



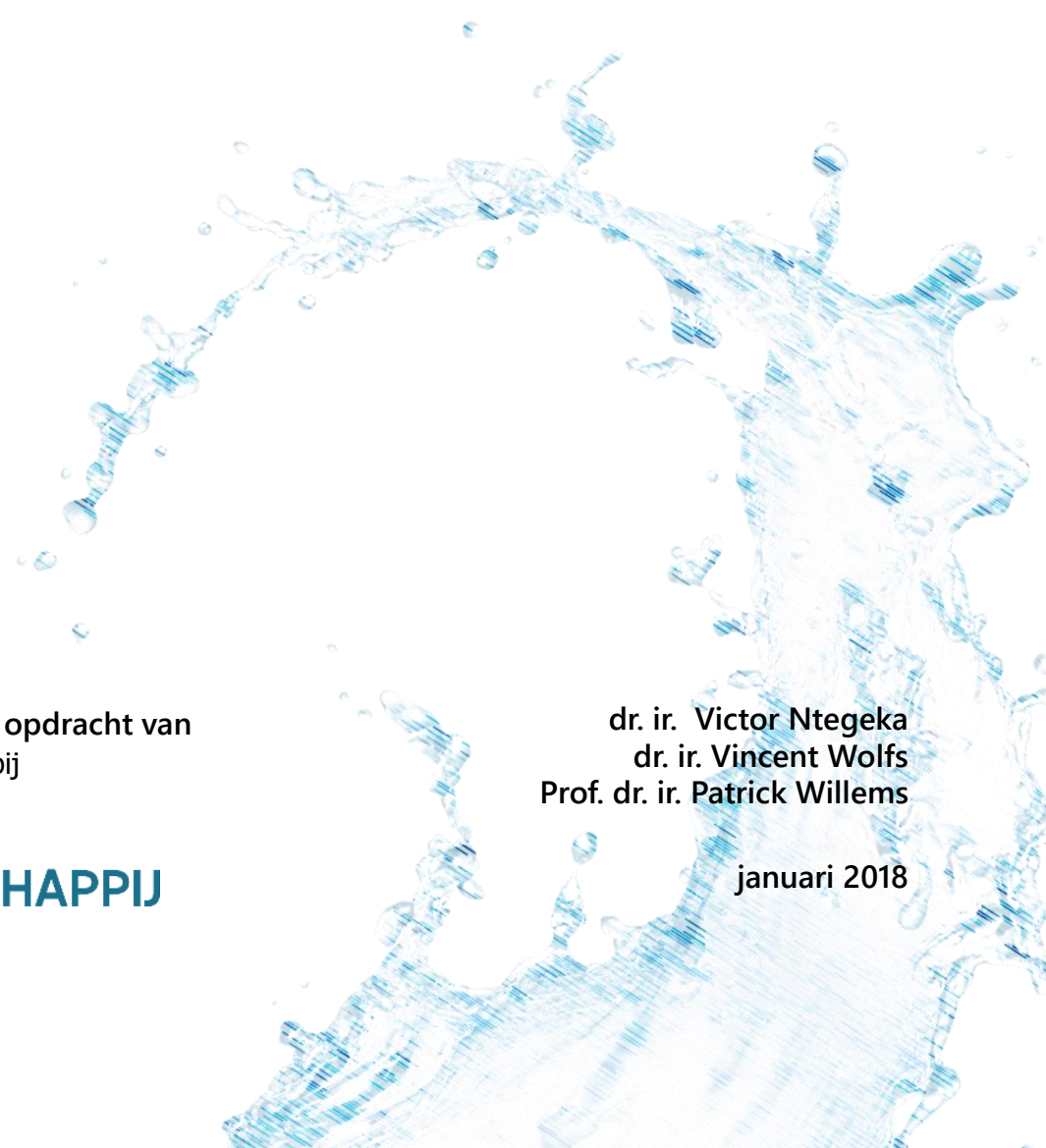
# AANPASSEN HISTORISCHE UKKELREEKSEN AAN HUIDIG KLIMAAT

Opdracht uitgevoerd in opdracht van  
Vlaamse Milieumaatschappij

**VLAAMSE  
MILIEUMAATSCHAPPIJ**

dr. ir. Victor Ntegeka  
dr. ir. Vincent Wolfs  
Prof. dr. ir. Patrick Willems

januari 2018



#### *Disclaimer*

*Sumaqua en diegenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van kennis en wetenschap. Desondanks kunnen zich onjuistheden in deze publicatie bevinden. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan. Sumaqua sluit, mede ten behoeve van hen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.*

#### *Copyright*

*Niets uit dit rapport mag gekopieerd worden zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Vlaamse Milieumaatschappij*

## DOCUMENTIDENTIFICATIE

Titel                      Aanpassing historische Ukkelreeksen aan huidig klimaat  
Opdrachtgever        Vlaamse Milieumaatschappij

## REVISIES

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	7 januari 2018	Concept rapport

## CONTACT

Contactpersoon           dr. ir. **VINCENT WOLFS**  
                                  Tel.: +32 474 422 003  
                                  Mail: [vincent.wolfs@sumaqua.be](mailto:vincent.wolfs@sumaqua.be)

Correspondentieadres   Sumaqua  
                                  Tiensesteenweg 28  
                                  3001 Leuven, BELGIUM



# INHOUD

<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>1 METHODE</b>	<b>3</b>
<b>2 AANPASSEN NEERSLAGGREEKS</b>	<b>5</b>
2.1 Analyse van de trend in de neerslagkwantielen	5
2.2 Berekening van de neerslagkwantielperturbatiefactoren	7
2.3 Controle aangepaste neerslagtijdreeksen	17
<b>3 AANPASSEN PET-REEKSEN</b>	<b>23</b>
3.1 Analyse van de trend in de pET-reeksen en berekening van de pET-kwantielperturbatiefactoren	23
3.2 Controle aangepaste pET-tijdreeksen	26
<b>4 CONTROLEANALYSE - IMPACT OP RIOLERINGEN</b>	<b>29</b>
4.1 Overzicht van de Sirio simulaties	29
4.2 Resultaten Sirio simulaties	30
4.2.1 Reservoir 1: Buffer met vertraagde doorvoer	31
4.2.2 Reservoir 2: Hemelwaterput	32
4.2.3 Reservoir 3: Infiltratievoorziening	35
4.3 Conclusie	37
<b>5 CONTROLEANALYSE - IMPACT OP WATERLOPEN</b>	<b>38</b>
<b>6 AANGELEVERDE BESTANDEN</b>	<b>42</b>

7 REFERENCES

43

# INLEIDING

## Doel van de opdracht

Dit rapport beschrijft de aanpassing van de 10-minuten neerslagreeksen van Ukkel voor de periode 1898-2016 en de dagelijkse tijdreeksen van potentiële evapotranspiratie (pET) volgens twee methodes (Bultot en Hargreaves) zodat de drie reeksen representatief worden voor de neerslagstatistieken van het huidige klimaat.

## Achtergrond bij de opdracht

De aanpassing van de historische meteorologische tijdreeksen kadert in de activiteiten van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) naar de hydrologische impactanalyse van de klimaatverandering voor Vlaamse stroomgebieden. Zulke impactanalyse gebeurt momenteel door lokale tijdreeksen van neerslag en pET, al dan niet voor de oudere jaren gecombineerd met de neerslaggegevens van Ukkel, te perturberen aan de klimaatscenario's via de klimaatperturbatietool van de KU Leuven. De vier beschikbare klimaatscenario's "hoog-winter", "hoog-zomer", "midden" en "laag" beogen om voor de meeste Vlaamse stroomgebieden, na simulatie van de geperturbeerde neerslag en pET-reeksen in het hydrologisch model van het stroomgebied, het bereik aan mogelijke hydrologische klimaatimpacten bij benadering te bestrijken. Dit werd door de KU Leuven getest voor een drietal sterk verschillende Vlaamse stroomgebieden (Grote Nete, Dijle en Maarkebeek) en voor de impactresultaten op piek- en laagwaterafvoeren en cumulatieve debietvolumes. Het "hoog-winter" klimaatscenario geeft daarbij bij benadering de meest extreme impact voor piekafvoeren (en dus overstromingsrisico's) voor stroomgebieden waar de piekafvoeren zich vooral voordoen in de wintermaanden als gevolg van hoge bodemverzadiging en bijkomende extreme dagneerslag. Dit is typisch het geval voor de grotere en natuurlijkere stroomgebieden, dus deze met een grote concentratietijd (grootteorde halve dag of groter). Het "hoog-zomer" scenario geeft de meest extreme impact voor de piekafvoeren van stroomgebieden waarvoor de zomerneerslagintensiteiten (intense onweersbuien) bepalend zijn. Dit is typisch het geval voor de kleine, urbane stroomgebieden en rioleringsystemen; dus deze die een kleine concentratietijd kennen (grootteorde één tot enkele uren of kleiner). Het "laag" klimaatscenario geeft de meest extreme impact (sterkste daling) voor de laagwaterdebieten. Het "midden" scenario geeft voor de meeste stroomgebieden een gematigde impact, maar kan voor bepaalde stroomgebieden die zich niet duidelijk laten klasseren in de twee hiervoor geschetste typen stroomgebieden (deze met een grote concentratietijd en deze met een kleine concentratietijd) ook extreme impacten geven. Omwille van dezelfde reden kunnen ook de "winter-hoog" en "zomer-hoog" klimaatscenario's minder extreme impacten geven. Er wordt verwacht dat het simuleren van de vier klimaatscenario's voor de meeste stroomgebieden een correcte benaderende bandbreedte oplevert van de mogelijke impacten, weliswaar met een benadering die beter is voor stroomgebieden die zich beter laten klasseren in de twee genoemde typen. Een hogere nauwkeurigheid kan enkel bekomen worden door naar een groter aantal klimaatscenario's (grootteorde 10tal) te gaan. De vraag is of het nadeel van de verhoogde modelleringsinspanning die daar het gevolg van is wel opweegt tegen het voordeel.

Verder is het belangrijk op te merken dat de klimaatscenario's van toepassing zijn op puntneerslag en getest voor Ukkel. Via de perturbatietool kunnen dezelfde scenario's ook toegepast worden op gebiedsneerslag van een stroomgebied. Hierbij wordt verondersteld dat de toekomstige veranderingen in puntneerslagintensiteiten ook geldig blijven voor de gebiedsneerslag. Dit klopt voor de grootschalige stratiforme buien zoals die zich typisch in de wintermaanden voordoen. De ruimtelijke uitgestrektheid van deze buien is immers groter of minstens vergelijkbaar met deze van de stroomgebieden. Voor zomeronweersbuien is dat een ander verhaal. Die zijn zeer lokaal en het toepassen van dezelfde puntneerslagintensiteit over een ruimer gebied kan toch overschattingen leiden. Ruimtelijke

reductiefactoren en/of ruimtelijke klimaatperturbatiefactoren (perturbatiefactoren die afhangen van de ruimtelijke schaal) kunnen solas bieden, maar de beste aanpak lijkt het gebruik van een ruimtelijke neerslaggenerator. Hier wordt momenteel aan de KU Leuven onderzoek naar gedaan, ook naar hoe de parameters van zulke generator kunnen aangepast worden aan de klimaatscenario's.

Verder zijn lokale neerslaggegevens soms onderhevig aan afwijkende of onnauwkeurige intensiteiten. Bovendien zijn zulke reeksen veel korter dan deze van de Ukkelreeks. Het combineren van deze lokale reeksen met de Ukkelreeks, om een langere neerslagreeks te bekomen, leidt dan soms tot inconsistenties. Idem wanneer lokaal ruimtelijk geïnterpoleerde reeksen gebruikt worden. Dit in combinatie met de hydrologische PDM-modelkalibratie kan soms leiden tot hoogste piekafvoeren in een seizoen dat niet strookt met de waarnemingen (vb. alle hoogste piekafvoeren worden gesimuleerd in de zomer, terwijl de waarnemingen ook vele hoogste piekafvoeren in de winter geven). Impactanalyse van de klimaatscenario's zal dan vertekende resultaten opleveren. Dit laatste kan evenwel eenvoudig voorkomen worden door de langjarige Ukkel-reeks te gebruiken voor de impactanalyse van de klimaatverandering. Probleem met deze langjarige reeks is dat ze onderhevig is aan een klimaattrend (Brouwers et al., 2015).

Daarom werd in deze voorliggende opdracht de 10-minuten neerslagreeks van Ukkel vanaf 1898 en de beschikbare pET-reeksen aangepast zodanig dat de ganse reeks representatief is voor de neerslagstatistieken van het huidige klimaat.

Dit gebeurde voor de volgende langjarige tijdreeksen te Ukkel:

- 10-minuten neerslagtijdreeks 1898-2016;
- Dag pET-tijdreeks volgens de Hargreaves-methode 1898-2016 (o.b.v. Ukkel t.e.m. juni 2009, Liedekerke daarna);
- Dag pET-tijdreeks volgens de Bultot-methode 1901-2016 (o.b.v. Ukkel).

Na het aanpassen van deze tijdreeksen werden er ook enkele testen uitgevoerd door de aangepaste tijdreeksen te simuleren in een (conceptueel) rioleringsmodel en in een neerslagafstromingsmodel voor een stroomgebied.



# 1 Methode

De aanpassingen aan de Ukkel-tijdreeksen gebeurde via de kwantielperturbatiemethode (Willems & Vrac, 2011; Willems, 2013; Willems et al., 2014). Dit is dezelfde methode als deze die in de KU Leuven klimaatperturbatietool gebruikt wordt om historische neerslagreeksen aan te passen aan de toekomstige klimaatscenario's. Voor de neerslagtijdreeks wordt hierbij eerst (maand per maand) het aantal droge tijdsperioden aangepast en daarna de neerslagintensiteiten van de buien aangepast op een kwantiel-gebaseerde manier (dus afhankelijk van de terugkeerperiode van de neerslagintensiteit). Voor meer details bij de methode, wordt verwezen naar de referenties (Willems & Vrac, 2011; Willems, 2013; Willems et al., 2014).

Voor deze opdracht werd de kwantielperturbatiemethode echter niet toegepast op de ganse tijdreeks in zijn geheel maar via een glijdend tijdsvenster waarbij de aanpassingen geleidelijk gebeuren met de grootste aanpassingen voor het jaar 1898 en de kleinste aanpassingen (geen aanpassing meer) voor het meest recente jaar 2016.

De aanpassing van de pET-reeksen gebeurde via de dezelfde methode maar op de dagtijdschaal.

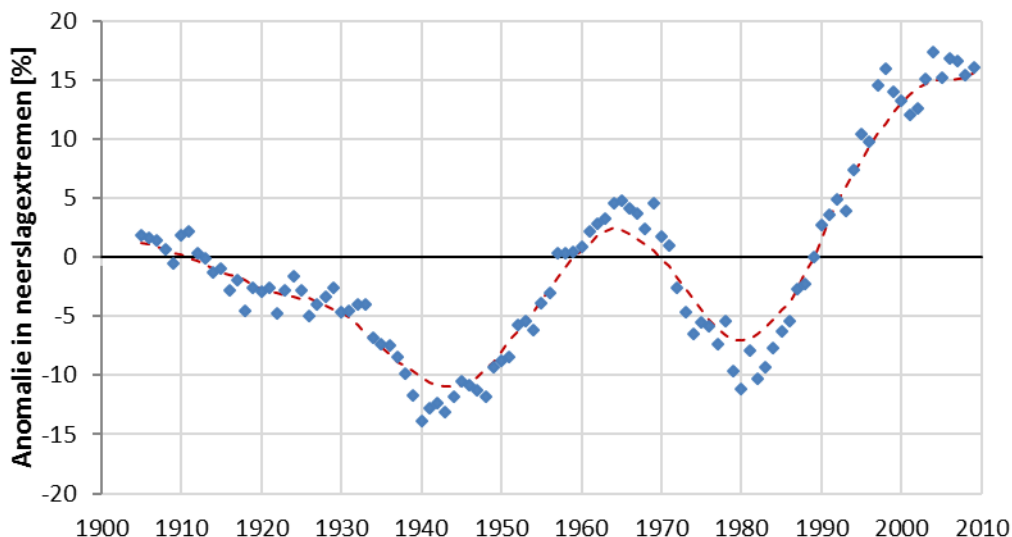


## 2 Aanpassen neerslagreeks

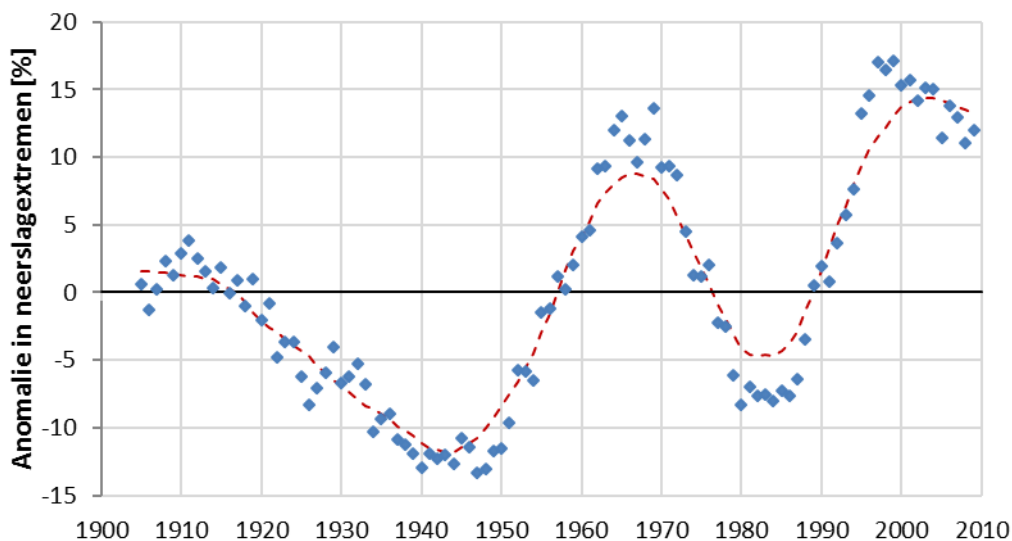
### 2.1 Analyse van de trend in de neerslagkwantielen

Aangezien de kwantielperturbatiemethode gebaseerd is op de tijdsverandering in de kwantielen werden deze eerst geanalyseerd. Kwantielen zijn hierbij waarden, vb. neerslagintensiteiten, die gelinkt kunnen worden aan welbepaalde voorkomingskansen of terugkeerperioden. Door de verandering in de kwantielen te analyseren wordt een beeld bekomen van de verandering in de waarden die zich met bepaalde voorkomingskansen of terugkeerperioden voordoen. Voor de neerslagtijdreeks 1898-2016 werd hiervoor met een bewegend venster met een lengte van 15 jaar gewerkt. De neerslagkwantielen werden bepaald door onafhankelijke extremen via een Peak-Over-Threshold (POT) methode uit de tijdreeks te halen. Hiervoor werd de methode gebruikt zoals beschreven in Willems (2000, 2013a). Twee opeenvolgende piekneerslagintensiteiten worden bij de POT-analyse als onafhankelijk beschouwd indien de tussentijd groter is dan 12 uur. De geëxtraheerde neerslagextremen werden daarna geplot versus de empirische terugkeerperiode en dit voor alle 15-jaar blokperioden in de tijdreeks 1898-2016. Deze analyse gebeurde dus voor 105 verschillende blokperioden: 1898-1912, 1899-1913, 1900-1914, enz. Daarna werd de tijdsevolutie in de kwantielen (de kansverdeling van de neerslagintensiteiten) geanalyseerd. Dit gebeurde voor het ganse bereik aan kwantielwaarden maar ook meer specifiek voor de meest extreme kwantielwaarden.

