



RAPPORT

IMPACT VAN
WIJZIGENDE NEERSLAGPATRONEN
OP LOKALE WATERLOPEN

DEEL 1: HYDROLOGISCHE
VERGELIJKENDE ANALYSE

IN OPDRACHT VAN
STAD ANTWERPEN

Disclaimer

HydroScan en degenen die aan dit rapport hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld op basis van de best beschikbare informatie. Desondanks kunnen er zich onjuistheden in dit rapport bevinden. HydroScan sluit, mede ten behoeve van hen die aan dit rapport hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die kan voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Copyright

Niets uit dit rapport mag worden gekopieerd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stad Antwerpen

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel	2
1. Inleiding	4
1.1 Situering	4
1.2 Beschikbare scenario's	5
1.3 Globale methodiek	7
2. Hydrologische vergelijking	8
2.1 Karakteristieken catchments	8
2.1.1 Benedenvliet	8
2.1.2 Schijn	9
2.2 Detaillering methodiek	11
2.3 Statistische verwerking	12
2.4 Vergelijking klimaatscenario's	15
2.4.1 Schijn Noord	15
2.4.2 Schijn Zuid	16
2.4.3 Benedenvliet	17
2.5 Selectie scenario's en terugkeerperiodes	19
3. Conclusies hydrologische vergelijking	22
Referenties	24
Bijlage A: POT waarden	25
A.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld	25
A.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld	25
A.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld	26
A.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld	26
A.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld	27
A.6 PDM afstroming Schijn Noord, daggemiddeld	27
A.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld	28
A.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld	28
Bijlage B: seizoensvariatie	29
B.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld	29
B.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld	29
B.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld	30
B.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld	30
B.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld	31
B.6 PDM afstroming Schijn Noord, daggemiddeld	31
B.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld	32
B.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld	32

Bijlage C: extreme waarden fits	33
C.1 PDM Schijn Noord uurgemiddeld	33
C.2 PDM Schijn Noord daggemiddeld	41
C.3 PDM Schijn Zuid uurgemiddeld.....	49
C.4 PDM Schijn Zuid daggemiddeld	57
C.5 Neerslag Benedenvliet uurgemiddeld.....	65
C.6 Neerslag Benedenvliet daggemiddeld	73
C.7 PDM Benedenvliet uurgemiddeld	81
C.8 PDM Benedenvliet daggemiddeld.....	89
Bijlage D: Gefitte afstromingsdebieten voor verschillende terugkeerperioden	97
D.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld	97
D.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld.....	99
D.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld.....	101
D.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld	103
D.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld	105
D.6 PDM afstroming Schijn Noord, daggemiddeld	107
D.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld	109
D.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld.....	111
Bijlage E: Vergelijking klimaatscenario's	113
E.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld.....	113
E.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld	114
E.3 PDM Benedenvliet, uurgemiddeld	116
E.4 PDM Benedenvliet, daggemiddeld	117
E.5 PDM Schijn Noord, uurgemiddeld	119
E.6 PDM Schijn Noord, daggemiddeld.....	120
E.7 PDM Schijn Zuid, uurgemiddeld.....	122
E.8 PDM Schijn Zuid, daggemiddeld	123
Bijlage F: Geselecteerde gebeurtenissen	125
F.1 Neerslagafstroming Benedenvliet	125
F.2 PDM Benedenvliet.....	126
F.3 PDM Schijn Noord.....	127
F.4 PDM Schijn Zuid	128

1. INLEIDING

1.1 *Situering*

In het kader van de herziening van het Klimaatplan (2015_CBS_04294), de Covenant of Mayors Adapt (2014_CBS_10146) en de uitwerking van een Antwerpse Adaptatiestrategie (PO4678) moeten de lokale effecten van de klimaatverandering in kaart worden gebracht. Hiervoor kan beroep gedaan worden op bestaande klimaatmodellen. Maar gezien de kriticiiteit van overstromingsproblematieken in grote delen van de Stad Antwerpen en gezien de waardevolle meetgegevens van een netwerk van pluviografen die duiden op een ruimtelijke variatie van neerslagpatronen, heeft de stad opdracht gegeven om een modellering ten aanzien van neerslag op te stellen voor de Antwerpse Regio (2014_CBS_07460). De resultaten van deze studie m.b.t. het lokale Antwerpse neerslagklimaat (Willems et al., 2015) zijn in de voorliggende studie als input gebruikt om een impactstudie uit te voeren op de riviersystemen Schijn en Benedenvliet, met de interacties met het rioolsysteem voor Benedenvliet.

De impactstudie kadert ook in de opmaak van het Waterplan, het Bovenlokaal Groenplan (2015_DCEK_00283) en de herziening van het strategisch ruimtelijk structuurplan van Antwerpen. Hierin worden de ruimtelijke krijtlijnen vastgelegd voor de uitbouw van een klimaatbestendige stad. De impactstudie bouwt ook verder op de overstromingsrisicobeheerplannen (ORBP's) van de VMM (VMM, 2014), inzake optimalisatie van de meerlaagse veiligheid op vlak van preventie (optimalisatie van ruimtelijke plannen om schade te beperken) en paraatheid (rampencoördinatie).

De voorliggende studie omvat de analyse van de impact op de lokale waterlopen Schijn, Benedenvliet, Benedenschijn tot Rode Weel. Enerzijds wordt een vergelijkende hydrologische analyse uitgevoerd van het Antwerpse klimaatmodel (KU Leuven, cfr. Willems et al. 2015) en het klimaatmodel voor Vlaanderen (VMM, cfr. Tabari et al. 2015) om in te kunnen schatten wat de impact is van het Antwerpse klimaatmodel op de afstromingsdebieten naar de waterlopen (fase 1). Anderzijds worden overstromingskaarten gegenereerd met verschillende terugkeerperiodes onder de verschillende klimaatcondities en voor verschillende tijdshorizonten (fase 2). Daarna worden een aantal scenario's doorgerekend m.b.t. structurele maatregelen tegen overstromingsgevaar en m.b.t. mogelijke operationele problemen (pompuival) (fase 3). Tenslotte worden beleidsaanbevelingen uitgewerkt over de keuze en gebruik van de klimaatmodellen, en over de mogelijke ruimtelijke maatregelen voor het verhogen van de meerlaagse veiligheid (preventie en paraatheid) t.a.v. hoge klimaatprognoses en falen van de pompgemalen Groot Schijn, Benedenvliet en Rode Weel (fase 4).

1.2 Beschikbare scenario's

Hieronder wordt een oplijsting gemaakt van de beschikbare klimaatscenario's. Voor elk van deze scenario's zijn neerslag- en evapotranspiratiegegevens ter beschikking gesteld. De tijdreeksen bevatten geperturbeerde waarden die rekening houden met de klimaatwijzigingen (Ntegeka et al. 2014). Enerzijds zijn er klimaatscenario's die globaal voor Vlaanderen gelden en opgesteld zijn in opdracht van de VMM (Tabari et al., 2015), anderzijds zijn er klimaatscenario's die specifiek zijn opgesteld voor de lokale Antwerpse situatie (Willems et al., 2015). De klimaatscenario's voor de lokale Antwerpse situatie zijn beschikbaar voor verschillende tijdshorizonten. Er wordt bij alle scenario's rekening gehouden met verschillende gradaties in klimaatontwikkeling; vandaar dat er klimaatscenario's zijn voor beperkte impact (low), gemiddelde impact (mean) en hoge impact (high). De referentiereeksen zonder klimaateffect zijn opgesteld voor een historische periode waarbij de representatieve tijdshorizon 1975 is. Dit betekent dat het gemiddeld klimaatscenario 2030 meer aansluit bij het huidige klimaat dan de referentiescenario's. Om de vergelijking te kunnen blijven maken met eerdere analyses worden de referentiescenario's zonder klimaateffect ook verder meegenomen.

De gebruikte klimaatscenario's in deze studie zijn:

- HighS: klimaatscenario met hoge impact en met focus op extreme zomerbuien, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- High: klimaatscenario met hoge impact en met focus op extreme winterbuien, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-hCC (high climate change): Vlaams klimaatscenario met hoge impact en met focus op extreme winterbuien, enkel tijdshorizon 2100
- Mean: klimaatscenario met gemiddelde impact, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-mCC (mean climate change): Vlaams klimaatscenario met gemiddelde impact, enkel tijdshorizon 2100
- Low: klimaatscenario met lage impact, specifiek voor Antwerpse situatie, beschikbare tijdshorizonten 2030-2050-2100
- VMM-noCC (no climate change): Vlaamse referentiesituatie zonder klimaateffect
- Referentiereeksen specifiek voor Antwerpse situatie zonder klimaateffect (lokaal noCC)

Scenario's voor de specifieke Antwerpse situatie: hiervoor zijn er verschillende tijdreeksen per waterloopbekken, namelijk voor (zie ook paragraaf 2.1):

- Schijn Noord (Benedenschijn)
- Schijn Zuid (Bovenschijs)
- Benedenvliet

Tabel 1: Overzicht beschikbare tijdreeksen.

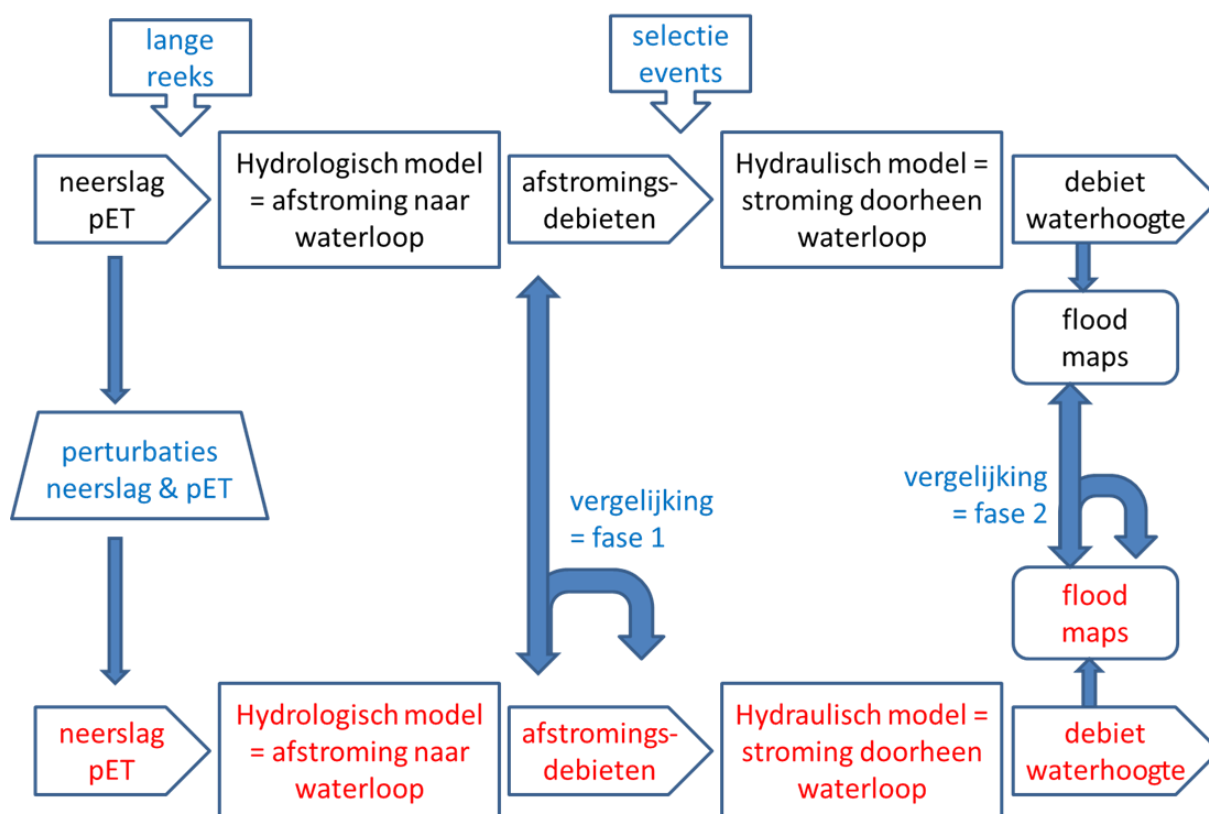
toepassingsgebied	klimaateffect	tijdshorizon			
		1975	2030	2050	2100
Antwerpen	low	lokaal noCC	x	x	x
Antwerpen	mean	lokaal noCC	x	x	x
Antwerpen	high	lokaal noCC	x	x	x
Antwerpen	high S	lokaal noCC	x	x	x
VMM	mean	VMM-noCC	niet beschikbaar	niet beschikbaar	VMM-hCC
VMM	high	VMM-noCC	niet beschikbaar	niet beschikbaar	VMM-mCC

1.3 Globale methodiek

De methodiek voor deze studie omvat volgende fases:

- Fase 1: vergelijkende hydrologische analyse en keuze van de te simuleren klimaatscenario's: weergegeven in dit rapport
- Fase 2: uitvoeren van de simulaties en opmaken van overstromingskaarten voor de geselecteerde klimaatscenario's en vergelijking ervan
- Fase 3: uitvoeren van scenario-analyse enerzijds m.b.t. ORBP maatregelen en anderzijds m.b.t. pompuitval
- Fase 4: beleidsaanbevelingen

Figuur 1 geeft een overzicht van de vergelijkende methodiek voor fase 1 en 2.

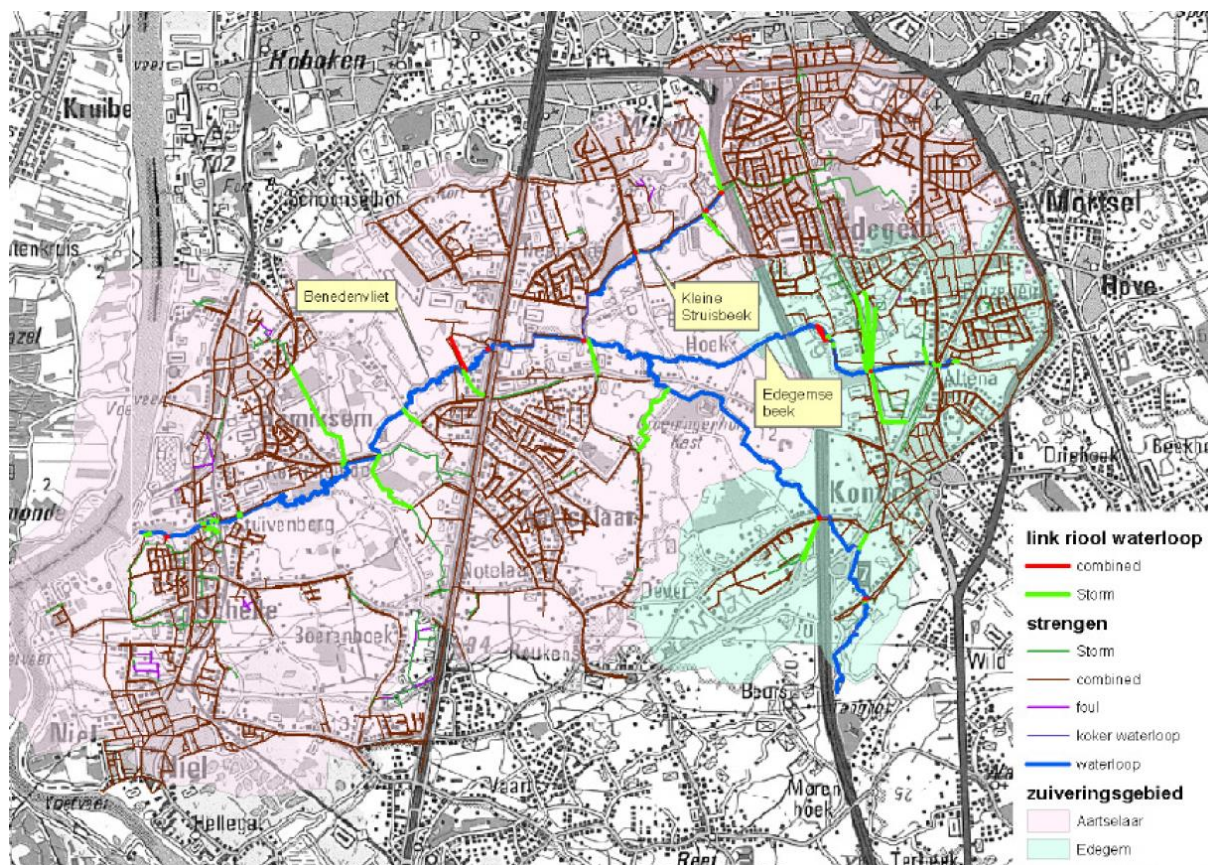


Figuur 1: Overzichtsschema voor de methodiek van de studie (fase 1+2): in rood de analyse op de geperturbeerde tijdreeksen.

2. HYDROLOGISCHE VERGELIJKING

2.1 Karakteristieken catchments

2.1.1 Benedenvliet



Figuur 2: Ligging van de Benedenvliet en interacties tussen waterloop en riolering.

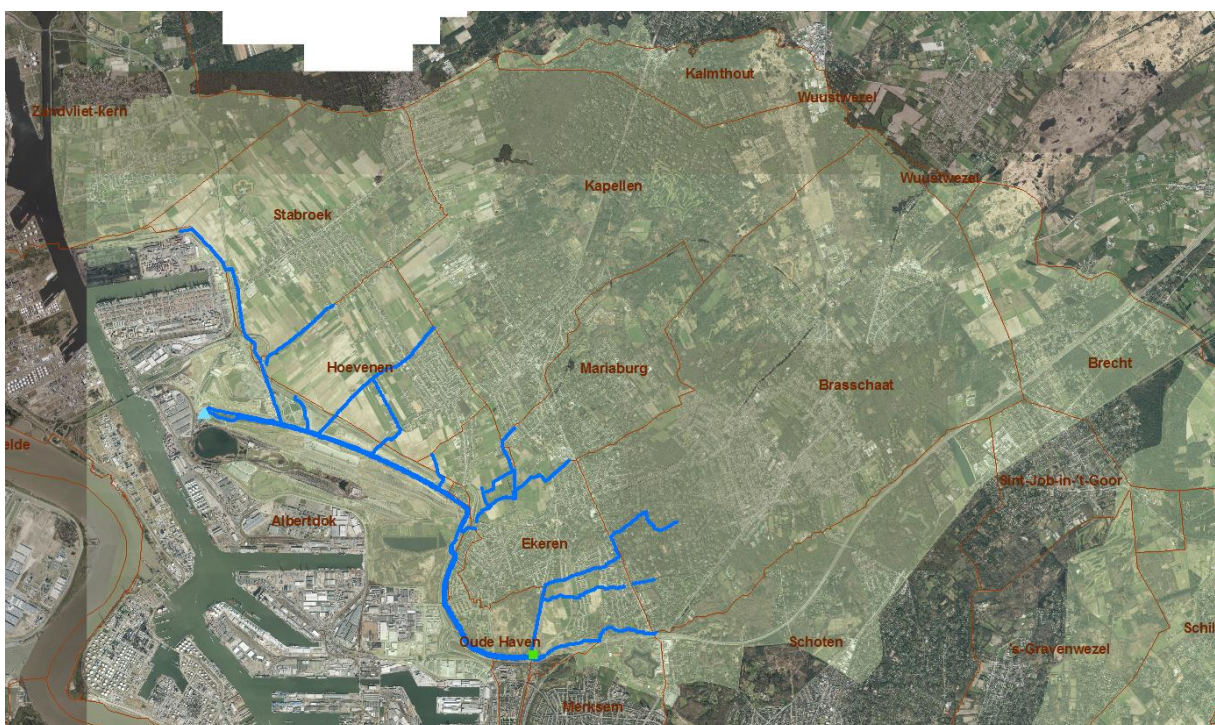
Het deelgebied van de Bedenvliet strekt zich uit over hoofdzakelijk de gemeenten Reet, Kontich, Aartselaar, Schelle, Hemiksem, Wilrijk, Mortsel en Edegem en mondt uit in de Schelde in Hemiksem. Het model is een integraal model waarbij de stedelijke afvoer gebeurt via de modellering van de riolering en de landelijke afvoer via lumped hydrologische PDM modellen. De totale afstromende (verharde) oppervlakte via de riolering bedraagt 1137 ha en de gemiddelde afstromingscoëfficiënt is 0.709, wat een effectief bijdragende afstromende oppervlakte van 806 ha vertegenwoordigt. De totale oppervlakte van de landelijk afvoermogelijkheden is 4335 ha, opgedeeld over 44 subbekkens. Voor de hydrologische vergelijkende analyse worden de afstromingsdebieten alle PDM subbekkens samengeteld tot een globaal landelijke afstromingsdebiet voor het bekken van de Benedenvliet. Omwille van de grote interactie tussen riolering en waterlopen, wordt daarnaast ook een specifieke hydrologische analyse uitgevoerd op de som van de neerslagafstromingsdebieten van de verharde oppervlakte gekoppeld aan de riolering.

2.1.2 Schijn

Het model van het Schijn omvat twee deelgebieden: Schijn Noord (ook Benedenschijn genoemd) en Schijn Zuid (ook Bovenschijn genoemd). Beiden monden uit in de Schelde. De modellen bevatten hoofdzakelijk lumped hydrologische PDM afstromingsmodellen die de instroom in de waterlopen voorzien. De stedelijke afvoer wordt beperkt gemodelleerd met behulp van een klein aantal urban boundaries, deze simuleren de overstort- en lozingsdebieten van het rioolstelsel die in de waterloop terecht komen. In figuur 3 en figuur 4 wordt aangegeven waar deze beide deelgebieden zich situeren.

Het deelgebied Schijn Zuid strekt zich uit over de gemeenten Antwerpen, Wijnegem, Schoten, Wommelgem, Ranst en Schilde. Het omvat 20 PDM subbekkens met een totale oppervlakte van 14008 ha. In Antwerpen-Deurne wordt de afvoer van het deelgebied Schijn Noord enerzijds verpompt naar het Albertkanaal en anderzijds door de RWZI Schijnpoort verpompt naar het Lobroekdok.

Het deelgebied Schijn Noord strekt zich uit over de gemeenten Antwerpen, Stabroek, Kapellen, Brasschaat en Schoten. Het omvat 21 PDM subbekkens met een totale oppervlakte van 15451 ha. In Antwerpen-Haven wordt de afvoer van het deelgebied Schijn Noord door het pompstation Rode Weel verpompt, enerzijds naar de Schelde (vanuit de Hoofdgracht) en anderzijds naar het Kanaaldok (vanuit de Voorgracht).



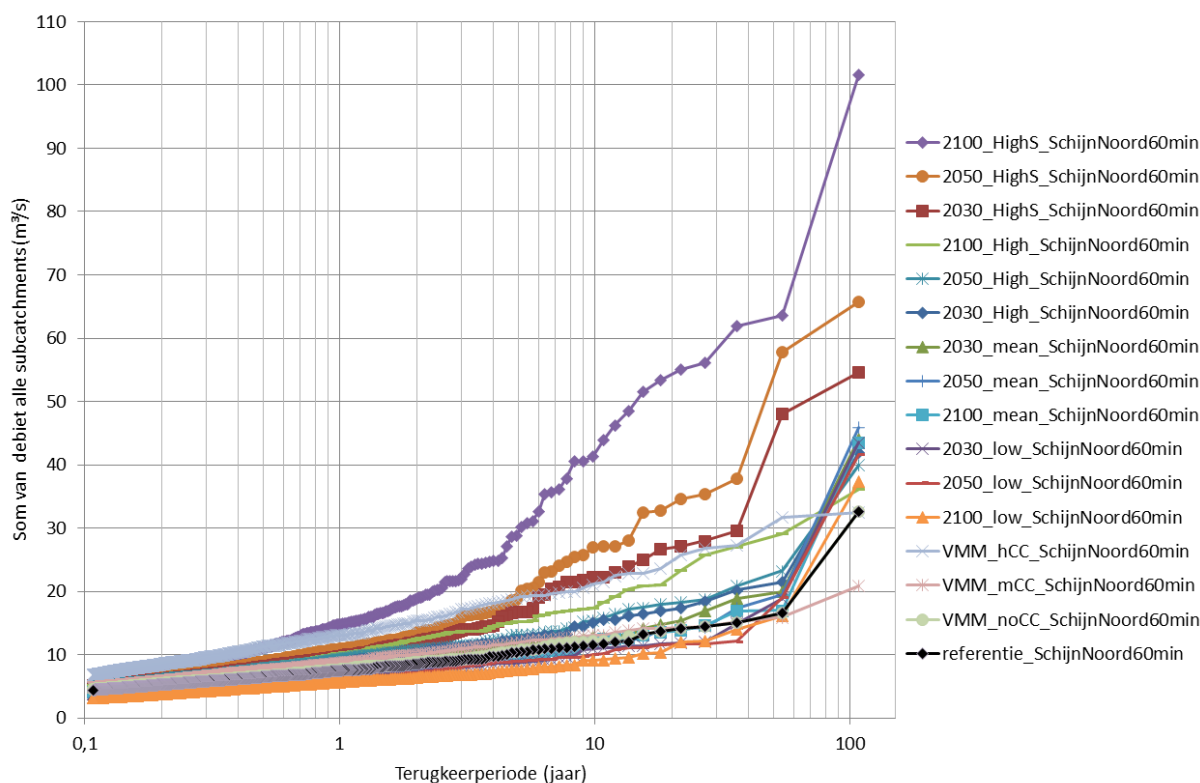
Figuur 3: Deelgebied Schijn Noord (Benedenschijn) met stroomgebied (geel), afwaarts pompgemaal (blauwe driehoek) en urban boundary (groene vierkant).



Figuur 4: Deelgebied Schijn Zuid (Bovenshijn) met stroomgebied (geel), afwaarts pompgemaal (blauwe driehoek) en urban boundary (groene vierkant).

