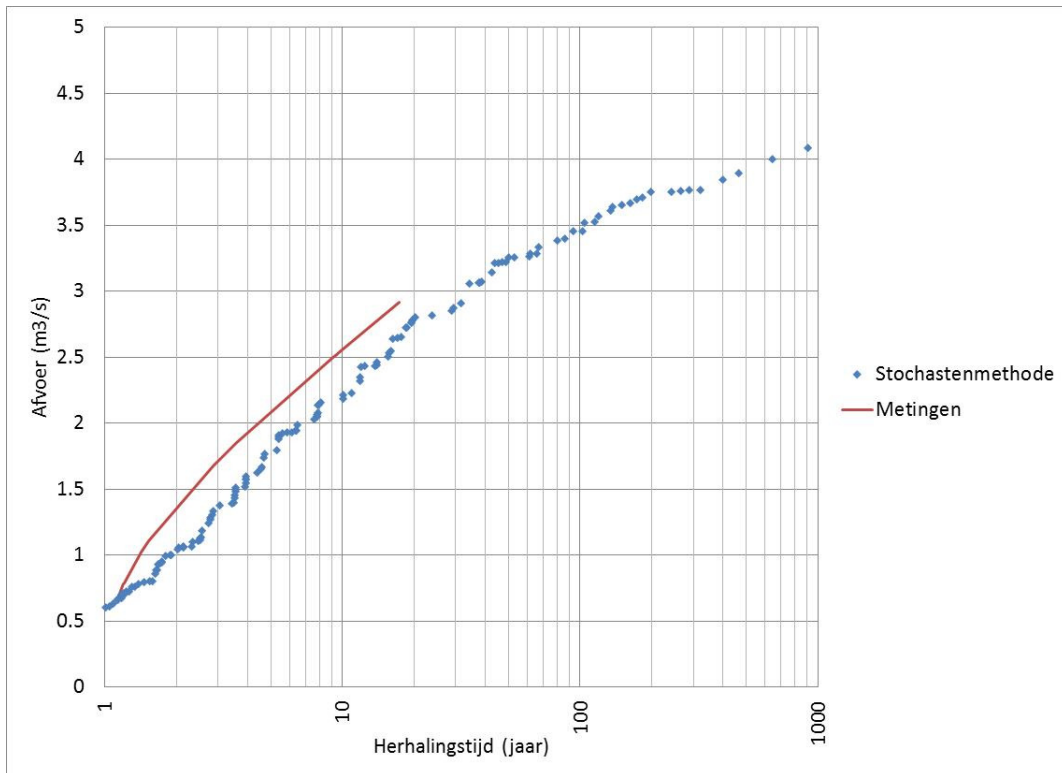
Overschrijdingsgrafieken

De overschrijdingsgrafieken bij De Smakt en Venrayse Broek voor alle gesimuleerde gebeurtenissen zijn als volgt (figuren bevatten ook overschrijdingsgrafiek op basis van metingen). De figuren zijn ook terug te vinden in paragraaf 7.1.