Figuur 1 en Figuur 2 tonen twee voorbeelden van resultaten voor de anomalie in de 10-minuten POT-neerslagextremen o.b.v. een bewegende blokperiode van 15 jaar en gemiddeld 15 extremen per jaar. De anomalie werd hierbij berekend als de gemiddelde verhouding van de kwantielwaarde voor de blokperiode van 15 jaar over de kwantielwaarde bij dezelfde terugkeerperiode maar voor de volledige tijdreeks 1898-2016 en dit gemiddeld voor alle beschouwde neerslagextremen (gemiddeld 15 per jaar in dit geval) en alle maanden van het jaar. In de figuren werden de anomaliewaarden geplot t.o.v. het midden van elke beschouwde blokperiode. Een anomaliewaarde van +10% voor een bepaald jaartal bijvoorbeeld betekent dat de neerslagextremen in een periode van 15 jaar gecentreerd rond dat jaartal gemiddeld 10% hoger liggen t.o.v. de volledige tijdreeks. De keuze voor 15 jaar als lengte van de blokperiode is gebaseerd op voorgaande studie (zie Willems, 2013b) waarbij de gevoeligheid van de anomalieresultaten voor deze lengte geanalyseerd werd. Verschillende lengtes werden hierbij getest (5, 10, 15, 20 jaar). De lengte van 15 jaar bleek de beste keuze om enerzijds de natuurlijke variabiliteit van jaar tot jaar voldoende weg te filteren maar anderzijds de langjarige klimaatoscillaties te behouden (niet af te vlakken). De klimaatschommelingen hebben (de laatste 100 jaar) perioden van 30 tot 40 jaar. Een venster met een lengte van 15 jaar laat toe om deze voldoende vloeiend (zie ook Figuur 1 en Figuur 2) maar niet afgevlakt te beschrijven.



Figuur 1: Anomalie in de 10-minuten POT-kwantielwaarde o.b.v. een bewegende blokperiode van 15 jaar en gemiddeld 15 extremen per jaar; voor de oorspronkelijke 10-minuten neerslagreeks 1898-2016 en alle maanden van het jaar gecombineerd. De rode stippellijn geeft het resultaat weer van een bijkomende uitmiddeling via een bewegend venster toegepast op de jaarlijkse anomaliewaarden over perioden van 15 jaar.



Figuur 2: Anomalie in de 10-minuten POT-neerslagextremen o.b.v. een bewegende blokperiode van 15 jaar en gemiddeld 15 extremen per jaar; voor de oorspronkelijke 10-minuten neerslagreeks 1898-2016 waarbij enkel gekeken wordt naar de zomermaanden juni-juli-augustus.

De resultaten van eerder onderzoek (Willems, 2013b, 2013c) werden hierbij bevestigd: de hogere kwantielwaarden blijken een stijgende trend te vertonen en de lagere kwantielwaarden een dalende trend en dit vanaf de jaren 1960-1970. In de periode vóór 1960 is er geen significante trend aanwezig. Wel zijn de kwantielen gedurende de ganse tijdreeksperiode onderhevig aan klimaatschommelingen, met hogere neerslagkwantielen in de jaren 1910-1920, 1950-1960 en 1990-2000 en lagere neerslagkwantielen in de

perioden ertussen. Deze klimaatschommelingen werden reeds eerder gedetecteerd door Ntegeka & Willems (2008) en Willems (2013b, 2013c).

De trendcorrectie in deze opdracht heeft als doel om de tijdreeks aan te passen aan de klimaatveranderingstrend (dus de trend vanaf vooral 1960). De neerslagschommelingen beschrijven een langjarige natuurlijke variabiliteit en dienen dus behouden te worden.

De stijgende trend in de hoge neerslagkwantielen betekent dat er zich door de klimaatverandering meer en hogere neerslagintensiteiten voordoen. De dalende trend in de lage neerslagkwantielen betekent dat er zich minder kleine regenbuien voordoen en dus langere periodes die droog zijn of met slechts lichte neerslag. Beide trends zijn consistent met de prognoses inzake klimaatverandering voor Vlaanderen (Brouwers et al., 2015; Tabari et al., 2014).

## 2.2 Berekening van de neerslagkwantielperturbatiefactoren

Om de trendcorrectie uit te voeren via de kwantielperturbatiemethode werden de kwantielwaarden voor de recente historische periode 1997-2016 (laatste 20 jaar) vergeleken met deze in de periode 1898-1960. De verhouding tussen beide wordt de kwantielperturbatiefactor genoemd en is bepaald in functie van de terugkeerperiode van de neerslagintensiteit. Omdat de perioden 1898-1960 en 1997-2016 meerdere 15-jaar periodes omvatten werden per terugkeerperiode de kwantielwaarden voor al deze 15-jaar periodes uitgemiddeld. Dit laat toe om nauwkeurigere kwantielperturbatiefactoren te bepalen dan indien deze gebaseerd zouden worden op slechts één enkele 15-jaar periode.

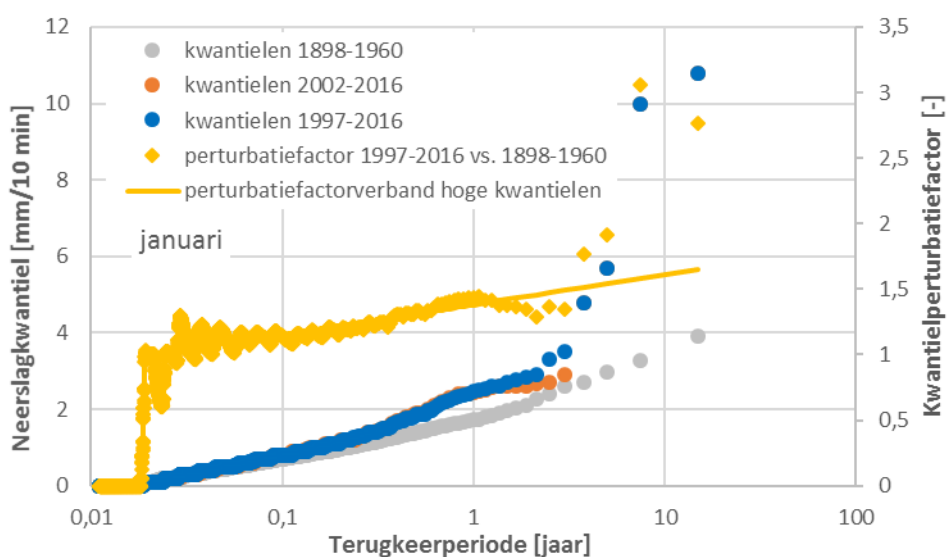
De periode 1997-2016 (laatste 20 jaar) werd gekozen als de recente historische periode om de neerslagstatistieken voor het huidig klimaat op te baseren. Enerzijds zou deze periode voldoende lang moeten zijn om een volledige klimaatschommelingsperiode te omvatten (grootteorde 30 jaar; zie Willems, 2013b). Anderzijds mag ze niet te lang zijn omwille van de klimaattrend. Deze klimaattrend heeft vooral vanaf de jaren 1980 een invloed (Brouwers et al., 2015). Gebruik van de neerslagwaarden in de minder recente jaren van de laatste 30 jaar zou daardoor tot te sterke onderschattingen leiden van de huidige klimatologische condities. In deze studie werd geïtereerd op de keuze van de lengte van de recente historische referentieperiode met als doel om een goed compromis te vinden tussen "voldoende lang" (om een volledige klimaatschommelingsperiode te omvatten) en "voldoende kort" opdat de klimaattrend slechts beperkte invloed heeft. De resultaten na trendcorrectie (zie o.a. Figuur 11 en Figuur 12 later in dit rapport) werden gebruikt om dit te evalueren. De keuze voor de periode 1997-2016 is daar het gevolg van.

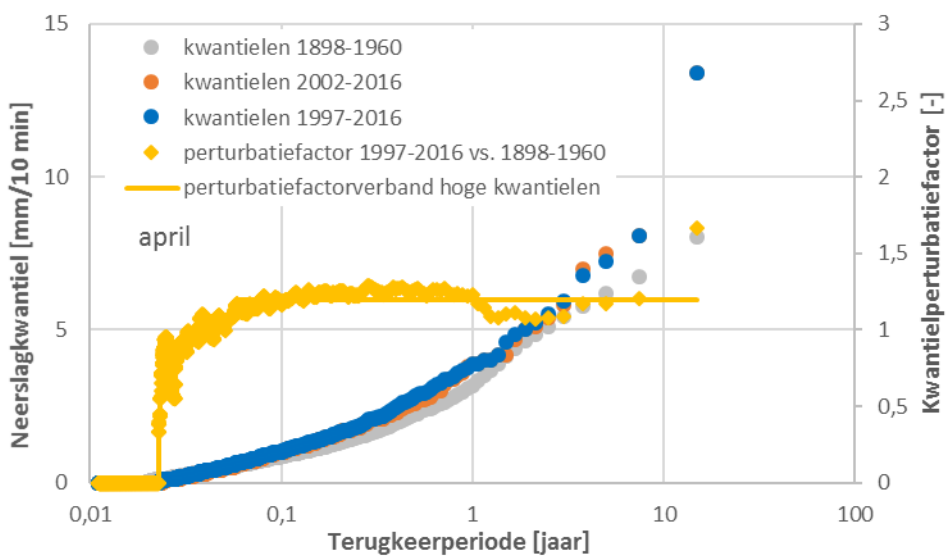
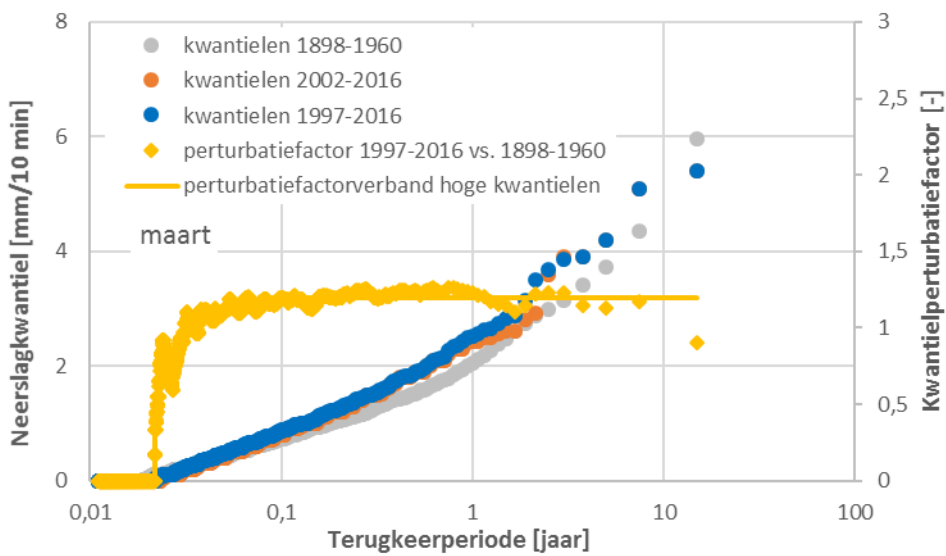
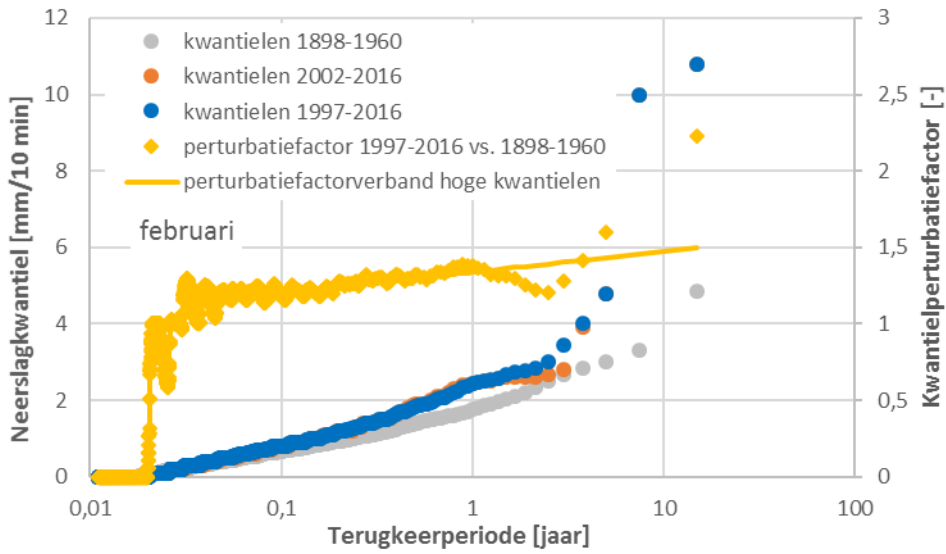
De kwantielperturbatiefactoren bepaald voor de periode 1997-2016 t.o.v. 1898-1960 zijn in deze studie toegepast om de neerslagwaarden in de periode 1898-1960 te corrigeren. In de tussenperiode 1961-1996 werden deze kwantielperturbatiefactoren geleidelijk aan verminderd.

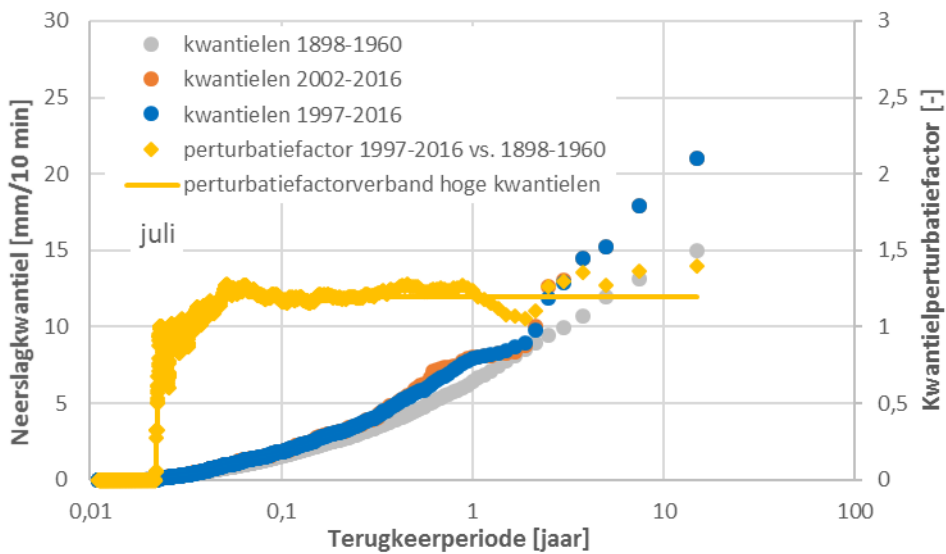
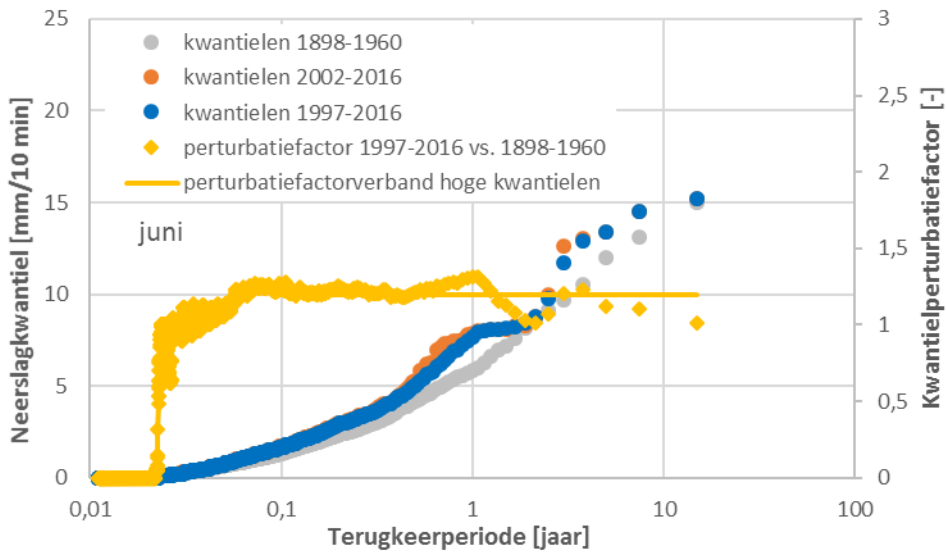
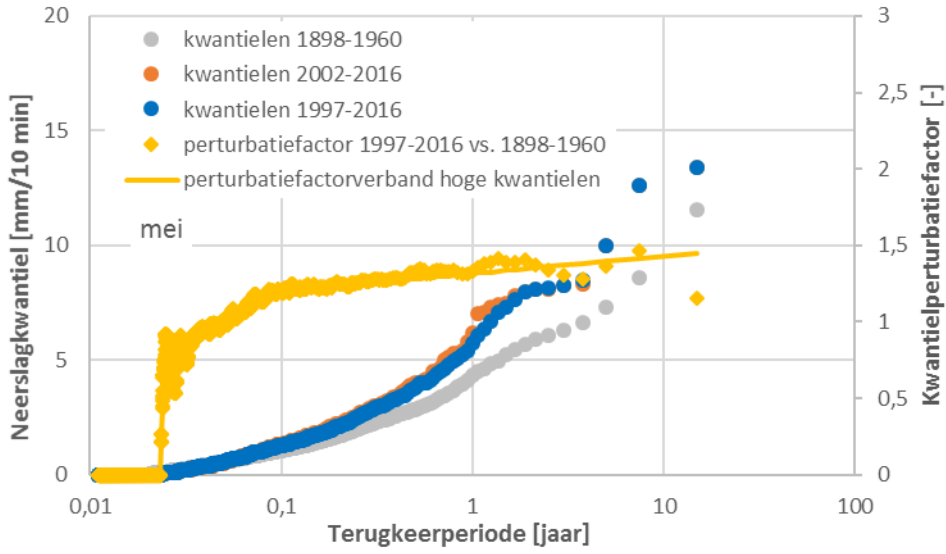
De kwantielperturbatiefactoren voor de periode 1997-2016 t.o.v. 1898-1960 werden bepaald voor het ganse bereik aan kwantielwaarden of terugkeerperiodes en dit voor elk van de 12 maanden van het jaar en voor de neerslagintensiteiten uitgemiddeld bij verschillende tijdsduren (aggregatieniveaus) tussen 10 minuten en 1 dag. De terugkeerperiode beneden dewelke de neerslagkwantielwaarde nul wordt geeft de fractie weer van het aantal droge tijdsmomenten en is dus bepalend voor het aantal neerslaggebeurtenissen en droge periodes. De POT-analyse (dit is de methode om onafhankelijke neerslagwaarden uit de tijdreeks te halen) gebeurde hierbij consistent met de aanpak gevolgd door de opmaak van de IDF-curve voor Ukkel door Willems (2000, 2013a). Om per maand een voldoende nauwkeurige analyse mogelijk te maken gebeurde de analyse per maand niet enkel op basis van de POT-waarden in dezelfde maand maar gecombineerd met de POT-waarden van de naburige maanden. De analyse voor januari, bijvoorbeeld, gebeurde door POT-waarden in de maanden januari, december en februari te beschouwen.

Figuur 3 en Figuur 4 tonen de vergelijking van de neerslagkwantielen voor de perioden 1898-1960 en 1997-2016 en de daaraan afgeleide kwantielperturbatiefactoren. In Figuur 3 is dat voor de 10-minuten neerslagintensiteiten en in Figuur 4 voor de dagneerslag. Ter vergelijking zijn in beide figuren ook de neerslagkwantielen voor de meest recente 15-jaar periode 2002-2016 weergegeven (om aan de tonen dat deze niet significant verschillen van deze van de langere periode 1997-2016). Omdat de kwantielperturbatiefactoren vooral voor de hoge terugkeerperioden zeer sterk onderhevig zijn aan statistische onzekerheid (door het toeval in het voorkomen van welbepaalde extreme intensiteiten in de meetreeks) werd er voor deze hoge terugkeerperioden een relatie gefit tussen de kwantielperturbatiefactor en de terugkeerperiode. Deze bleek voor alle maanden van het jaar en alle aggregatieniveaus goed benaderd te worden door een exponentiële functie (lineair verband tussen de perturbatiefactor en het logaritme van de terugkeerperiode).