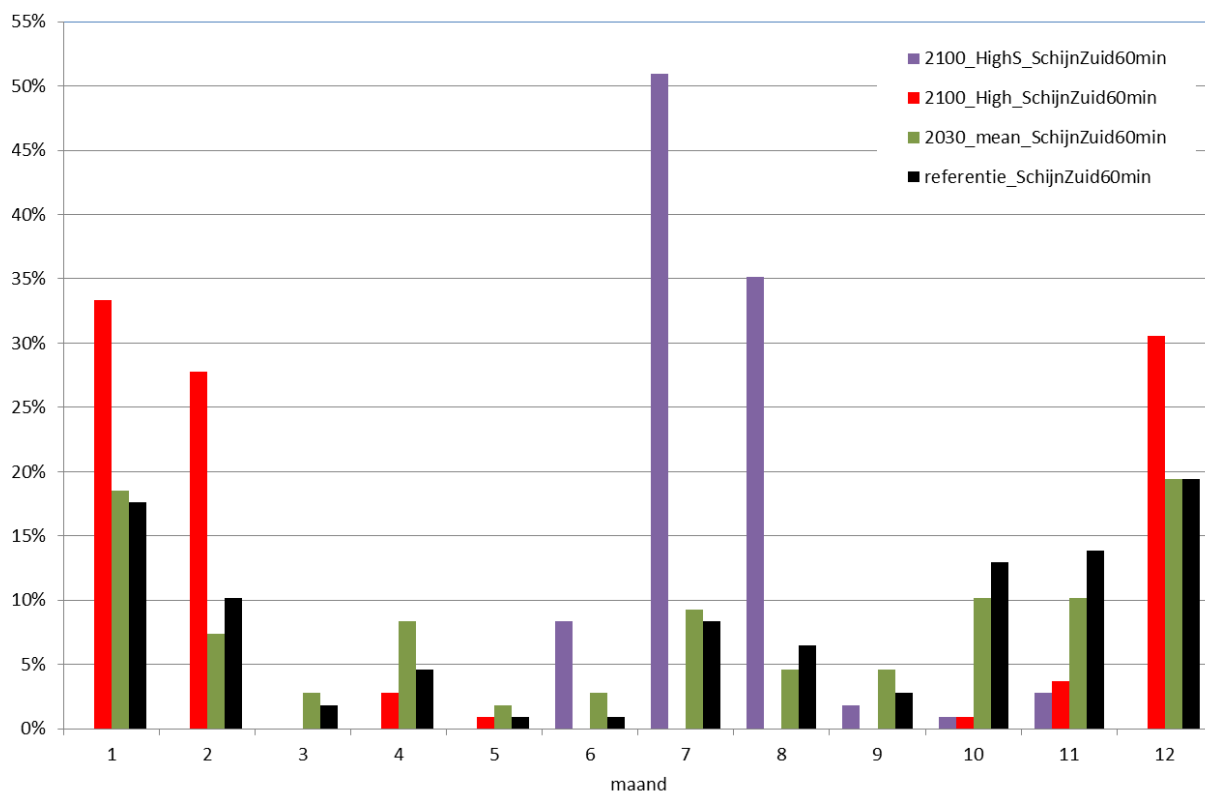
2.2 Detaillering methodiek

In eerste instantie worden er voor alle klimaatscenario's onafhankelijke piekwaarden bepaald voor aggregatieniveaus van 1 en 24 uur (Peak Over Threshold methode met onafhankelijkheidscriterium van 12 uur voor en 12 uur na de piek). Dit geeft dus onafhankelijke uurgemiddelde en daggemiddelde waarden. In figuur 5 wordt een voorbeeld gegeven van de geselecteerde onafhankelijke uurgemiddelde waarden voor Schijn Noord voor alle verschillende klimaatscenario's. De overeenkomstige grafieken voor de andere gebieden en voor daggemiddelde waarden zijn weergegeven in bijlage A.



Figuur 5: Voorbeeld van geselecteerde POT waarden voor uurgemiddelde debieten (totaal van alle PDM debieten voor het deelgebied Schijn Noord) voor alle verschillende klimaatscenario's.

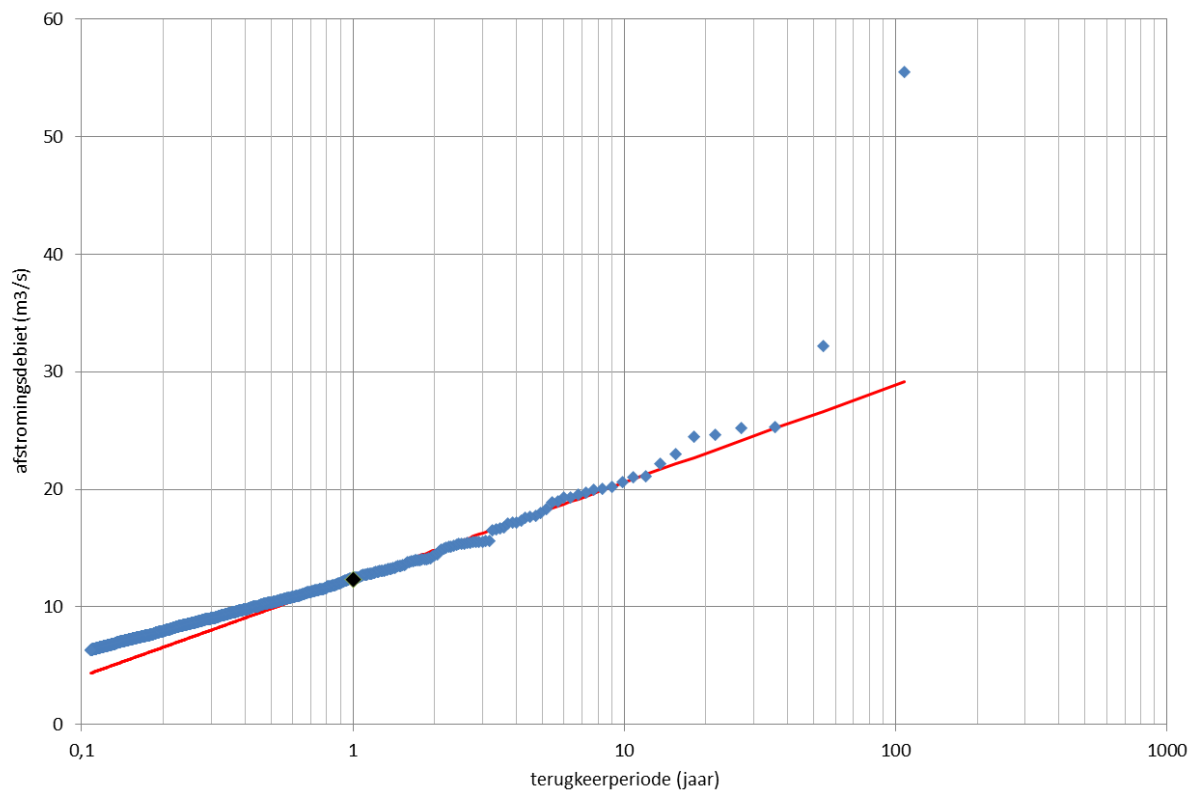
Ter verificatie is er ook een seizoensanalyse uitgevoerd op de POT waarden om te visualiseren welke klimaatscenario's in welke seizoenen de meest extreme buien geven (voorbeeld in figuur 6 voor Schijn Noord, voor de andere gevallen zijn de seizoensanalyses analoog en opgenomen in bijlage B).



Figuur 6: Voorbeeld van seizoensanalyse van alle gebeurtenissen met een terugkeerperiode van meer dan 1 jaar (som van alle uurgemiddelde PDM debieten voor Schijn Noord).

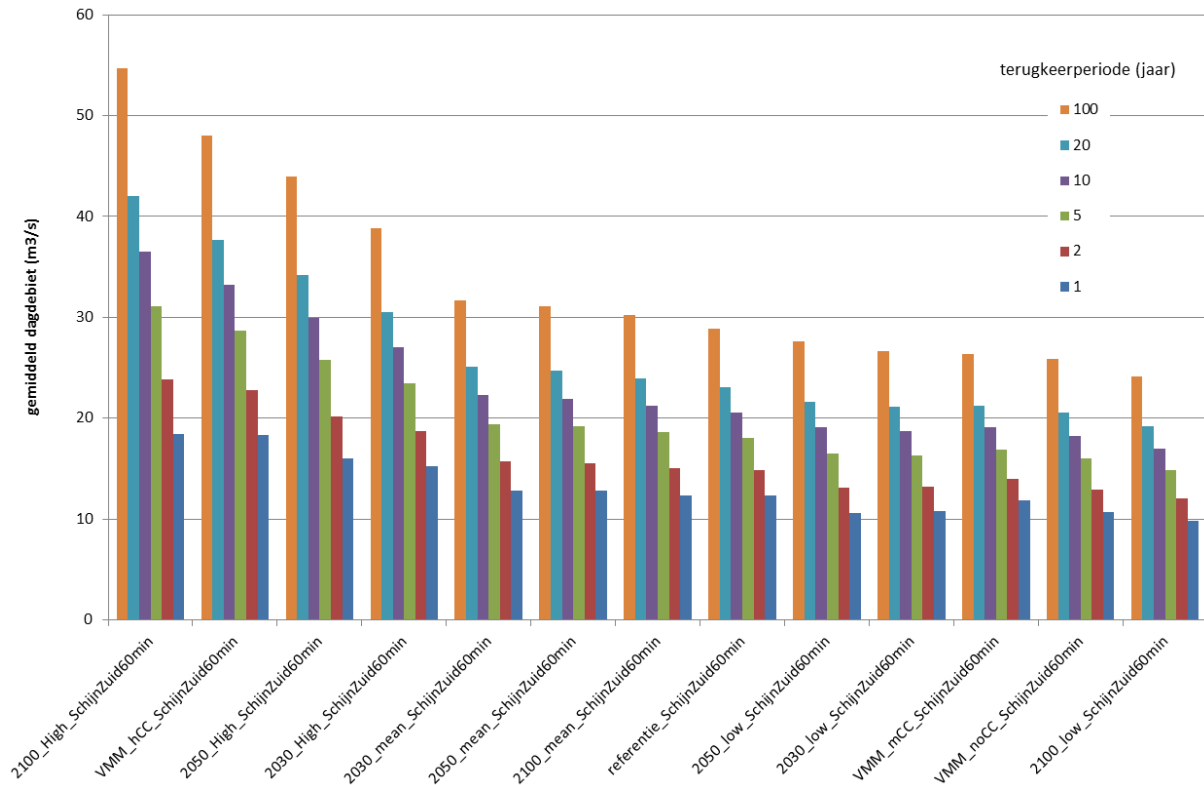
2.3 Statistische verwerking

Uit de POT waarden (zie paragraaf 2.2) blijkt dat er een zeer grote variabiliteit is op de extreme gebeurtenissen. Een doordachte extreme waarden analyse is dus nodig. Afstromingsdebieten volgen meestal een exponentiële extreme waarden verdeling die een rechte lijn geven in een grafiek debiet versus logaritme van de terugkeerperiode (voorbeeld in figuur 7). Bij terugkeerperiodes tussen 1 en 2 jaar lijkt er in de grafieken een afbuiging; dit betekent dat de drempelwaarde voor de extreme waardenanalyse niet te laag mag worden gekozen. De hoogste punten wijken voor heel wat klimaatscenario's relatief sterk af. Enerzijds doet zich dit al enigszins voor in de geperturbeerde neerslagreeksen (zie ook analyse op neerslag voor Benedenvliet), anderzijds wordt dit in de PDM afstromingsreeksen nog versterkt. De versterking van de extremen bij PDM modellen is een gekend probleem (Van Steenberghe & Willems, 2012). Bij deze klimaatscenario's worden de PDM nog eens extra extreem belast met neerslaginvoer ver buiten hun normale kalibratiebereik. Er mag dan ook met de grootste extremen slechts beperkt rekening worden gehouden: de meest extreme outliers worden geëlimineerd om de extreme waarden verdelingen niet verkeerdelijk te beïnvloeden. Om deze redenen mag de drempelwaarde voor de extreme waardenanalyse ook niet te hoog worden genomen. Er wordt geopteerd om de drempel vast te leggen op een terugkeerperiode van 1 jaar voor alle analyses. Voor alle verdere analyses wordt dan enkel verder gerekend met de waarden uit de gefitte extreme waarden verdelingen. Alle extreme waarden fits zijn weergegeven in bijlage C.

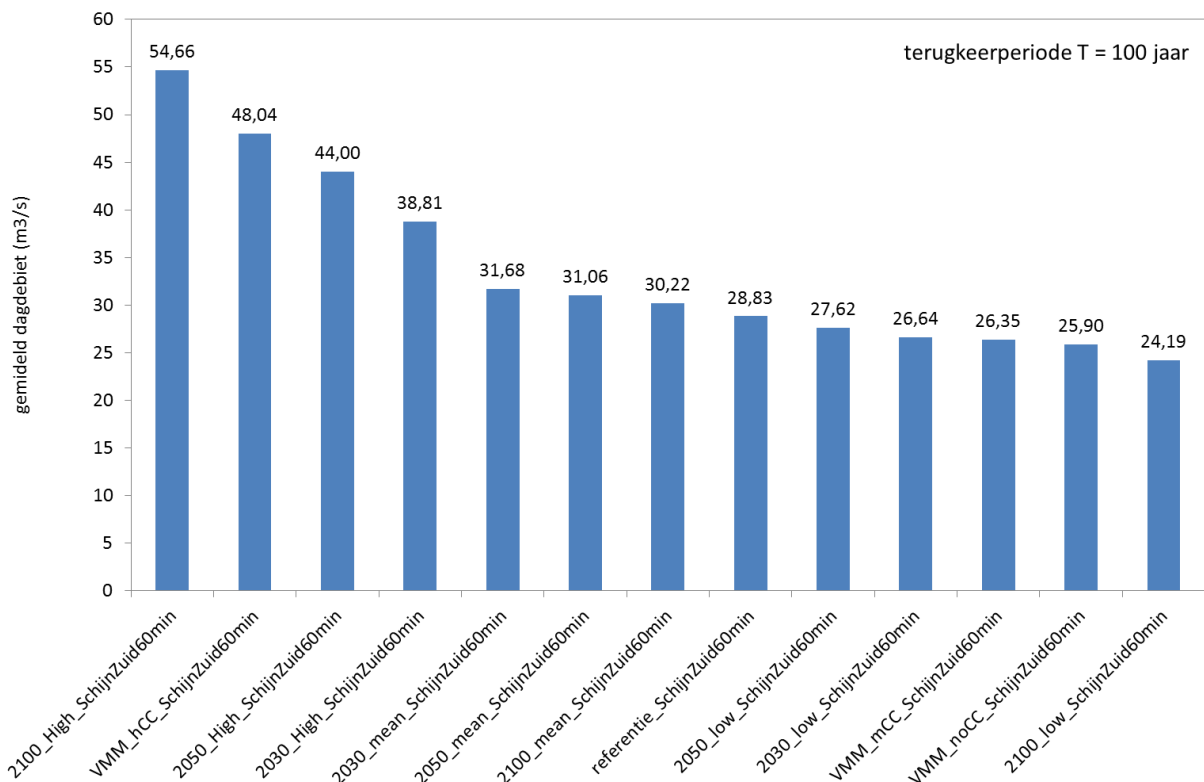


Figuur 7: Voorbeeld van extreme waarden fit.

Op basis van de extreme waarden fittings kunnen voor alle klimaatscenario's en voor verschillende terugkeerperiodes de afstromingsdebieten worden berekend en vergeleken. Als voorbeeld wordt dit in figuur 8 getoond voor de uurlijkse PDM afstromingsdebieten in het deelbekken van Schijn Zuid voor alle terugkeerperiodes; voor een terugkeerperiode van 100 jaar worden deze PDM afstromingsdebieten weergegeven in figuur 9. Voor de andere deelgebieden en daggemiddelde waarden worden deze resultaten en deze vergelijking weergegeven in bijlage D.



Figuur 8: Gefitte uurlijkse PDM afstromingsdebieten voor Schijn Zuid voor verschillende klimaatscenario's en terugkeerperiodes.



Figuur 9: Gefitte uurlijkse PDM afstromingsdebieten voor Schijn Zuid voor verschillende klimaatscenario's en een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.4 *Vergelijking klimaatscenario's*

Om de verschillende klimaatscenario's te kunnen vergelijken, worden ze op een tijdas geplaatst. Hierbij worden de afstromingsdebieten (gesommeerd per deelgebied) voor een bepaalde terugkeerperiode samen gezet. Deze vergelijking gebeurt relatief t.o.v. de lokale referentiesituatie; deze wordt op de tijdas geplaatst op 1975. Op deze manier kunnen de trends worden geanalyseerd.

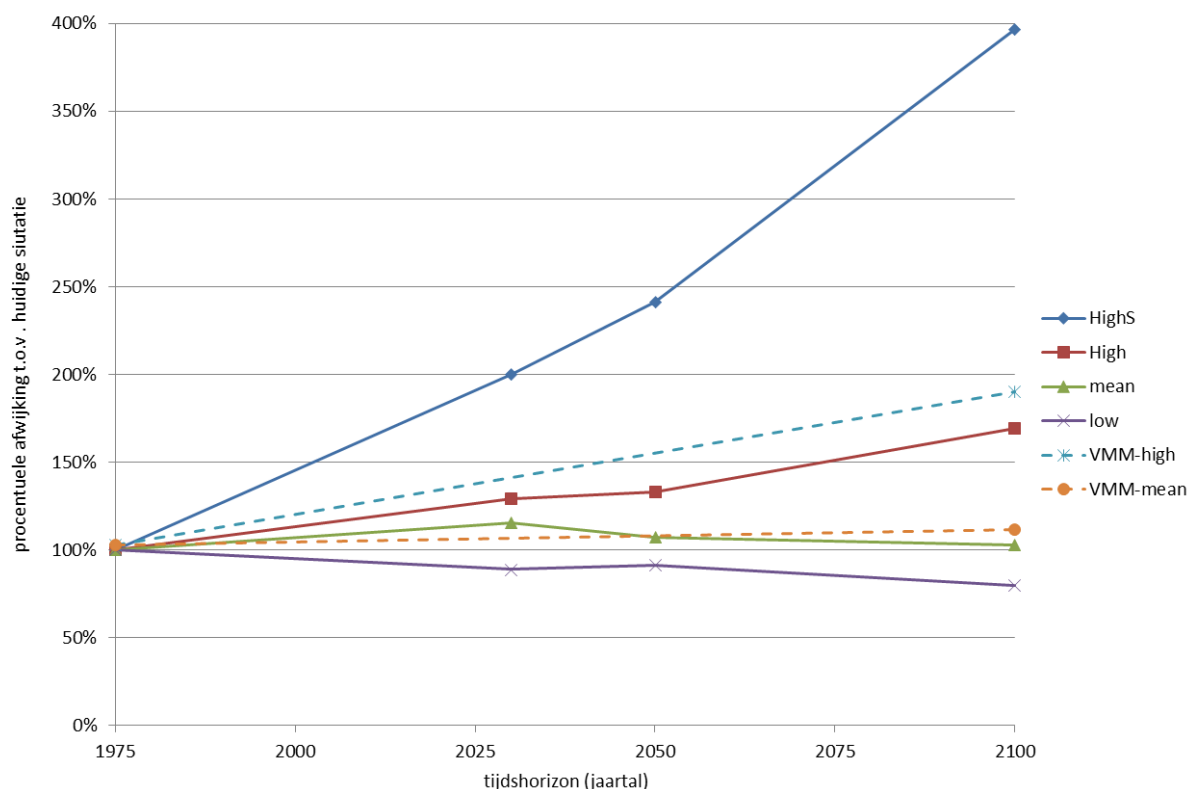
2.4.1 Schijn Noord

In figuur 10 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde afstromingsdebieten voor Schijn Noord voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Voor daggemiddelde debieten en andere terugkeerperiodes is het verloop vrij gelijkaardig en worden de grafieken getoond in bijlage E.

Voor Schijn Noord valt de lokale referentiesituatie ongeveer samen met de Vlaamse referentiesituatie.

Het gemiddeld lokaal scenario (mean) valt ook ongeveer samen met het Vlaamse gemiddeld scenario (VMM-mean), maar voor het Vlaamse scenario is enkel de tijdshorizon 2100 gekend. Het gemiddeld scenario bereikt echter een piek in 2030 en neemt dan terug af om bij 2100 ongeveer terug op het referentieklimaat te eindigen. De huidige situatie (2015) zit voor het gemiddeld scenario dan ook dicht tegen dit maximum en wordt goed gekarakteriseerd door het gemiddeld lokale scenario in 2030.

Het hoog lokaal scenario (high) geeft voor Schijn Noord een iets lagere stijging van de debieten in de toekomst dan het Vlaamse hoog scenario (VMM-high). Het hoog scenario kan worden gezien als een bovengrens van de klimaatverandering voor de winterse omstandigheden. Voor analyse van de impact van de zomerse onweersbuien is er een extra klimaatscenario ontwikkeld voor de lokale situatie, HighS, maar de resultaten hiervan moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, omdat de lumped hydrologische PDM modellen niet erg geschikt zijn om deze effecten van lokale zomerse onweersbuien goed weer te geven. Het is wel een indicatie dat deze afstromingsdebieten van de HighS scenario's erg hoog liggen: lokaal kunnen zich hierdoor grotere problemen voordoen in de zomer, maar deze zullen minder frequent tot problemen leiden in het hele bekken.



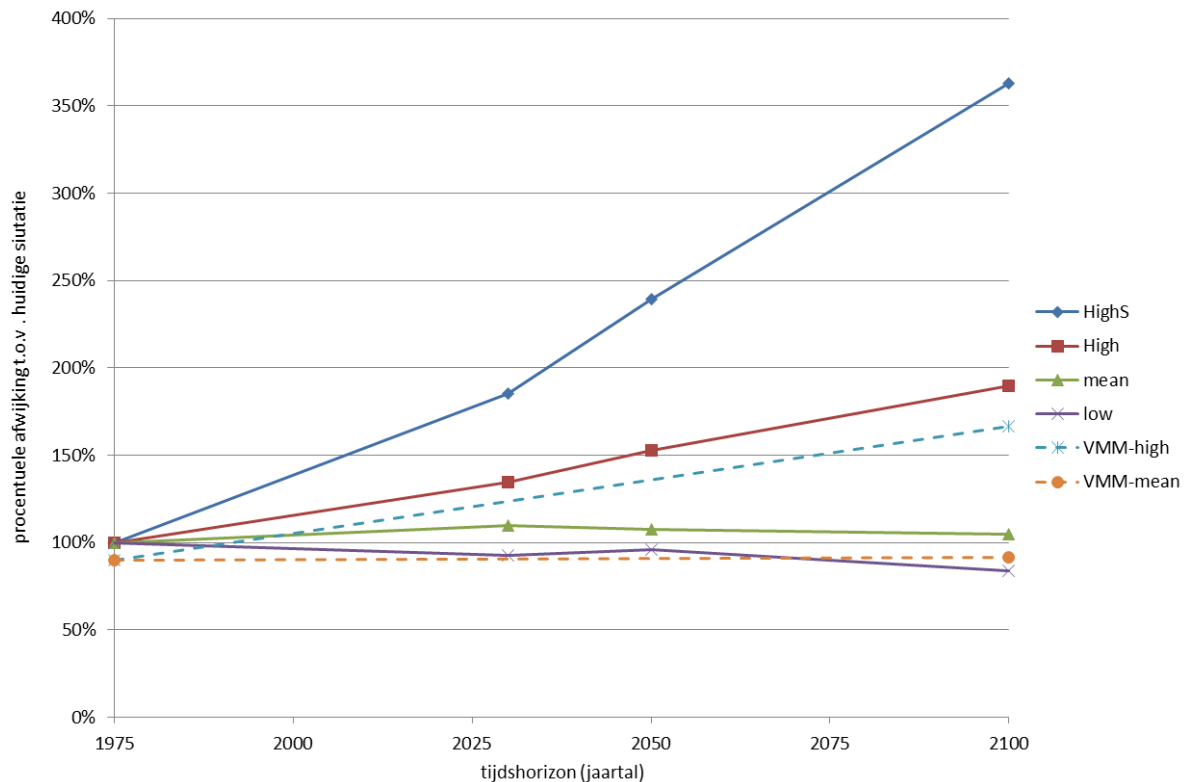
Figuur 10: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde afstromingsdebieten voor Schijn Noord bij een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.4.2 Schijn Zuid

In figuur 11 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde afstromingsdebieten voor Schijn Zuid voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Voor daggemiddelde debieten en andere terugkeerperiodes is het verloop vrij gelijkaardig en worden de grafieken getoond in bijlage E.

Voor Schijn Zuid ligt de lokale referentiesituatie iets hoger dan de Vlaamse referentiesituatie. Het laag lokaal scenario (low) valt ongeveer samen met het Vlaamse gemiddeld scenario (VMM-mean). Het gemiddeld lokaal scenario (mean) ligt enigszins boven het Vlaamse gemiddeld scenario (VMM-mean). Het gemiddeld lokaal scenario bereikt een piek in 2030 en neemt dan terug af om bij 2100 ongeveer terug op het referentieklimaat te eindigen. De huidige situatie (2015) zit voor het gemiddeld scenario dan ook dicht tegen dit maximum en wordt goed gekarakteriseerd door het gemiddeld lokale scenario in 2030.

Het hoog lokaal scenario (high) geeft voor Schijn Zuid een grotere stijging van de debieten in de toekomst dan het Vlaamse hoog scenario (VMM-high). Het hoog scenario voor zomerse onweersbuien, HighS, ligt hier nog een stuk boven, maar dit zal meer lokaal voorkomen.

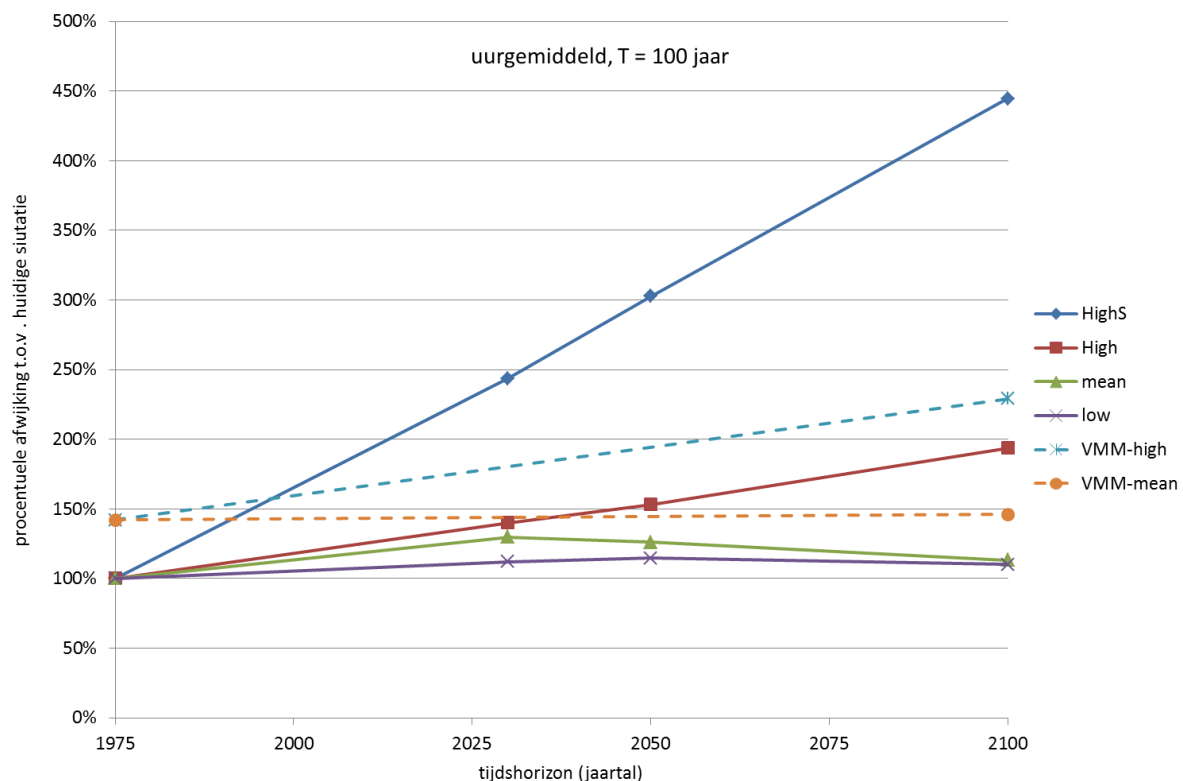


Figuur 11: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde afstromingsdebieten voor Schijn Zuid bij een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.4.3 Benedenvliet

In figuur 12 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten voor Benedenvliet voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Voor daggemiddelde debieten en andere terugkeerperiodes is het verloop vrij gelijkaardig en worden de grafieken getoond in bijlage E.