VI-1. DE SMAKT_ OVERSCHRIJDINGSGRAFIEK_TOTAAL



VI-2. VENRAYSE BROEK_ OVERSCHRIJDINGSGRAFIEK_TOTAAL

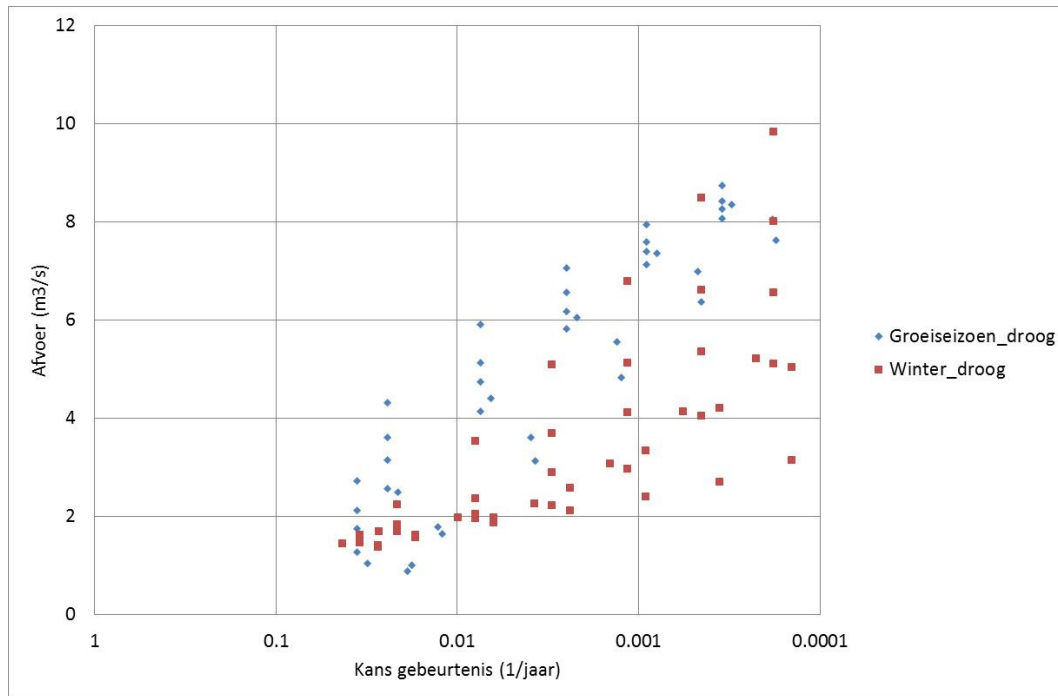


Identificeren belangrijke stochasten

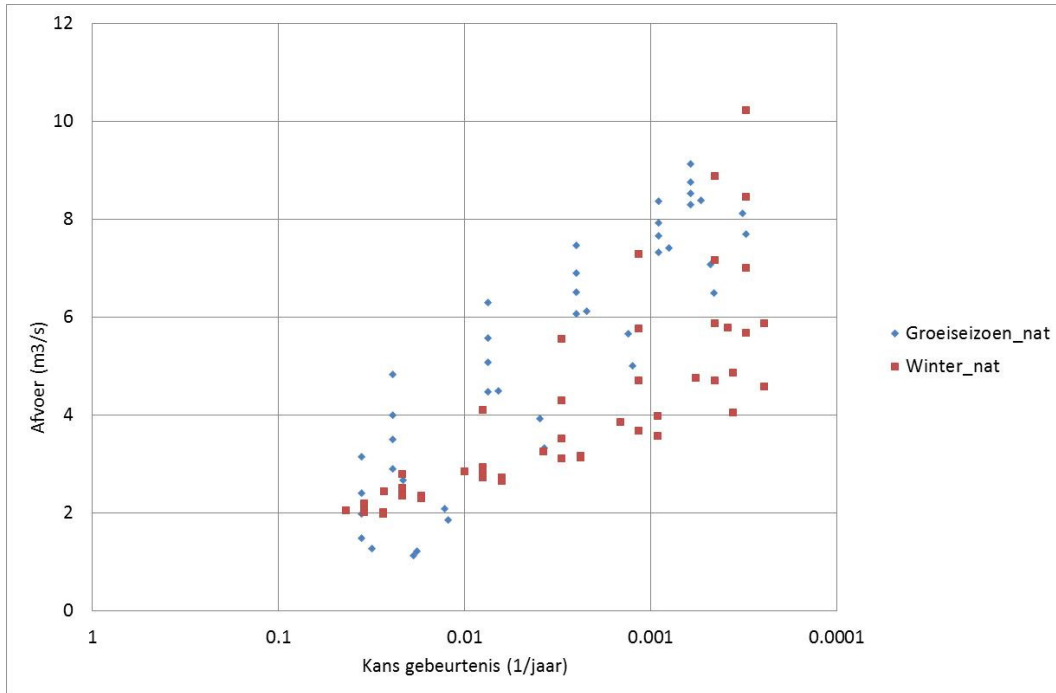
Vergelijking groeiseizoen en winter

De figuren zijn ter ondersteuning van paragraaf 7.4.1.