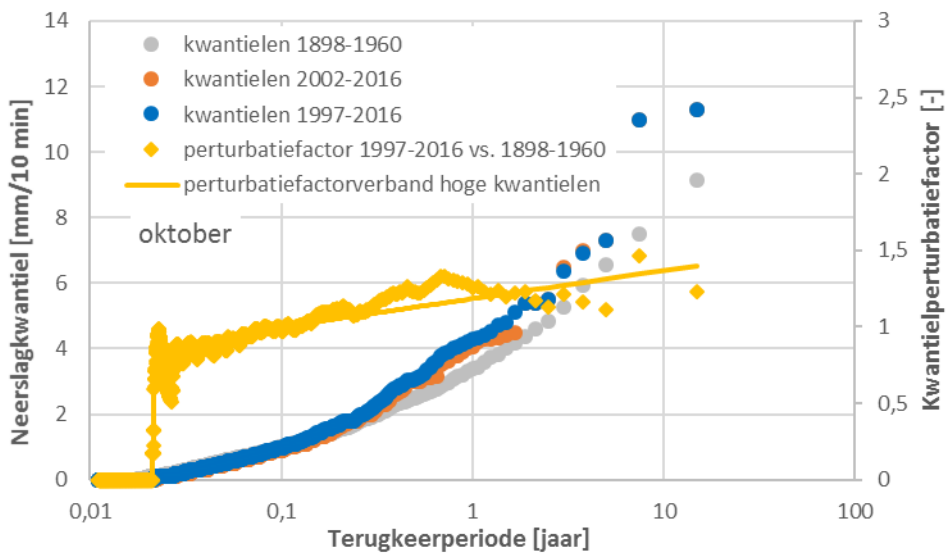
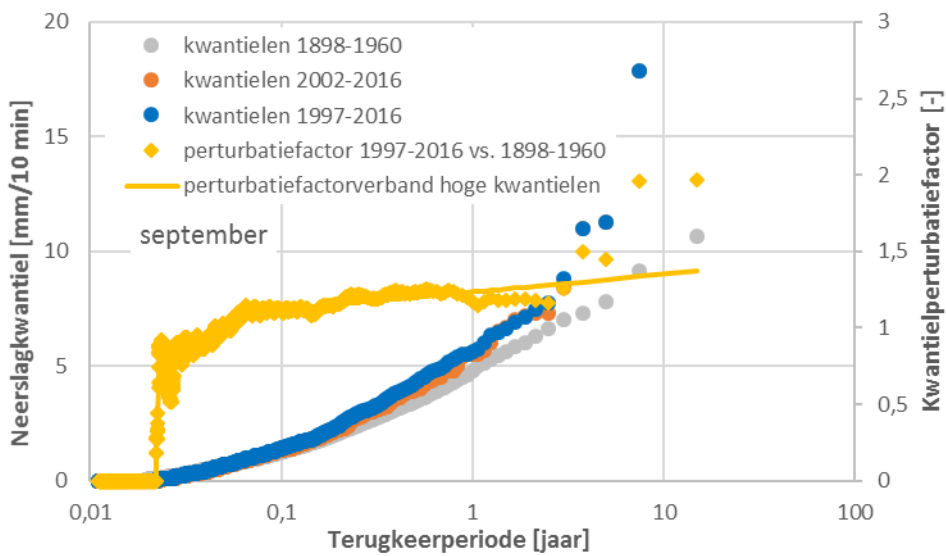
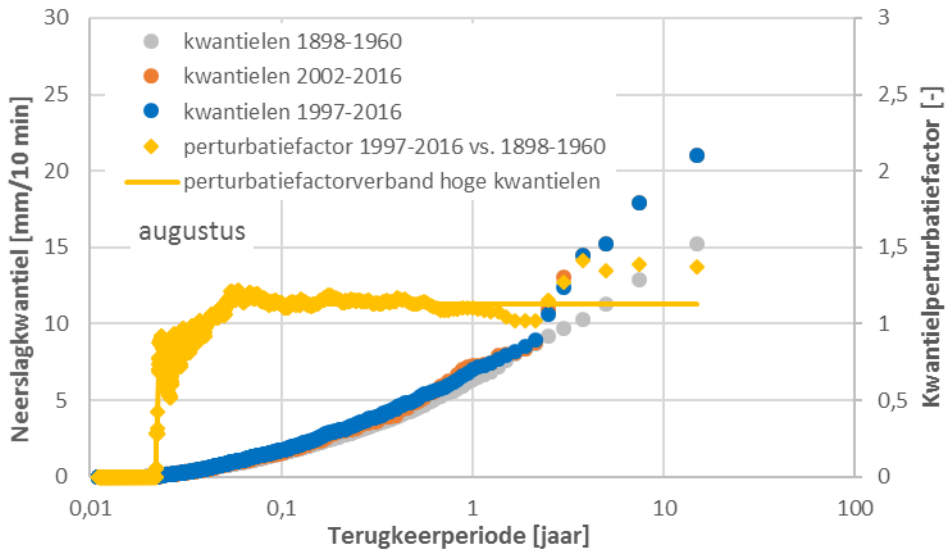
Vergelijking van de deelfiguren in Figuur 3 en Figuur 4 geeft aan dat de 10-minuten neerslagintensiteiten aan hogere veranderingen onderhevig zijn dan de dagneerslagwaarden. Ook dit is consistent met prognoses inzake klimaatverandering. Voor de dagwaarden zijn de relatieve veranderingen (kwantielperturbatiefactoren) sterker voor de zomermaanden dan voor de wintermaanden. Voor de 10-min piekintensiteiten is dat omgekeerd maar dat wordt verklaard door de hogere intensiteiten tijdens convectieve zomeronweders waardoor kleinere relatieve veranderingen toch tot grotere absolute toenames leiden. Voor terugkeerperioden groter dan ongeveer 0,1 jaar (dus intensiteiten die zich minder vaak voordoen dan 10 keer per jaar) zijn de kwantielperturbatiefactoren voor alle maanden groter dan 1. Ze worden kleiner dan 1 (dus daling van de intensiteiten of vermindering van de voorkomingsfrequentie van deze lagere intensiteiten) voor terugkeerperioden kleiner dan een waarde die zich typisch bevindt in het bereik tussen 0,03 en 0,1 (verschilt van maand tot maand). Voor de 10-minuten neerslagintensiteiten en een terugkeerperiode van 1 jaar lopen de kwantielperturbatiefactoren op tot 1,4 voor bepaalde wintermaanden en dalen tot 1,1 voor bepaalde zomermaanden. Voor de 10-minuten neerslagintensiteiten en een terugkeerperiode van 10 jaar lopen de kwantielperturbatiefactoren op tot 1,7 voor bepaalde wintermaanden en dalen tot 1,1 voor bepaalde zomermaanden. Voor de dagwaarden lopen de factoren op tot 1,3 voor een terugkeerperiode van 1 jaar en tot 1,5 voor een terugkeerperiode van 10 jaar. De hoogste factoren worden nu vooral gevonden tijdens de zomermaanden.

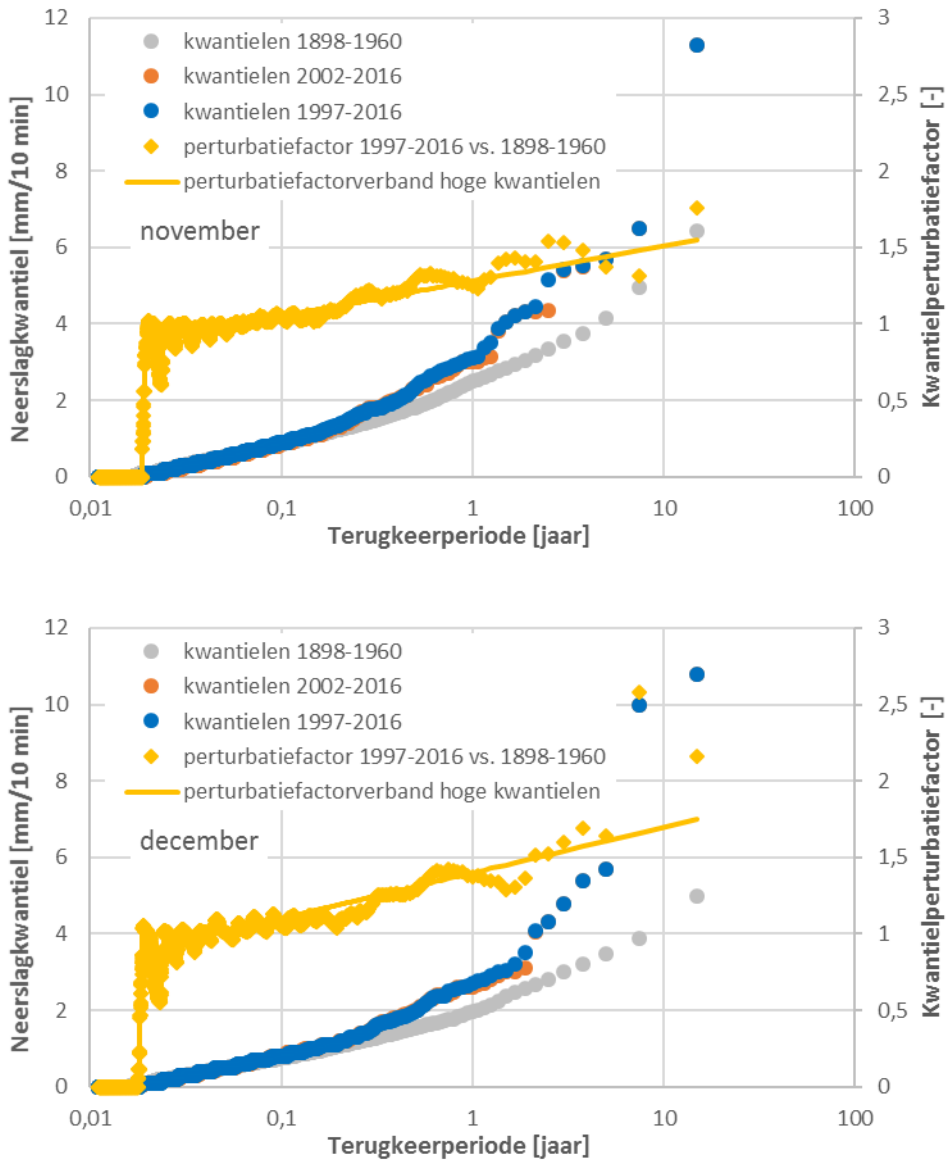




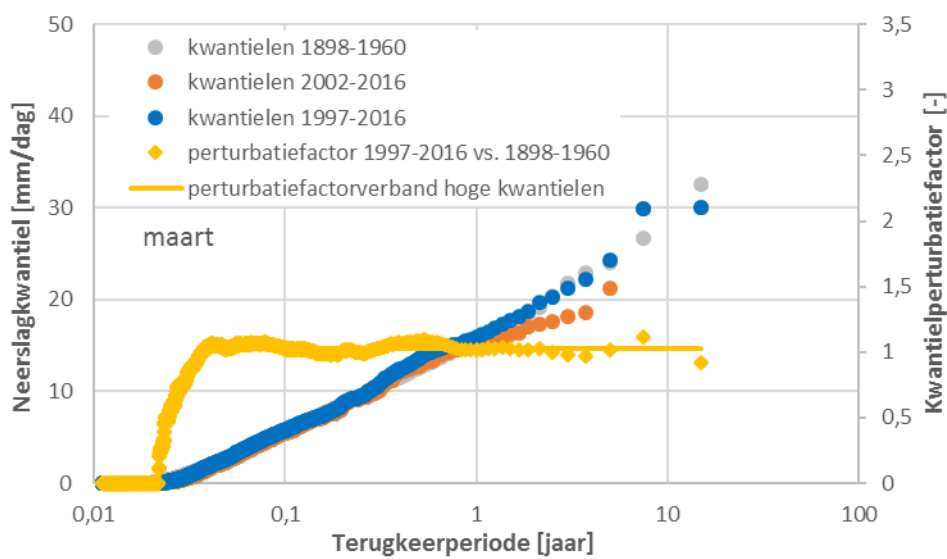
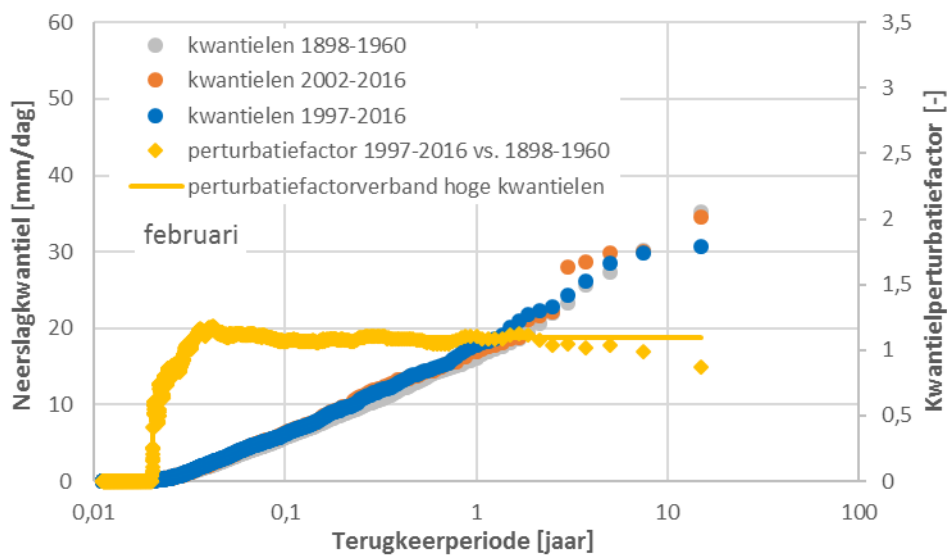
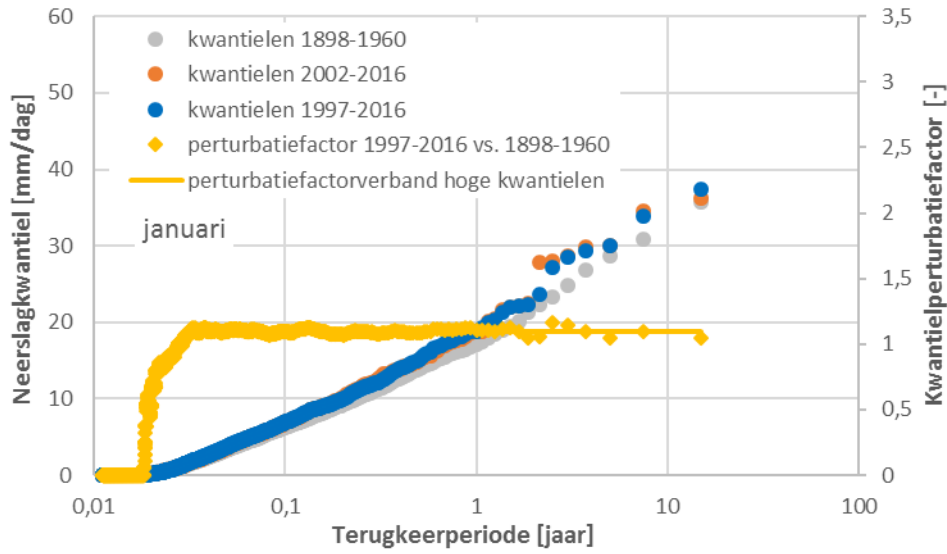


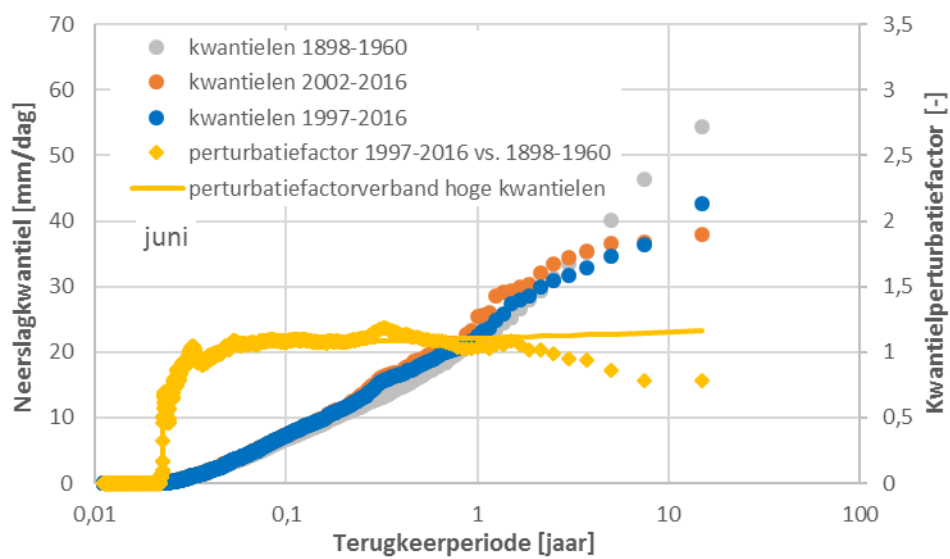
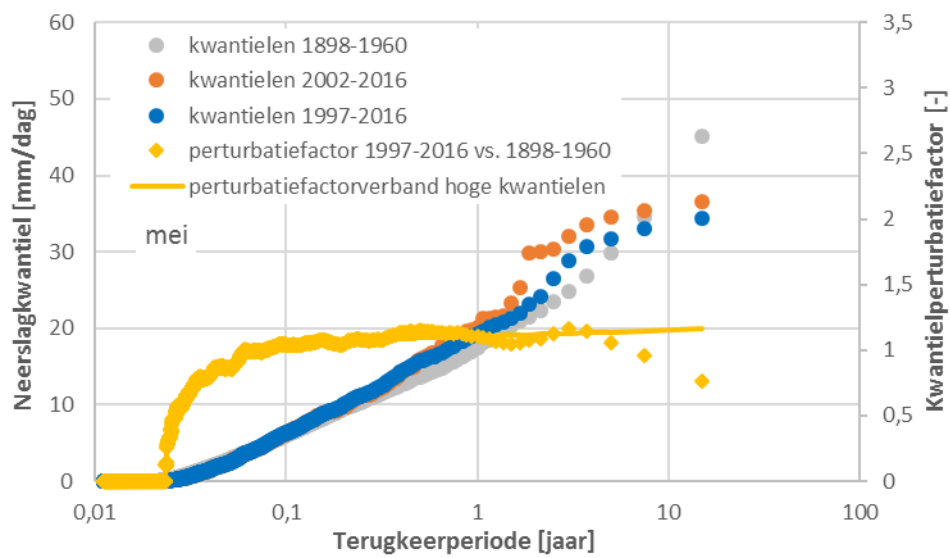
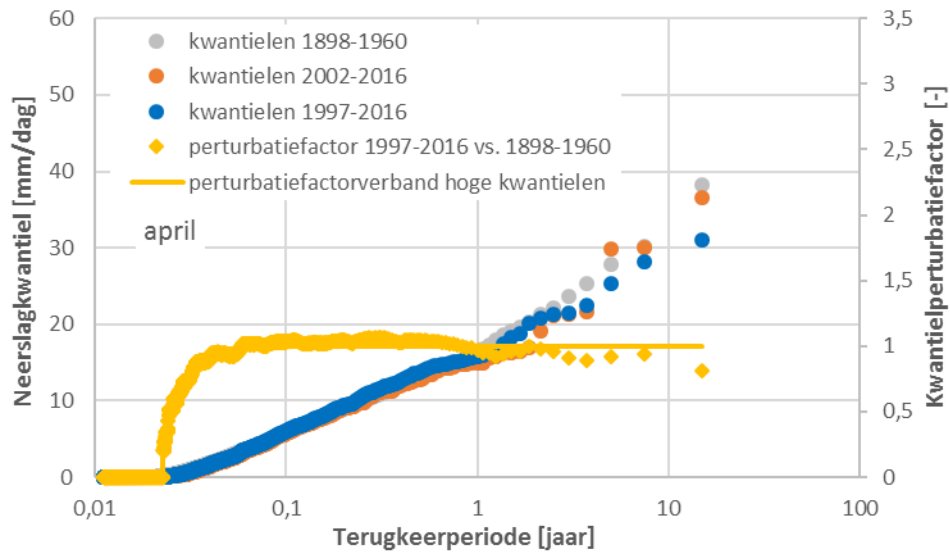