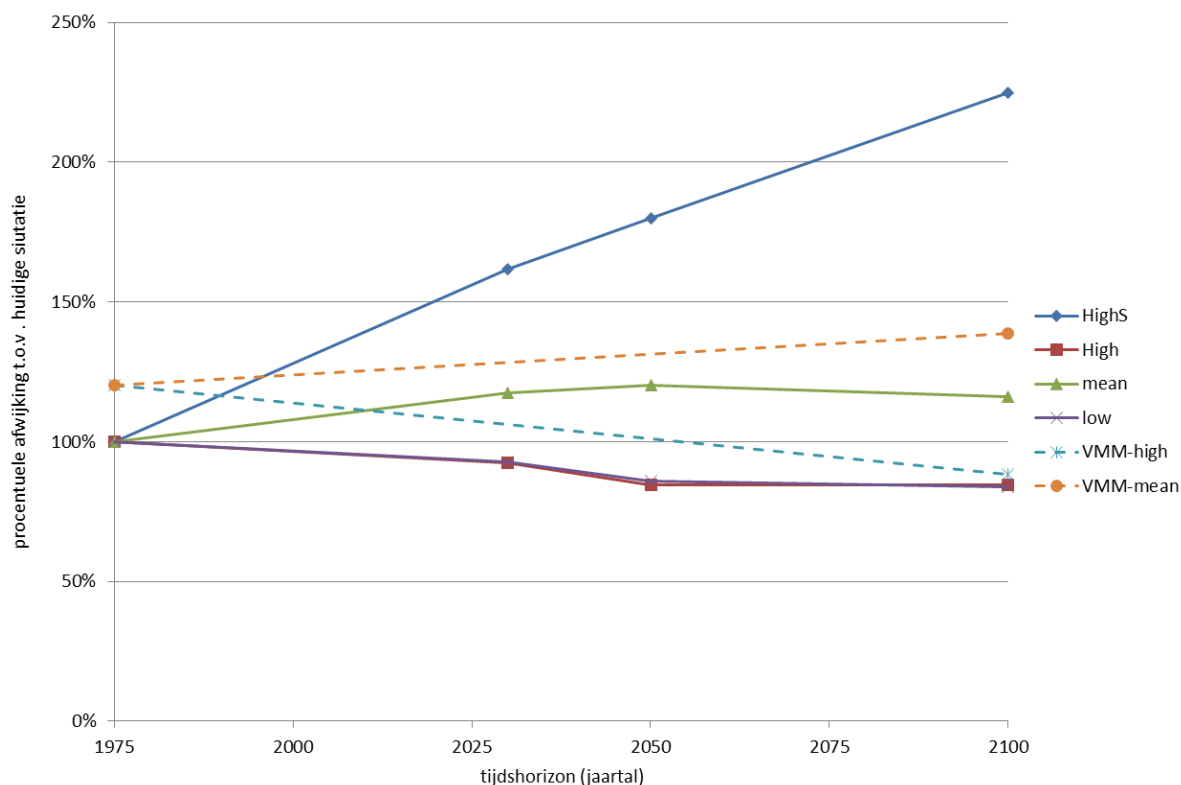
Voor Benedenvliet ligt de lokale referentiesituatie significant lager dan de Vlaamse referentiesituatie, hierdoor zijn de scenario's niet te vergelijken met elkaar en is het best om de lokale scenario's te hanteren, temeer er voor de Vlaamse scenario's enkel een tijdshorizon 2100 beschikbaar is.



Figuur 12: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde landelijke afstromingsdebieten voor Benedenvliet bij een terugkeerperiode van 100 jaar.

In figuur 13 wordt de invloed van de klimaatscenario's getoond op de uurgemiddelde neerslag, wat representatief is voor de stedelijke afstromingsdebieten voor Benedenvliet voor een terugkeerperiode van 100 jaar. Voor daggemiddelde debieten en andere terugkeerperiodes is het verloop vrij gelijkaardig en worden de grafieken getoond in bijlage E.

Voor Benedenvliet ligt de lokale referentiesituatie significant lager dan de Vlaamse referentiesituatie, hierdoor zijn de scenario's niet te vergelijken met elkaar en is het best om de lokale scenario's te hanteren, temeer er voor de Vlaamse scenario's enkel een tijdshorizon 2100 beschikbaar is. Bij de neerslag levert het hoog scenario een daling op voor toekomstige tijdshorizonten. De afstromingsdebieten vanwege de landelijke gebieden geven de omgekeerde tendens. Dit komt doordat de piekneerslagen (die zich vooral in de zomer voordoen) afnemen, maar er wel meer langdurige neerslag is (in de winter) die tot meer verzadiging van de ondergrond leidt en dus tot grotere landelijke afstromingsdebieten. In de winter zal het risico op wateroverlast vanuit waterlopen dus toenemen, maar vanuit rioleringen afnemen. Om deze reden is er ook het HighS scenario uitgewerkt om ook het andere uiterste van de klimaatonzekerheid te kunnen beoordelen, namelijk wanneer de zomerse onweders toenemen en er meer overstromingen ontstaan vanuit de riolering.



Figuur 13: Invloed van de klimaatscenario's op de uurgemiddelde stedelijke afstromingsdebieten voor Benedenvliet bij een terugkeerperiode van 100 jaar.

2.5 Selectie scenario's en terugkeerperiodes

Volgende vaststellingen kunnen worden gedaan m.b.t. de klimaatscenario's:

- De HighS scenario's zijn zeer extreem, maar zijn eigenlijk bedoeld voor lokale impact op riolering (vanwege zomeronweders), niet voor waterlopen. Om het lokaal voorkomen correct te kunnen inrekenen, is een correctie nodig m.b.t. de ruimtelijke variatie van de neerslag. Dit kan gebeuren op basis van ruimtelijke correctiecoëfficiënten zoals uitgewerkt in (Vaes et al., 2005).
- De hoge (high) scenario's (representatief voor winterse extreme condities) liggen min of meer in de buurt van VMM-hCC, maar ze zijn toch sterk verschillend voor verschillende deelgebieden.
- De gemiddelde (mean) scenario's liggen min of meer in de buurt van VMM-mCC, maar ze zijn ook significant verschillend voor verschillende deelgebieden.
- Het meest nadelige gemiddeld (mean) scenario wordt telkens bekomen voor tijdshorizon 2030, daarna vermindert het effect terug.
- De VMM scenario's zijn enkel beschikbaar voor tijdshorizon 2100, maar de evoluties zijn niet altijd lineair.
- De verschillen tussen de lokale en de Vlaamse klimaatscenario's worden voor een groot deel bepaald door het feit dat de referentiesituatie reeds (sterk) verschilt, d.w.z. door het systematische verschil in neerslag in de betreffende deelgebieden t.o.v. de Vlaamse referentieneerslag.
- De lage (low) scenario's geven een daling t.o.v. de huidige situatie.

Op basis van bovenstaande vaststellingen kunnen volgende conclusies worden getrokken m.b.t. de keuze van de te weerhouden klimaatscenario's:

- De HighS scenario's worden niet weerhouden voor het Schijn, wel voor Benedenvliet, maar voor er is wel een ruimtelijke correctie nodig bij het gebruik ervan.
- Voor de hoge (high) scenario's worden alle drie de tijdshorizonten weerhouden, omdat er voldoende variatie is tussen verschillende tijdshorizonten.
- Het Vlaamse hoge scenario (VMM-hCC) wordt niet weerhouden wegens te grote verschillen met het lokaal klimaat en het feit dat er maar één tijdshorizon (2100) beschikbaar is.
- Voor de medium scenario's worden alle drie de tijdshorizonten weerhouden, ondanks het feit dat voor de horizonten 2050 en 2100 het effect stabiliseert en zelfs afneemt
- Het Vlaamse gemiddelde scenario (VMM-mCC) wordt niet weerhouden wegens te grote verschillen met het lokaal klimaat en het feit dat er maar één tijdshorizon (2100) beschikbaar is.
- De lage (low) scenario's worden niet weerhouden, omdat ze gelijkaardige of lagere waarden geven dan voor de referentietoestand.
- Als referentiescenario wordt de lokale referentietoestand weerhouden; de Vlaamse referentietoestand (VMM-noCC) wordt niet weerhouden, o.w.v. de verschillen met lokale referenties.

De weerhouden klimaatscenario's worden met verschillende terugkeerperioden gecombineerd om zo ook rekening te houden met de extremititeit van de gebeurtenissen.

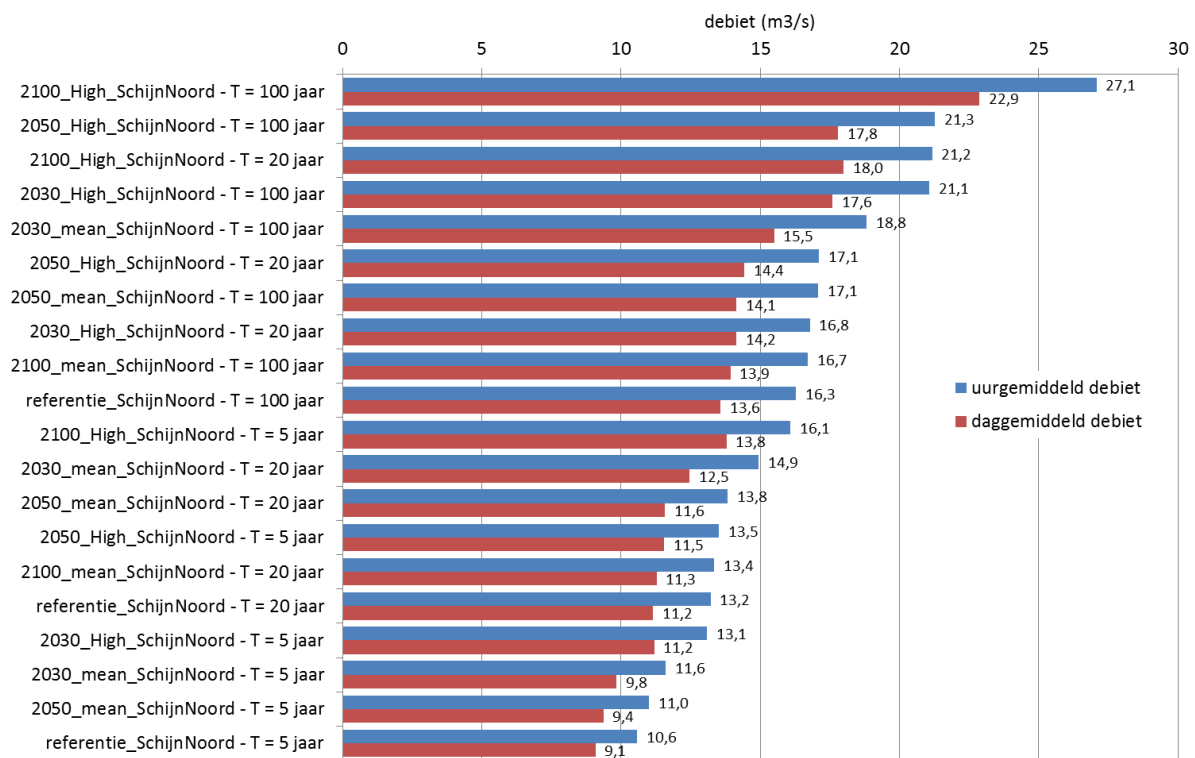
De te kiezen terugkeerperiodes hiervoor moeten voldoende ver uit elkaar gelegen zijn om een voldoende onderscheid te kunnen waarnemen om de overstromingskaarten.

Volgende keuze aan terugkeerperiodes wordt gebruikt:

- T = 5 jaar
- T = 20 jaar
- T = 100 jaar

De terugkeerperiodes van 5 en 20 jaar zijn veelgebruikte terugkeerperiodes voor lokale wateroverlast, hoofdzakelijk bij rioleringen, terwijl de terugkeerperiode van 100 jaar veelgebruikt is voor het bestuderen van wateroverlast bij waterlopen.

In figuur 14 wordt een overzicht gegeven van de uurgemiddelde en daggemiddelde afstromingsdebieten van de weerhouden klimaatscenario's en terugkeerperioden voor Schijn Noord. Hieruit blijkt dat een aantal combinaties van klimaatscenario en terugkeerperiode zeer dicht bij elkaar liggen en dat de verschillen als niet-significant kunnen worden beschouwd. In bijlage F worden deze getoond voor de andere gebieden.



Figuur 14: Uurgemiddelde en daggemiddelde afstromingsdebieten voor de weerhouden klimaatscenario's en terugkeerperiodes voor Schijn Noord.

3. CONCLUSIES HYDROLOGISCHE VERGELIJKING

Uit deze hydrologische analyse kan worden geconcludeerd dat er voorzichtig moet worden omgesprongen met de interpretatie van de resultaten, aangezien er heel wat onzekerheden zijn. Er zit reeds een grote onzekerheid op de neerslaginschatting voor de verschillende klimaatscenario's en tijdshorizonten. Bij de statistische analyse van de neerslagreeksen, zien we al dat de meest extreme events relatief ver van de extreme waarden fit gelegen zijn en voor heel wat gevallen een ingeschatte terugkeerperiode hebben die veel groter is dan 100 jaar.

Het simuleren van deze geperturbeerde neerslag in de bestaande hydrologische modellen vergroot deze onzekerheid nog sterk. De PDM modellen blazen systematisch extremen op, omdat de afvoercoëfficiënten bij grote verzadiging zeer sterk stijgen. De PDM modellen zijn niet gekalibreerd voor deze situaties en niet gemaakt voor dergelijke extremen. Een praktijkvoorbeeld en inschatting van deze afwijking is terug te vinden in (Van Steenberghe & Willems, 2012).

Om deze overschatting van afstromingsdebieten door de hydrologische modellen niet te sterk te laten doorwegen in de analyse, worden de meest extreme outliers verwijderd bij de berekening van de extreme waarden fit en wordt de drempelwaarde voor de extreme waardenfit niet te hoog genomen.

Door de analyse uit te voeren enkel op basis van de resultaten na het uitvoeren van de extreme waarden fitting, is deze afwijking voor een groot deel geëlimineerd.

Bij de vergelijking van de resultaten van dicht bij elkaar gelegen scenario's, moet er rekening mee worden gehouden dat er een significante onzekerheid zit op de resultaten en dat kleine verschillen niet noodzakelijk de effectieve realiteit zijn.

De algemene conclusie m.b.t. de klimaatvariaties is dat de lokale klimaatscenario's best worden gehanteerd. Deze zijn gemiddeld gezien niet zo sterk verschillend van de Vlaamse scenario's, maar wel significant verschillend van het ene gebied tot het andere. Bovendien is het nuttig om niet enkel de 2100 tijdshorizon mee te nemen, maar ook de tussenliggende tijdshorizonten. Als representatief scenario voor het huidige klimaat en voor korte termijn planningshorizonten, wordt best gebruik gemaakt van het 2030 gemiddeld scenario (eerder dan het referentiescenario dat representatief is voor 1975).

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de stijging van het gemiddeld klimaatscenario voor verschillende tijdshorizonten en t.o.v. verschillende referentiesituaties. De eerder gemaakte ORBP overstromingsanalyses (VMM, 2014) zijn opgemaakt met enerzijds de Vlaamse referentietoestand (representatief voor 1975) en anderzijds met de globale Vlaamse klimaatscenario's (VMM-mCC en VMM-hCC). De laatste drie rijen van de tabel geven weer in welke mate de lokale klimaatscenario's afwijken van de door VMM gesimuleerde toestanden.

*Tabel 2: Variaties van de verschillende klimaatscenario's
t.o.v. de lokale en Vlaamse referentie voor uurgemiddelde debieten.*

scenario ↓ / gebied →	Schijn Noord	Schijn Zuid	Benedenvliet**
t.o.v. lokale referentie (1975)			
Mean 2015*	111%	107%	122%
Mean 2030	116%	110%	130%
Mean 2100	103%	108%	113%
High 2100	166%	190%	194%
t.o.v. Vlaamse referentie (1975)			
Mean 2015*	109%	119%	86%
Mean 2030	113%	122%	91%
Mean 2100	100%	117%	80%
High 2100	162%	211%	136%
Lokaal scenario t.o.v. overeenkomstig Vlaams scenario			
Mean 2015* t.o.v. VMM-noCC	109%	119%	86%
Mean 2030 t.o.v. VMM-mCC	104%	120%	89%
High 2100 t.o.v. VMM-hCC	87%	114%	85%

* 2015 door lineaire interpolatie tussen referentie en 2030

** dit betreft enkel de landelijke afstroming (PDM), maar is analoog voor de neerslag

Uit deze tabel kunnen volgende conclusies worden getrokken voor de verschillende deelgebieden m.b.t. het gebruik van overstromingskaarten:

- Voor de huidige toestand (mean 2015) geven de overstromingskaarten van de VMM een onderschatting van de overstromingsrisico's voor het Schijn (Noord en Zuid), omdat de overstromingskaarten van de VMM voor de 'huidige toestand' eigenlijk die van de referentie zijn die representatief is voor 1975. Voor Schijn Zuid is deze onderschatting ongeveer 20% op de piekdebieten en voor Schijn Noord ongeveer 10%. Voor Benedenvliet liggen de lokale debieten lager dan het Vlaamse gemiddelde.
- Voor de lange termijn tijdshorizon geven de Vlaamse klimaatscenario's (mCC en hCC) een onderschatting van de risico's op overstroming voor Schijn Zuid met 15 tot 20 %. Voor Schijn Noord is er een onderschatting van ongeveer 5% voor het gemiddeld scenario, omdat de tijdshorizon 2030 meer nadelig is dan 2100. Voor Benedenvliet is er een overschatting van de overstromingsrisico's op de Vlaamse overstromingskaarten; hiervoor kan het overwogen worden om toch de Vlaamse overstromingskaarten te blijven gebruiken omwille van de mogelijke onzekerheid op de inschatting van het lokale (neerslag)klimaat.

Het is dus vooral nodig voor het deelgebied Schijn Zuid om specifiek rekening te houden met het lokale (neerslag)klimaat. Daarnaast is het nodig om voor de huidige situatie (2015) en de korte termijn planningshorizon (2030) specifieke overstromingskaarten op te maken. Voor Benedenvliet is het vooral nodig om rekening te houden met de sterke interactie en de grote verschillen tussen landelijke en stedelijke afvoer.

REFERENTIES

Willems P., De Niel J. & Tabari H. (2015). Modellering en beleidsaanbevelingen ten aanzien van neerslag in Antwerpen. KU Leuven i.o.v. Stad Antwerpen, september 2015.

VMM (2014). Onderbouwing van het overstromingsrisicobeheerplan van de onbevaarbare waterlopen: ORBP-analyse Antwerpen. Rapport R04.

Tabari H., Taye M.T. & Willems P. (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen; appendix 2: nieuwe modelprojecties voor Ukkel o.b.v. globale klimaatmodellen (CMIP5). KU Leuven i.o.v. VMM en MIRA. MIRA/2015/03.

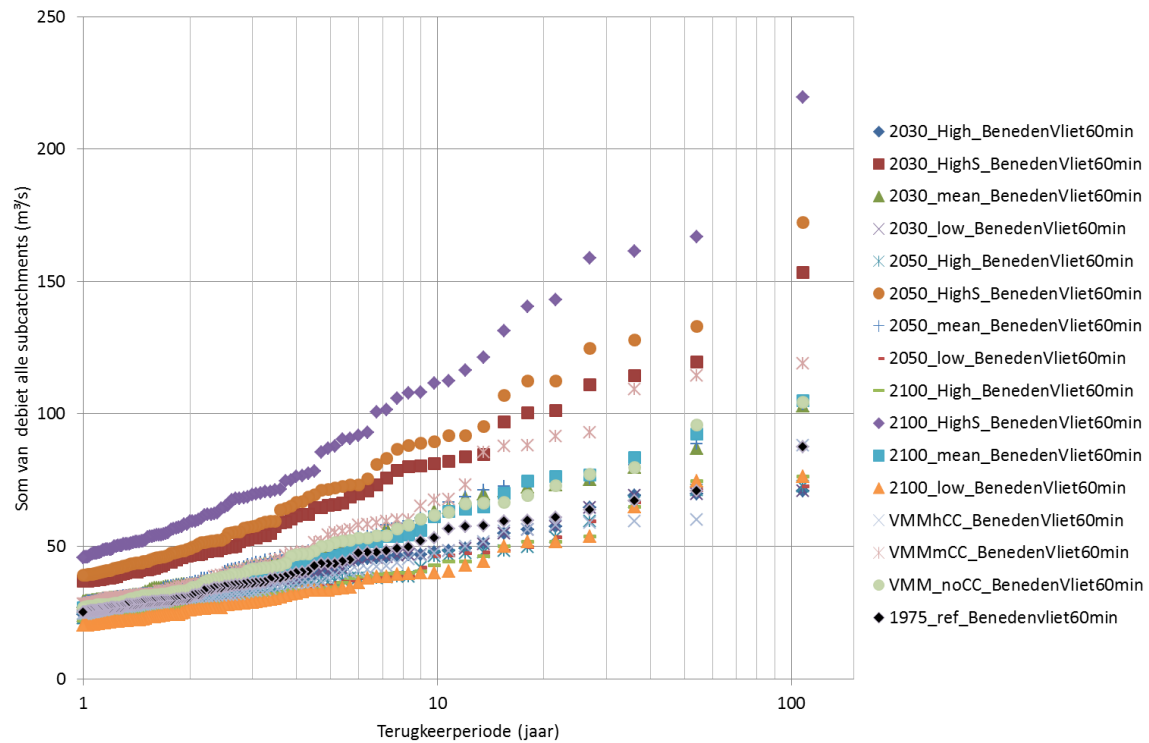
Ntegeka V., Baguis P., Roulin E. & Willems P. (2014). Developing tailored climate change scenario's for hydrological impact assessment. Journal of Hydrology, vol. 508.

Van Steenbergen N. & Willems P. (2012). Method for testing the accuracy of rainfall runoff models in predicting peak flow changes due to rainfall changes, in a climate changing context. Journal of Hydrology, vol. 414-415.

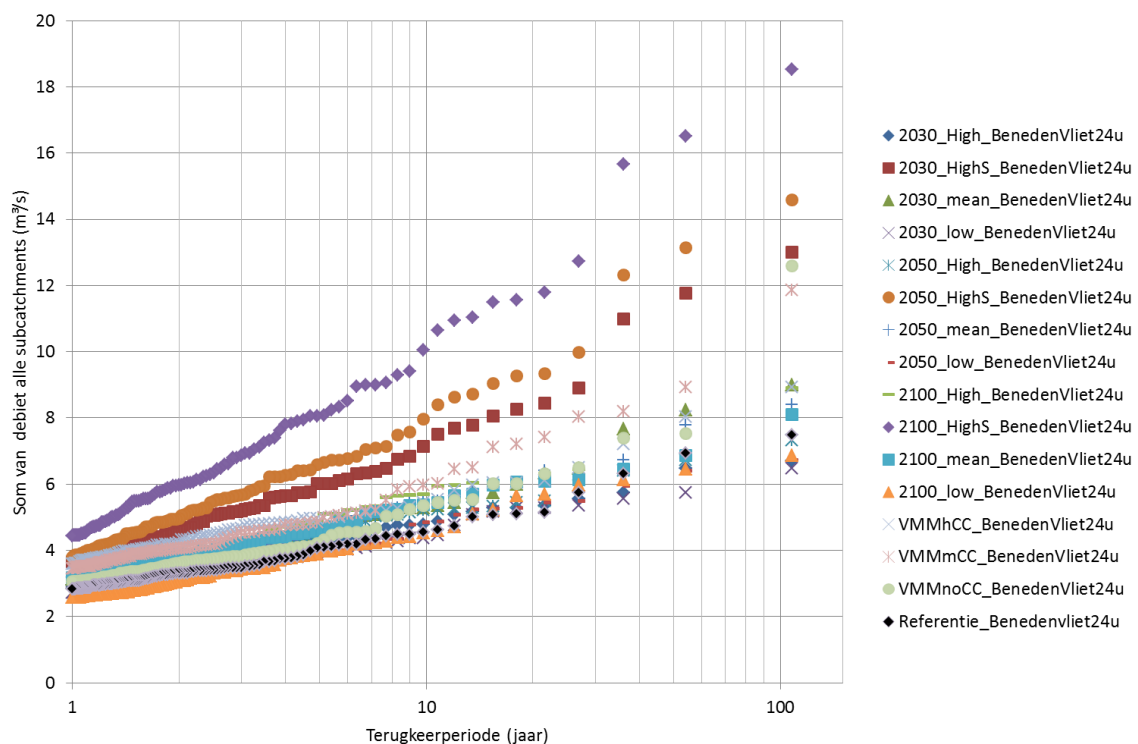
Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2005). Areal rainfall correction coefficients for small urban catchments. Atmospheric Research, volume 77, nr. 1, september/oktober 2005.