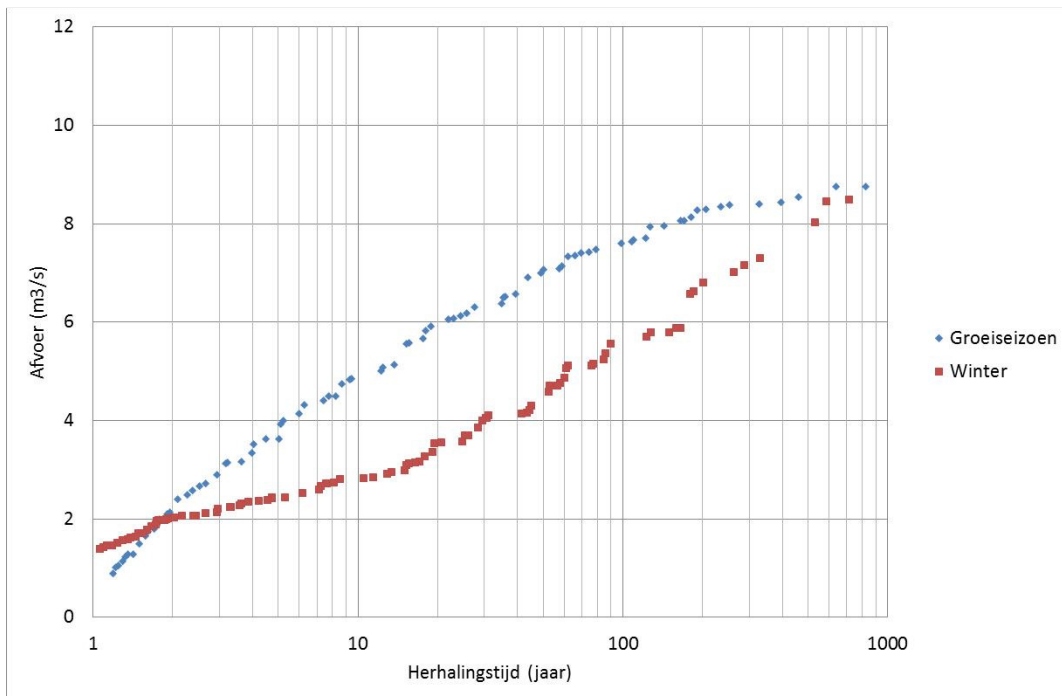
VI-3. DE SMAKT_DROOG



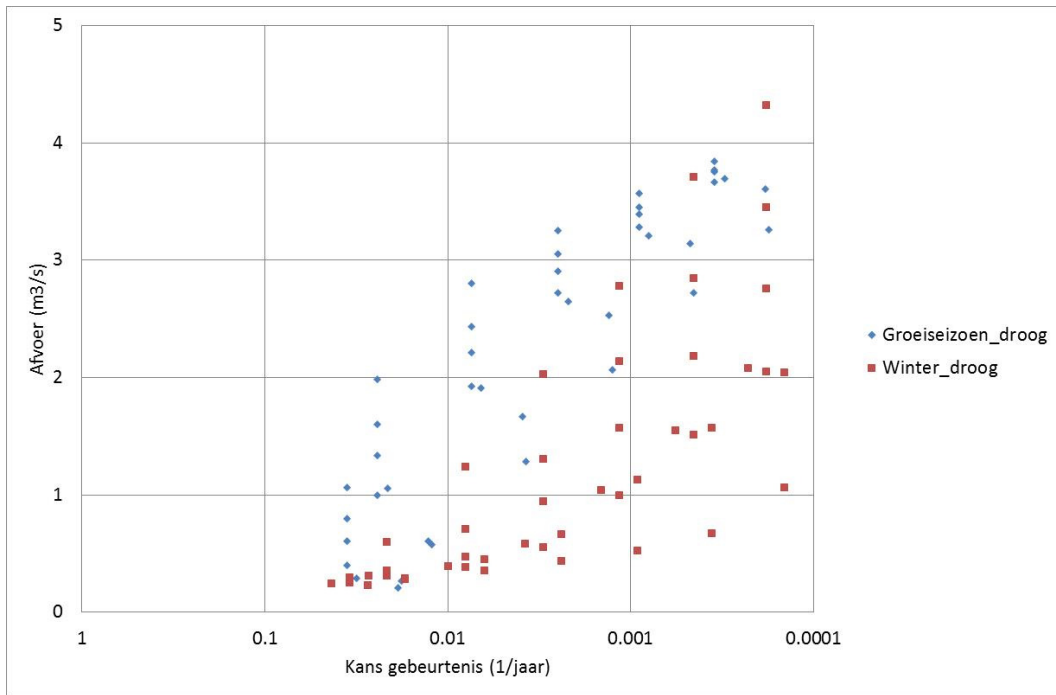
VI-4. DE SMAKT_NAT



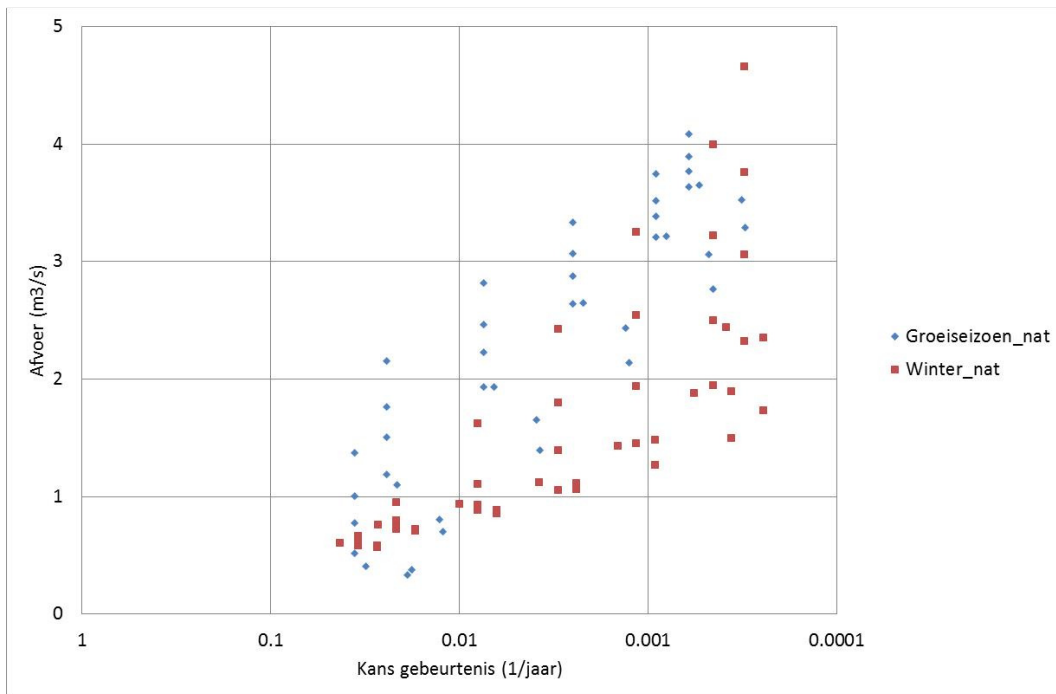
VI-5. DE SMAKT_OVERSCHRIJDINGSGRAFIEK_SEIZOEN