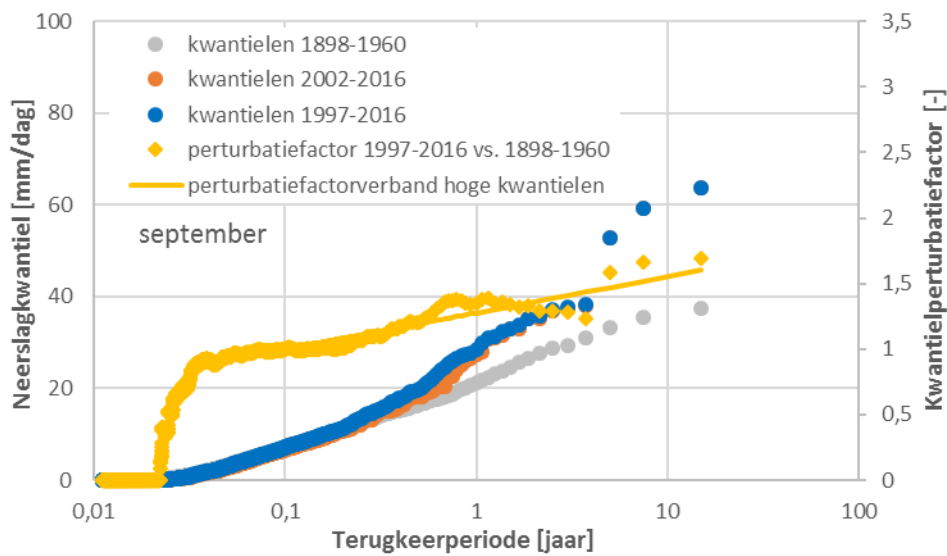
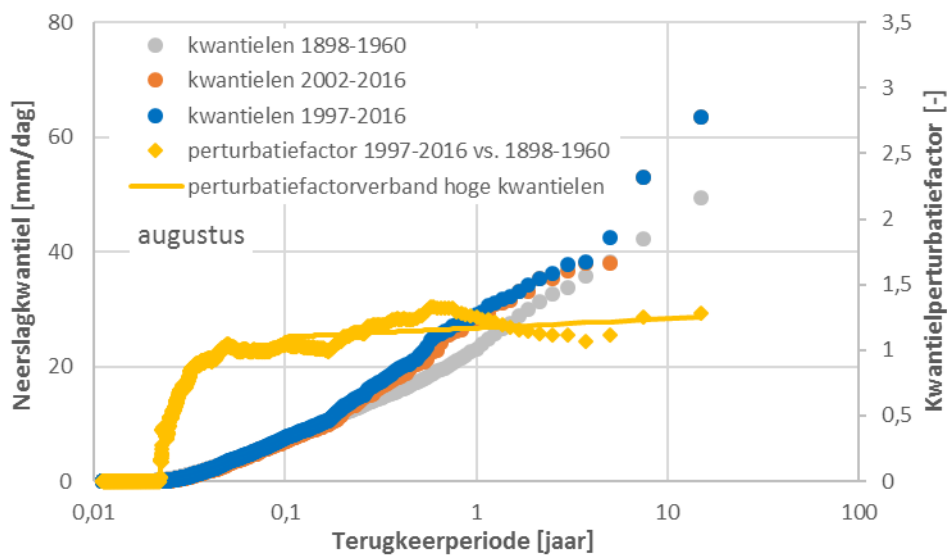
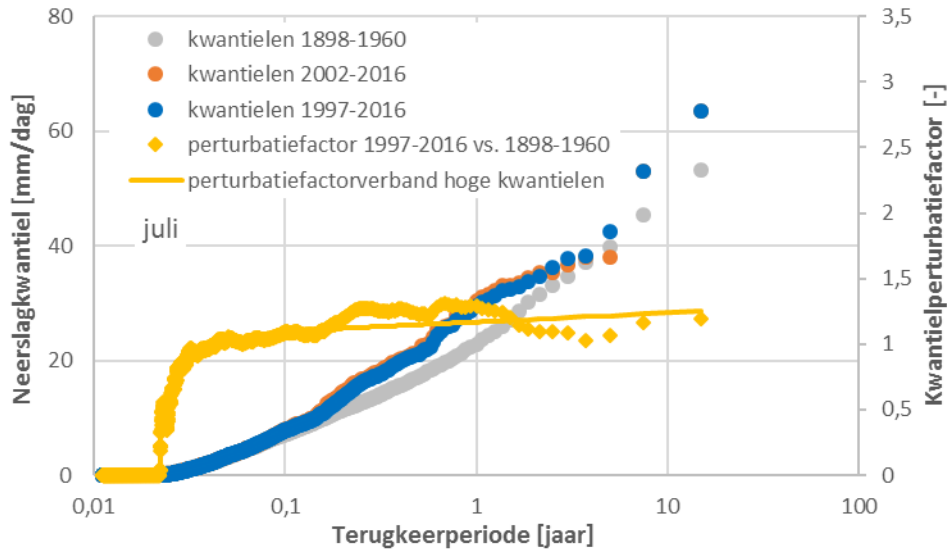


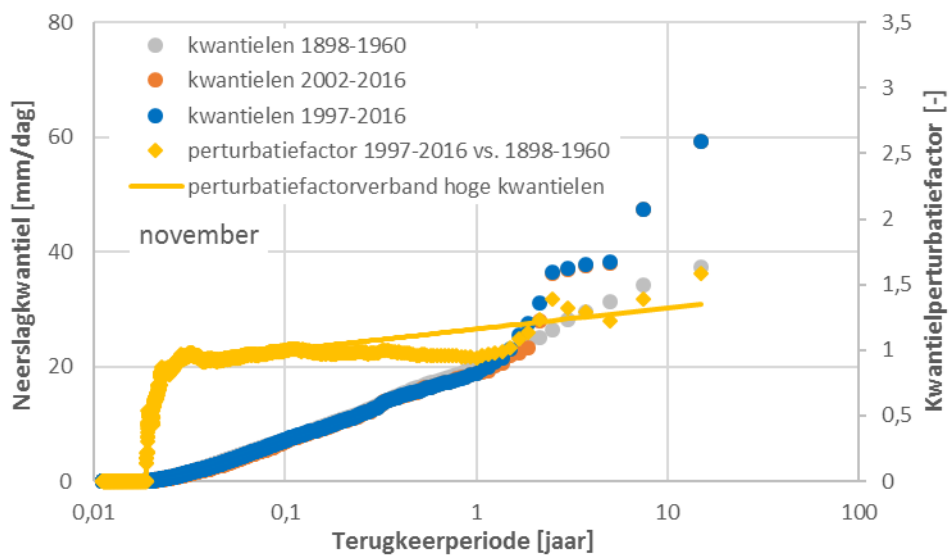
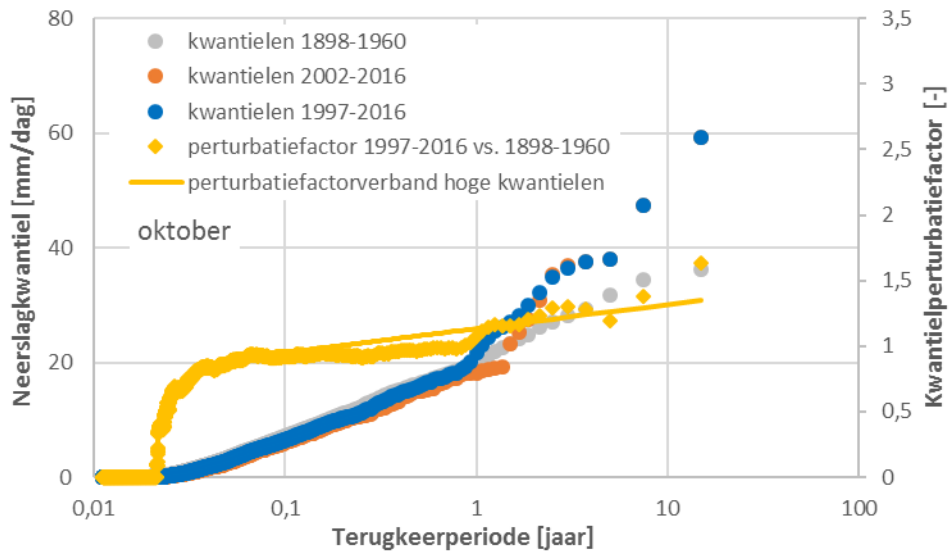


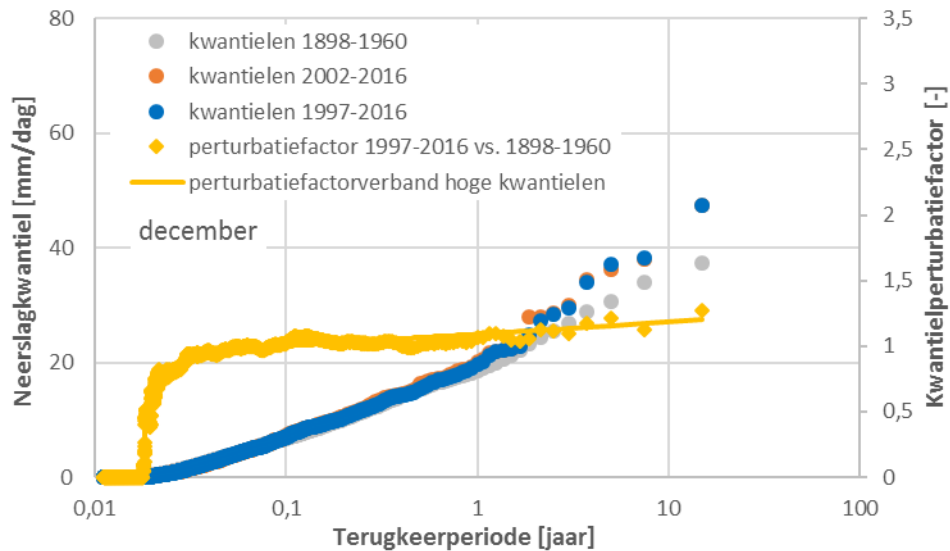
Figuur 3: 10-minuten neerslagkwantielen op basis van 15-jaar bewegende blokperiodes: vergelijking van de gemiddelde kwantielen voor alle 15-jaar deelperiodes in 1898-1960 versus 1997-2016 en 2002-2016; en empirisch en gekalibreerd verband tussen de kwantielperturbatiefactor en de terugkeerperiode van de neerslagintensiteit; voor de verschillende maanden van het jaar.









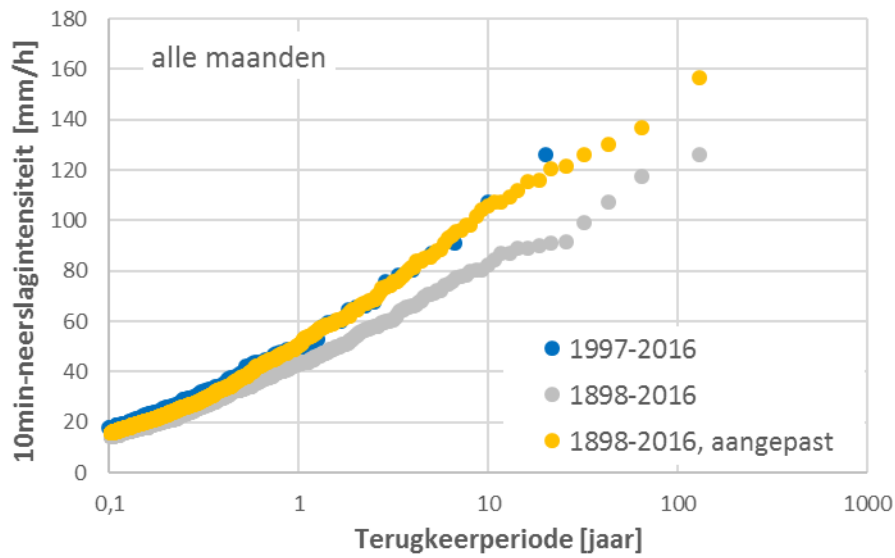


Figuur 4: Dagneerslagkwantielen op basis van 15-jaar bewegende blokperioden: vergelijking van de gemiddelde kwantielen voor alle 15-jaar deelperioden in 1898-1960 versus 1997-2016 en 2002-2016; en empirisch en gekalibreerd verband tussen de kwantielperturbatiefactor en de terugkeerperiode van de neerslagintensiteit; voor de verschillende maanden van het jaar.

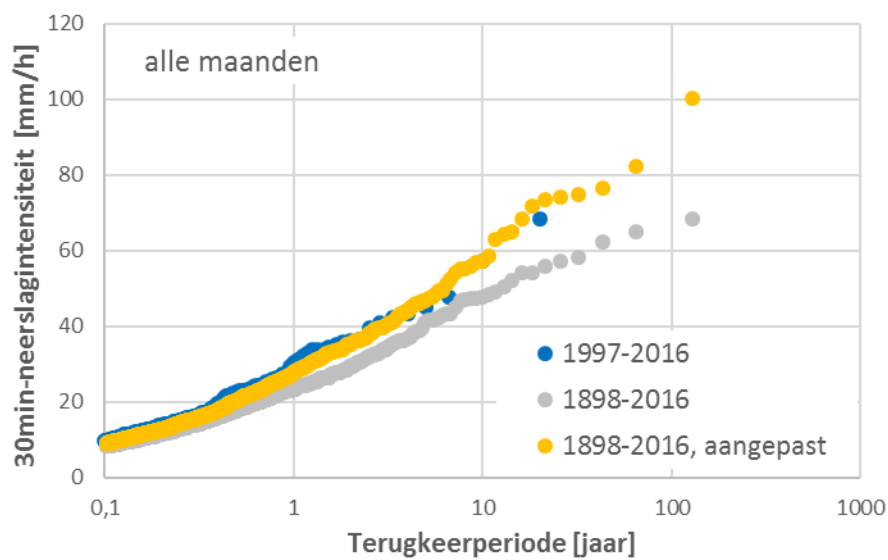
## 2.3 Controle aangepaste neerslagtijdreeksen

Op basis van de hiervoor afgeleide perturbatiefactoren in functie van de terugkeerperiode en voor elk van de 12 maanden van het jaar werd de tijdreeks aangepast. Dit gebeurde door in de tijdreeks elk van de 10-minuten POT-waarden aan te passen volgens de bijhorende empirische terugkeerperiode en de maand van het jaar waarin de POT-waarde zich situeert. Wanneer de kwantielperturbatiefactor beneden een bepaalde terugkeerperiode nul wordt, wordt de neerslagwaarde ook tot nul herleidt, wat betekent dat er droge perioden worden toegevoegd. Op die manier worden niet enkel de neerslagintensiteiten i.f.v. de terugkeerperiode geperturbeerd maar kunnen ook droge perioden worden toegevoegd of langer gemaakt. Na aanpassing van de 10-minuten piekintensiteiten worden de langere duur neerslagwaarden aangepast en dit stapsgewijs van kleine naar toenemende aggregatieniveaus (de kortere duur intensiteitsaanpassingen worden hierbij behouden, maar de andere intensiteiten aangepast aan de langere duur perturbatiefactoren). Zie Willems & Vrac (2011) voor de details bij deze kwantielperturbatiemethode.

De aangepaste tijdreeks werd gecontroleerd voor een aantal statistieken. Figuur 5 t.e.m. Figuur 9 geven de verdeling weer van de POT-neerslagintensiteiten voor verschillende aggregatieniveaus tussen 10 minuten en 1 dag versus de terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na trendcorrectie. De vergelijking met de verdeling voor de recente periode 1997-2016 toont een zeer goede overeenkomst en dit voor alle maanden van het jaar en alle aggregatieniveaus. Ook de maand-, seizoen- en jaarneerslagtotalen geven een trendvrij resultaat (zie voorbeelden in Figuur 10).

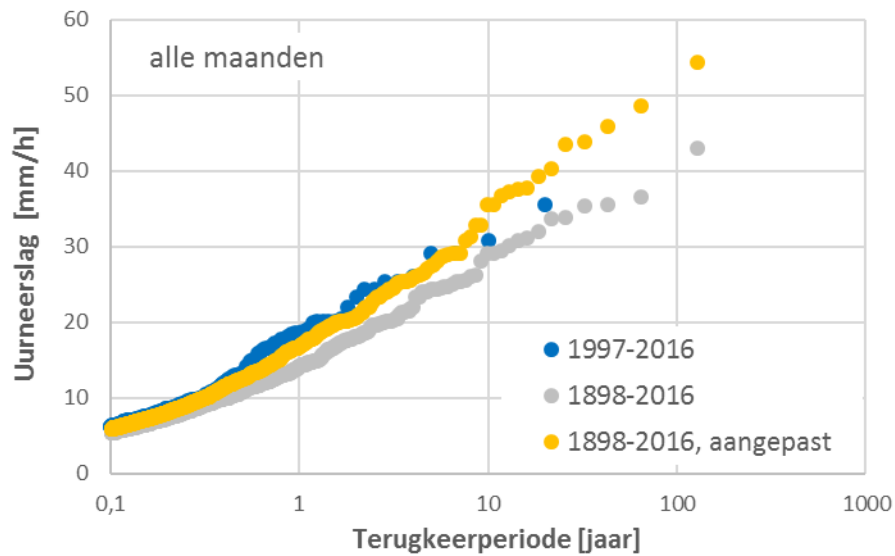


Figuur 5: 10-minutenneerslagintensiteiten versus terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na aanpassing en vergelijking met de periode 1997-2016; voor alle maanden van het jaar samen.

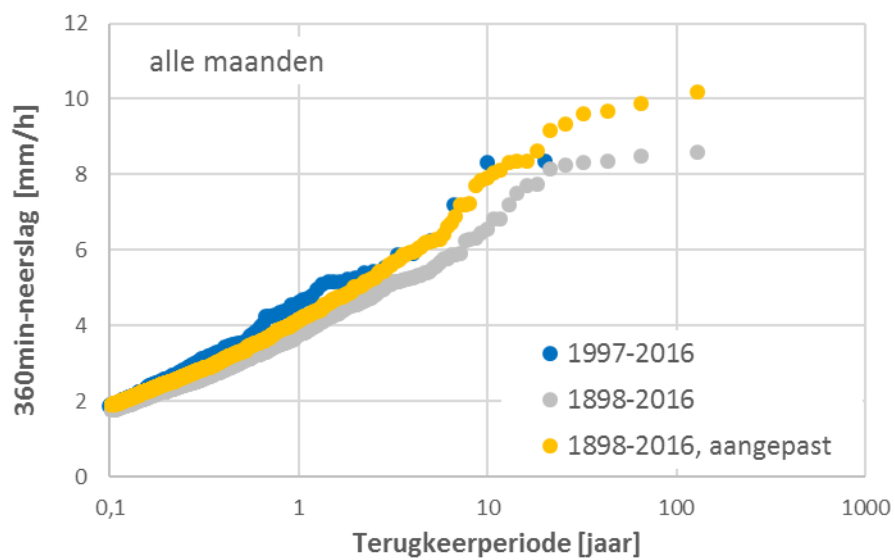


Figuur 6: 30-minutenneerslagintensiteiten versus terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na aanpassing en vergelijking met de periode 1997-2016; voor alle maanden van het jaar samen.

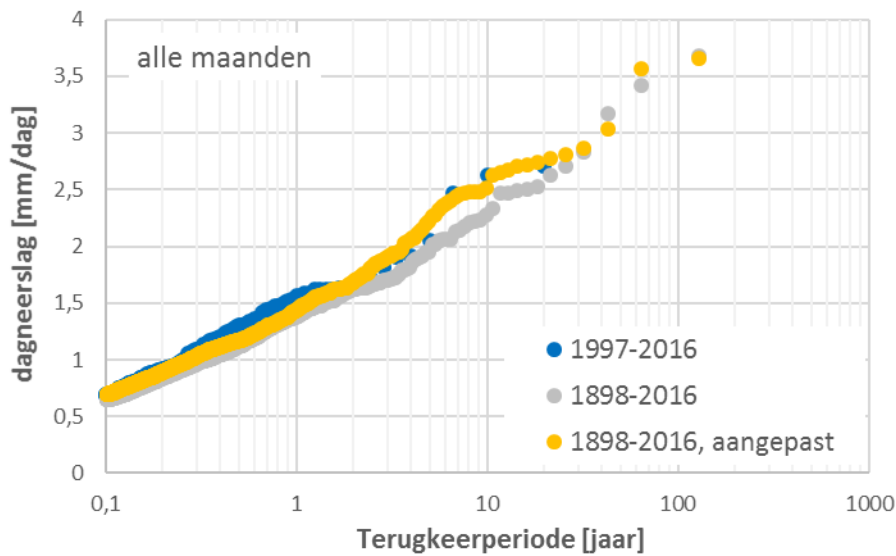




Figuur 7: 60-minutenneerslagintensiteiten versus terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na aanpassing en vergelijking met de periode 1997-2016; voor alle maanden van het jaar samen.