BIJLAGE A: POT WAARDEN

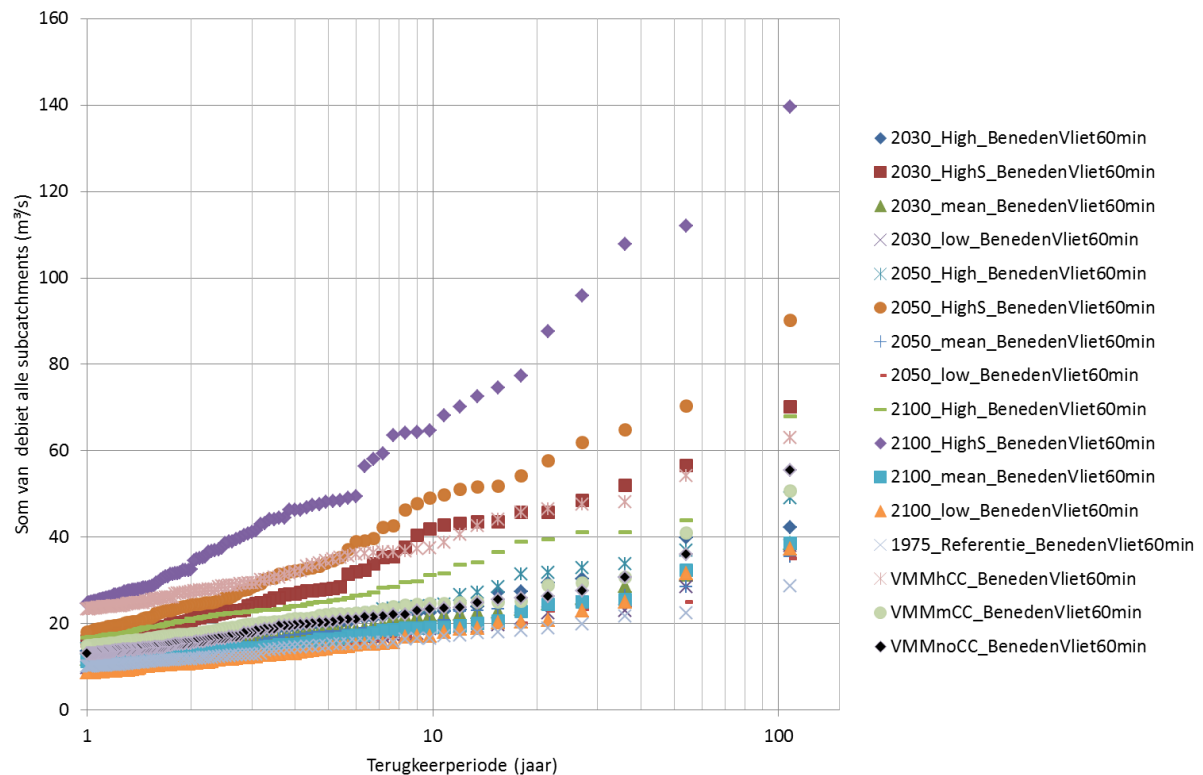
A.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



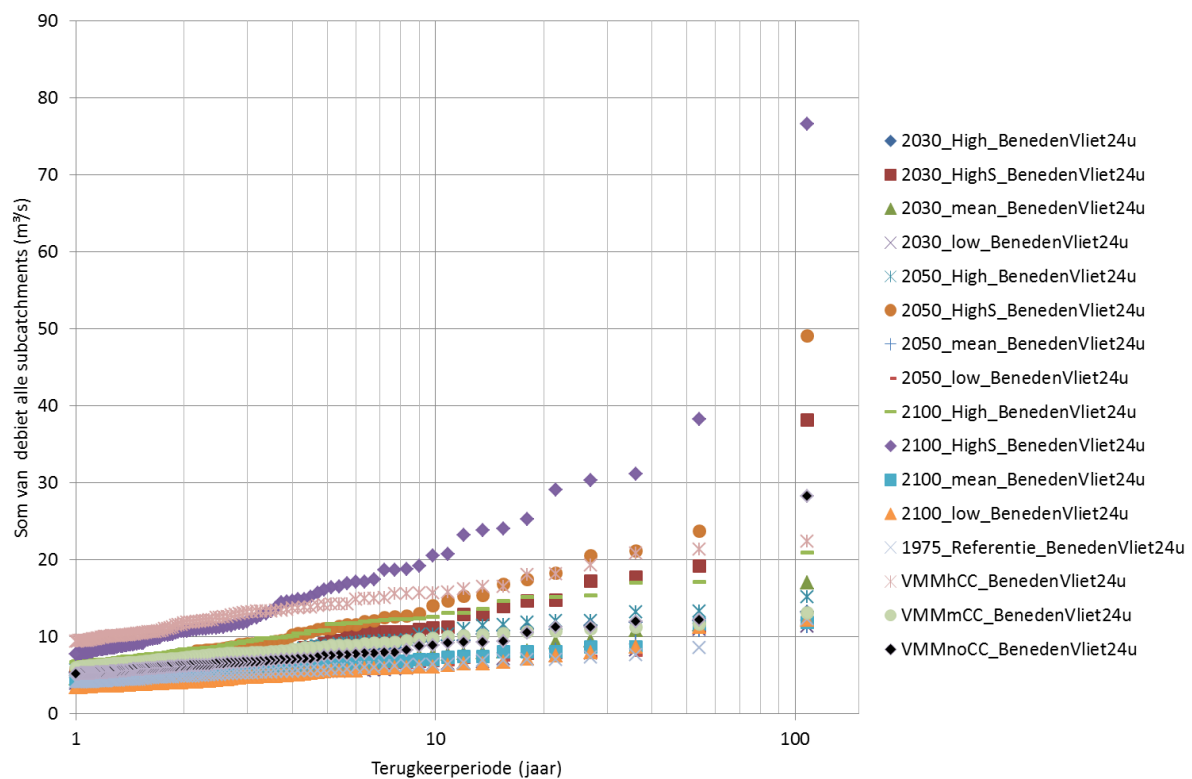
A.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld



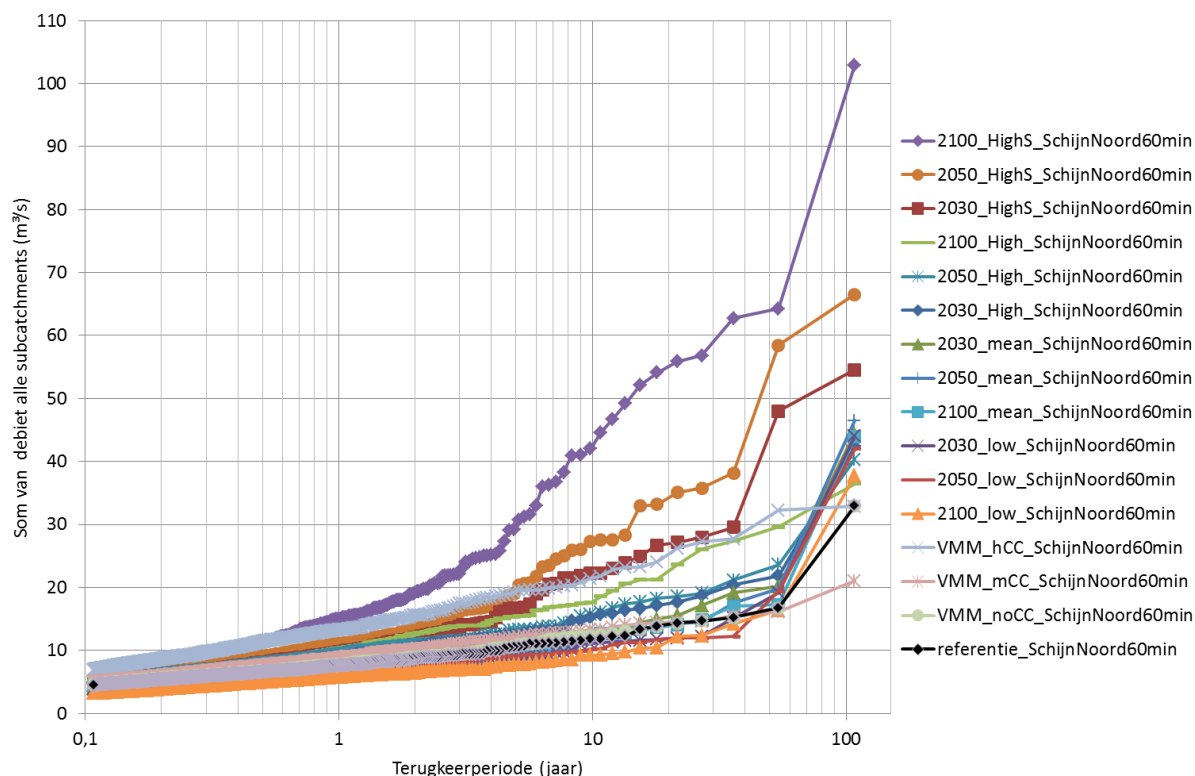
A.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



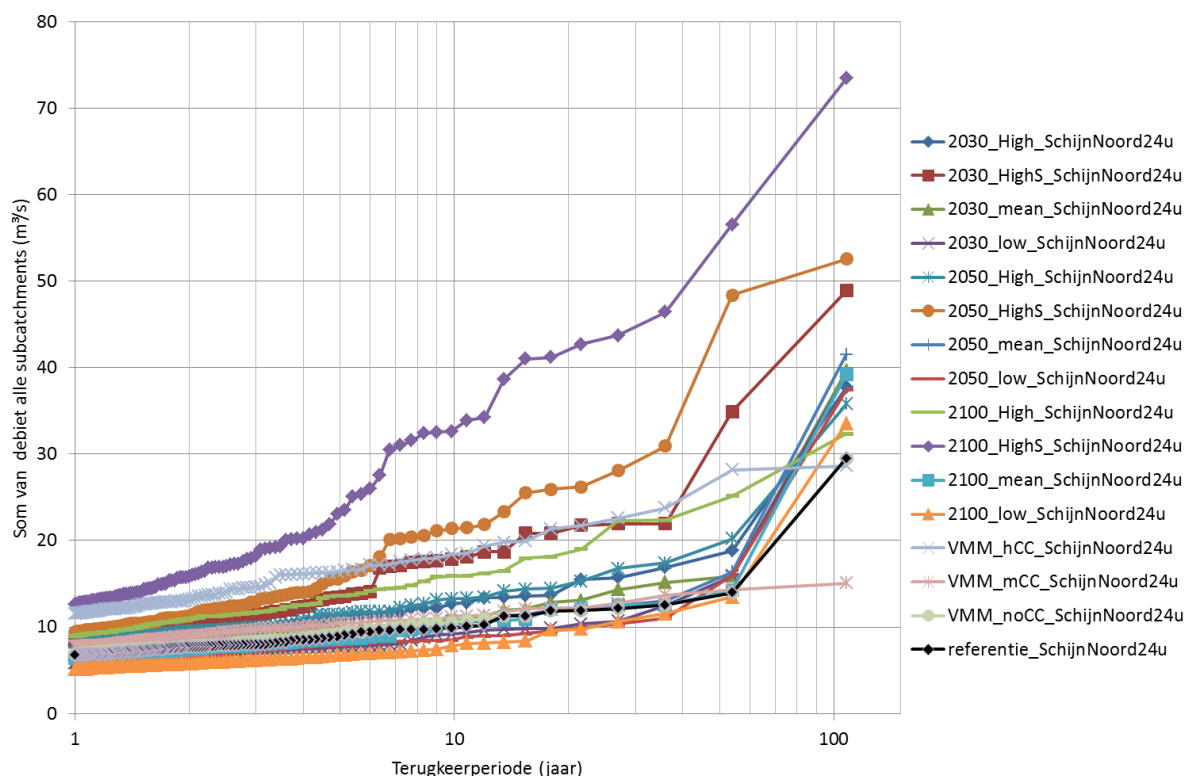
A.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld



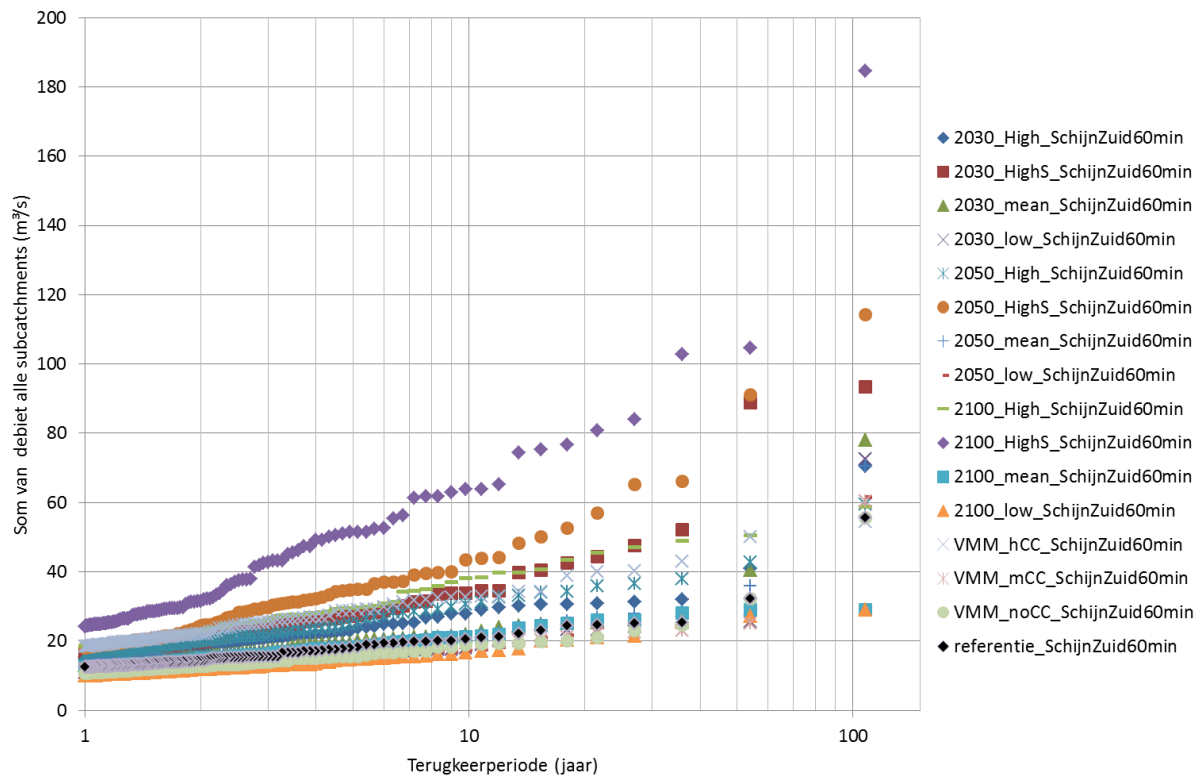
A.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld



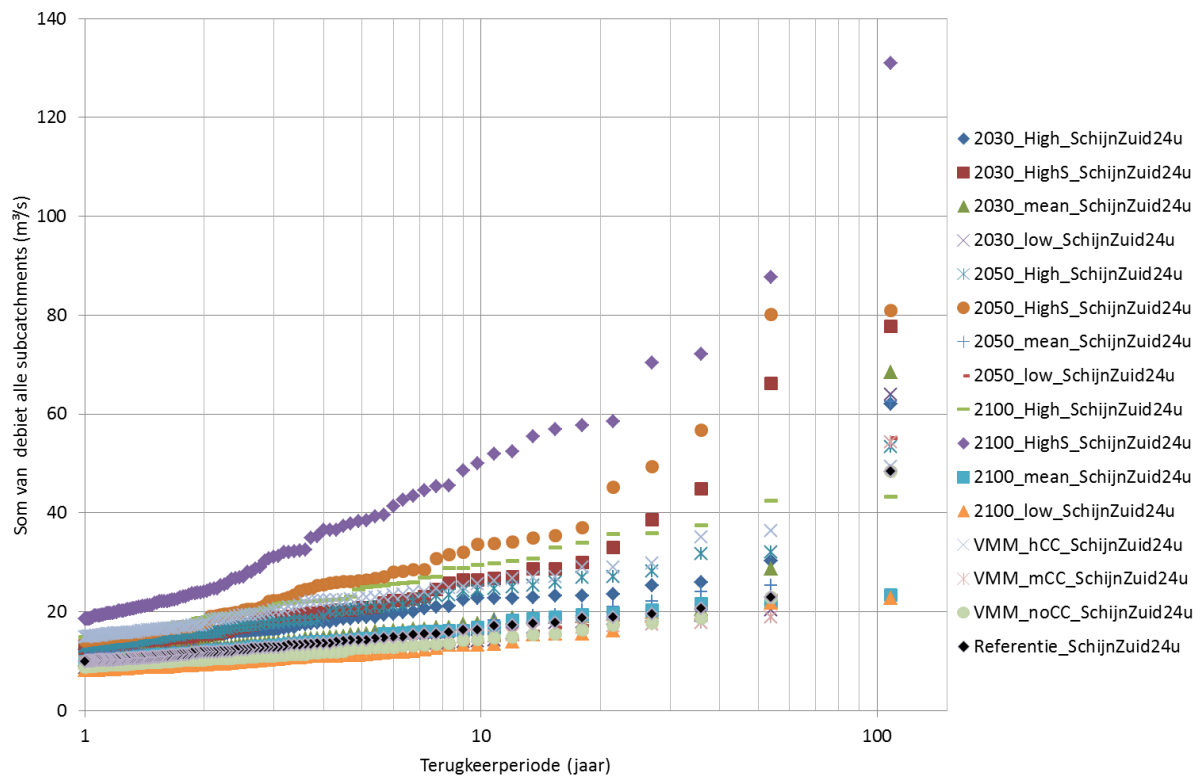
A.6 PDM afstroming Schijn Noord, daggemiddeld



A.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld

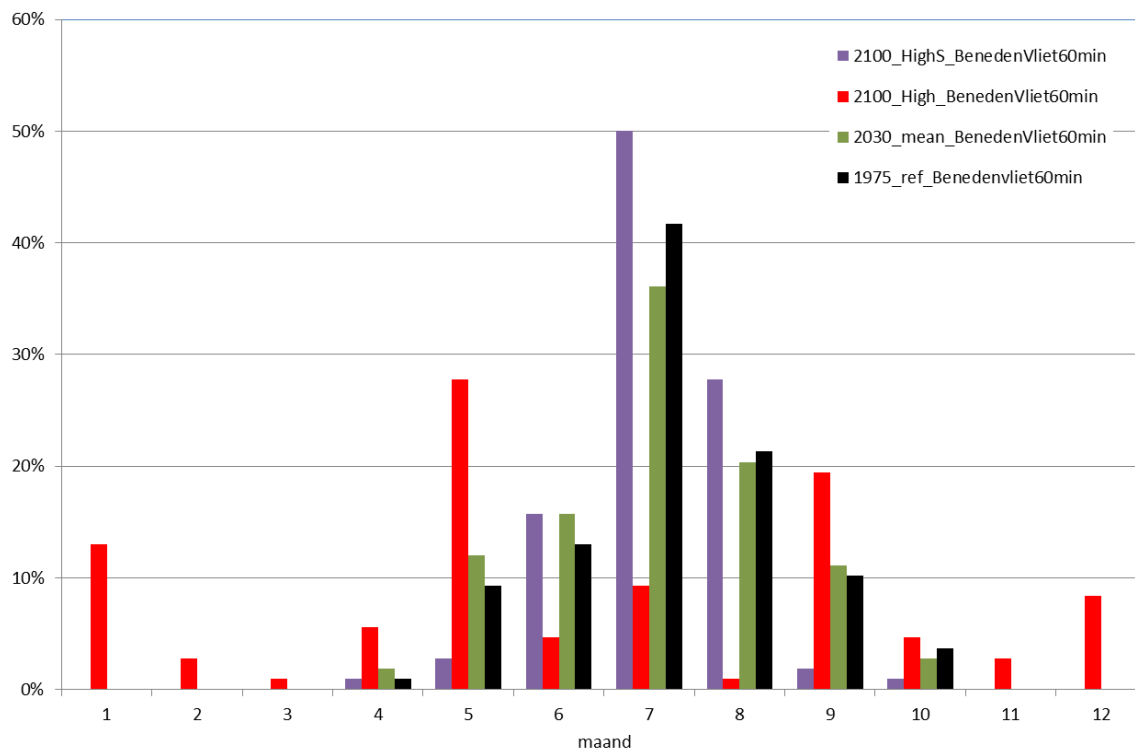


A.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld

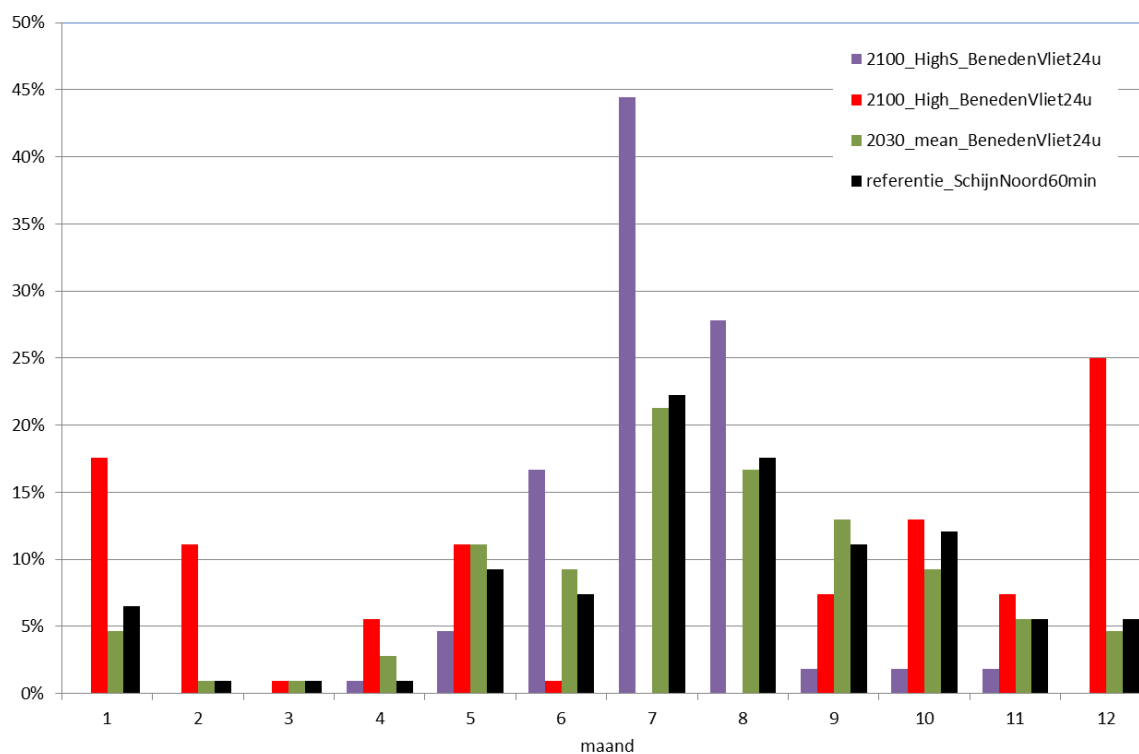


BIJLAGE B: SEIZOENSVARIATIE

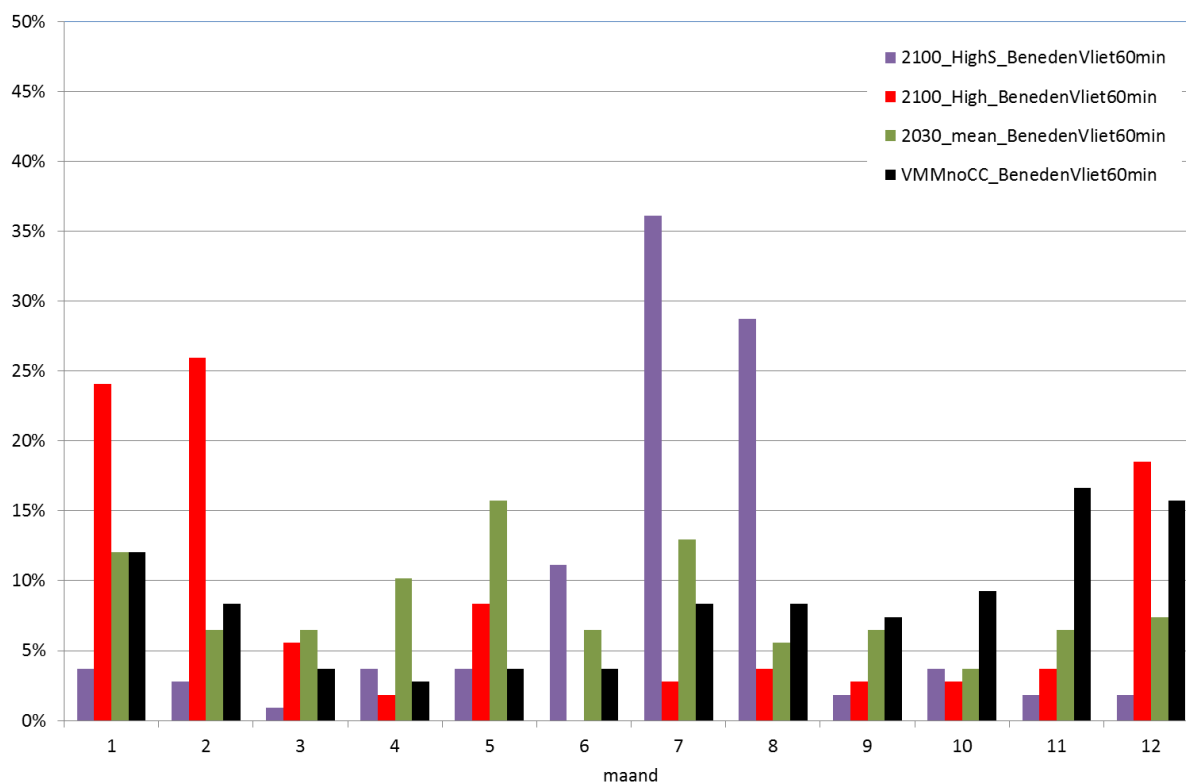
B.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



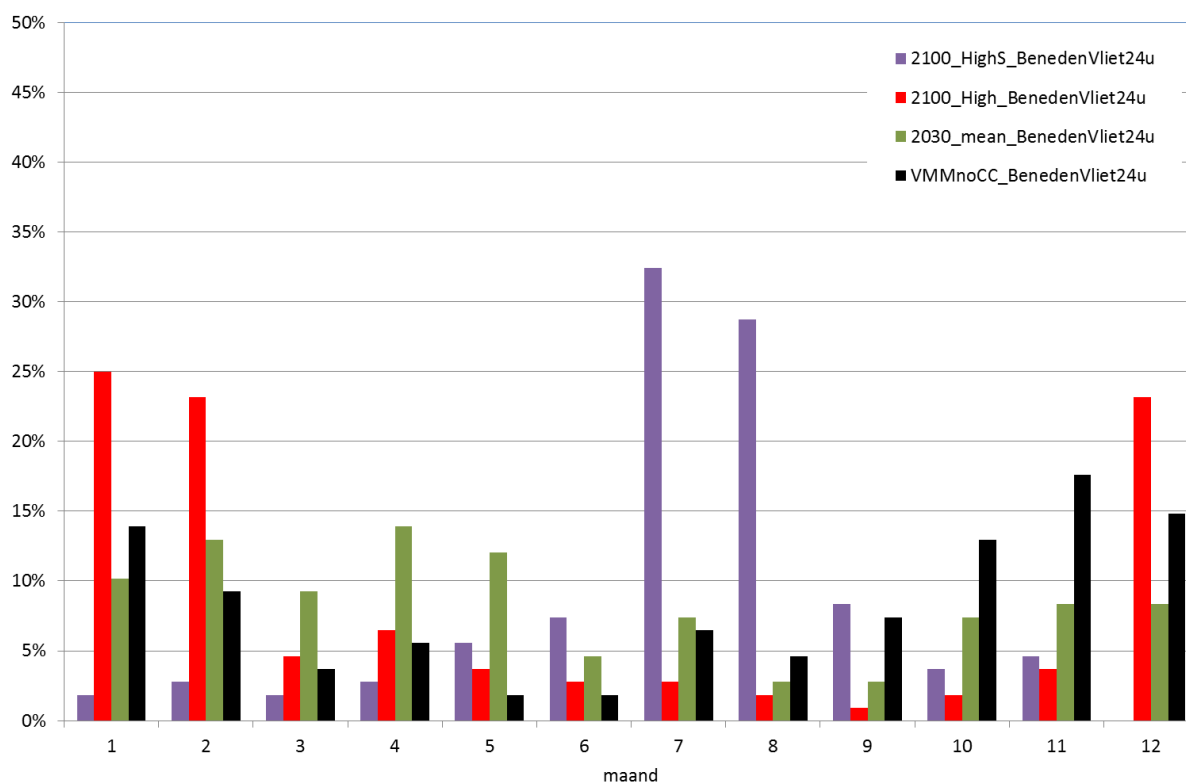
B.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld



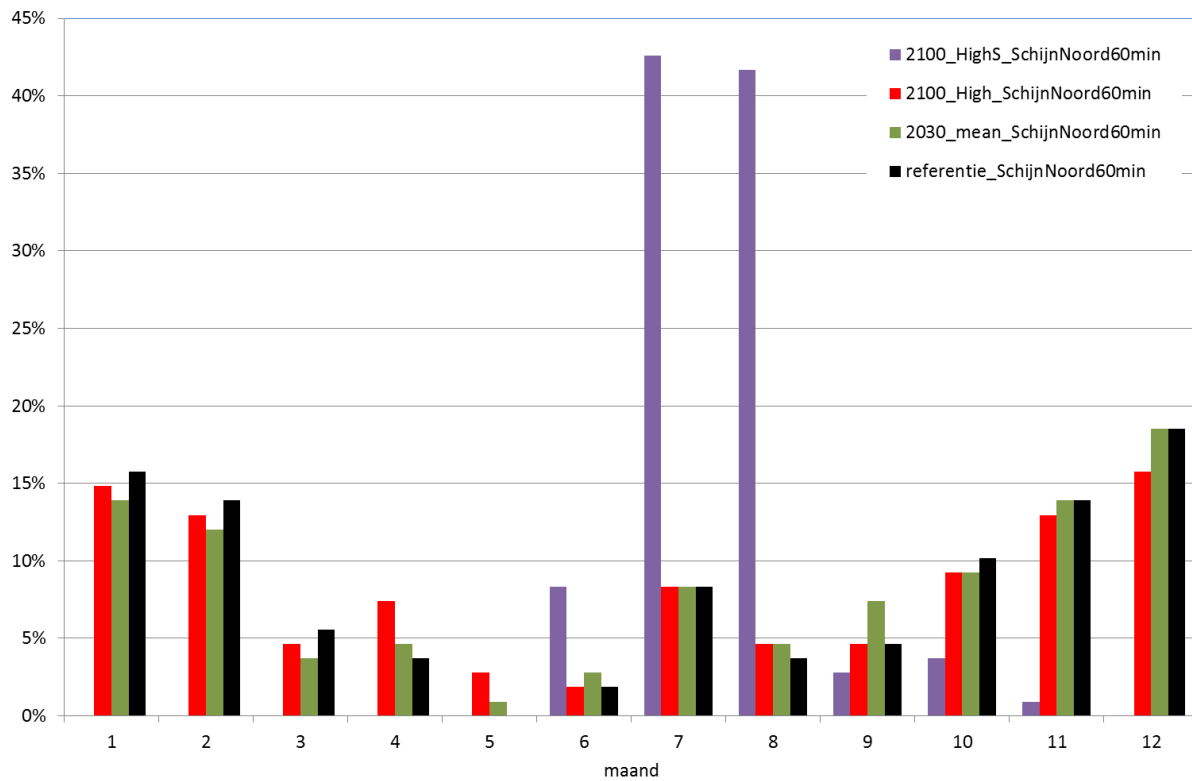
B.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