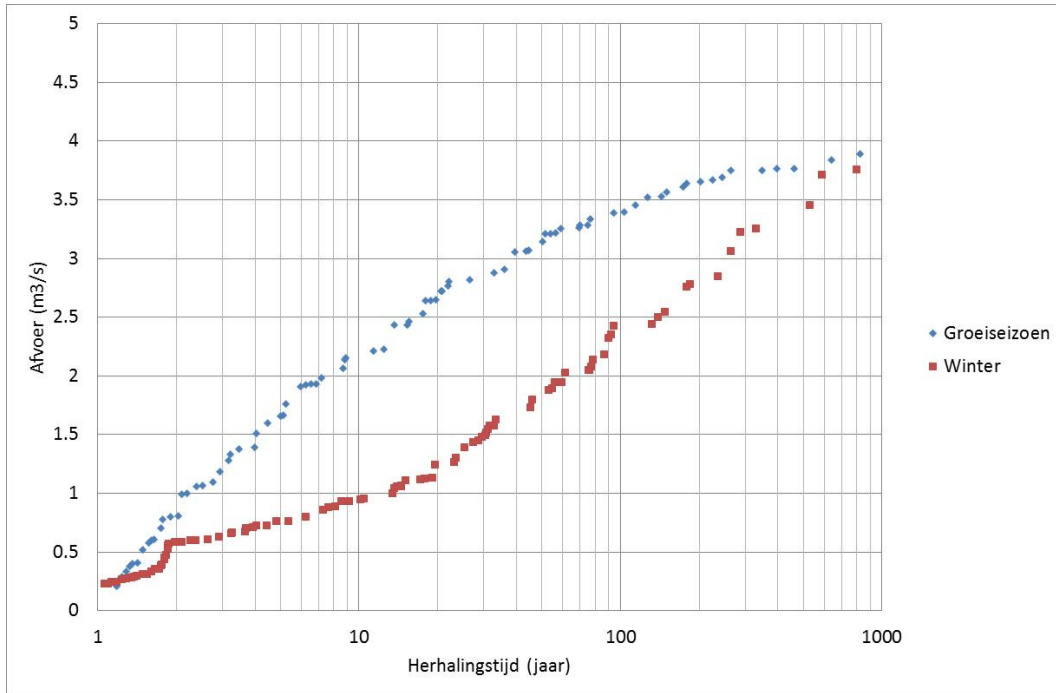
VI-6. VENRAYSE BROEK_DROOG



VI-7. VENRAYSE BROEK_NAT



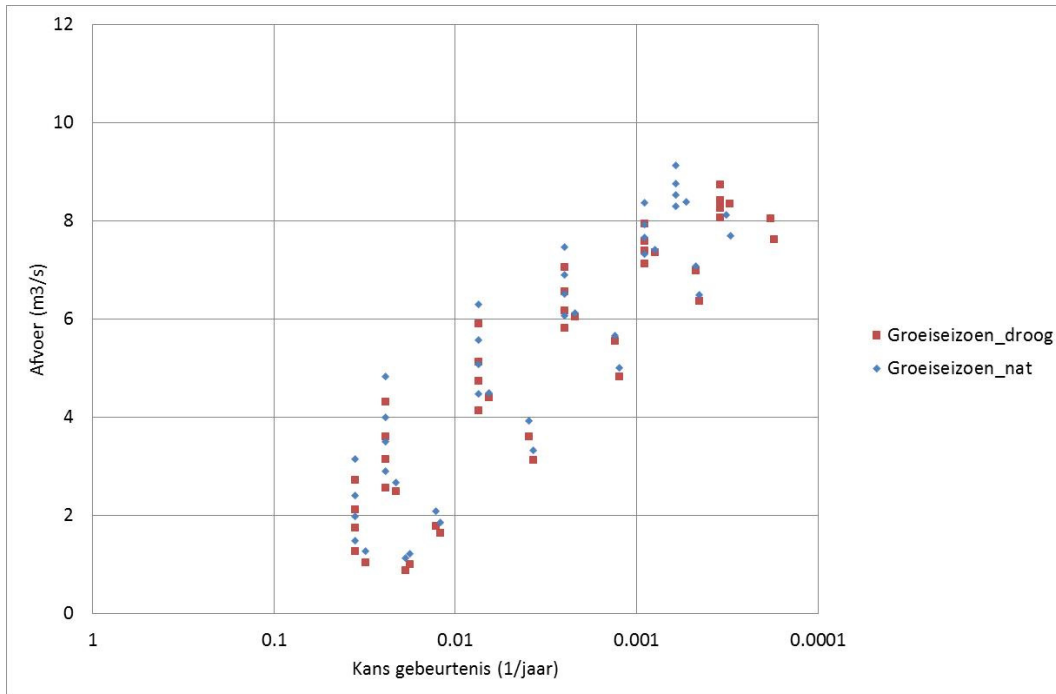
VI-8. VENRAYSE BROEK_OverschrijdingsGRAFIEK_SEIZOEN



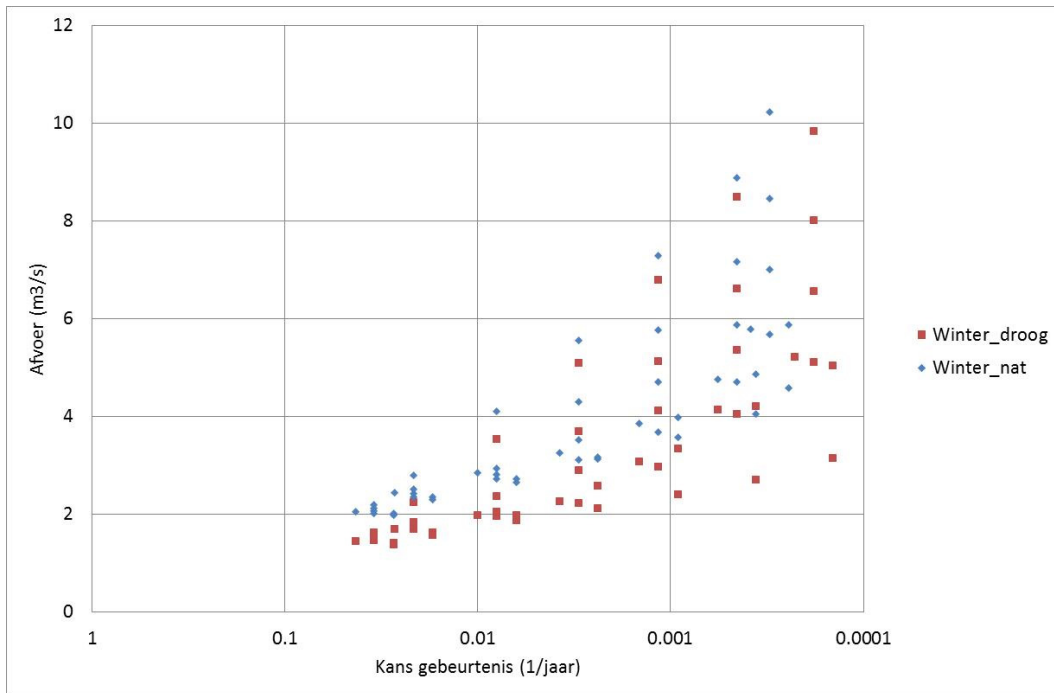
Vergelijking droge en natte initiële conditie

De figuren zijn ter ondersteuning van paragraaf 7.4.2.