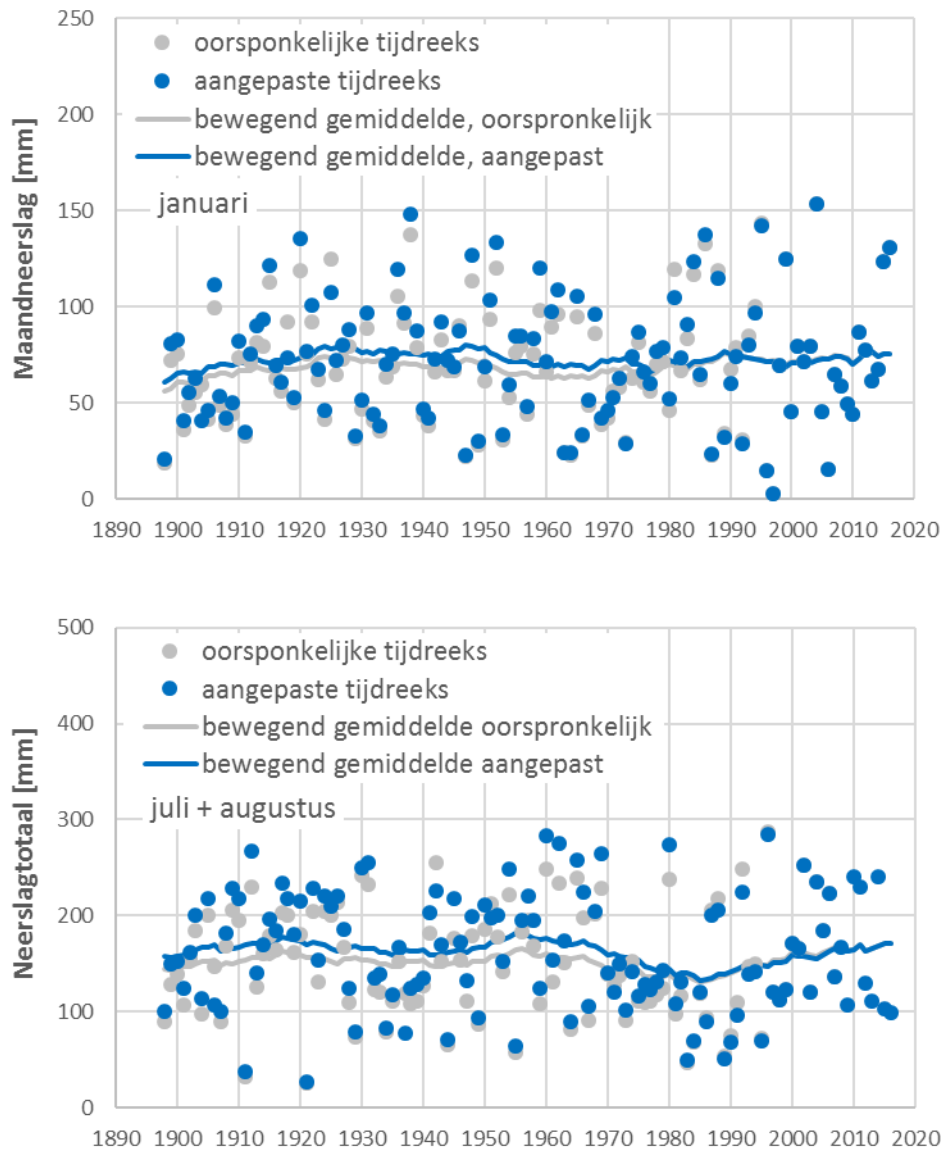


Figuur 8: 360-minutenneerslagintensiteiten versus terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na aanpassing en vergelijking met de periode 1997-2016; voor alle maanden van het jaar samen.



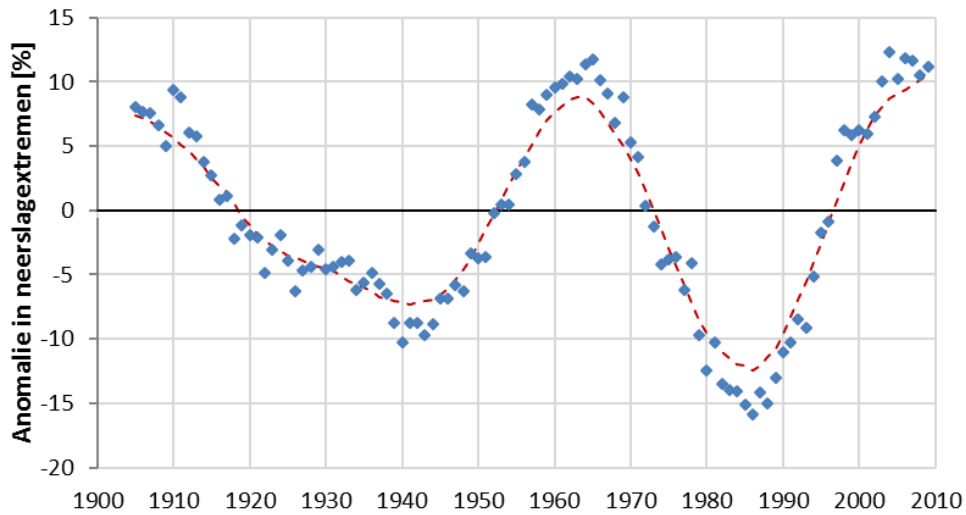
Figuur 9: Dagneerslag versus terugkeerperiode voor de volledige tijdreeks voor en na aanpassing en vergelijking met de periode 1997-2016; voor alle maanden van het jaar samen.

Op basis van Figuur 10 wordt de interessante vaststelling gedaan dat vóór 1970 de zomertotalen naar boven worden bijgesteld, terwijl deze tussen 1970 en 2000 lager worden. Dit toont aan dat de huidige zomers droger zijn t.o.v. deze historische periode. Dus de intensiteiten zijn hoger, maar de maandtotalen lager (door meer droge dagen). Voor de neerslag in januari zijn steeds correcties naar boven zichtbaar, dus vroeger waren de wintermaanden droger. Dit alles is consistent met de gekende klimaatveranderingssignalen voor onze regio.

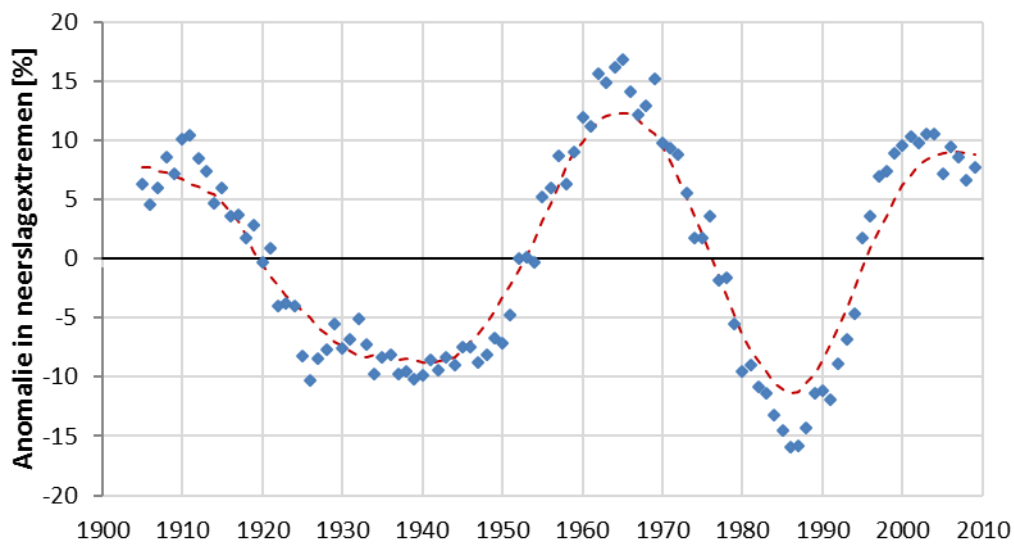


Figuur 10: Maandneerslagtotalen voor de verschillende jaren in de tijdreeks voor en na aanpassing; voor een voorbeeldwintermaand (januari) en een voorbeeldzomerperiode (juli + augustus). Het bewegend gemiddelde werd berekend voor perioden van 15 jaar.

Figuur 11 controleert verder de anomalie in de extreme neerslagkwantielen na aanpassing van de tijdreeks. Vergelijking met Figuur 1 bevestigt dat de trend correct werd verwijderd uit de neerslagreeks. Wat overblijft zijn de natuurlijke langjarige klimaatschommelingen, zoals eerder besproken. Dezelfde analyse maar voor de verschillende seizoenen van het jaar geven dezelfde conclusies; zie bv. Figuur 12 voor de zomermaanden juni-juli-augustus.



Figuur 11: Anomalie in de 10-minuten POT-neerslagextremen o.b.v. een bewegende blokperiode van 15 jaar en gemiddeld 15 extremen per jaar; voor alle maanden van het jaar gecombineerd.



Figuur 12: Anomalie in de 10-minuten POT-neerslagextremen o.b.v. een bewegende blokperiode van 15 jaar en gemiddeld 15 extremen per jaar; voor de zomermaanden juni-juli-augustus.

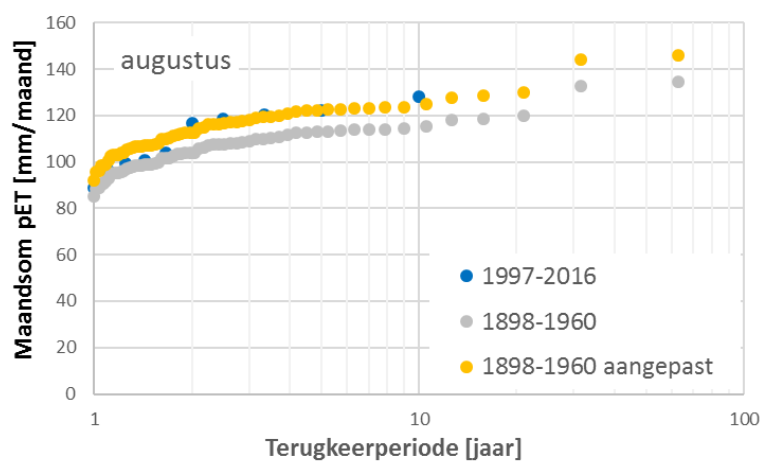
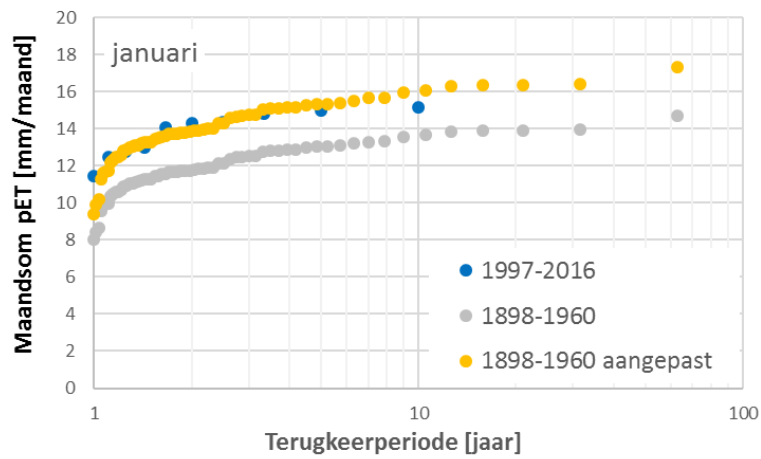
## 3 Aanpassen pET-reeksen

### 3.1 Analyse van de trend in de pET-reeksen en berekening van de pET-kwantielperturbatiefactoren

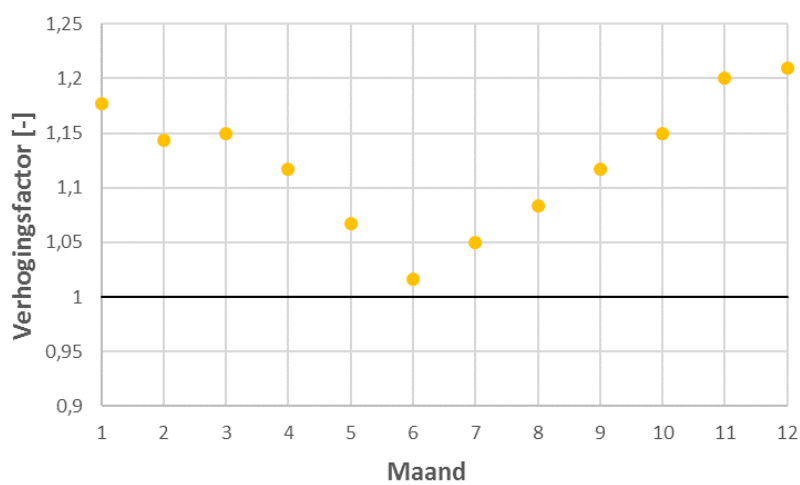
Voor pET werden de twee beschikbare tijdreeksen, deze o.b.v. de Hargreaves-methode en deze o.b.v. de Bultot-methode, afzonderlijk geanalyseerd. Beide reeksen geven immers geen consistente of vergelijkbare pET-waarden. Verder bleek de pET-tijdreeks volgens Hargreaves intern niet volledig consistent (zie §3.2 en Figuur 17). Omdat de oorzaak hiervan niet duidelijk is en het controleren ervan of het consistent maken van de tijdreeks geen onderdeel is van het huidige opdracht, werd de tijdreeks aangepast zoals ter beschikking gesteld. Wel wordt aan VMM aanbevolen om dit verder te bekijken en de inconsistentie eventueel (afhankelijk van de oorzaak) weg te werken.

Zowel de Hargreaves als de Bultot gebaseerde pET-reeks vertonen een duidelijke toenemende trend, vooral vanaf het einde van de jaren 1990 (zie verder in Figuur 17 en Figuur 18). De trend werd maandgemiddeld geanalyseerd, opnieuw volgens een kwantielgebaseerde methode zoals beschreven in §2.1. Figuur 13 toont de pET-maandsomkwantielen versus de terugkeerperiode, waarbij de kwantielen voor de periode 1997-2016 steeds hoger liggen dan de kwantielen voor de periode 1898-1960. Per maand werd een verhogingsfactor bepaald en toegepast op de pET-kwantielen. Figuur 14 toont hoe deze verhogingsfactor varieert over de 12 maanden van het jaar. Om voldoende nauwkeurige en robuuste verhogingsfactoren te bekomen werden deze voor elke maand bepaald op basis van niet enkel de betreffende maand maar ook de naburige maanden (zelfde aanpak als gevolgd voor de neerslagkwantielen, zie §2.2). Uit Figuur 14 blijkt dat de verhogingsfactor groter is voor de wintermaanden dan de zomermaanden. Dit lijkt enigszins verrassend, maar kan logisch verklaard worden doordat de zomermaanden veel hogere absolute pET-waarden kennen. De lagere relatieve verhogingsfactor komt daardoor overeen met een grotere absolute toename. Wat verder opvalt is dat de lentemaanden maart en april een sterke toename in de pET-waarden kennen. Dit heeft vermoedelijk te maken met de warmere temperaturen in deze lentemaanden, waardoor de relatieve toename in de lente sterker is dan in de zomer.

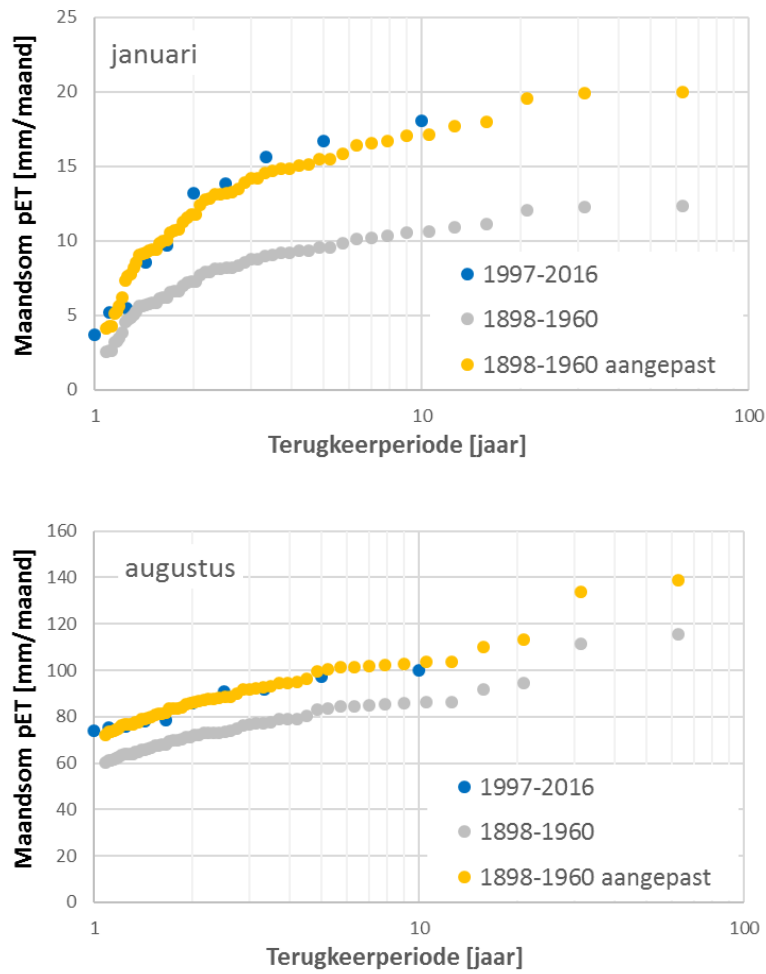
Gelijkaardige resultaten werden bekomen o.b.v. de Bultot-methode: zie Figuur 15 en Figuur 16. De verhogingsfactoren zijn wel een stuk groter dan deze voor de Hargreaves-methode, maar ook de pET-waarden zijn volgens Bultot-methode beduidend hoger dan volgens de Hargreaves-methode.



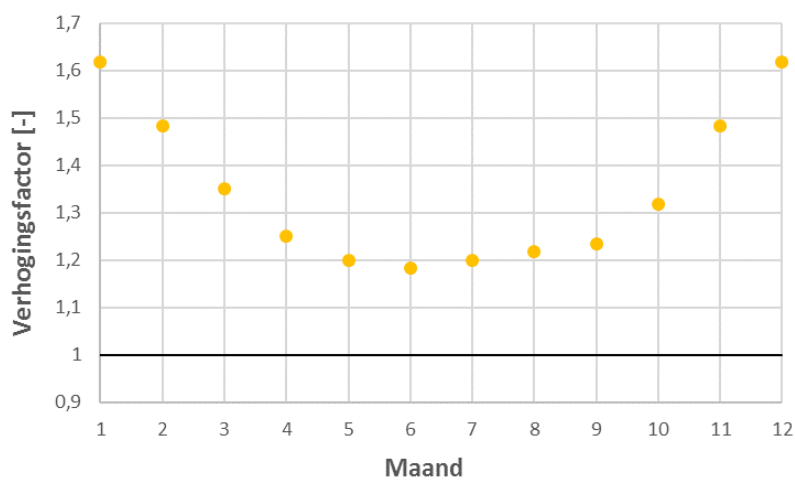
Figuur 13: pET-maandsomkwantielen voor en na toepassing van een verhogingsfactor; voor de Hargreaves-methode; voor een voorbeeldwintermaand (januari) en een voorbeeldzomermaand (augustus).



Figuur 14: Verhogingsfactor per maand voor de pET-maandsomkwantielen volgens de Hargreaves-methode.



Figuur 15: pET-maandsomkwantielen voor en na toepassing van een verhogingsfactor; voor de Bultot-methode; voor een voorbeeldwintermaand (januari) en een voorbeeldzomermaand (augustus).