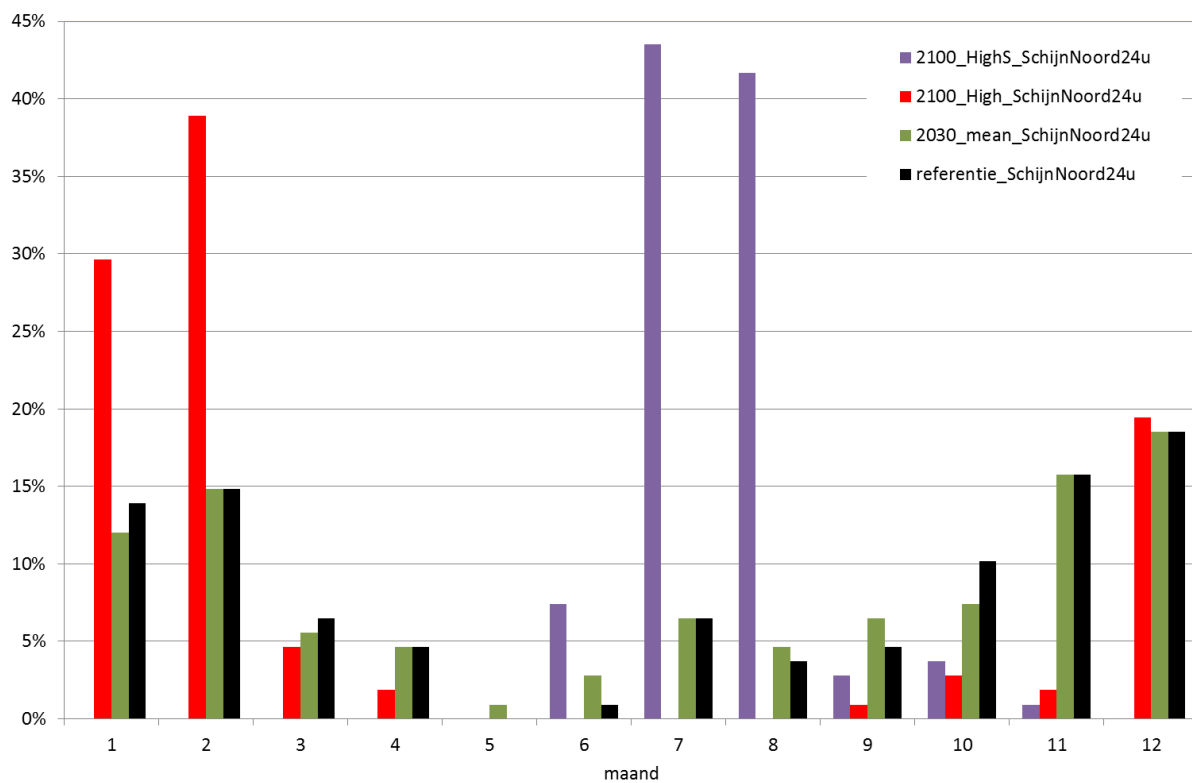
B.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld



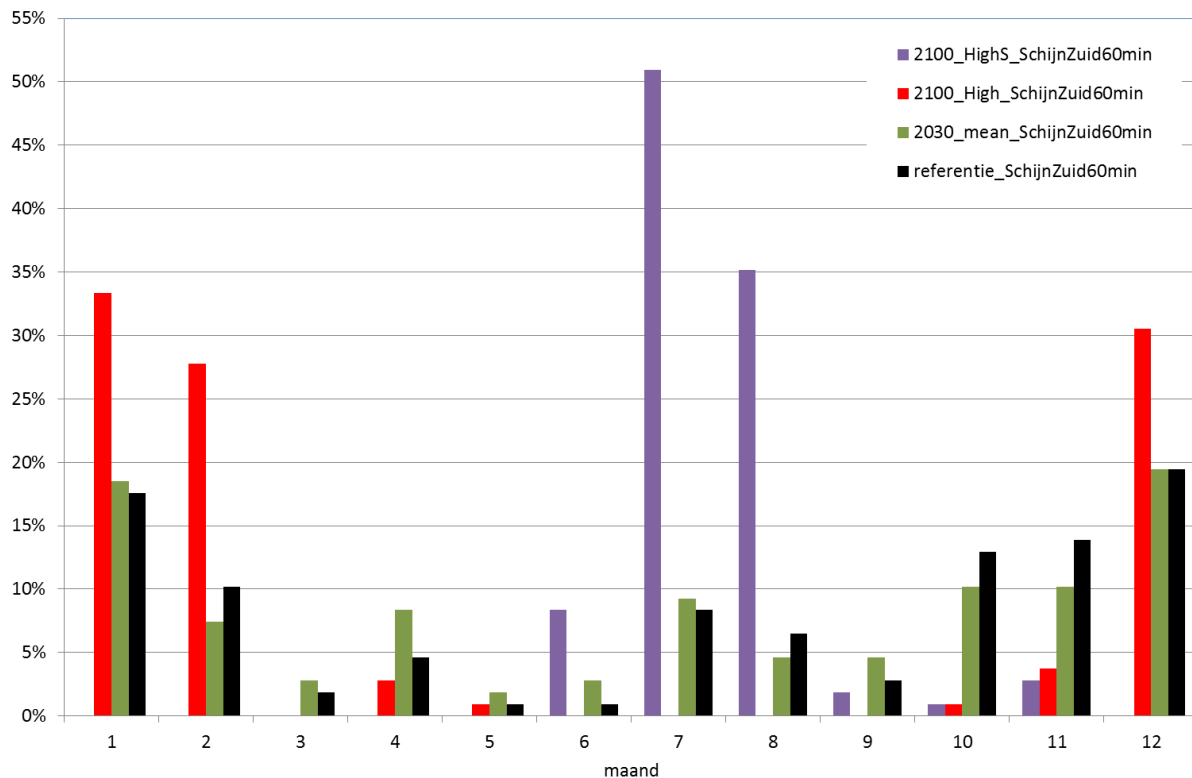
B.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld



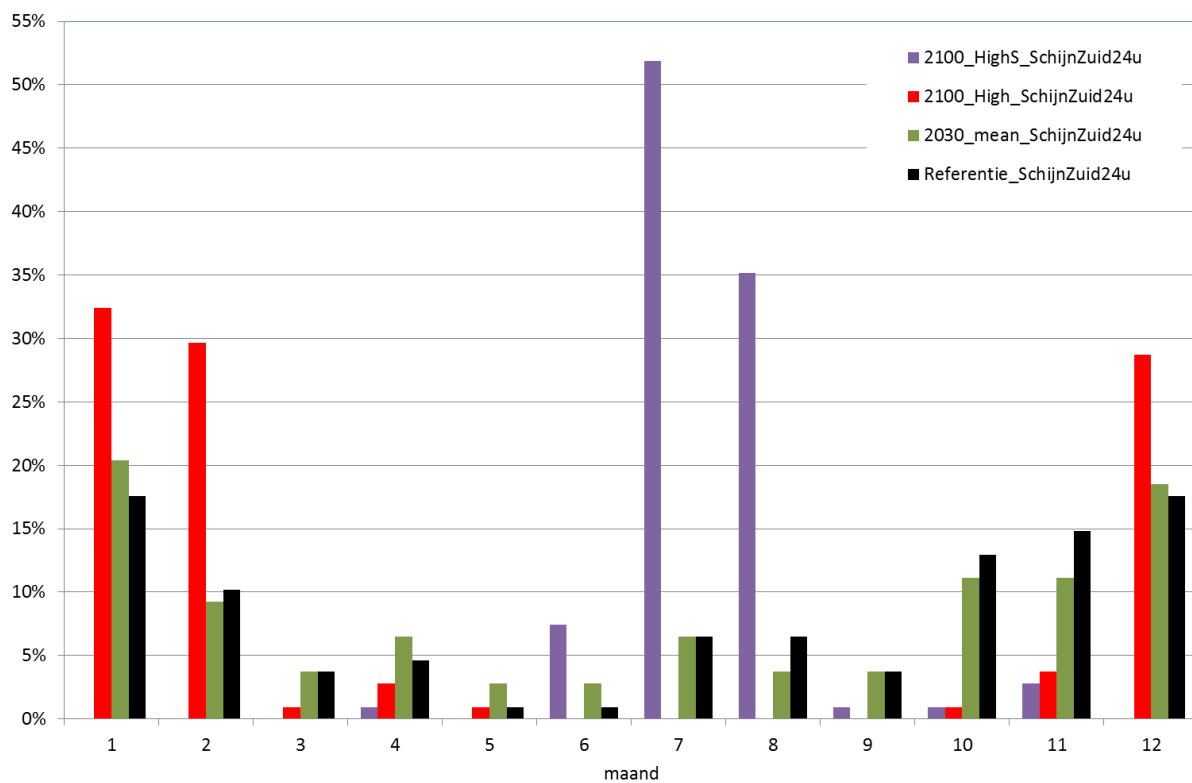
B.6 PDM afstroming Schijn Noord, daggemiddeld



B.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld

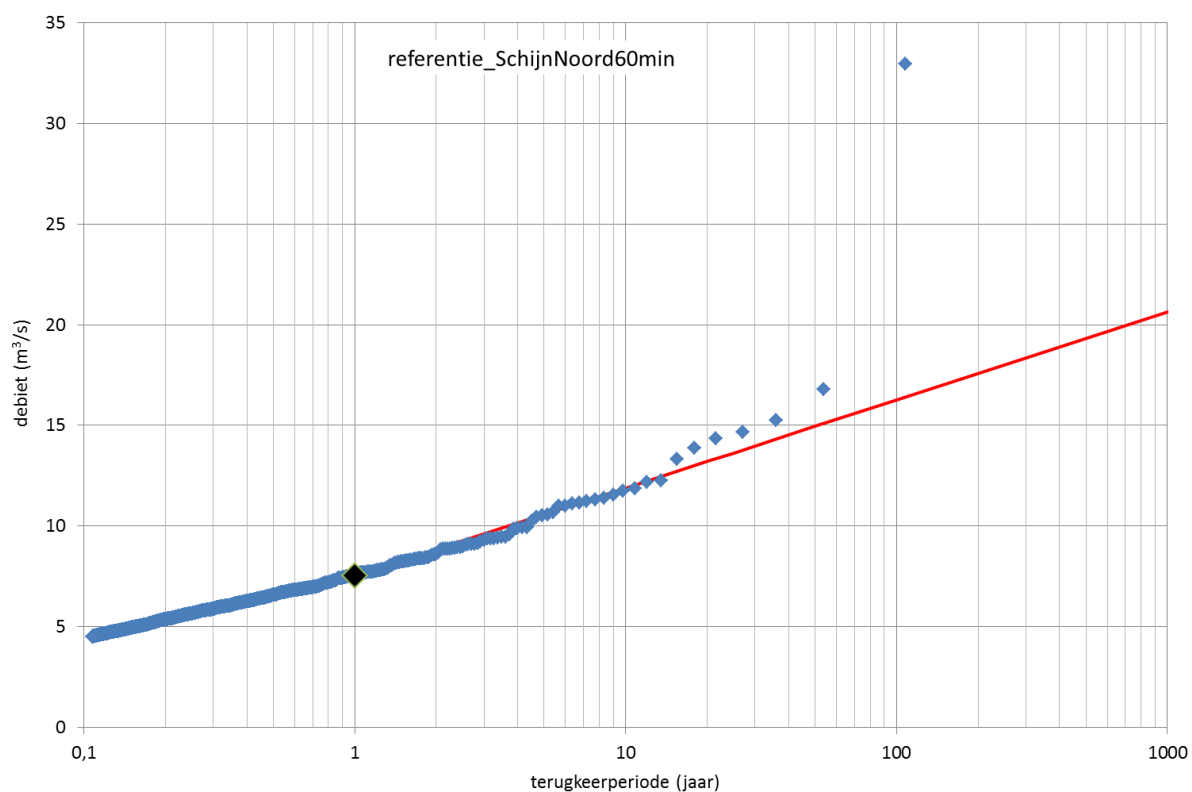
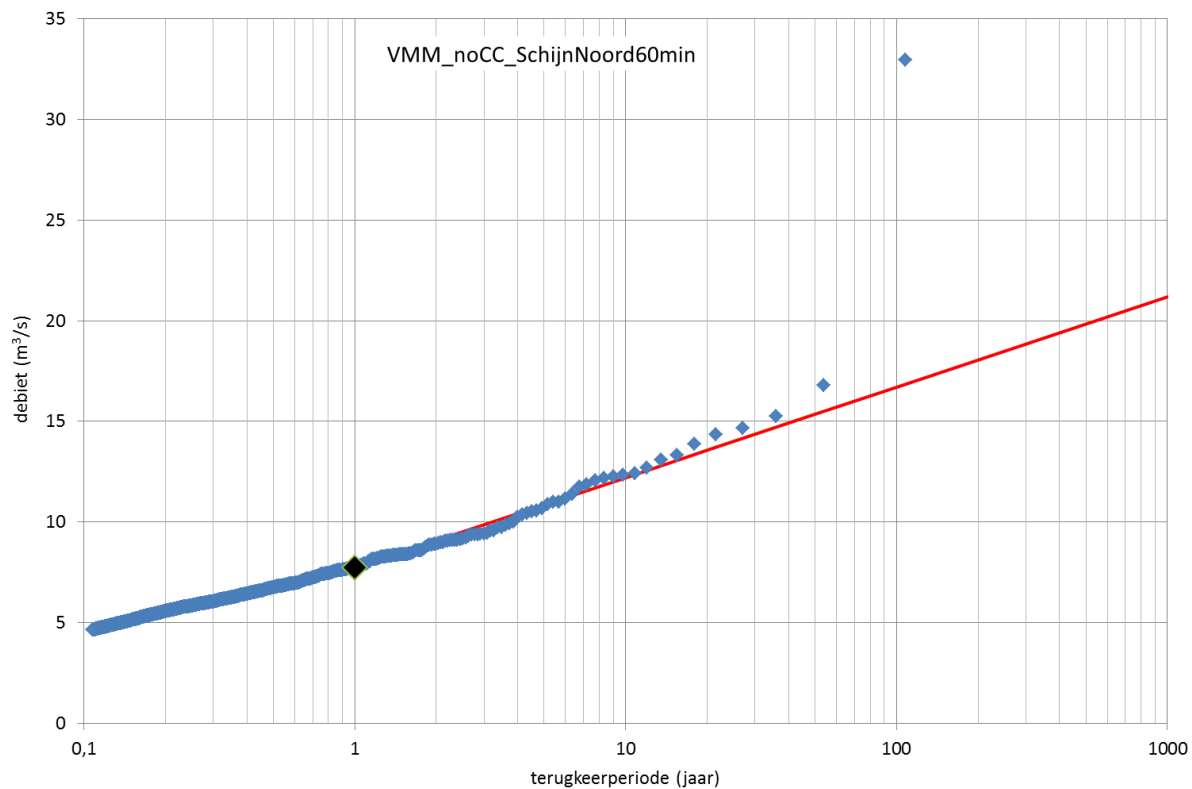


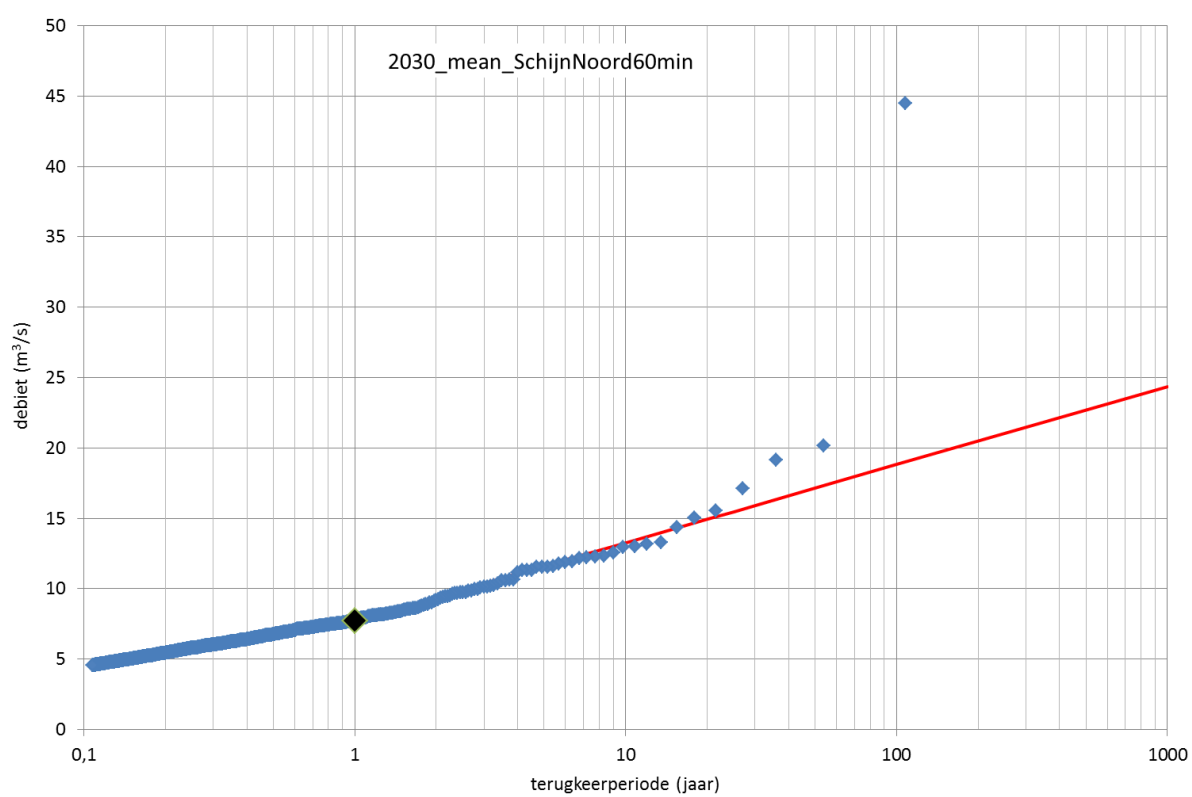
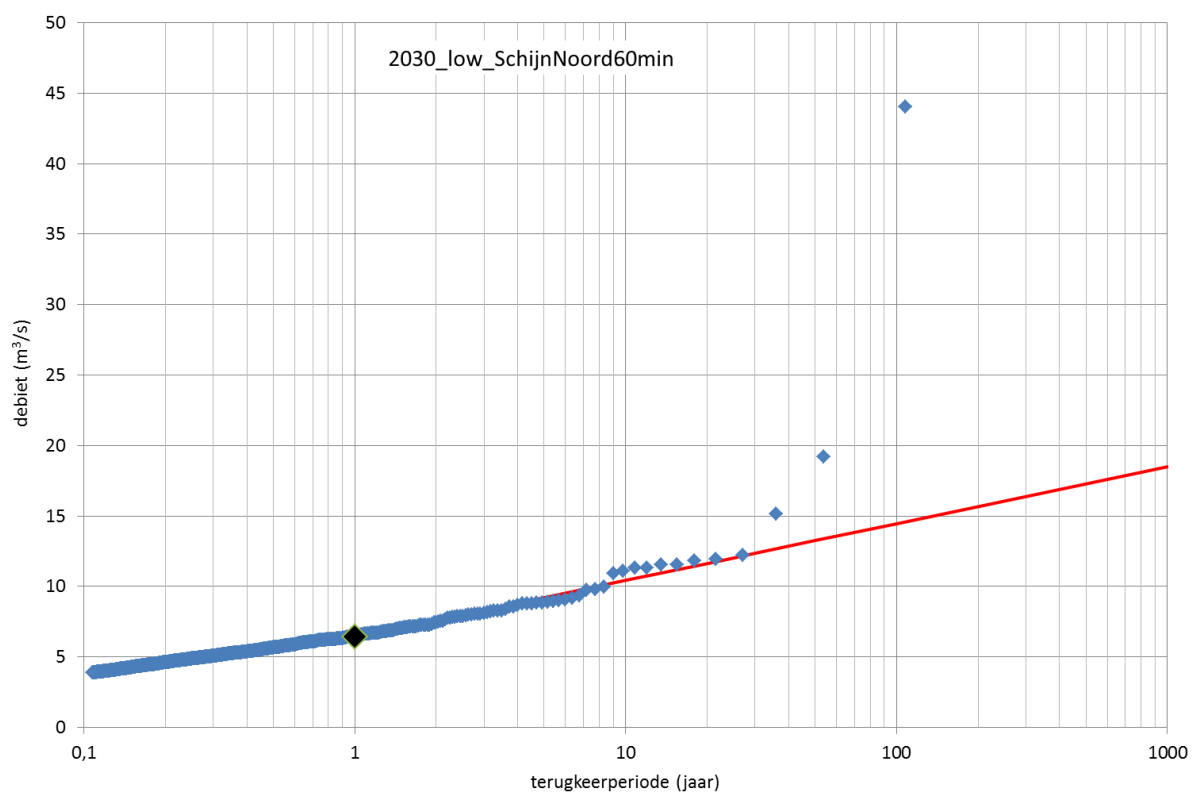
B.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld

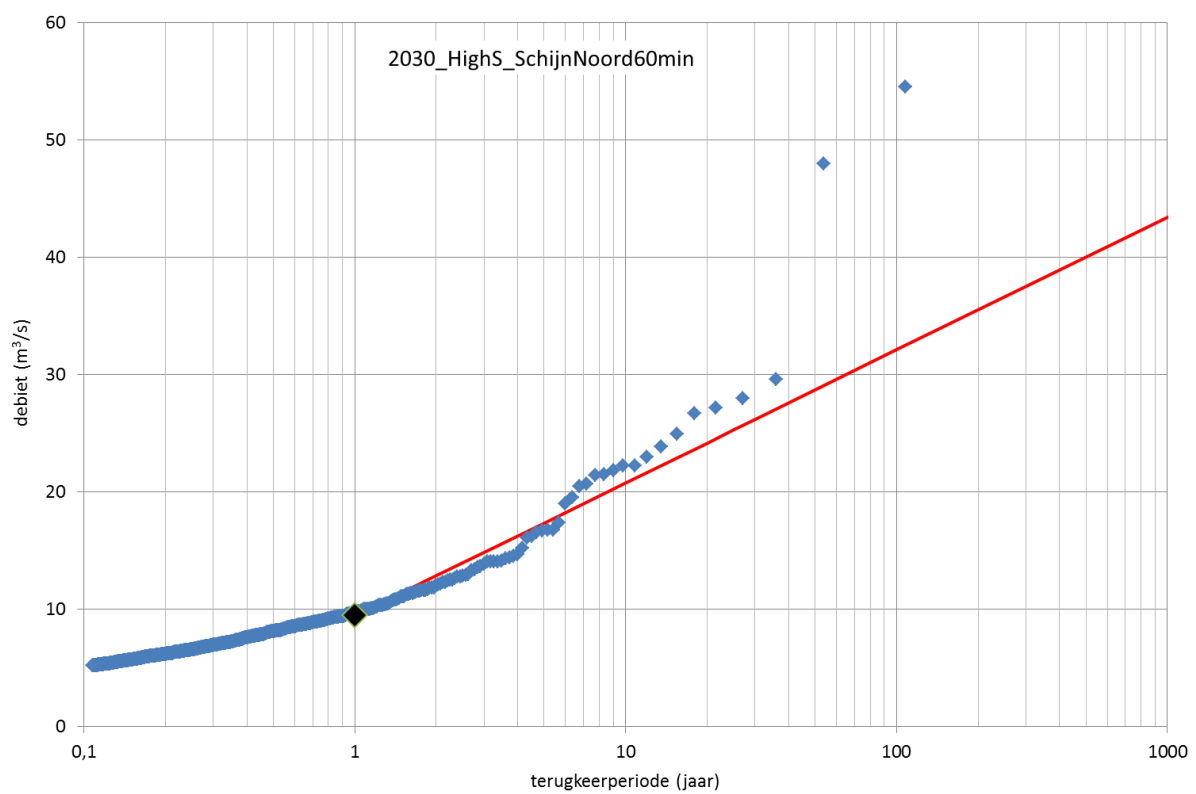
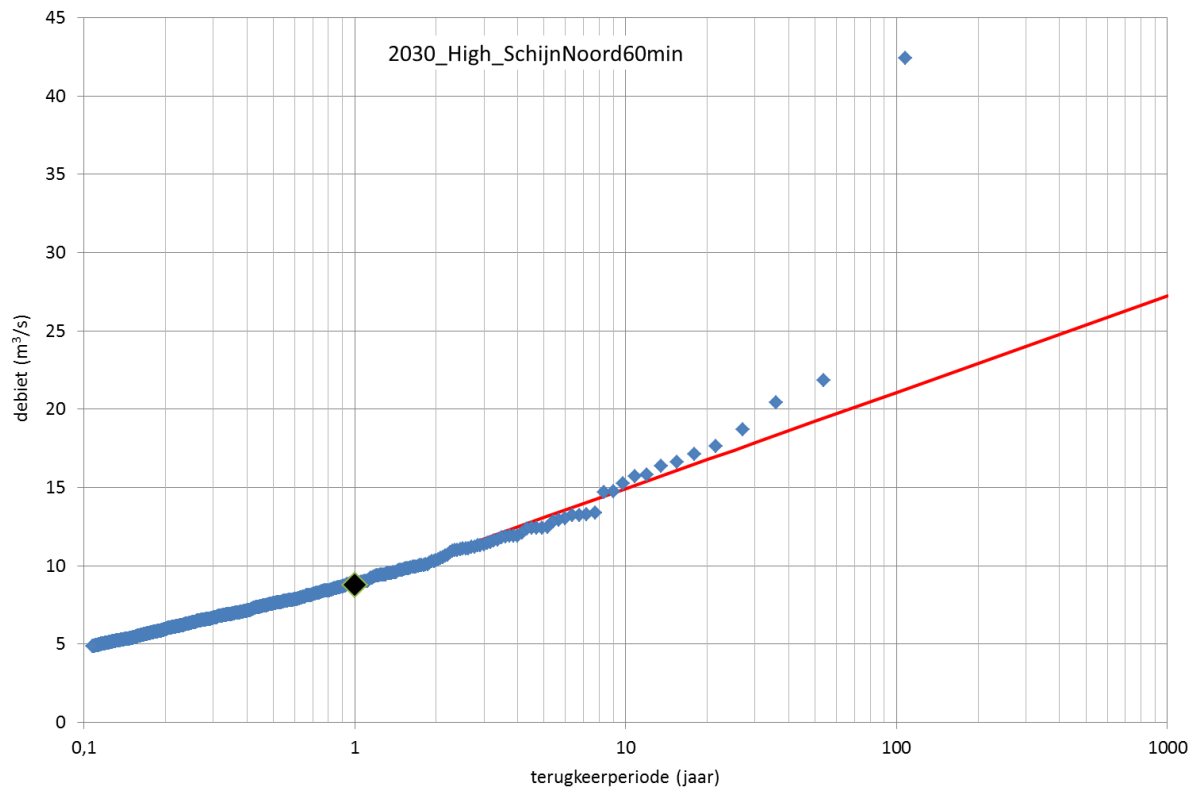