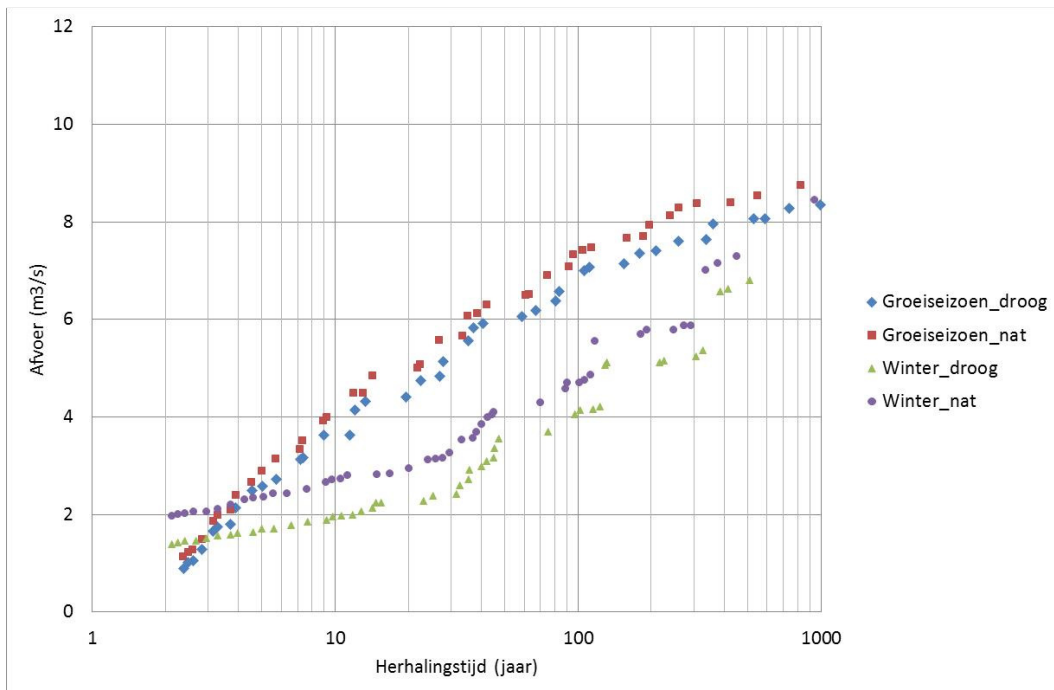
VI-9. DE SMAKT_GROEISEIZOEN



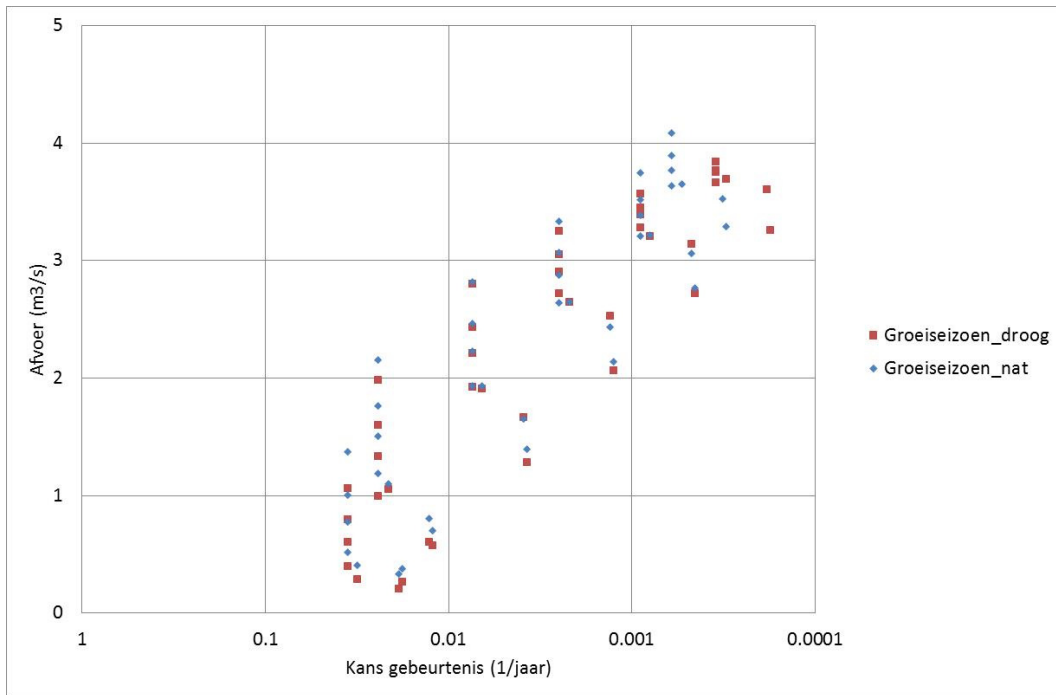
VI-10. DE SMAKT_WINTER



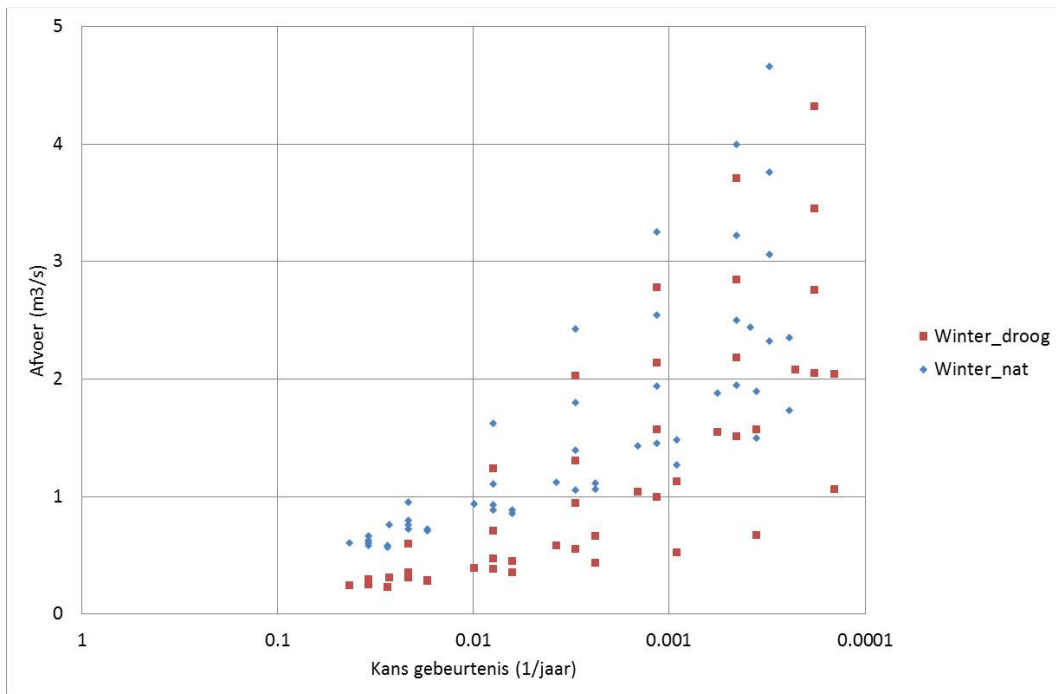
VI-11. DE SMAKT_OVERSCHRIJDINGSGRAFIEK_INITIELE CONDITIE