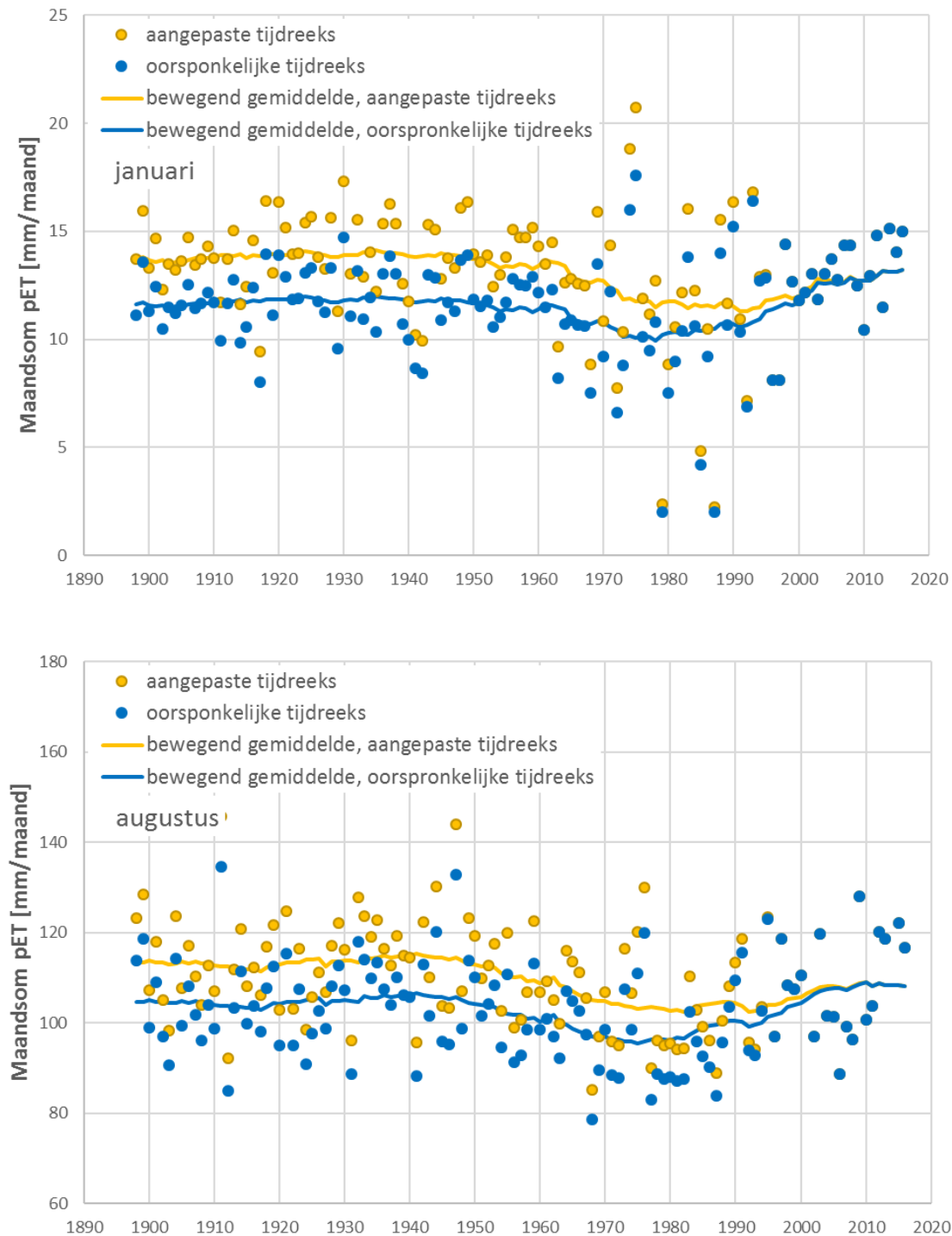
Figuur 16: Verhogingsfactor per maand voor de pET-maandsomkwantielen volgens de Bultot-methode.

## 3.2 Controle aangepaste pET-tijdreeksen

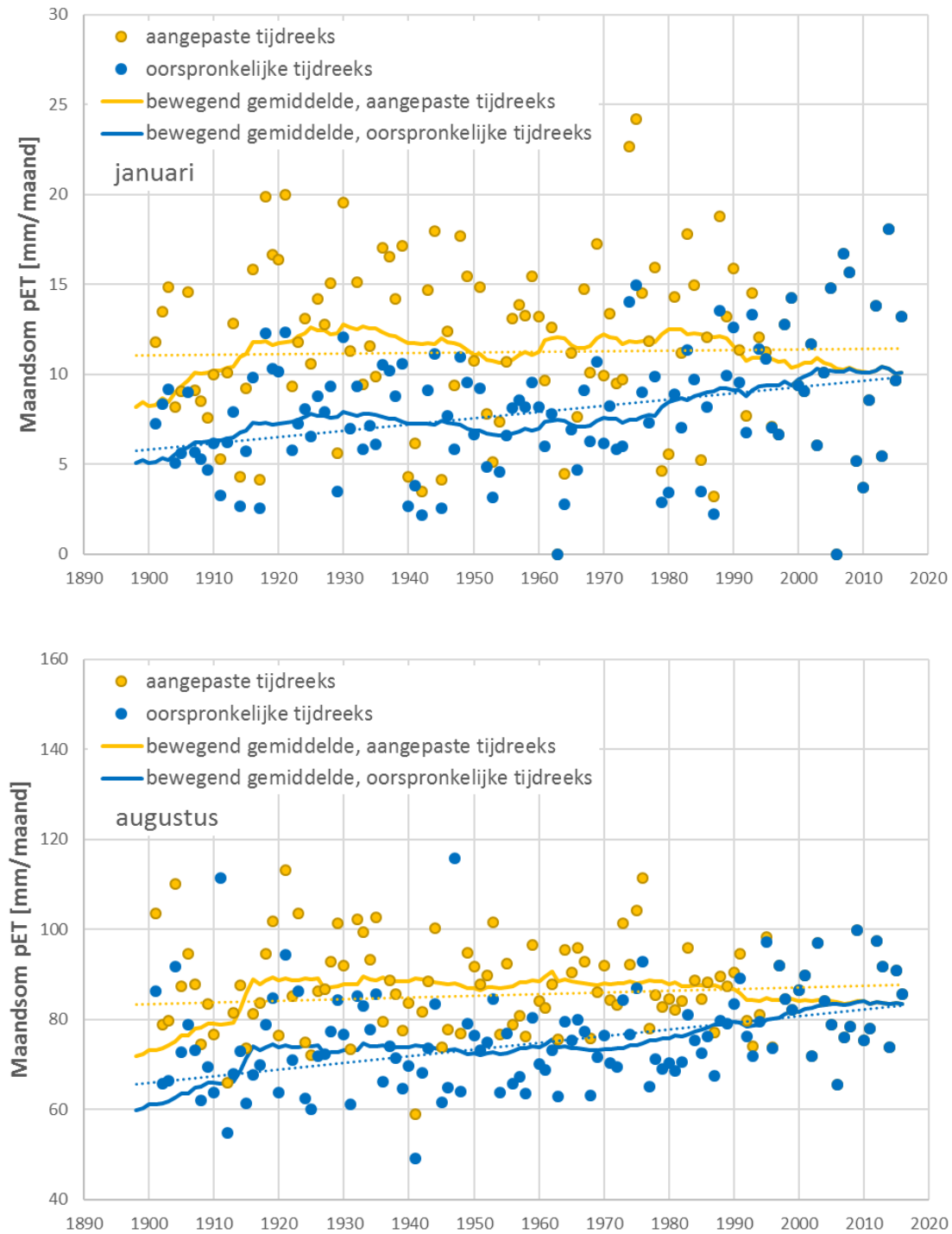
Na toepassing van de verhogingsfactoren werden aangepaste pET-tijdreeksen bekomen. Deze werden gecontroleerd voor de trendcorrectie; zie Figuur 17 en Figuur 18 voor de pET-maandwaarden. De trends blijken goed gecorrigeerd te worden. Het bewegend gemiddelde in Figuur 17 en Figuur 18 werd berekend op basis van een venster met een lengte van 30 jaar.

Wat opvalt in Figuur 17 is de hogere pET-variabiliteit in de periode van de jaren 1960 t.e.m. de jaren 1990 in de Hargreaves tijdreeks. Dit is niet realistisch en moet te maken hebben met een verschillende werkwijze voor het bepalen van de pET-waarden binnen en buiten deze periode. Na het einde van de jaren 1990 blijken de pET-waarden opnieuw consistent met deze voor de jaren 1960, weliswaar met een verschil als gevolg van de klimaattrend. Dit geldt voor alle maanden van het jaar.





Figuur 17: pET-maandwaarden voor de volledige tijdreeks 1898-2016 voor en na aanpassing; voor de Hargreaves-methode; voor een voorbeeldwintermaand (januari) en een voorbeeldzomermaand (augustus). Het bewegend gemiddelde werd berekend voor perioden van 15 jaar.



Figuur 18: pET-maandwaarden voor de volledige tijdreeks 1901-2016 voor en na aanpassing; voor de Bultot-methode; voor een voorbeeldwintermaand (januari) en een voorbeeldzomermaand (augustus). Het bewegend gemiddelde werd berekend voor perioden van 15 jaar.

## 4 Controleanalyse - impact op rioleringen

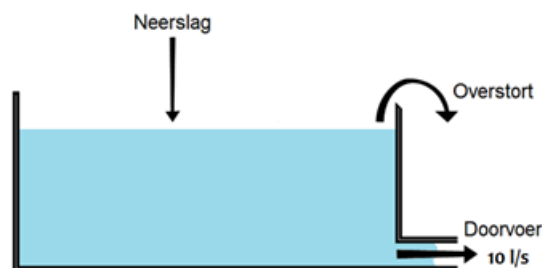
In dit hoofdstuk wordt de aangepaste neerslagreeks 1898-2016 gesimuleerd voor enkele reservoirmodellen die, hoewel sterk vereenvoudigd, enigszins representatief zijn voor het gedrag van rioleringsystemen. Concreet wordt de impact van de nieuwe neerslagreeks onderzocht op de overstortkarakteristieken, vullingsgraad en leegstand van de reservoirs. Merk op dat enkel de neerslagreeks gesimuleerd wordt. De pET-reeksen worden bijgevolg niet gesimuleerd.

### 4.1 Overzicht van de Sirio simulaties

De simulaties worden uitgevoerd met de Sirio software (zie [www.sumaqua.be/Sirio](http://www.sumaqua.be/Sirio) voor meer info; de VMM heeft ook een licentie voor het gebruik van Sirio). Sirio voert voor een reservoir een continue langetermijnsimulatie uit. Standaard bevat het programma een (synthetische) 100-jarige neerslagreeks die representatief is voor het klimaat in Vlaanderen. Voor de analyse in dit rapport werd deze neerslagreeks vervangen door de originele reeks van Ukkel van 1898-2016, en de in dit project aangepaste reeks. De oppervlakteberging in Sirio wordt voor deze experimenten uitgeschakeld. Bijgevolg wordt de ingebouwde verdampingsreeks niet gebruikt.

Er worden 3 reservoirmodellen gesimuleerd met uiteenlopende karakteristieken. Op die manier wordt gepoogd om de impact van de nieuwe reeks op rioleringen in te schatten. Concreet wordt een hemelwaterput en infiltratievoorziening van een standaard woning die voldoet aan de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening (GSV) Hemelwater gesimuleerd, en een buffer met vertraagde doorvoer die circa eens in de 5 jaar overstort. Volgend overzicht lijst de hydraulische parameters van de reservoirs op:

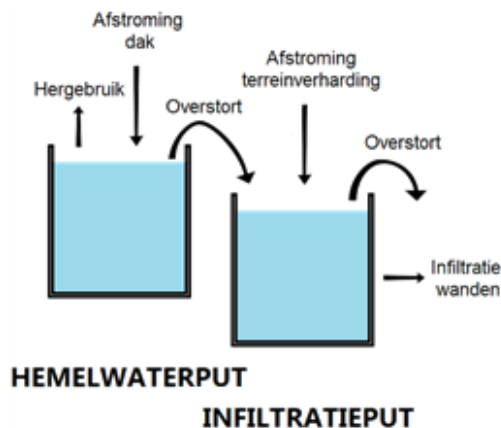
- Reservoir 1: Buffer met vertraagde doorvoer
  - Toevoerende oppervlakte: 1 ha
  - Neerslagafstromingscoëfficiënt: 0.8 [-]
  - Capaciteit: 200 m<sup>3</sup>
  - Doorvoer:
    - Maximum debiet: 10 l/s
    - Relatie: volgens een vierkantswortel relatie in functie van de vullingsgraad, conform een gravitaire lozing of knijpopening.



Figuur 19: Schematische weergave van reservoir 1 (buffer met vertraagde doorvoer)

- Reservoirs 2 en 3: Hemelwaterput en infiltratievoorziening van een huis dat voldoet aan de GSV
  - Dakoppervlakte: 125 m<sup>2</sup>
  - Oppervlakte terreinverharding: 30 m<sup>2</sup>
  - Neerslagafstromingscoëfficiënt: 0.8 [-]
  - Capaciteit hemelwaterput: 5000 liter  
*(bij een hoger volume stort de hemelwaterput over naar de infiltratieput)*
  - Capaciteit infiltratievoorziening: 2375 liter

- o Hergebruik: 100 liter/dag
- o Infiltratieoppervlakte bodem: geen
- o Infiltratieoppervlakte wanden: 3.8 m<sup>2</sup>
- o Infiltratiecapaciteit: 10 mm/u



Figuur 20: Schematische weergave van reservoirs 2 en 3

De simulatie werd uitgevoerd met een tijdstap van 120 seconden. De resultaten werden elke 10 minuten bewaard.

## 4.2 Resultaten Sirio simulaties

Volgende simulatieresultaten worden geanalyseerd:

- Overstortkarakteristieken (volumes, frequentie)
- Percentielverdeling van de vullingsgraad
- Leegstandsanalyse (enkel voor de infiltratievoorziening)

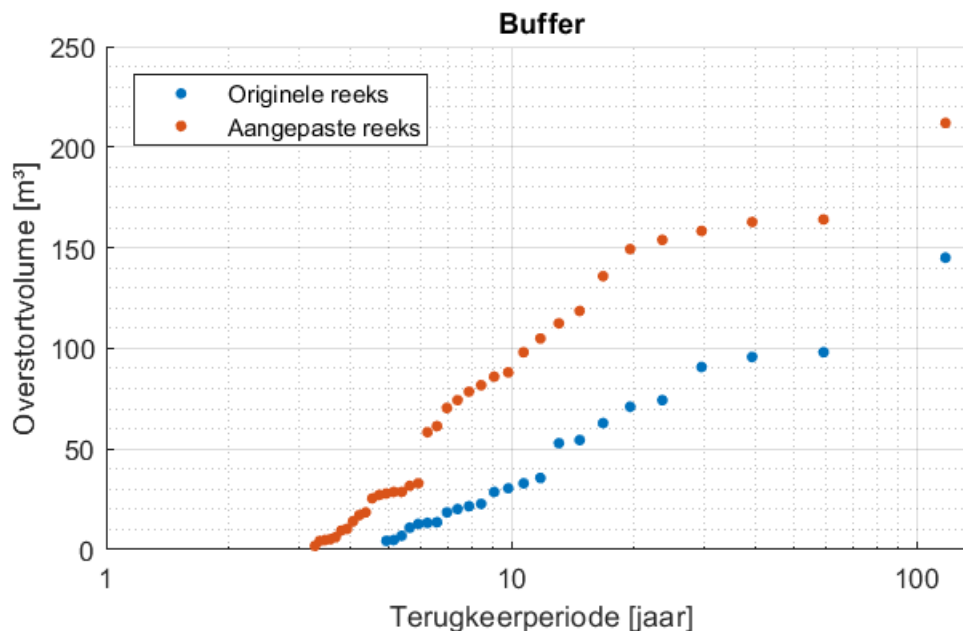
Tabel 1 geeft het overzicht weer van de frequentie van overstorten van de 3 reservoirs na simulatie van de originele en aangepaste Ukkel reeks. Uit de tabel is af te leiden dat er, logischerwijs, meer overstorten zullen voorkomen na aanpassing van de Ukkelreeksen aan het huidig klimaat. Verder valt op dat het aantal overstorten niet evenredig stijgt: de buffer die slechts zelden overstort zal relatief beschouwd veel vaker overstorten na aanpassing van de reeks, in vergelijking met de hemelwaterput- en infiltratievoorziening die sowieso veel frequenter overstorten. Dit verschil kan verklaard worden door de systeemkarakteristieken: de buffer met vertraagde doorvoer zal vooral overstorten ten gevolge van hoge piekneerslagintensiteiten, terwijl de kleinschalige voorzieningen vooral blijken te reageren op langere periodes van neerslag (en niet de piekintensiteiten). Dit wordt verder verduidelijkt in meer gedetailleerde analyses in §4.2.1 tot en met 4.2.3.

Tabel 1: Overzicht van het aantal overstorten van de volledige neerslagreeksen 1898-2016.

AANTAL OVERSTORTEN	Buffer (reservoir 1)	Hemelwaterput (reservoir 2)	Infiltratievoorziening (reservoir 3)
Originele reeks	24	7555	789
Aangepaste reeks	36	7879	951

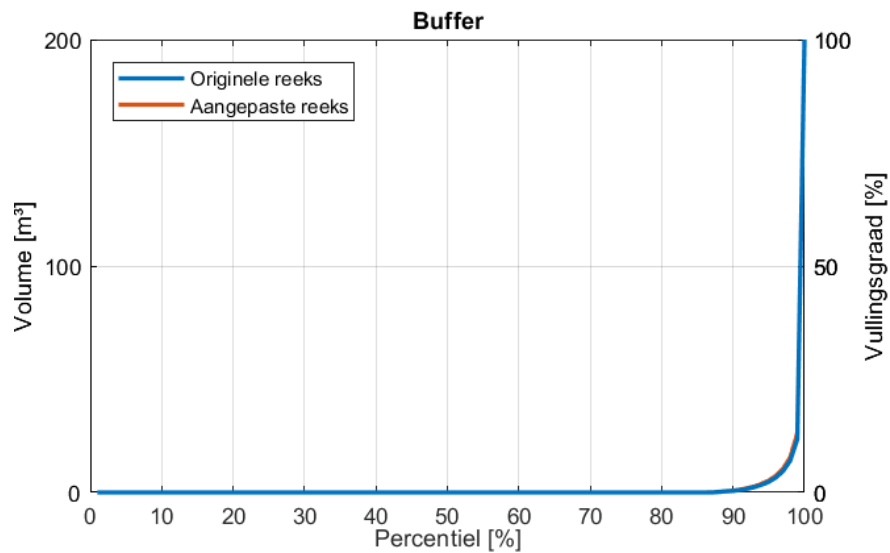
#### 4.2.1 Reservoir 1: Buffer met vertraagde doorvoer

Figuur 21 toont de overstortvolumes van de buffer met vertraagde doorvoer voor de originele en aangepaste Ukkel reeks. Hierop is te zien dat de overstortvolumes significant toenemen (ruwweg +50 tot +100%) door de aanpassing van de neerslagreeks.

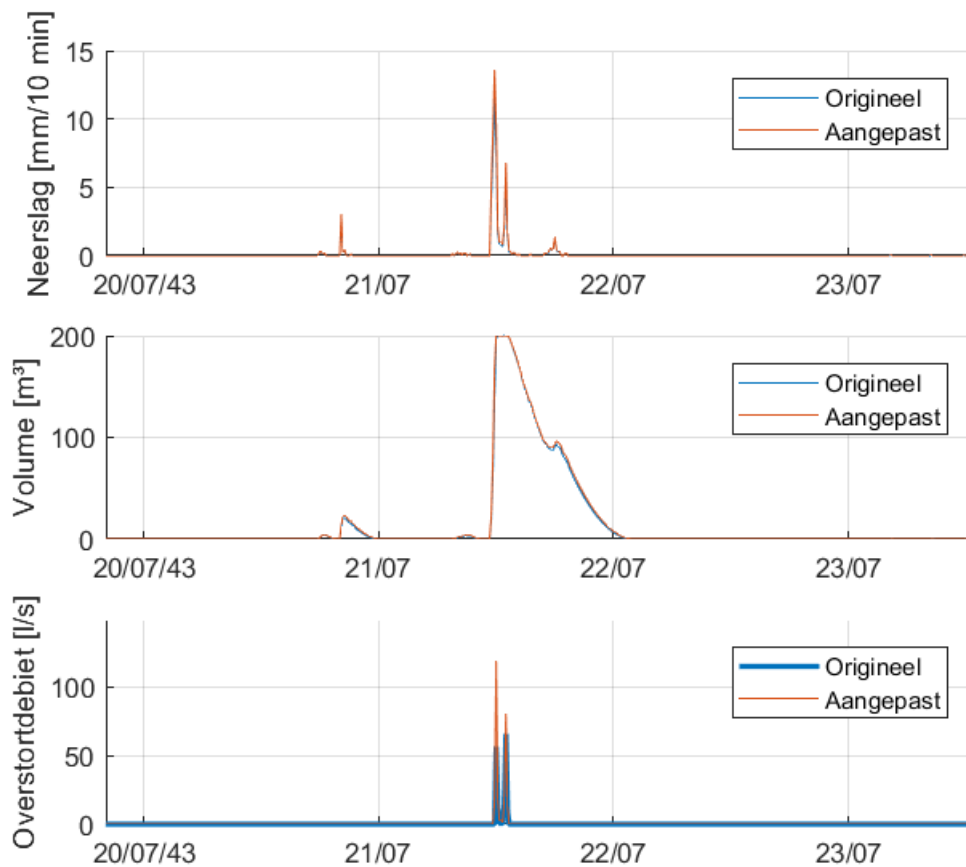


Figuur 21: Overstortvolumes van de buffer met vertraagde doorvoer (reservoir 1) met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeks 1898-2016.