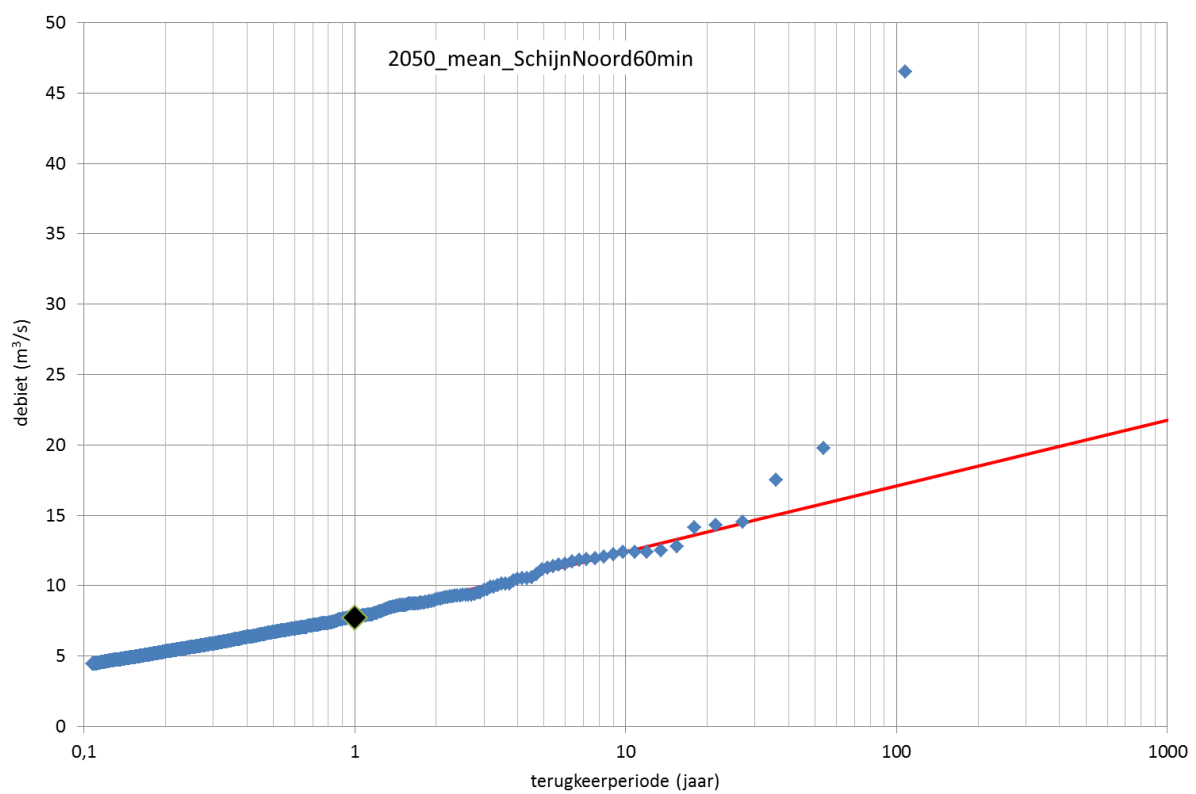
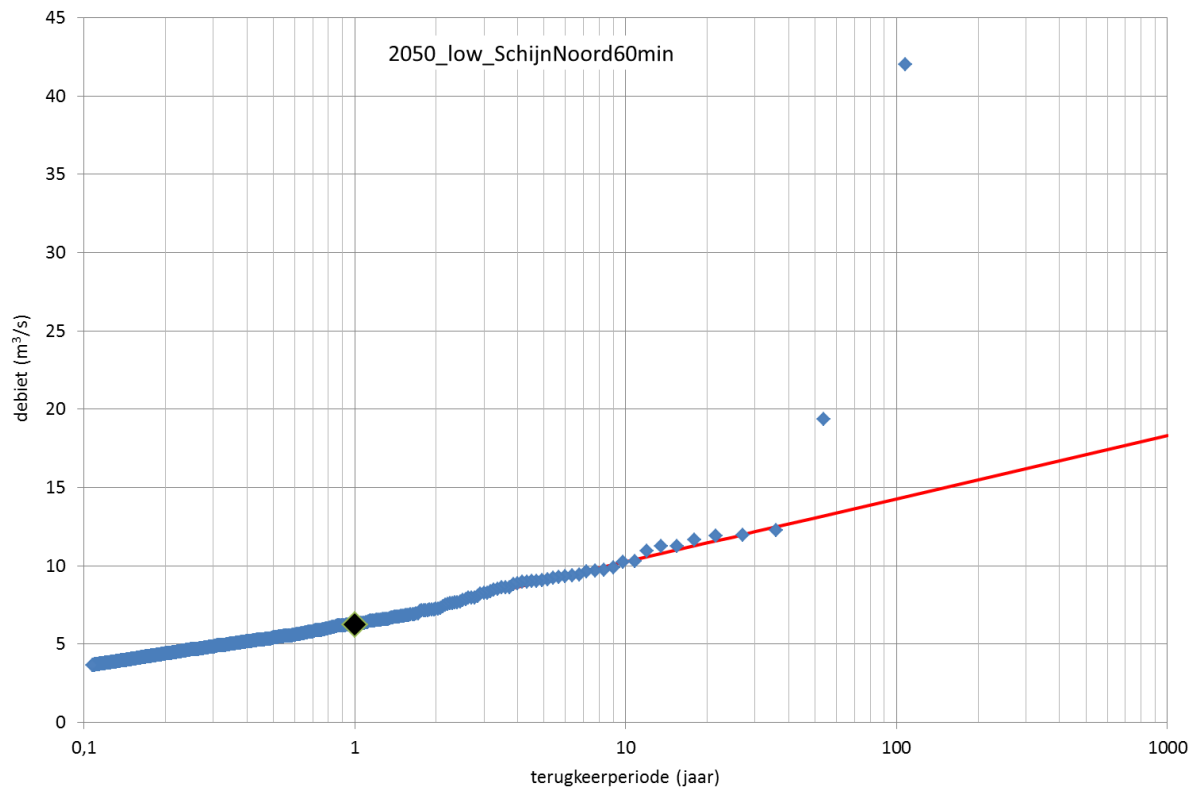
BIJLAGE C: EXTREME WAARDEN FITS

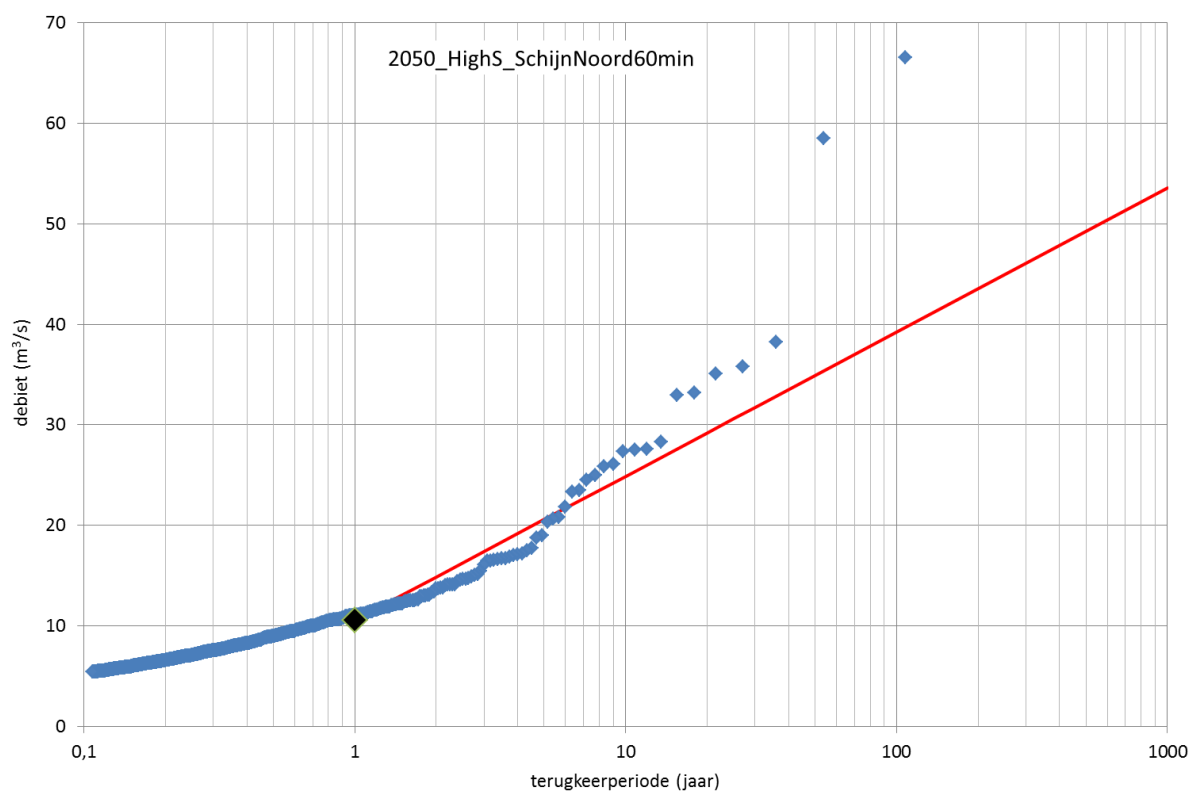
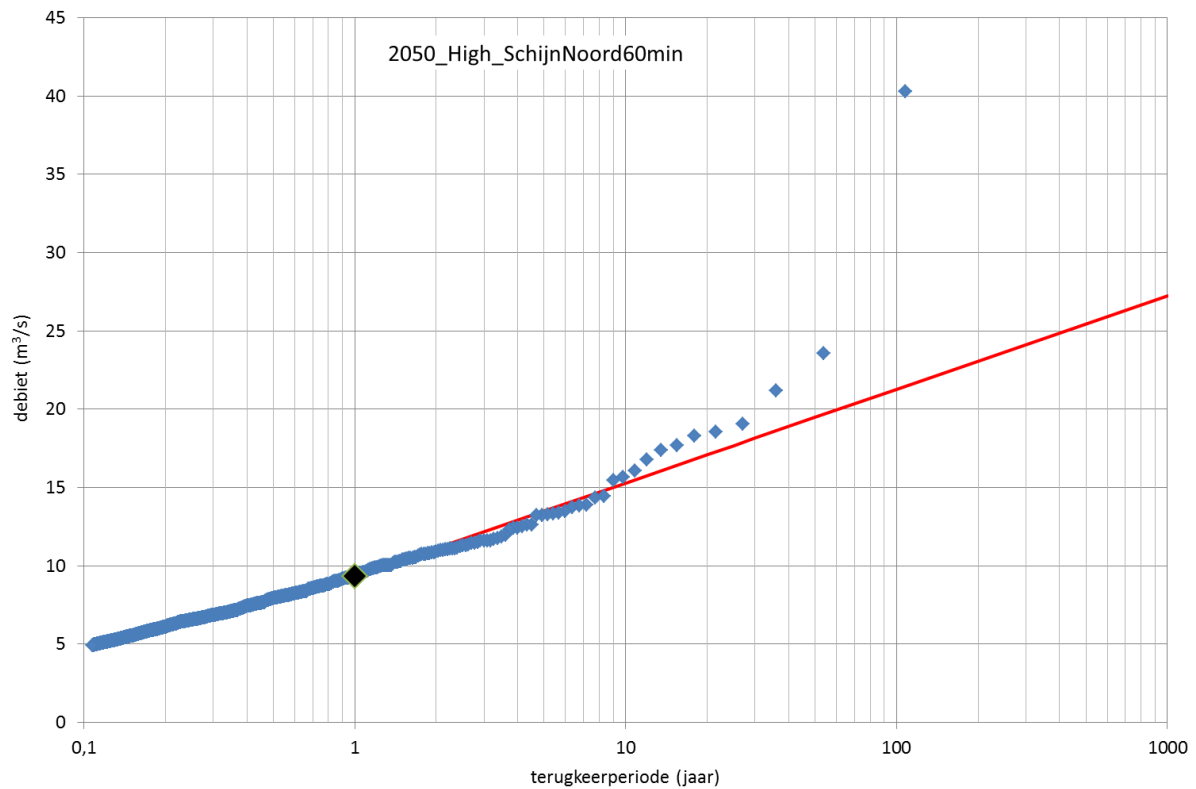
C.1 PDM Schijn Noord uurgemiddeld

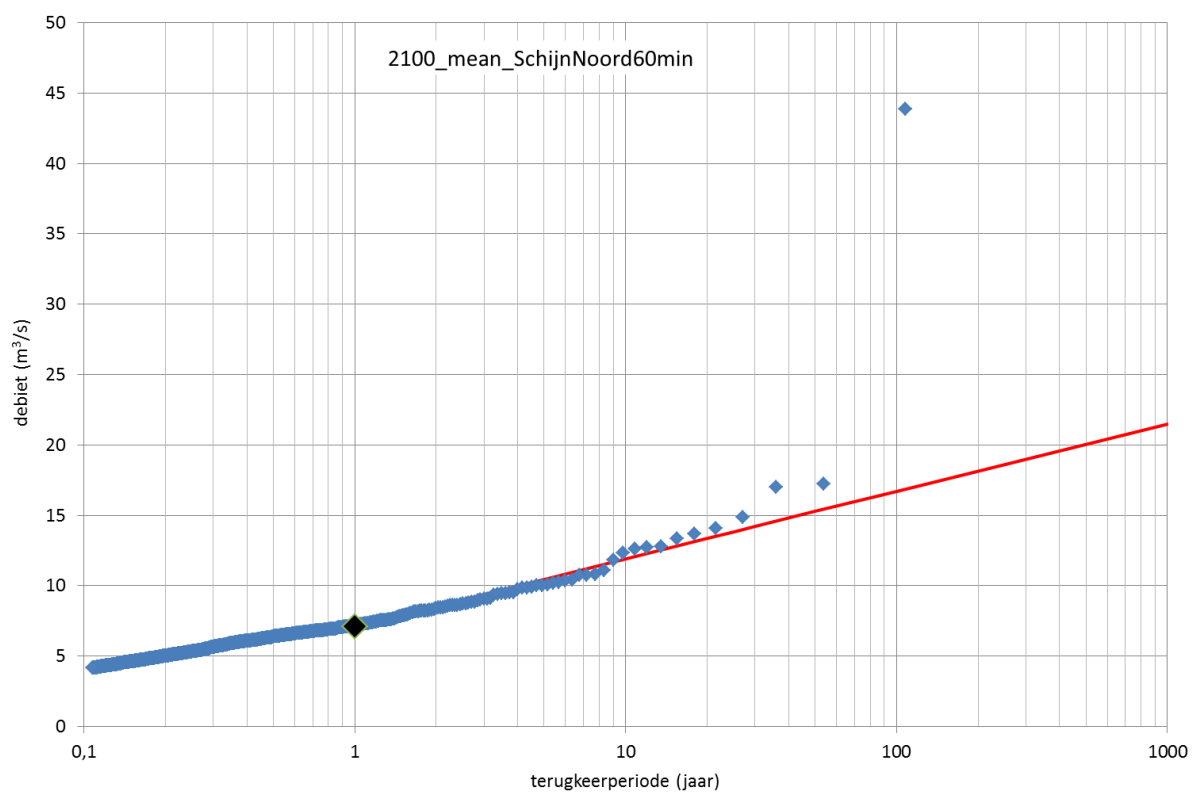
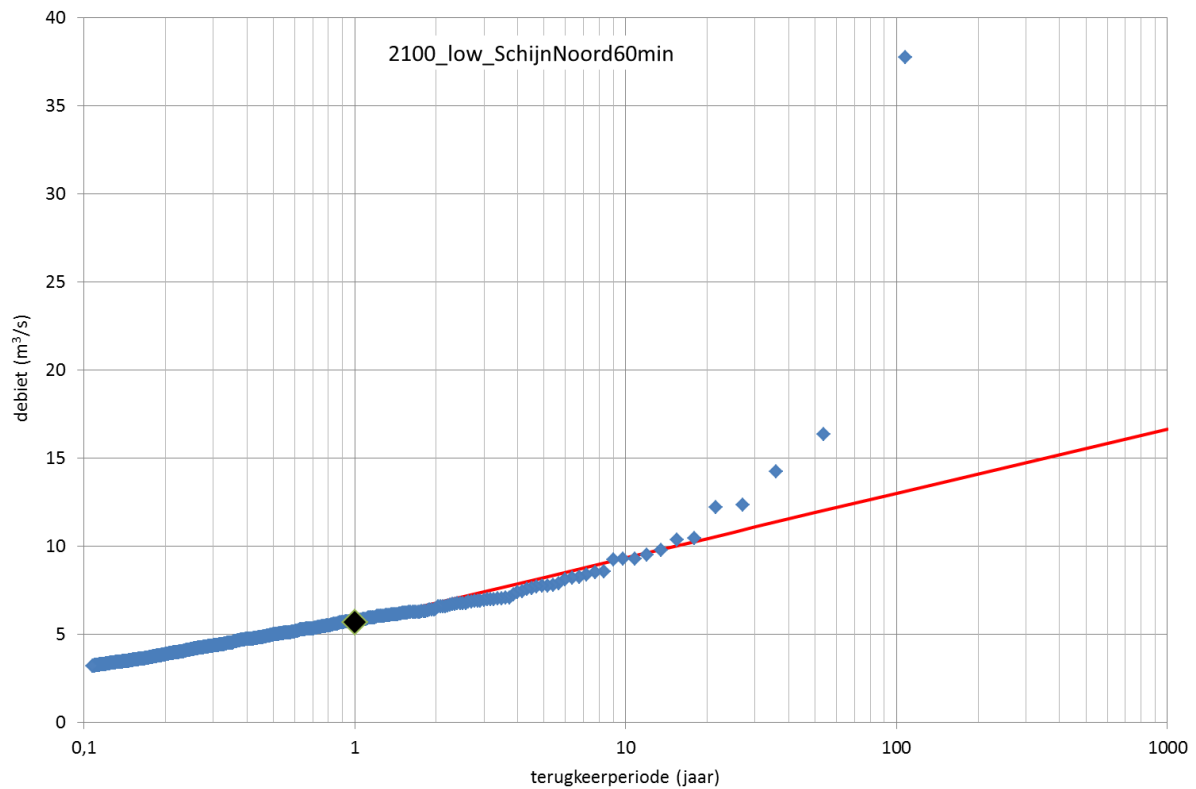


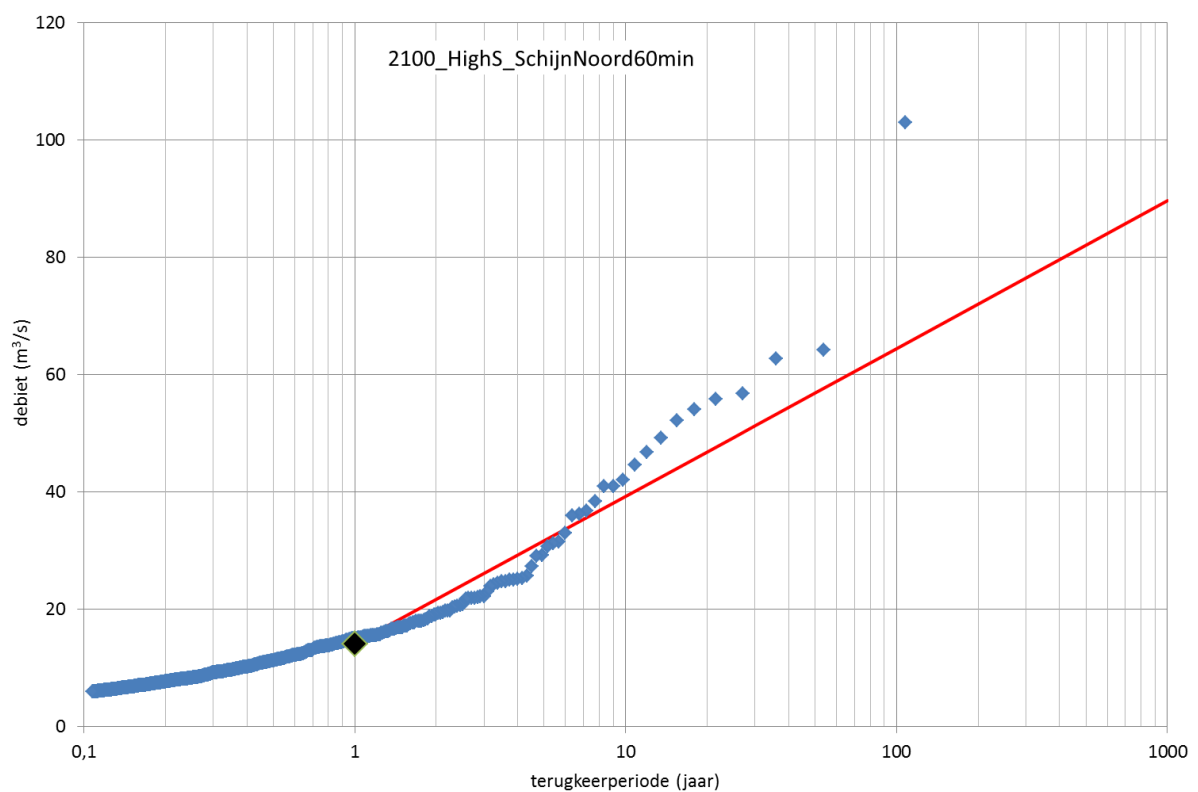
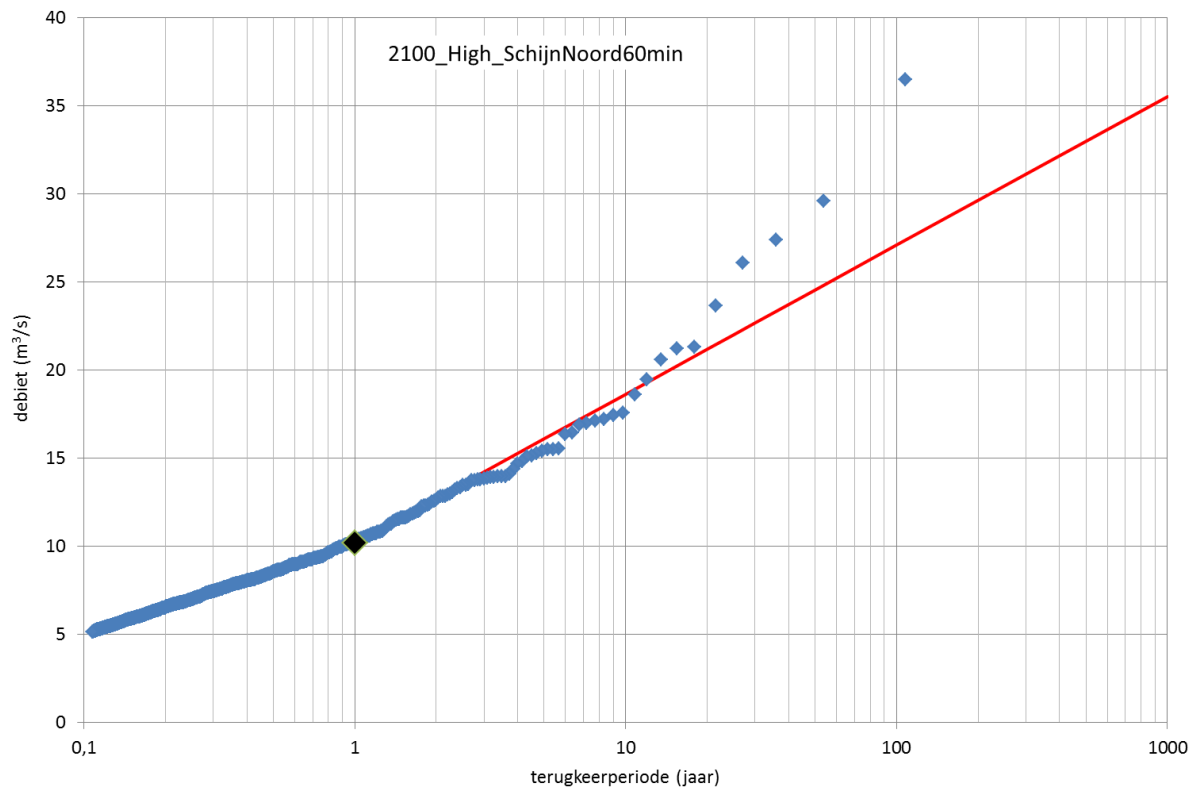