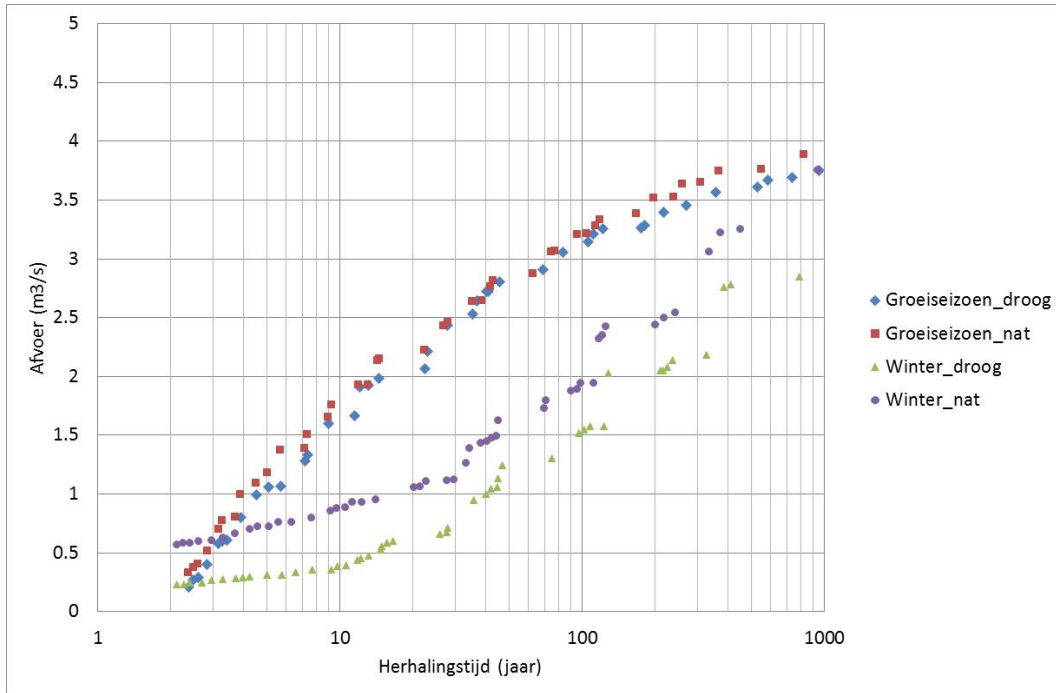
VI-12. VENRAYSE BROEK_GROEISEIZOEN



VI-13. VENRAYSE BROEK_WINTER



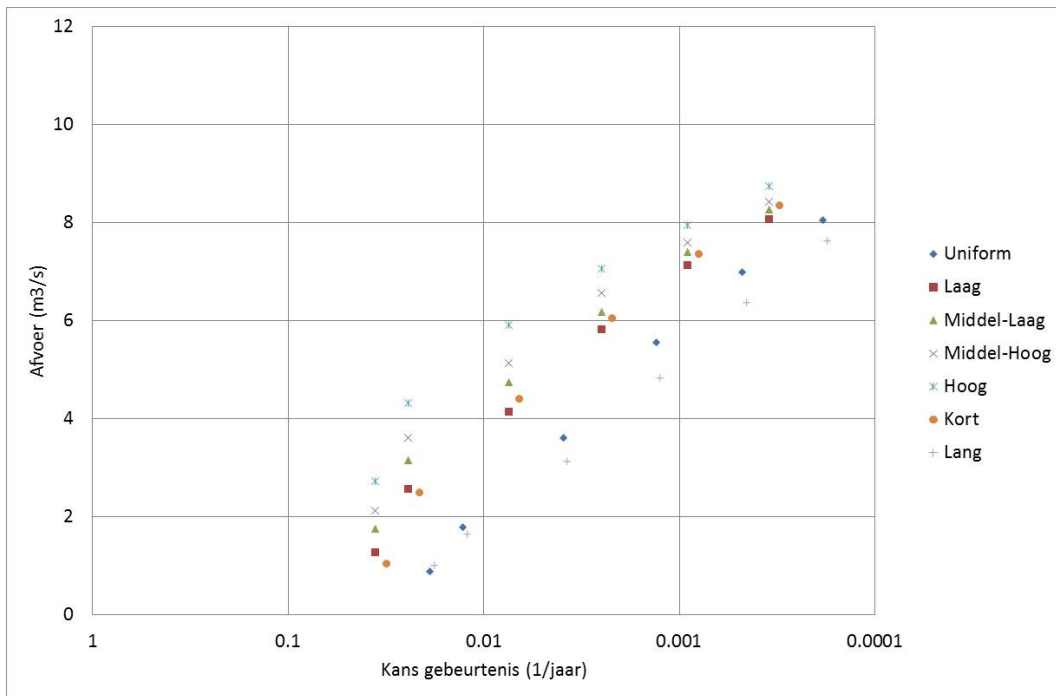
VI-14. VENRAYSE BROEK_OVERSCHRIJDINGSGRAFIEK_INITIELE CONDITIE



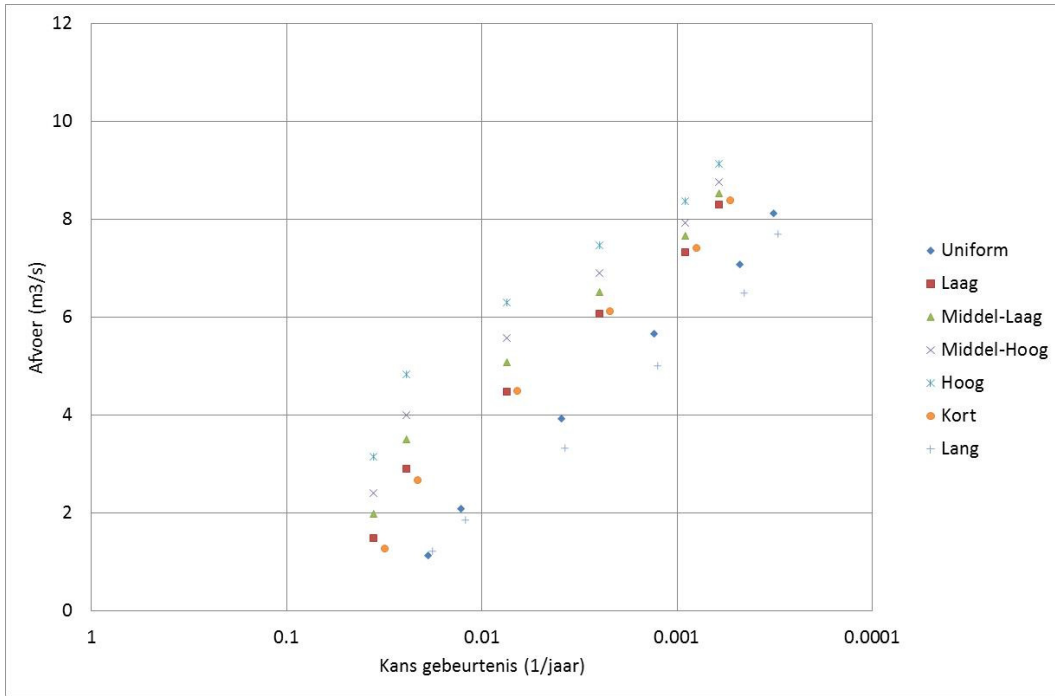
Vergelijking neerslagpatronen

De figuren zijn ter ondersteuning van paragraaf 7.4.3.