Deze significante toename in overstortvolumes kan verklaard worden doordat de buffer met vertraagde doorvoer vooral reageert op piekneerslagintensiteiten. Het zijn net deze piekneerslagintensiteiten die vooral gestegen zijn na aanpassing van de neerslagreeks. Figuur 22 toont de percentielen van de vulling van de buffer (berekend over de simulatie van 118 jaar). Deze figuur toont dat circa 90% van de tijd de buffer leeg zal staan. Antecedente condities zijn met andere woorden van minder belang. Neerslaggebeurtenissen met beperkte intensiteiten worden snel afgevoerd via de doorvoer (knijpopening, ...). Bijgevolg zijn het voornamelijk hoge neerslagintensiteiten die de overstorten veroorzaken. Dit wordt ook geïllustreerd door de gebeurtenis van 21 juli 1943 nader te bekijken in Figuur 23. Dit is de kortdurende gebeurtenis met een relatief hoge neerslagintensiteit (11.4 mm/10 minuten voor aanpassing van de reeks; 13.6 mm/10 minuten na aanpassing). Deze gebeurtenis leidt voor reservoir 1 tot het 3<sup>de</sup> hoogste overstortvolume van de volledige reeks (95.7 m<sup>3</sup> voor aanpassing van de reeks; 162.8 m<sup>3</sup> na aanpassing). Het is duidelijk dat de piekneerslagintensiteit tot overstorting leidt. De figuur toont ook dat het piekdebiet van de overstort significant toeneemt na aanpassing van de reeks.



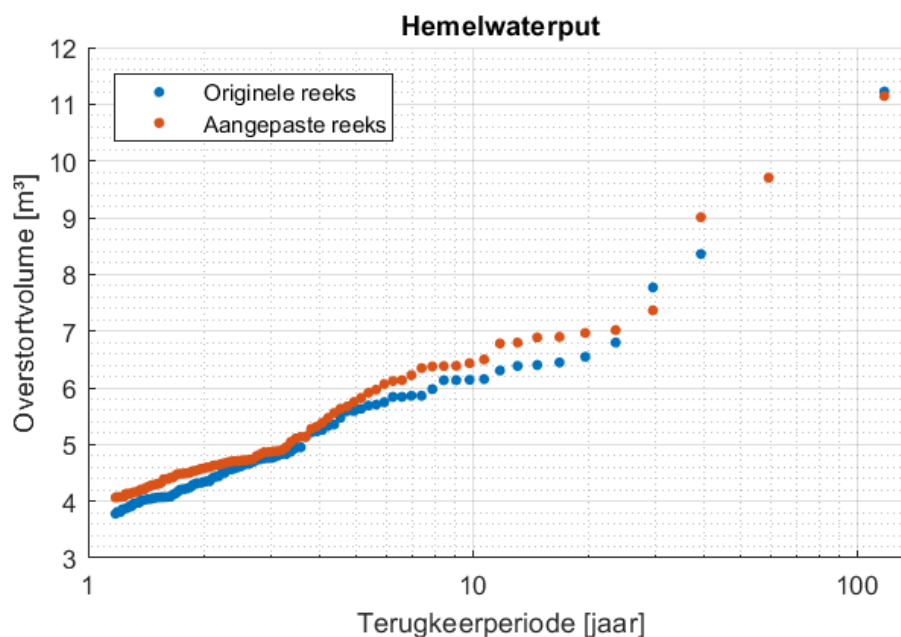
Figuur 22: Percentielen van de vulling van de buffer met vertraagde doorvoer.



Figuur 23: Neerslag (boven), gesimuleerd volume in de buffer (midden) en overstortdebiet (onder) na simulatie van reservoir 1 met de originele en aangepaste Ukkelreeks voor een gebeurtenis in juli 1943.

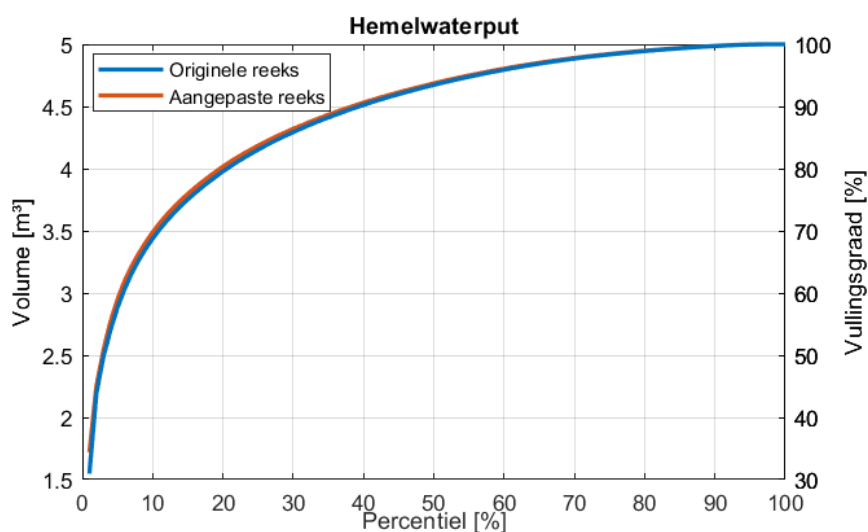
#### 4.2.2 Reservoir 2: Hemelwaterput

Figuur 24 toont de overstortvolumes van de hemelwaterput na simulatie van de originele en aangepaste reeksen. De stijging van de overstortvolumes is veel minder uitgesproken dan die bij reservoir 1.



Figuur 24: Overstortvolumes van de hemelwaterput (reservoir 2) met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeksen 1898-2016.

De beperkte impact van de aangepaste neerslagreeksen kan verklaard worden doordat de overstortvolumes voornamelijk bepaald worden door langere neerslagperiodes, en niet door korte gebeurtenissen met hoge piekintensiteiten. Figuur 25 toont de percentielen van de vulling van de hemelwaterput. Hierbij valt op dat de hemelwaterput vaak gevuld is: 60% van de tijd is deze voor meer dan 90% gevuld. Langdurige gebeurtenissen met lagere neerslagintensiteiten kunnen bijgevolg ook reeds tot overstorting leiden.

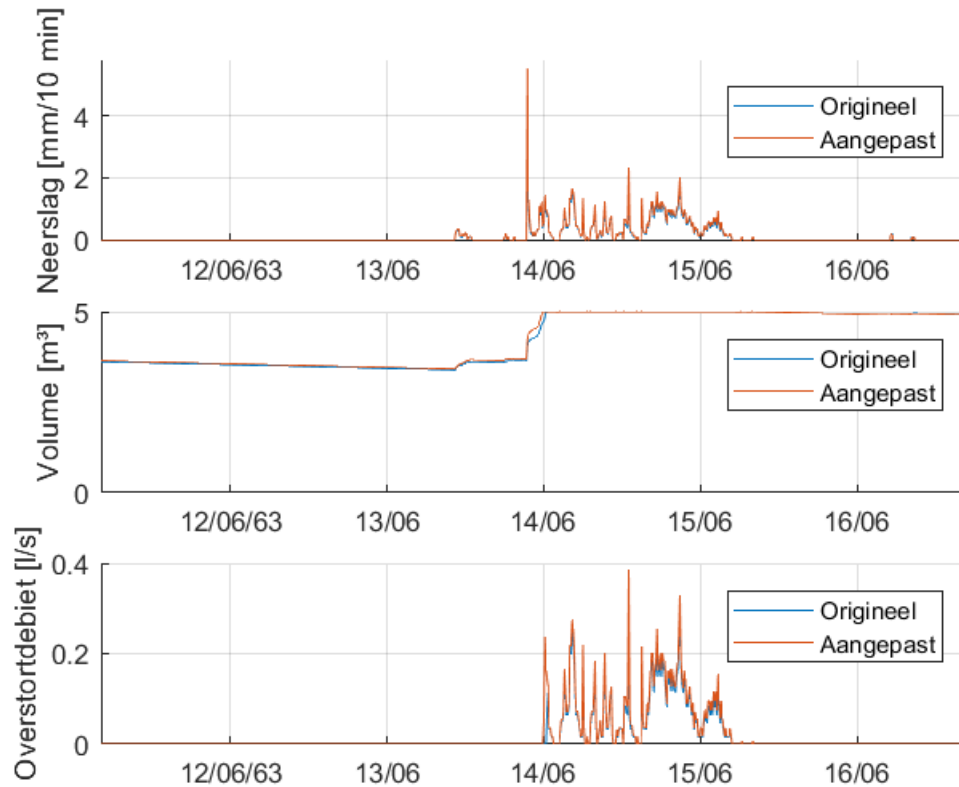


Figuur 25: Percentielen van de vulling van de hemelwaterput.

Bij de aanpassing van de Ukkelreeksen werden sommige lagere neerslagintensiteiten verlaagd, terwijl hogere neerslagintensiteiten verhoogd werden. Om de impact van zowel de verlaging als verhoging van de intensiteiten nader te analyseren, wordt naar twee specifieke gebeurtenissen gekeken:

- Juni 1963: verhoging van het gesimuleerd overstortvolume van  $7.8 \text{ m}^3$  (overstortduur van 32 uur) naar een overstortvolume van  $9 \text{ m}^3$  (overstortduur blijft gelijk) na aanpassing van de neerslagreeksen
- Oktober 1982: verlaging van het overstortvolume van  $6.4 \text{ m}^3$  (overstortduur van 61 uur) naar een overstortvolume van  $5.1 \text{ m}^3$  (overstortduur 50 uur)

Figuur 26 toont de gebeurtenis van juni 1963. Deze gebeurtenis leidt tot 9 m<sup>3</sup> overstorting na aanpassing van de reeks, wat het 3<sup>de</sup> grootste overstortvolume is van de volledige simulatie. Hierop is duidelijk te zien dat (lagere) neerslagintensiteiten over een langere periode leiden tot overstorting. Dit komt door de antecedente vulling van de hemelwaterput (circa voor 80% gevuld bij de start van de gebeurtenis) die van belang is door de trage lediging.

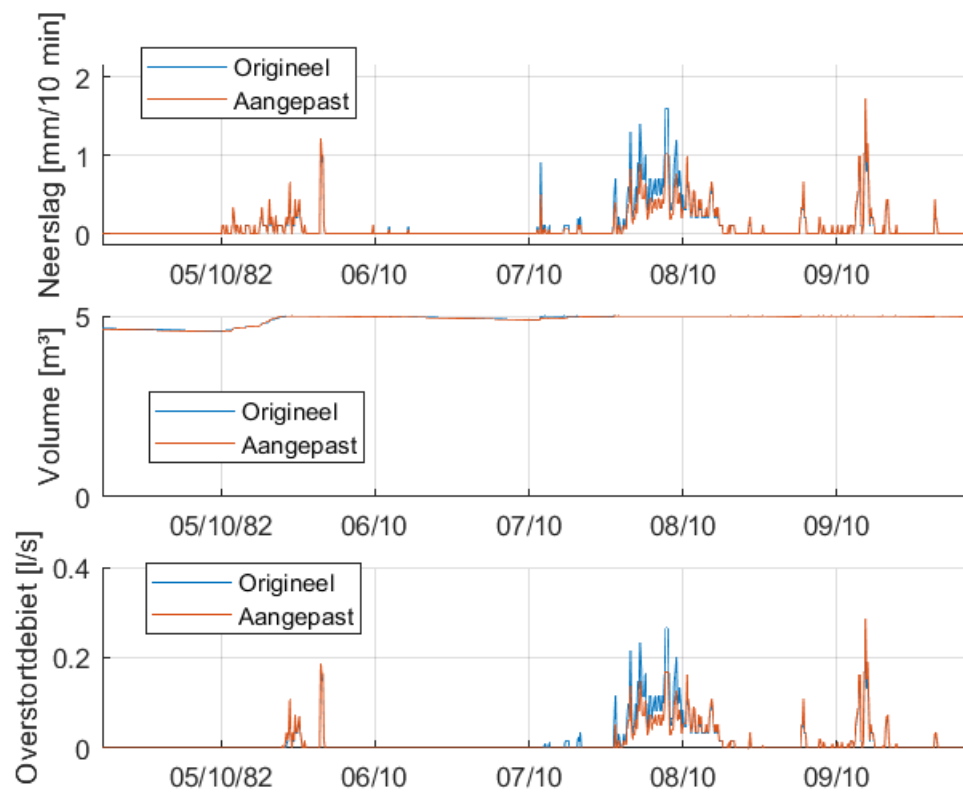


Figuur 26: Neerslag (boven), gesimuleerd volume in de hemelwaterput (midden) en overstortdebiet (onder) na simulatie van reservoir 2 met de originele en aangepaste Ukkelreeksen voor een gebeurtenis in juni 1963.

Figuur 27 toont tot slot de gebeurtenis van oktober 1982. Het overstortvolume bedraagt 5.1 m<sup>3</sup> na aanpassing van de neerslagreeks (slechts 33<sup>ste</sup> grootste van de reeks). Voor de aanpassing van de neerslagreeks bedroeg het overstortvolume nog 6.4 m<sup>3</sup>, wat het tot het 8<sup>ste</sup> grootste volume van die reeks maakte. Het lager overstortvolume na aanpassing wordt veroorzaakt door de daling van de lage neerslagintensiteiten (grootteorde 1 mm/10 minuten).

Het globaal effect van de aanpassing werd eerder al samengevat in Figuur 24: de meeste overstortvolumes stijgen licht, terwijl een minderheid licht daalt. De algemene impact is relatief beperkt.

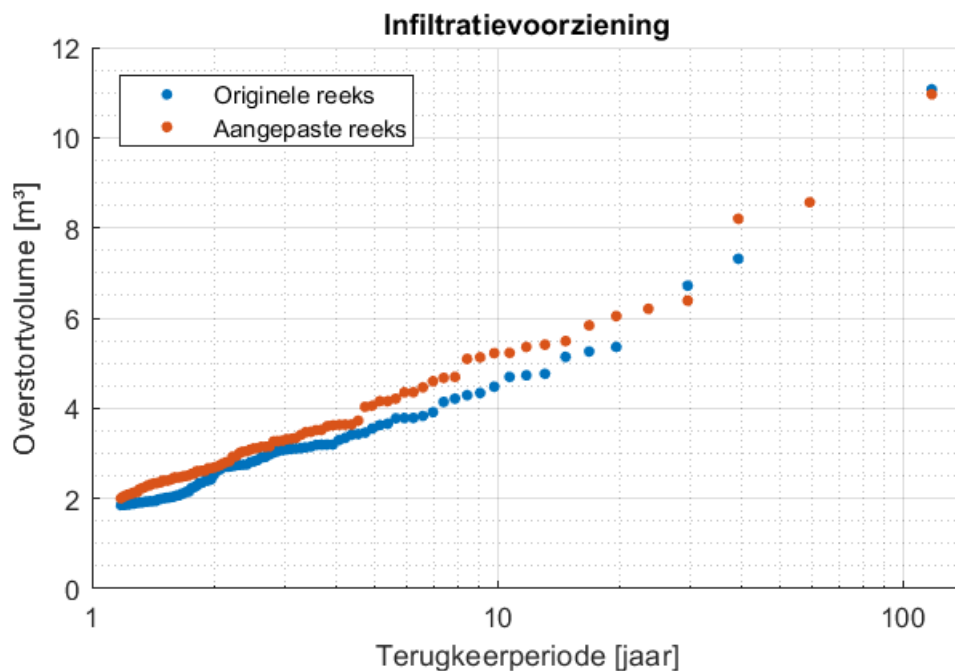




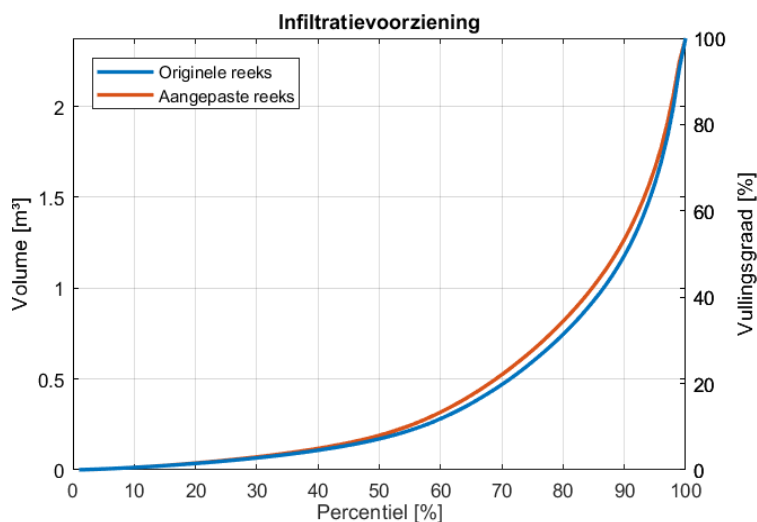
Figuur 27: Neerslag (boven), gesimuleerd volume in de hemelwaterput (midden) en overstortdebiet (onder) na simulatie van reservoir 2 met de originele en aangepaste Ukkelreeksen voor een gebeurtenis in oktober 1982.

### 4.2.3 Reservoir 3: Infiltratievoorziening

Tot slot wordt de infiltratievoorziening geanalyseerd. De overstortvolumes stijgen relatief gezien meer dan die van de hemelwaterput, maar de stijging blijft beperkt. Dit systeem lijkt qua dynamiek op de hemelwatervoorziening, maar de percentielen van de vulling zijn wel beduidend lager dan die van de hemelwatervoorziening (zie ook Figuur 29).

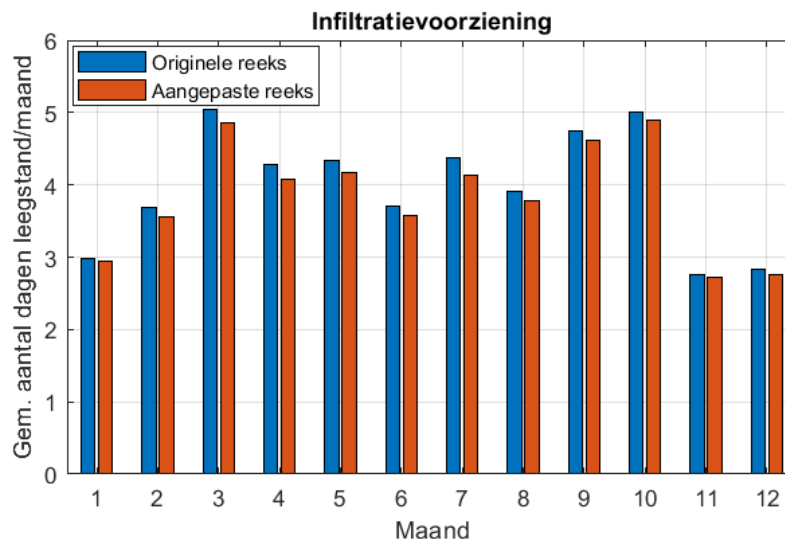


Figuur 28: Overstortvolumes van de infiltratievoorziening (reservoir 3) met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeksen 1898-2016.