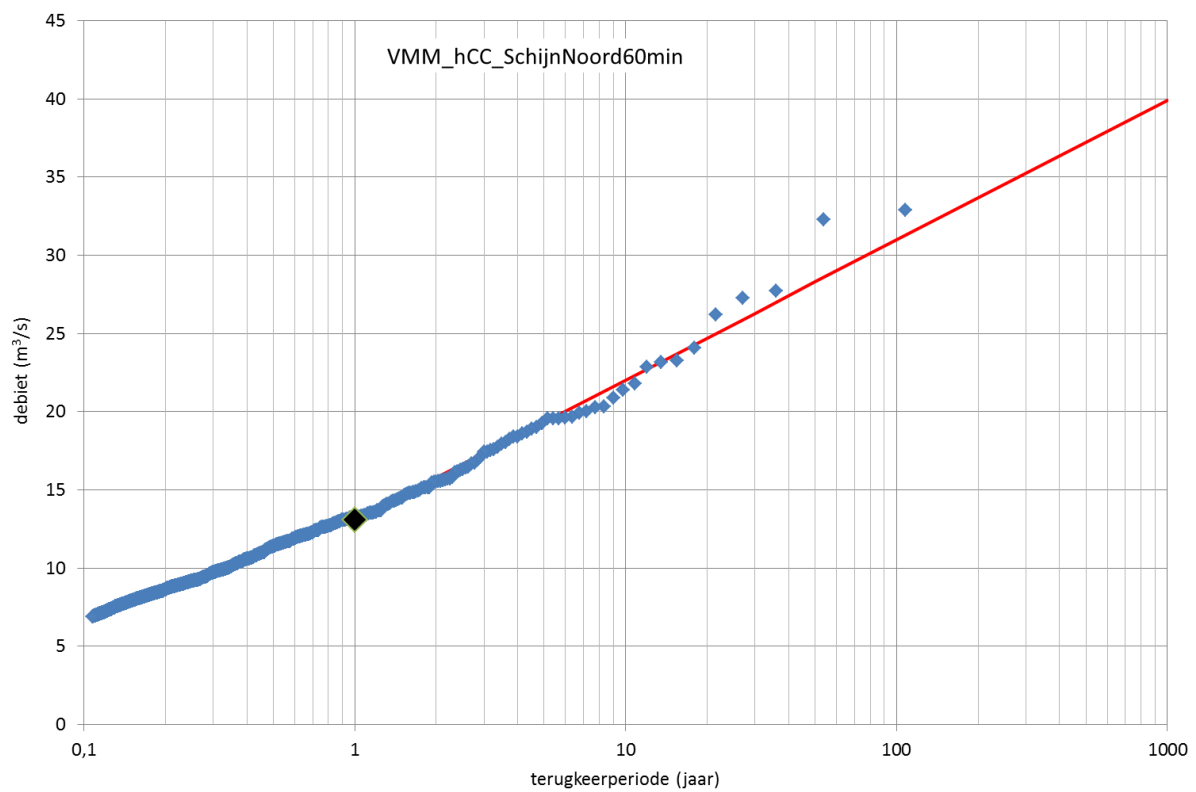
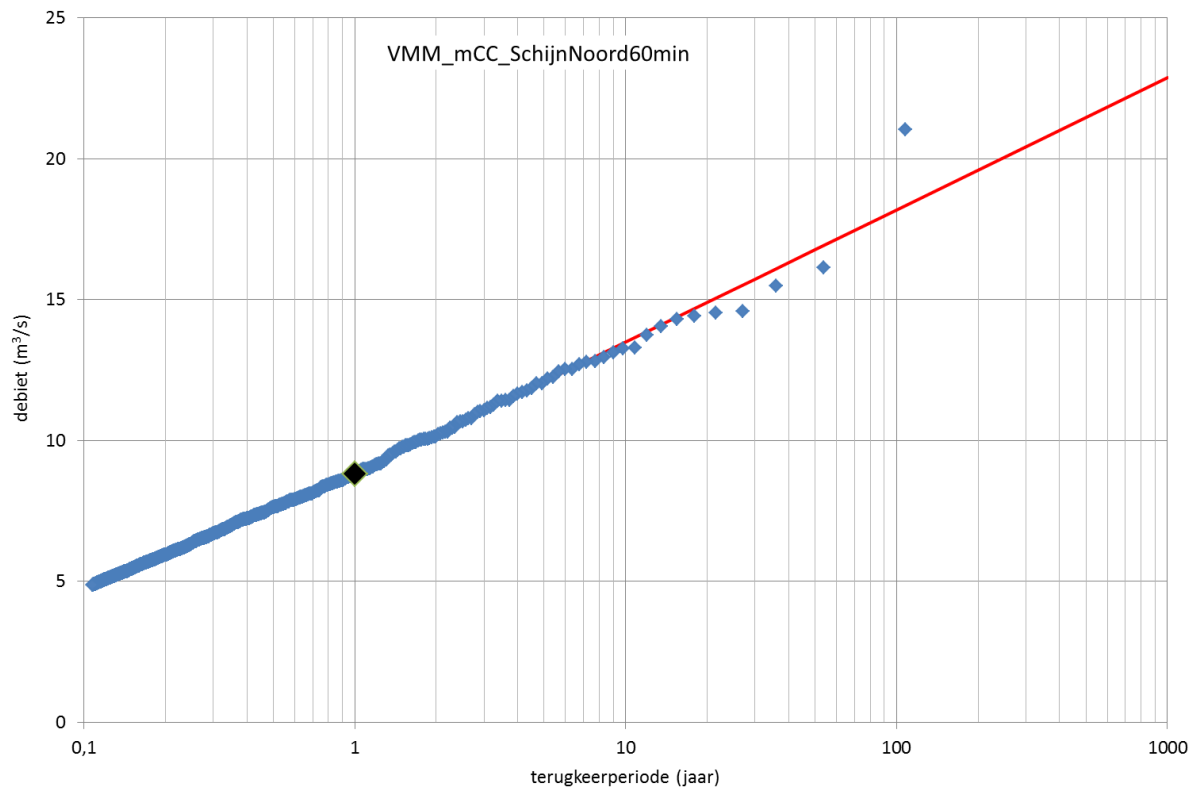




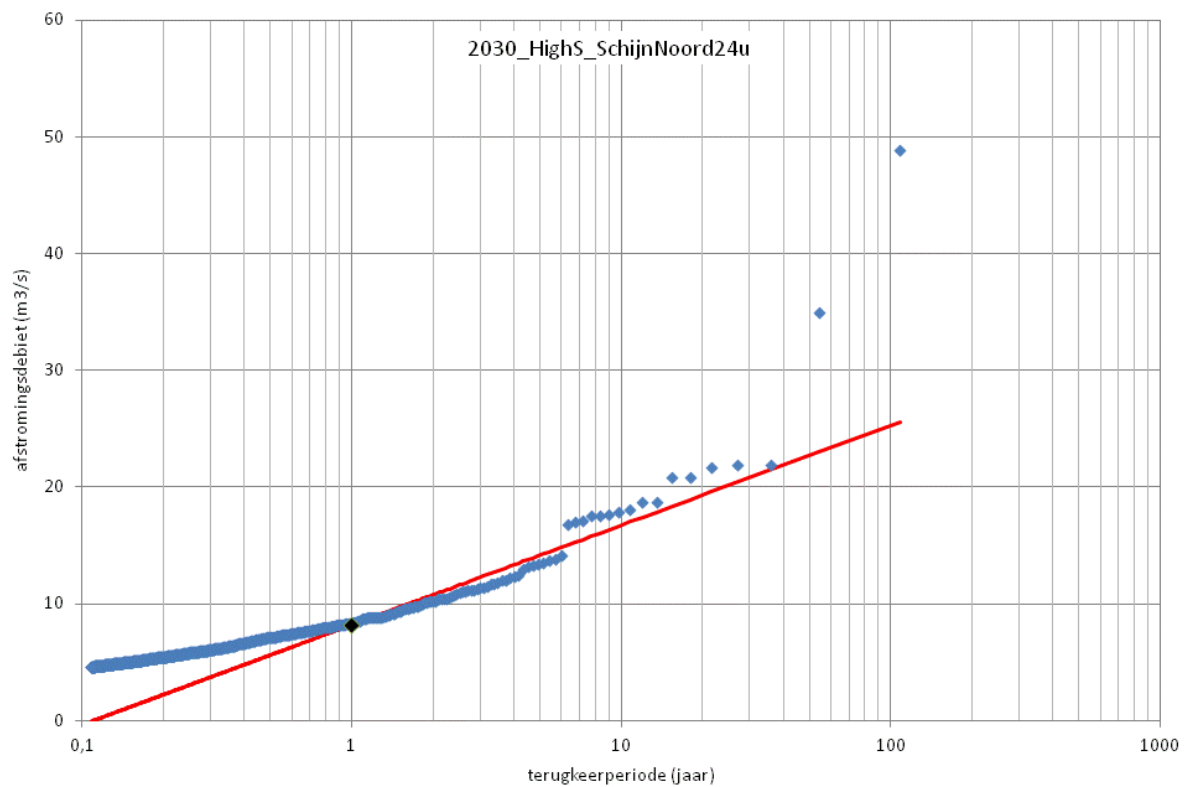
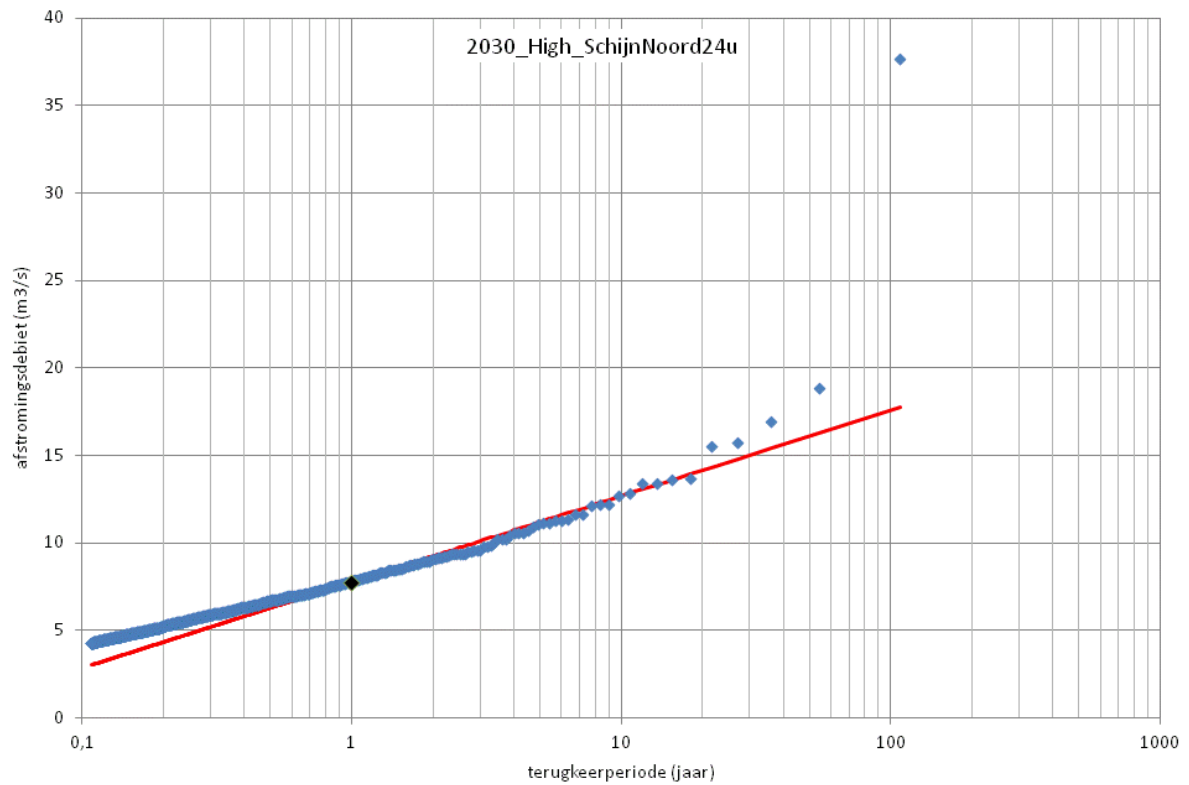


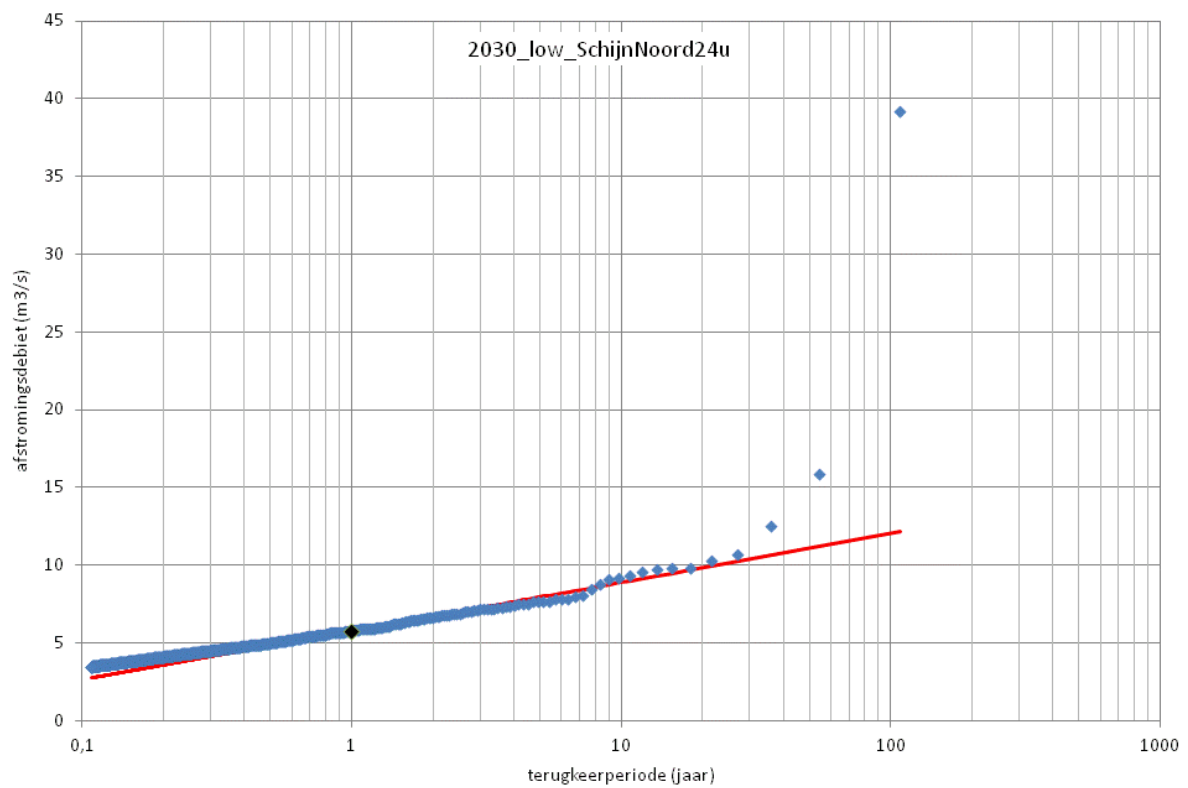
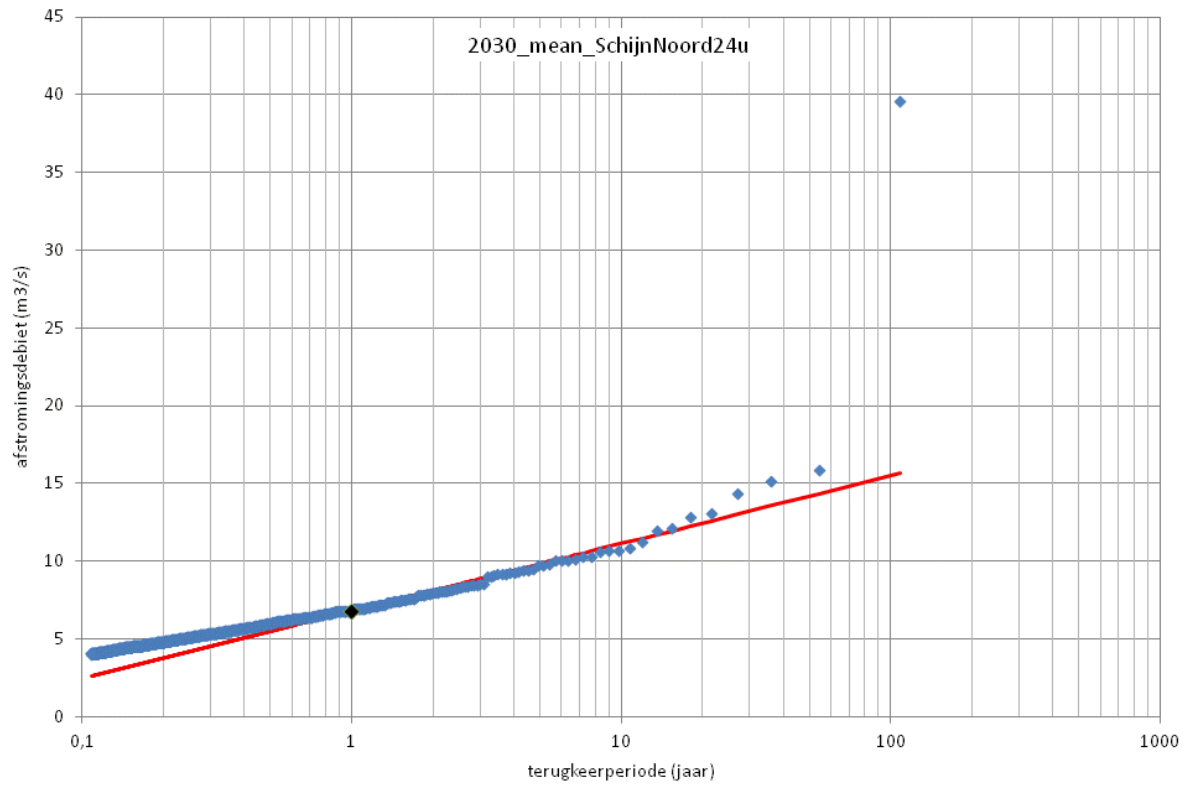


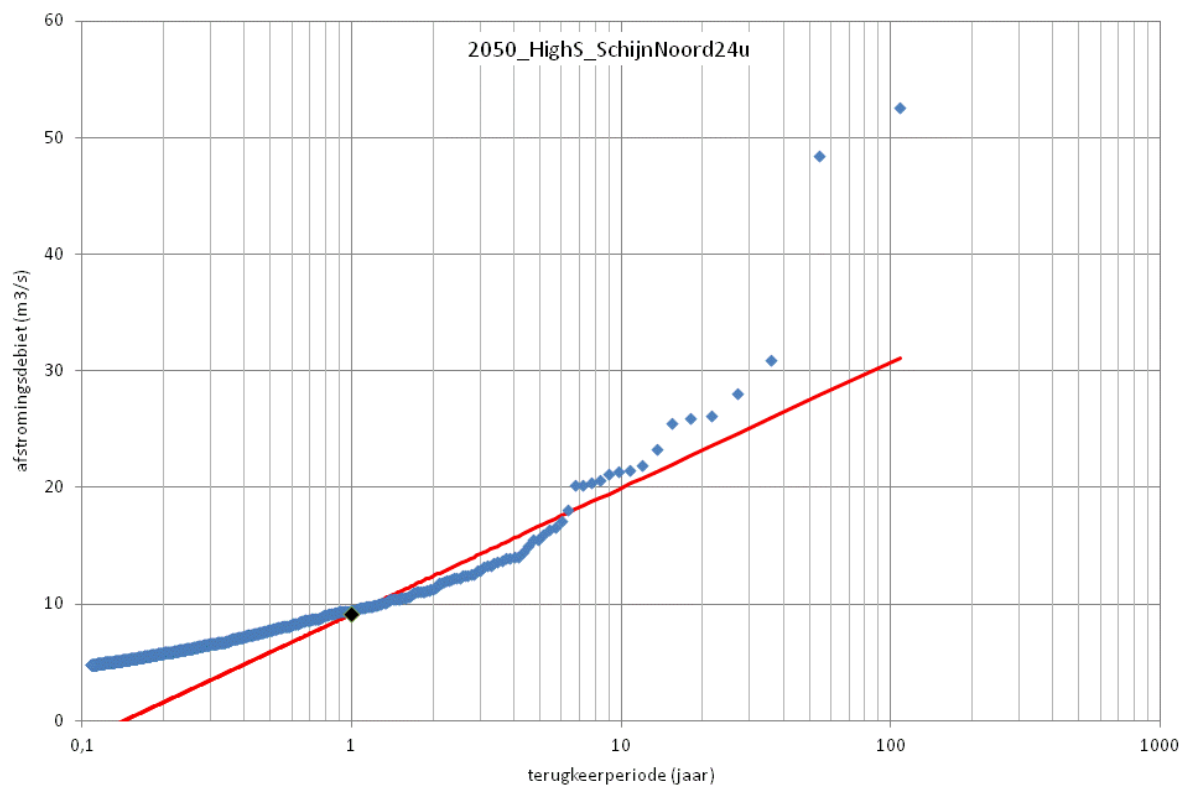
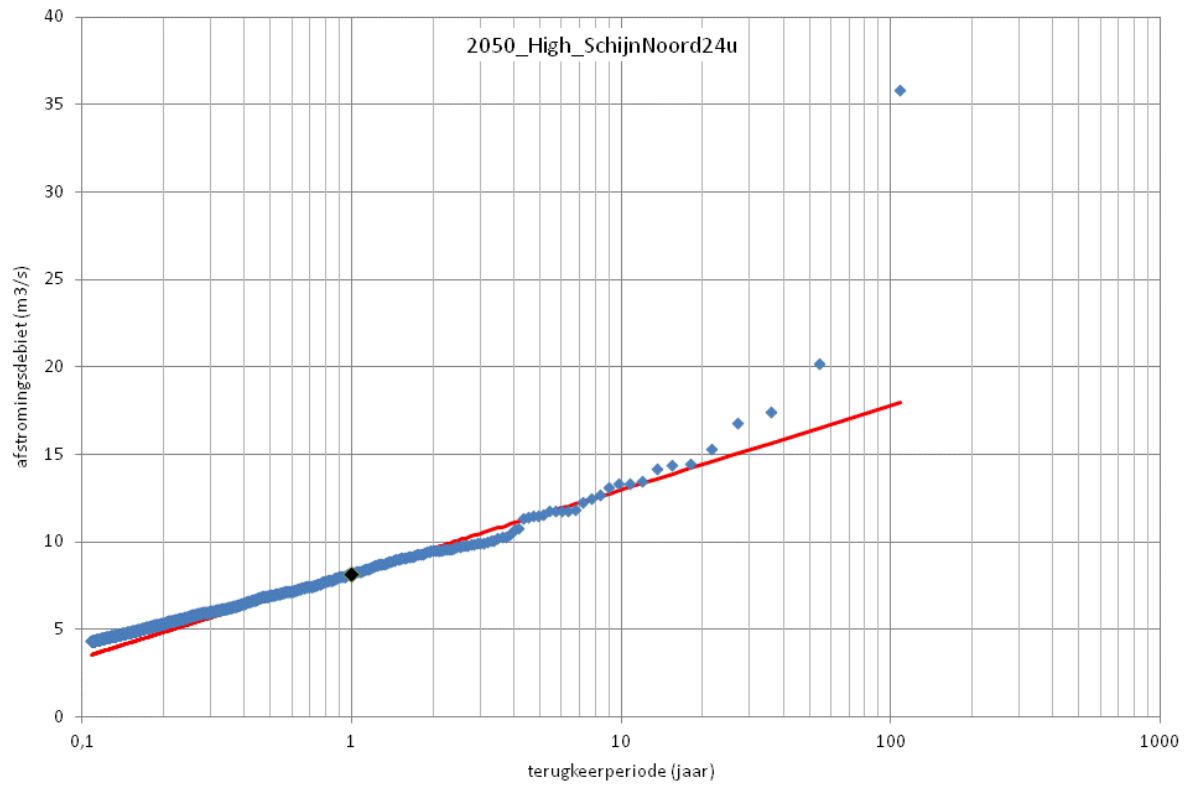


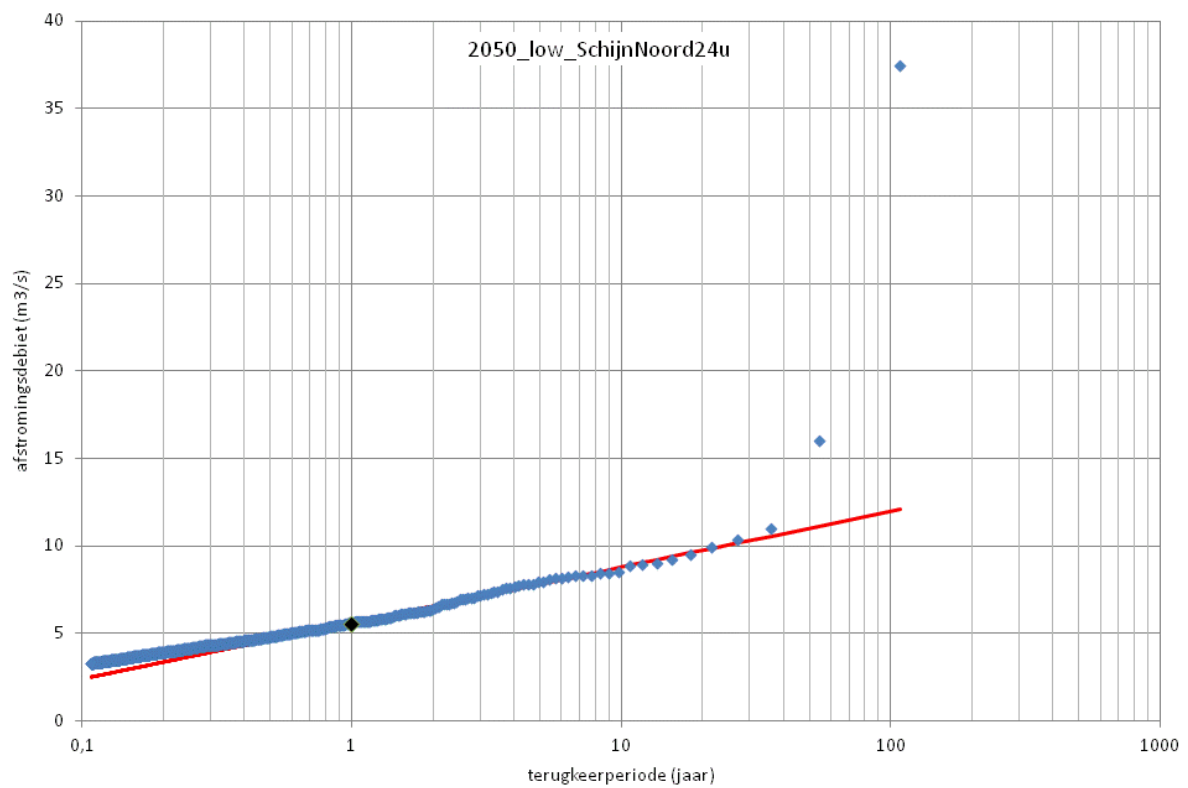
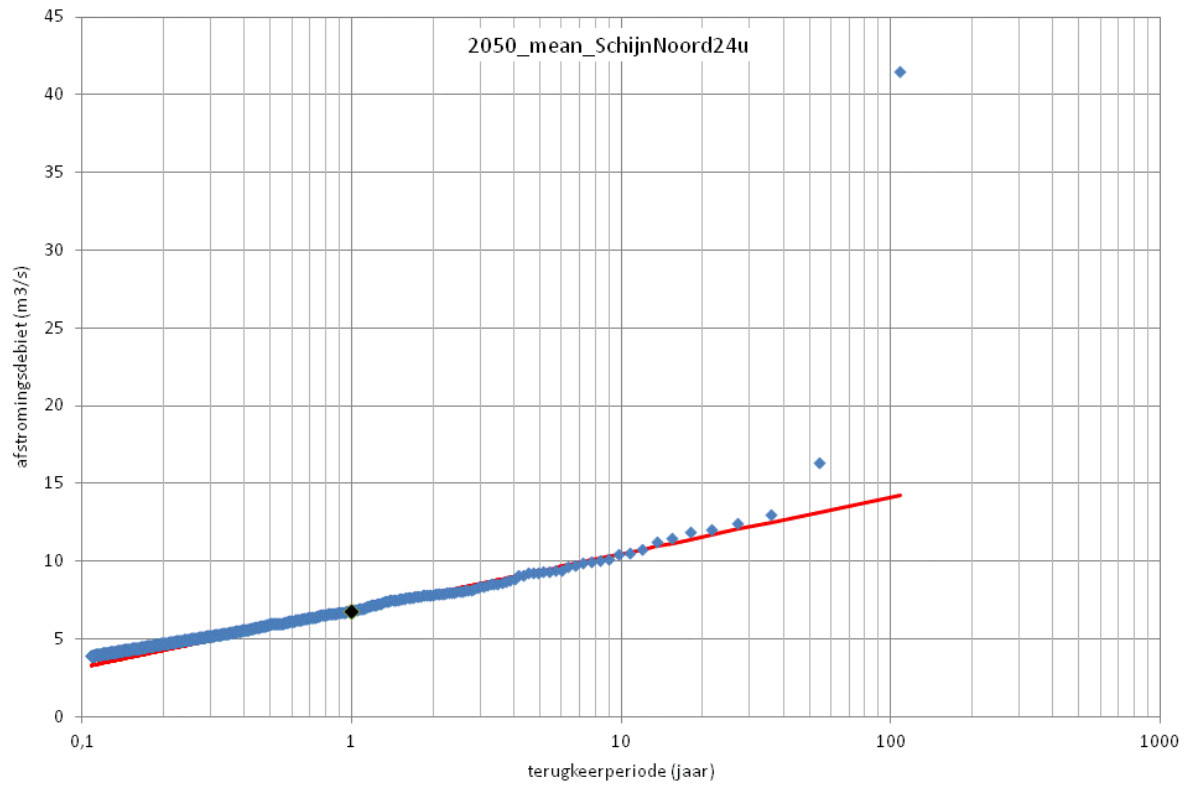