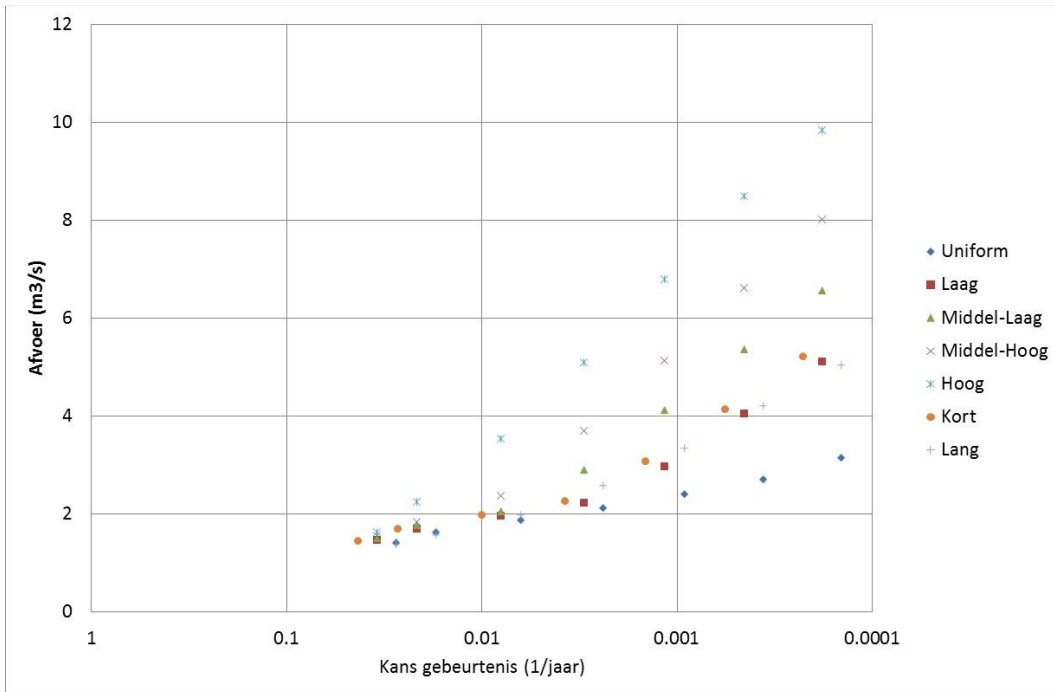
VI-15. DE SMAKT_GROEISEIZOEN_DROOG



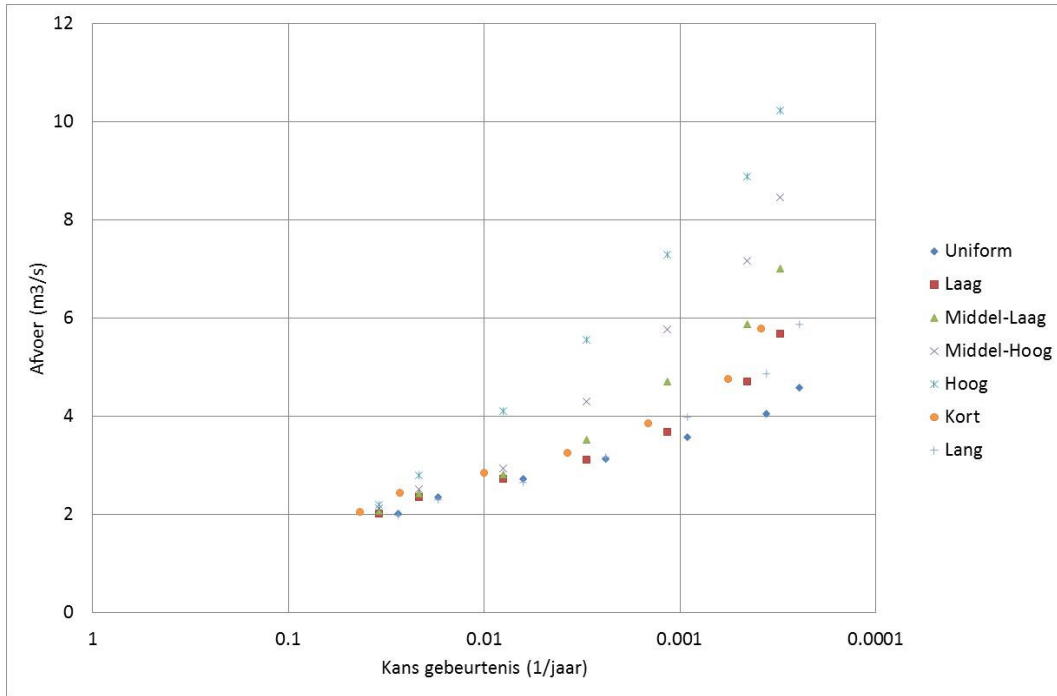
VI-16. DE SMAKT_GROEISEIZOEN_NAT



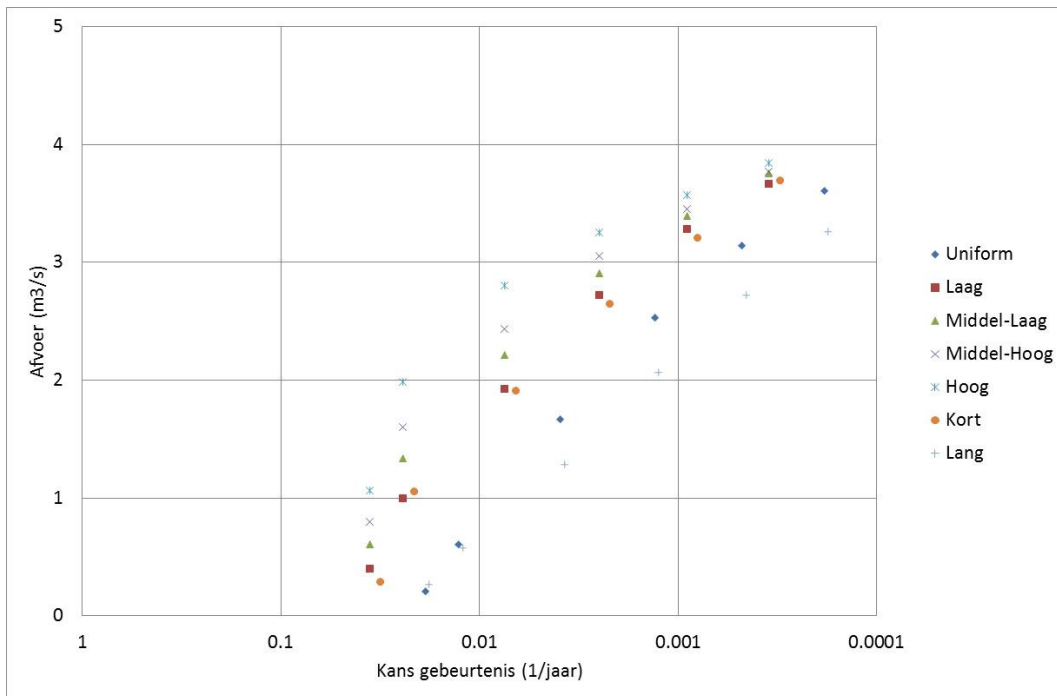
VI-17. DE SMAKT_WINTER_DROOG