Figuur 29: Percentielen van de vulling van de infiltratievoorziening.

Tot slot wordt de spreiding van de leegstand van de infiltratievoorziening getoond in Figuur 30. Deze figuur toont het gemiddeld aantal dagen leegstand per maand voor de originele en aangepaste neerslagreeksen. Door aanpassing van de neerslagreeksen ligt het aantal momenten van leegstand licht lager. Dit is ook te verwachten, aangezien gemiddeld de neerslag na aanpassing hoger ligt. De veranderingen zijn echter niet erg uitgesproken. Ook de spreiding over het jaar is zeer nauwkeurig bewaard gebleven na aanpassing: maanden die voorheen door minder leegstand gekenmerkt worden, hebben na aanpassing van de neerslagreeksen nog steeds minder leegstand.



Figuur 30: Gesimuleerd aantal dagen leegstand van de infiltratievoorziening over het jaar met de originele en aangepaste neerslagreeks.

### 4.3 Conclusie

Uit deze analyse wordt geconcludeerd dat de simulatieresultaten in lijn met de verwachtingen liggen:

- Systemen die vaak gevuld zijn (hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffers met zéér sterk vertraagde doorvoer; dus gekenmerkt door overstorten die frequent en vooral langdurig werken) ondervinden een beperkte impact door aanpassing van de neerslagreeks. De overstortvolumes wijzigen weinig (hoger na aanpassing), en de overstortfrequentie stijgt (weinig tot matig, afhankelijk van de dynamiek van het systeem). Ook de percentielen van de vullingsgraad stijgen licht. De piekoverstortdebieten nemen wel significant toe.
- Systemen waar de antecedente condities minder van belang zijn en dus minder/zelden gevuld zijn (buffers met vertraagde doorvoer, de meeste rioleringsystemen, ...) ondervinden wel een grote impact van de gewijzigde neerslagreeks op vlak van overstortkarakteristieken. De overstortvolumes kunnen sterk toenemen, net als de overstortfrequentie en piekoverstortdebieten. De vullingsgraad wijzigt opnieuw bijna niet.
- De spreiding van natte en droge periodes blijft na aanpassing van de reeksen behouden. Dit werd geïllustreerd na een leegstandsanalyse (Figuur 30).

## 5 Controleanalyse - impact op waterlopen

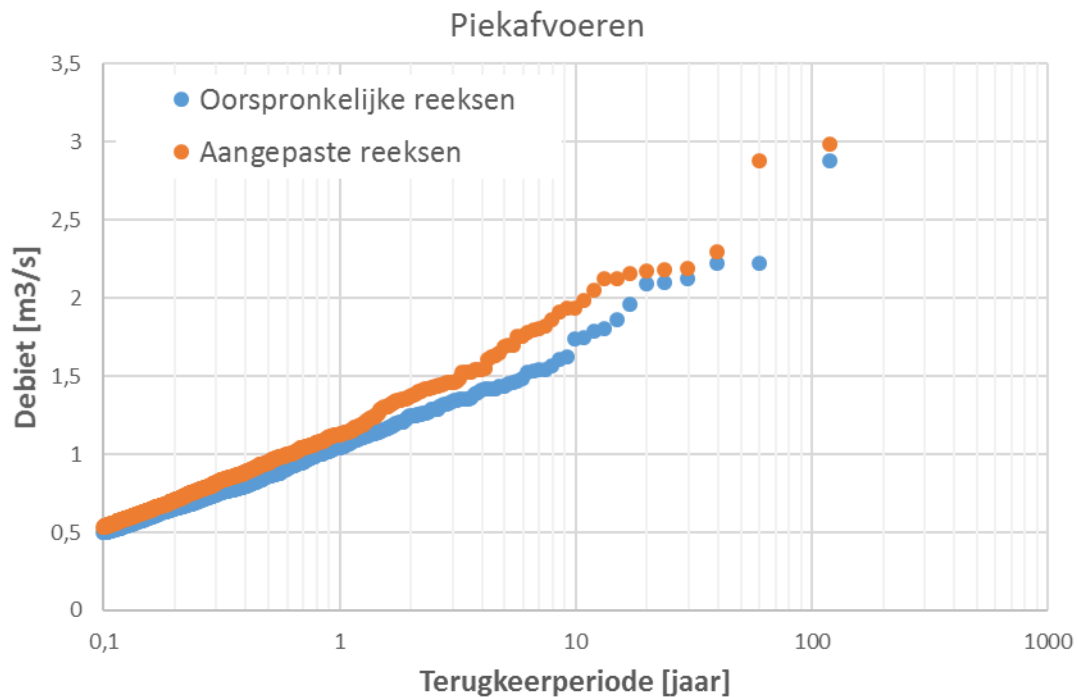
In dit hoofdstuk wordt een controleberekening gerapporteerd door simulatie van de aangepaste neerslag- en pET-reeksen in een hydrologisch waterloopmodel voor een willekeurig stroomgebied. Hiervoor werd een eerder gekalibreerd VHM-model doorgerekend. Concreet wordt de impact van de nieuwe reeksen onderzocht op de piekafvoeren en de laagwaterafvoeren. Merk op dat de impactresultaten sterk kunnen verschillen van stroomgebied tot stroomgebied en dat ook de hydraulica langs de waterloop een invloed kan hebben. Deze analyse beperkt zich tot één klein, eerder snel op neerslag reagerend stroomgebied.

De parameterwaarden van het doorgerekend VHM-model zijn als volgt (voor de definitie van deze parameters zie de VHM-paper; Willems, 2014):

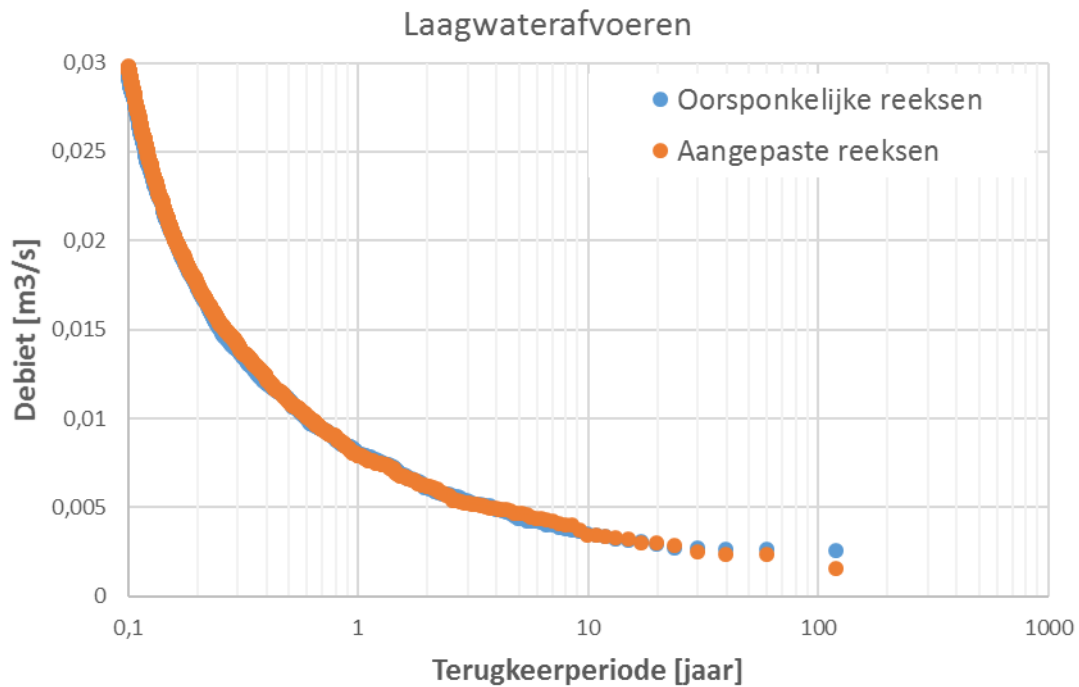
- Algemene parameters
  - Oppervlakte stroomgebied: 33,585 km<sup>2</sup>
- Parameters bodemwaterbergingsmodel
  - Type model: Lineair verband: fractie van de neerslag die geborgen wordt in de ondergrond =  $c1 - c2 * \text{de relatieve bodemverzadiging}$
  - Maximale bergingscapaciteit bodemwaterberging: 230 mm
  - Bodemwaterberging beneden dewelke de bodemevaporatie vermindert, proportioneel met de bodemverzadiging: 80 mm
  - Parameters van het lineair verband tussen de fractie van de neerslag die geborgen wordt in de ondergrond en de relatieve bodemverzadiging:
    - c1: 0.95 [-]
    - c2: 0.7 [-]
- Parameters oppervlakteafstromingsmodel (overland flow)
  - Type model: Exponentieel verband: fractie van de neerslag die leidt tot oppervlakteafstroming =  $\exp(c1 + c2 * \text{de relatieve bodemverzadiging})$
  - Parameters van dit exponentieel verband:
    - c1: -4.7 [-]
    - c2: 2.5 [-]
- Parameters interflow
  - Type model: Exponentieel verband: fractie van de neerslag die leidt tot interflow =  $\exp(c1 + c2 * \text{de relatieve bodemverzadiging})$
  - Parameters van dit exponentieel verband:
    - c1: -3,8 [-]
    - c2: 2.5 [-]
- Routingparameters
  - Type model: lineaire reservoirmodellen verondersteld voor de routing van overland flow, interflow en baseflow
  - Recessieconstante overland flow: 3 [15min]
  - Recessieconstante interflow: 25 [15min]
  - Recessieconstante baseflow: 250 [15min]
- Initiële waarden
  - Bodemwaterberging: 80 [mm]
  - Baseflow: 0.3 [m<sup>3</sup>/s]
  - Alle andere toestandsvariabelen in het model kregen de waarde 0 als initiële conditie

Uit de gesimuleerde tijdreeksen van de neerslagafstromingsdebieten werden via een POT-analyse onafhankelijke piekafvoeren en onafhankelijke laagwaterafvoeren geëxtraheerd. Deze piek- en

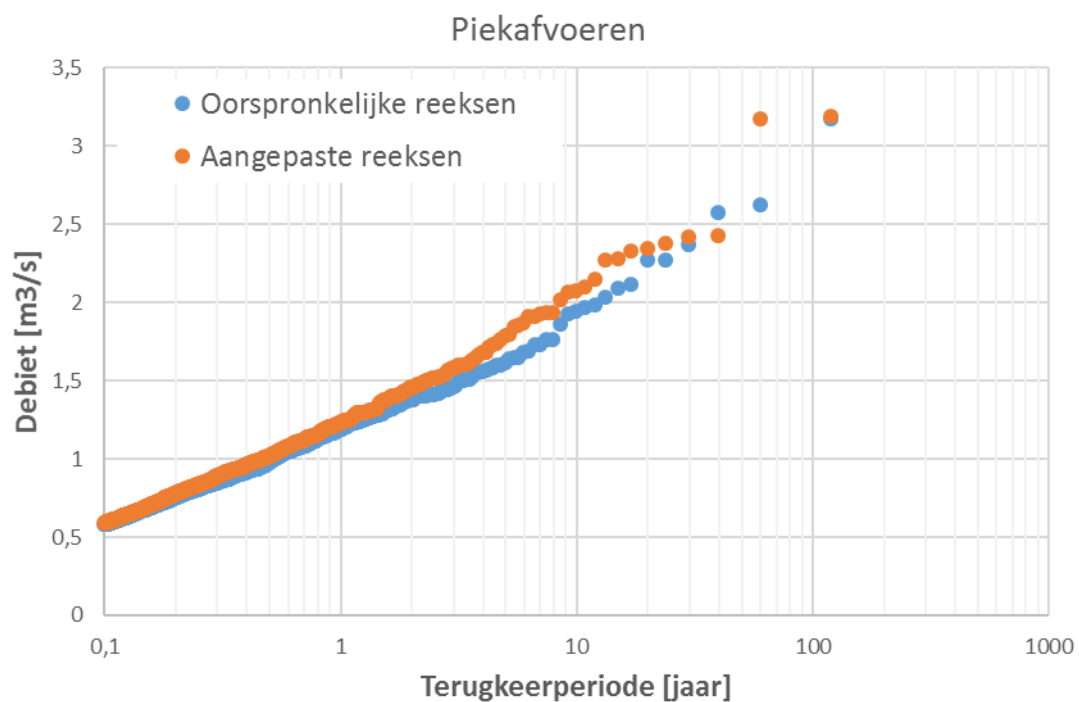
laagwaterafvoeren werden geplot versus de terugkeerperiode; zie Figuur 31 en Figuur 32 voor de periode 1898-2016 gebruik makend van de pET-tijdreeksen volgens de Hargreaves-methode en Figuur 33 en Figuur 34 voor de periode 1901-2016 gebruik makend van de pET-tijdreeksen volgens de Bultot-methode. Resultaten zijn logisch in de zin dat het gebruik van de aangepaste reeksen leidt tot een beperkte toename van de piekafvoeren. Voor de laagwaterafvoeren zijn de verschillen kleiner, met nagenoeg geen verschillen bij gebruik van de pET-reeksen volgens Bultot en een beperkte daling van de extreme laagwaterdebieten (terugkeerperioden groter dan 30 jaar) bij gebruik van de pET-reeksen volgens Hargreaves.



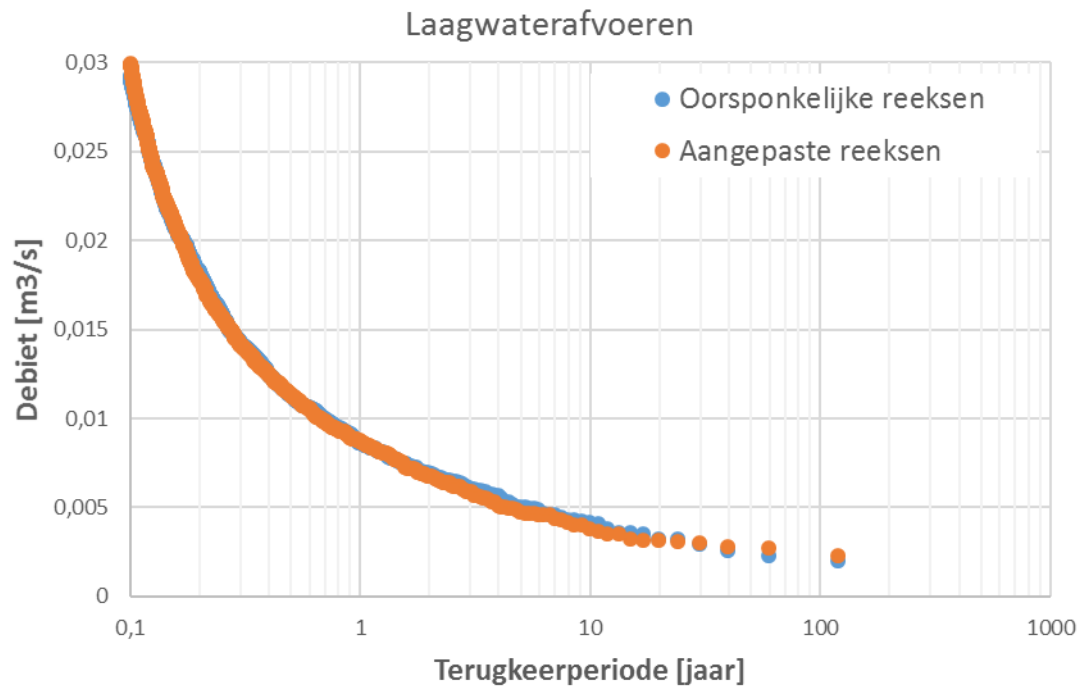
Figuur 31: Piekdebieten met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeks en pET-reeks volgens Hargreaves voor 1898-2016.



Figuur 32: Laagwaterdebieten met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeks en pET-reeks volgens Hargreaves voor 1898-2016.



Figuur 33: Piekdebieten met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeks en pET-reeks volgens Bultot voor 1901-2016.



Figuur 34: Laagwaterdebieten met de originele en aangepaste Ukkel neerslagreeks en pET-reeks volgens Bultot voor 1901-2016.

## 6 Aangeleverde bestanden

De aangepaste tijdreeksen (tijdreeksen na trendverwijdering, zodat de reeksen statistisch volledig representatief zijn voor het huidig klimaat) worden aangeleverd in hetzelfde formaat als de oorspronkelijke reeksen:

- ✓ Ukkel\_KMI\_18982016\_N10.txt: oorspronkelijke 10-minuten neerslagtijdreeks 1898-2016
- ✓ Ukkel\_KMI\_18982016\_N10c.txt: aangepaste 10-minuten neerslagtijdreeks 1898-2016
- ✓ Ukkel\_KMI\_18982016\_Hargreaves-pETD.txt: oorspronkelijke dagtijdreeks pET volgens methode Hargreaves 1898-2016
- ✓ Ukkel\_KMI\_18982016\_Hargreaves-pETDc.txt: aangepaste dagtijdreeks pET volgens methode Hargreaves 1898-2016
- ✓ Ukkel\_KMI\_19012016\_Bultot-pETD.txt: oorspronkelijke dagtijdreeks pET volgens methode Bultot 1901-2016
- ✓ Ukkel\_KMI\_19012016\_Bultot-pETDc.txt: aangepaste dagtijdreeks pET volgens methode Bultot 1901-2016

Daarnaast werd ook de vraag van VMM bekeken om het algoritme ter beschikking te stellen zodat ook andere reeksen via eenzelfde methode aangepast kunnen worden. Dit bleek niet mogelijk omdat de procedure een aantal manuele stappen inhoudt. Er worden een aantal verbanden gebruikt die manueel werden bepaald en gekalibreerd o.b.v. expertinzicht in functie van de specifieke resultaten voor Ukkel, zoals de verbanden per maand tussen de kwantielperturbatiefactoren en de terugkeerperiode en dit voor de verschillende beschouwde aggregatieniveaus. Het volledig automatiseren van deze procedure bleek binnen het tijdsbestek van de huidige opdracht niet mogelijk.



## 7 Referenties

- Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., Demuzere, M., Willems, P., De Ridder, K., Maiheu, B., De Troch, R., Termonia, P., Vansteenkiste, Th., Craninx, M., Maetens, W., Defloor, W., Cauwenberghs, K. (2015), 'MIRA Klimaatrapport 2015 – Over waargenomen en nog verwachte klimaatveranderingen', Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI, Aalst, september 2015, 147 p.
- Ntegeka, V., Willems, P. (2008), 'Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100 years time series of 10 minutes rainfall intensities at Uccle, Belgium', *Water Resources Research*, 44, W07402
- Ntegeka, V., Baguis, P., Roulin, E., Willems, P. (2014), 'Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments', *Journal of Hydrology*, 508C, 307-321
- Tabari, H., Taye, M.T., Willems, P. (2014), 'Bijsturing van de Vlaamse klimaatscenario's voor hydrologische en hydrodynamische impactanalyse inclusief hydrologische extremen', studie uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij en MIRA, door KU Leuven – Afdeling Hydraulica, november 2014, 106 p.
- Willems, P. (2000), 'Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types', *Journal of Hydrology*, 233, 189-205
- Willems P., Vrac M. (2011), 'Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change', *Journal of Hydrology*, 402, 193-205
- Willems, P. (2013a). 'Revision of urban drainage design rules after assessment of climate change impacts on precipitation extremes at Uccle, Belgium', *Journal of Hydrology*, 496, 166-177
- Willems, P. (2013b). 'Adjustment of extreme rainfall statistics accounting for multidecadal climate oscillations', *Journal of Hydrology*, 490, 126-133
- Willems P. (2013c), 'Multidecadal oscillatory behaviour of rainfall extremes in Europe', *Climatic Change*, 120(4), 931-944
- Willems P. (2014), 'Parsimonious rainfall-runoff model construction supported by time series processing and validation of hydrological extremes – Part 1: Step-wise model-structure identification and calibration approach', *Journal of Hydrology*, 510, 578-590







**SUMAQUA**

Tiensesteenweg 28

3001 Leuven, BELGIUM

dr. ir. Vincent Wolfs

Tel.: +32 474 422 003

Mail: [vincent.wolfs@sumaqua.be](mailto:vincent.wolfs@sumaqua.be)

[www.sumaqua.be](http://www.sumaqua.be)