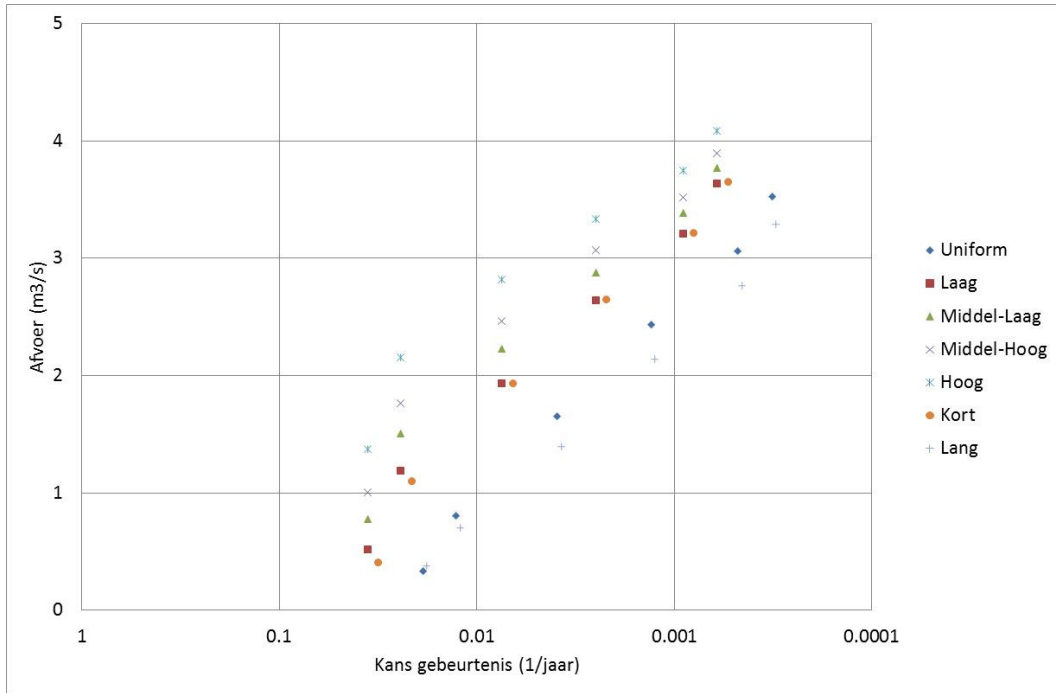
VI-18. DE SMAKT_WINTER_NAT



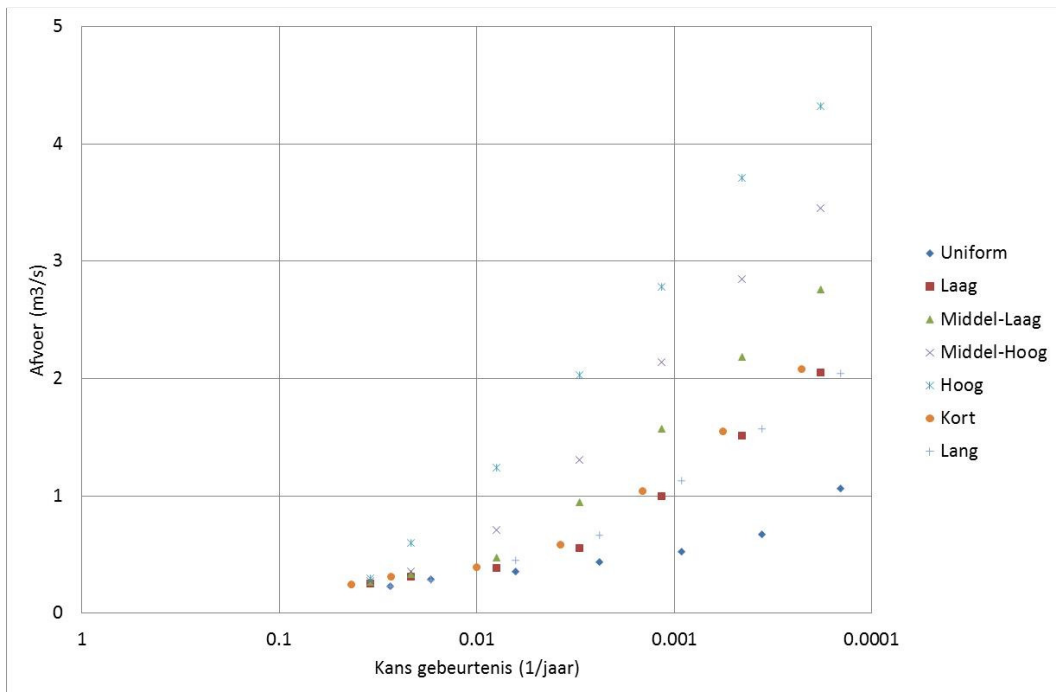
VI-19. VENRAYSE BROEK_GROEISEIZOEN_DROOG



VI-20. VENRAYSE BROEK_GROEISEIZOEN_NAT



VI-21. VENRAYSE BROEK_WINTER_DROOG



VI-22. VENRAYSE BROEK_WINTER_NAT