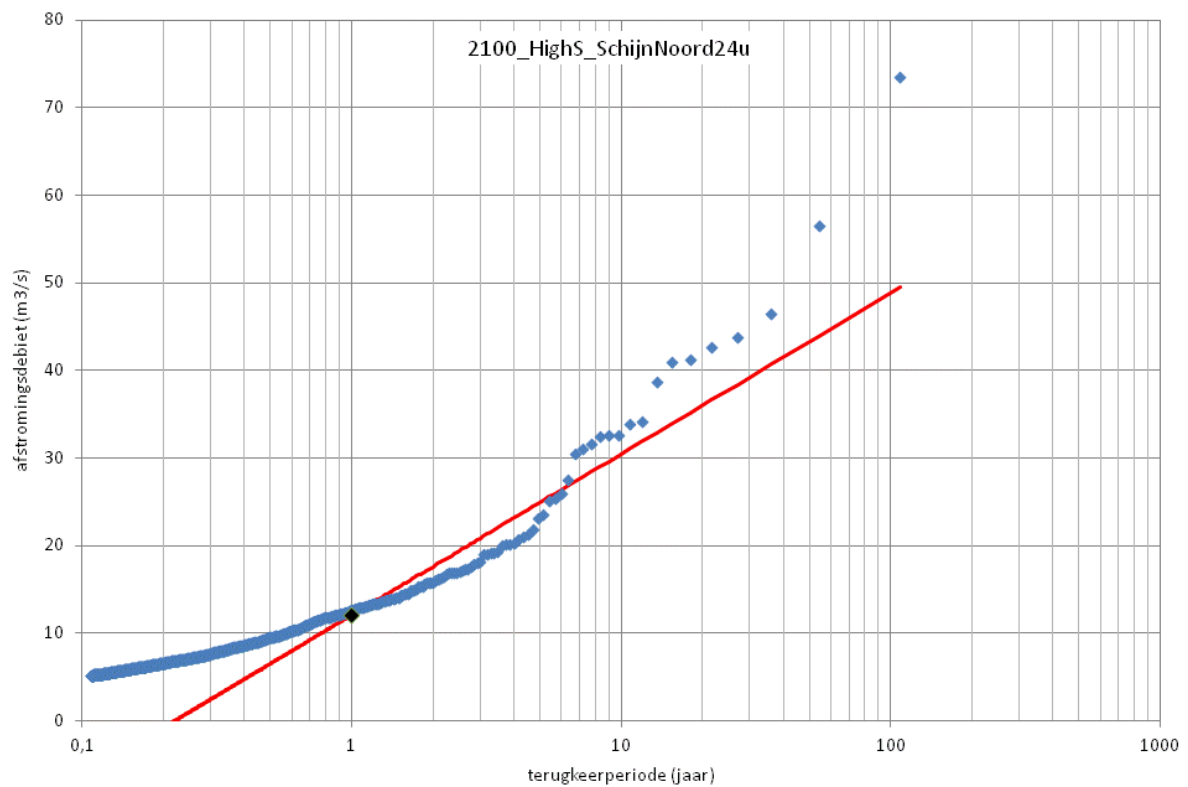
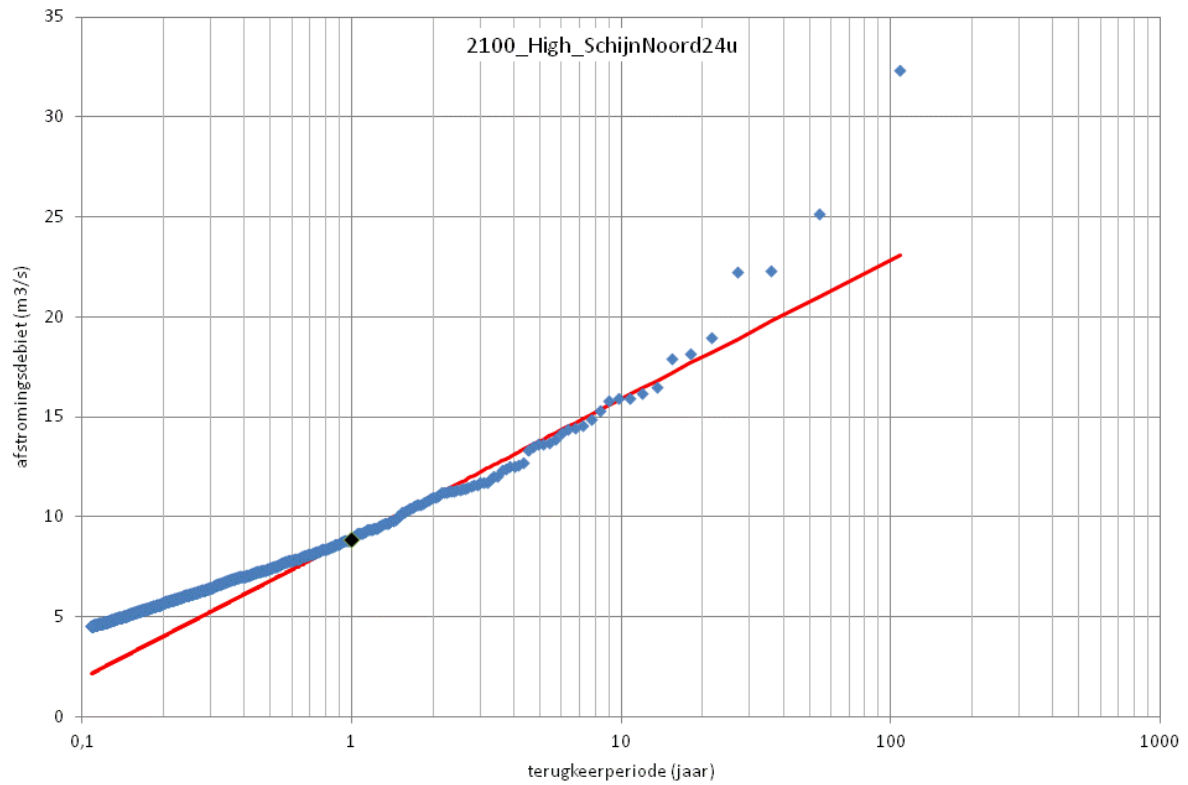
C.2 PDM Schijn Noord daggemiddeld

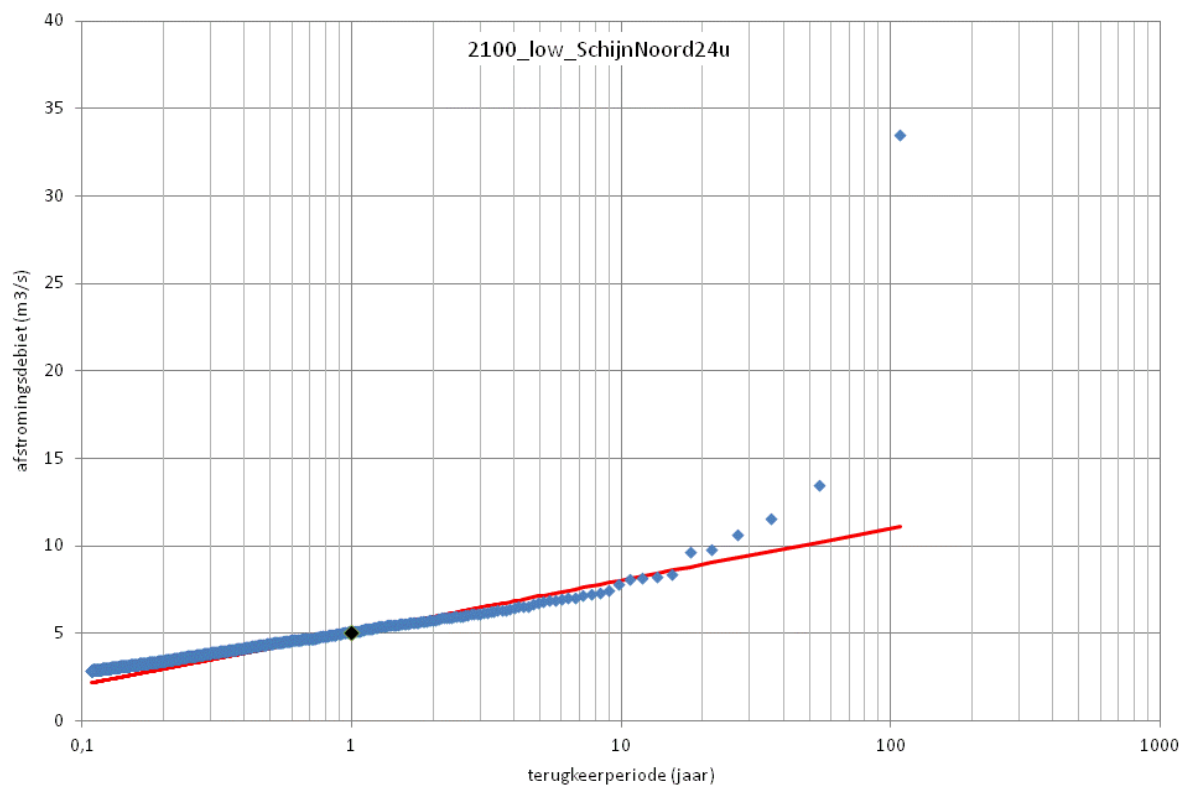
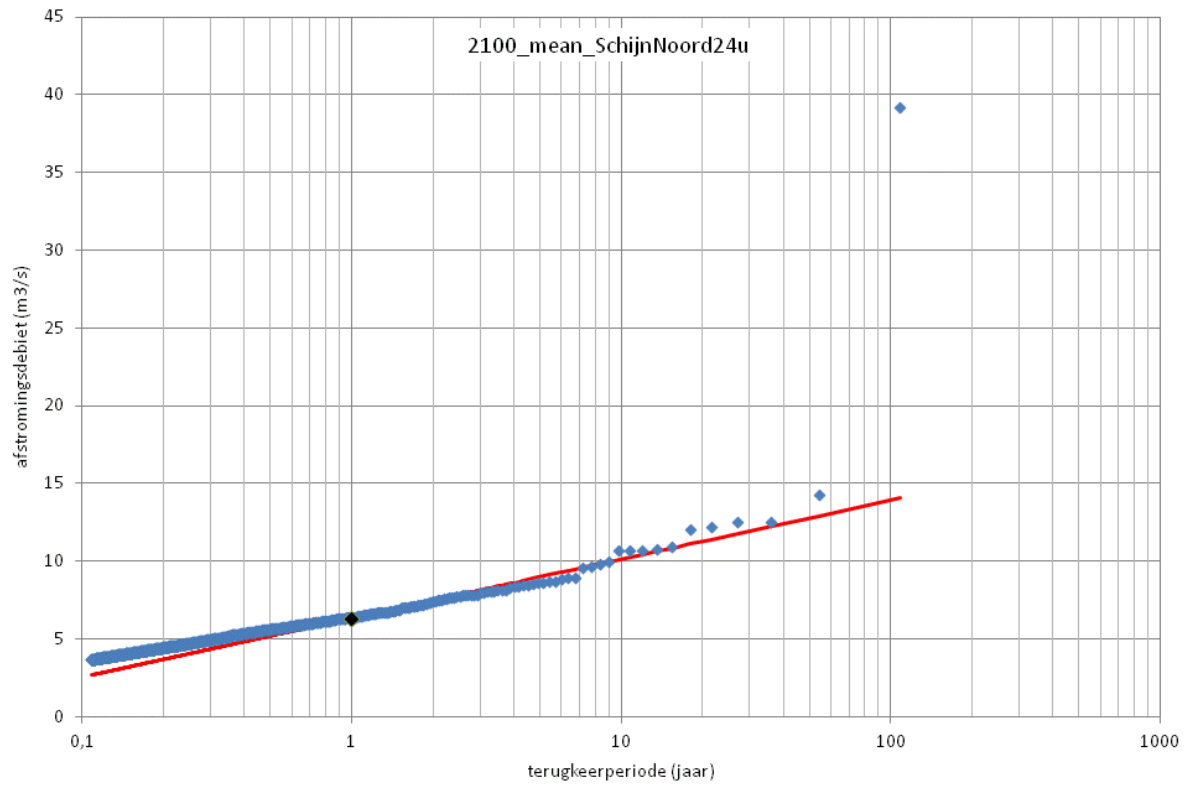


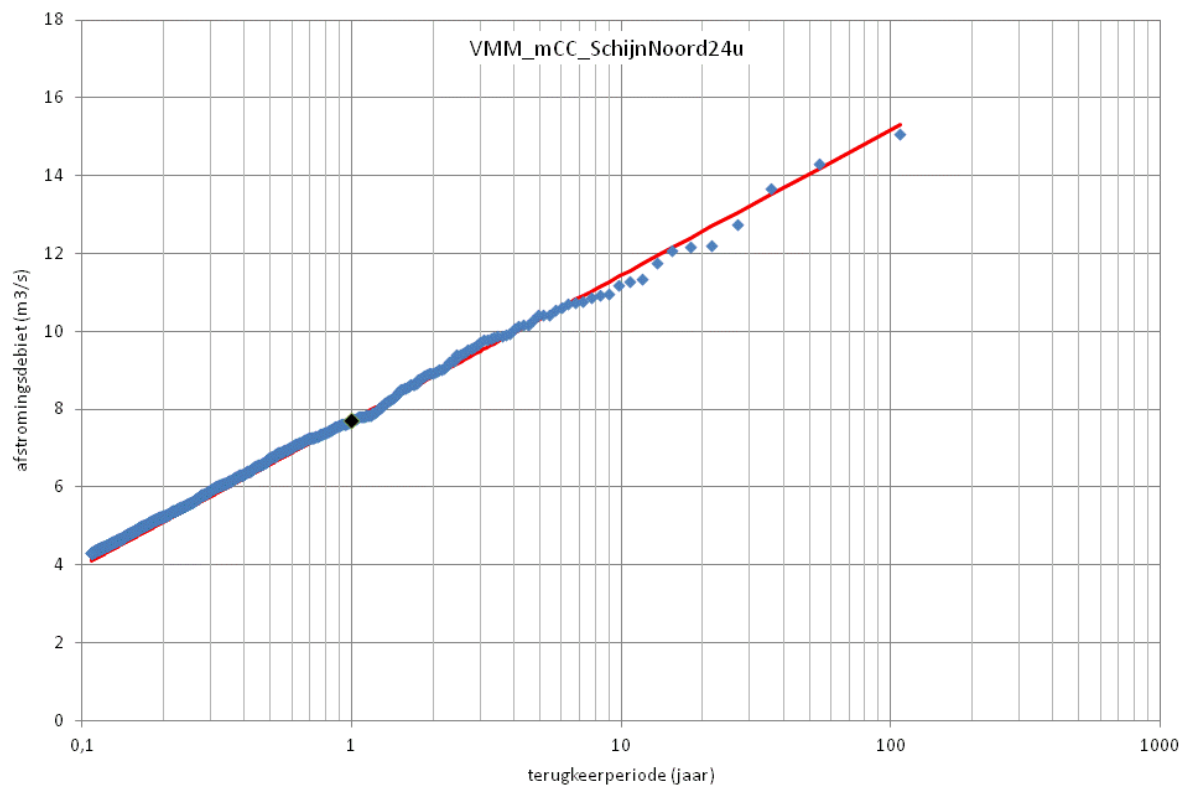
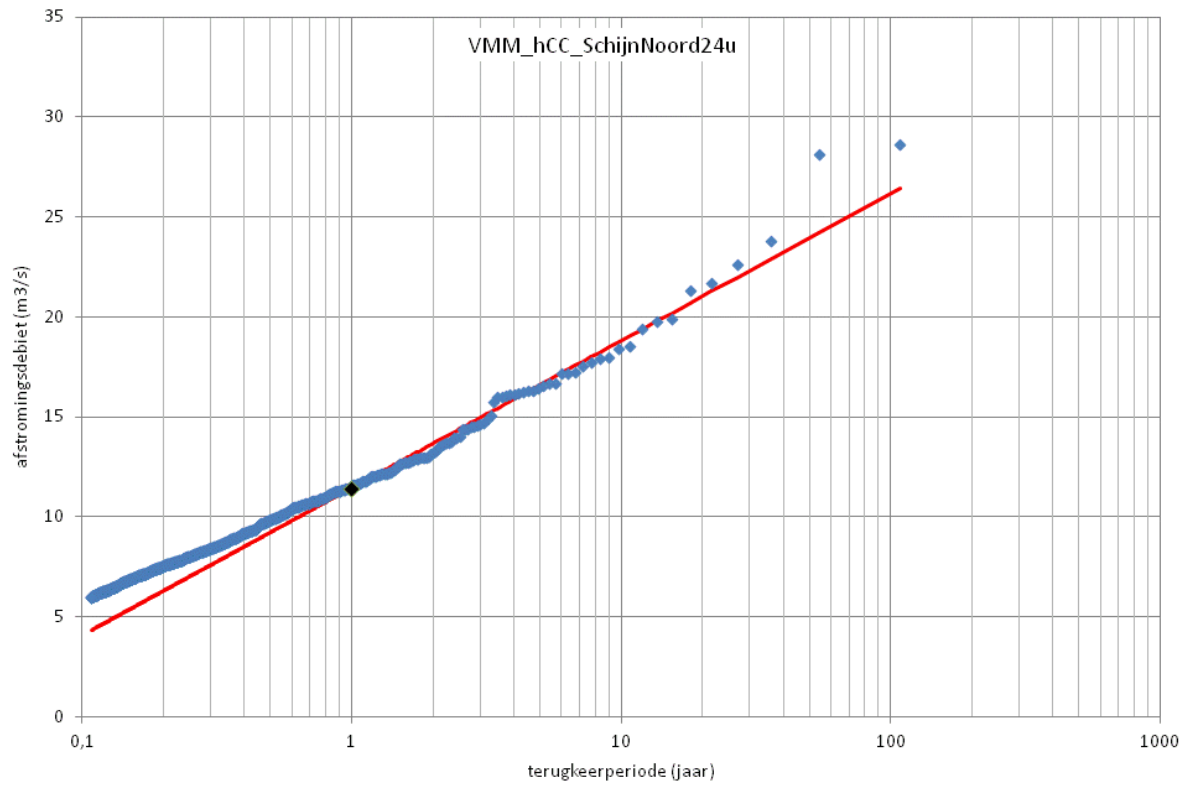


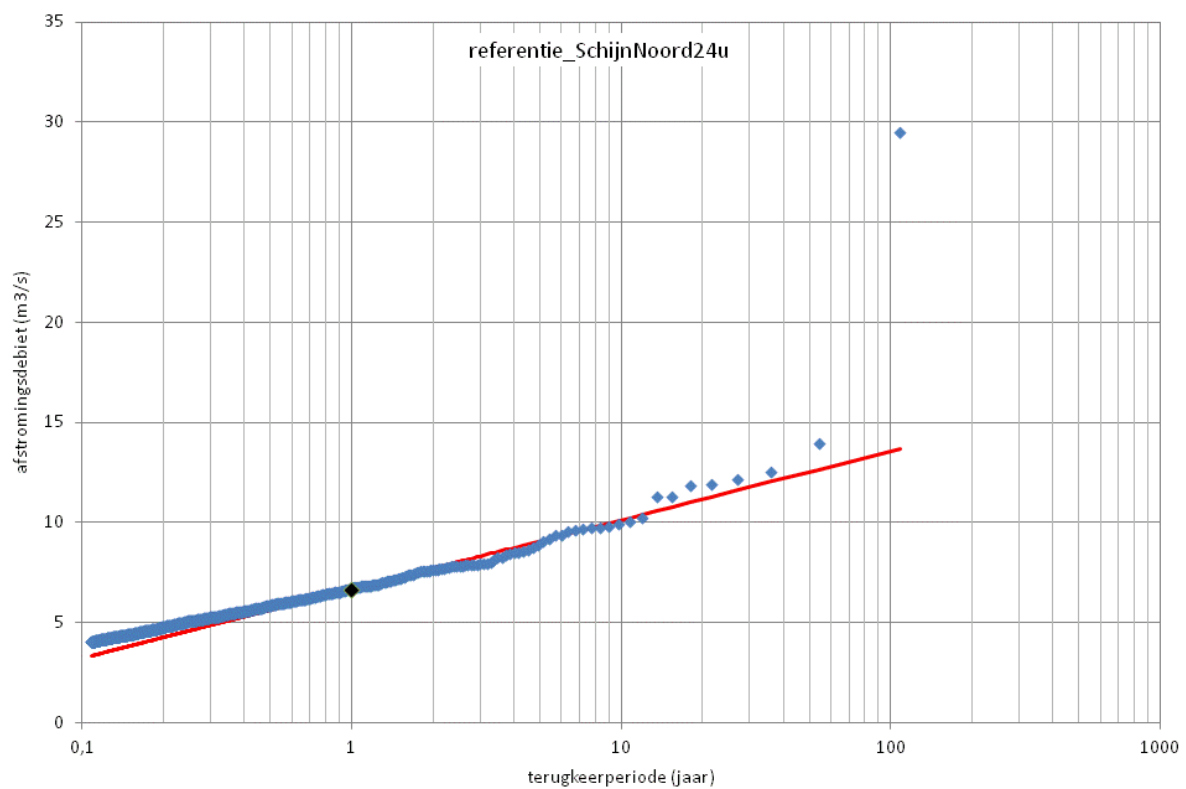
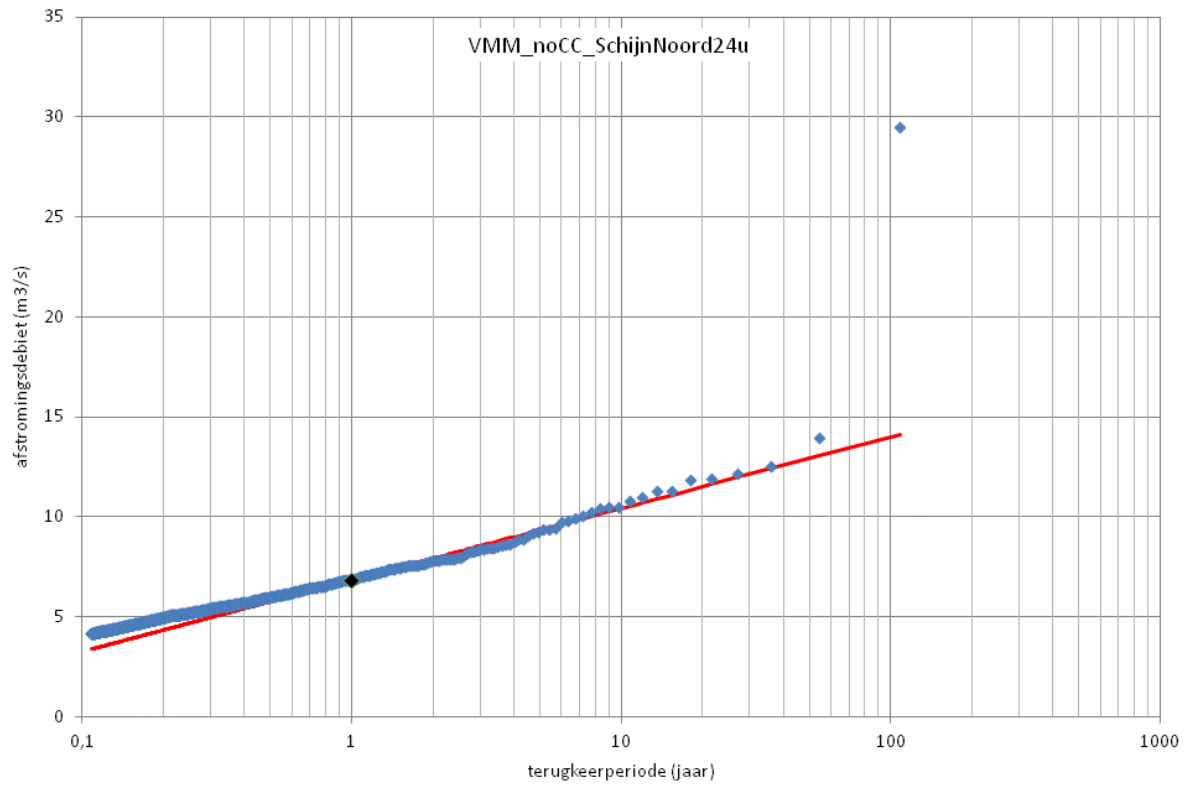




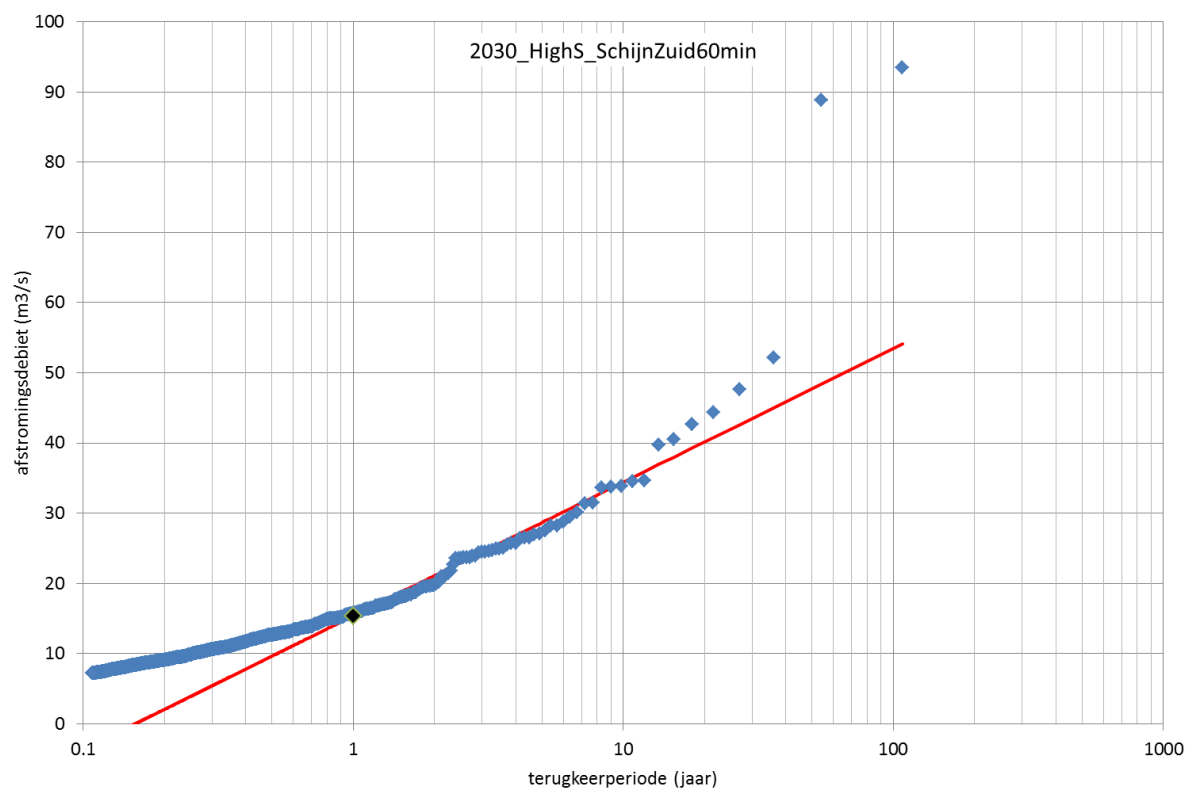
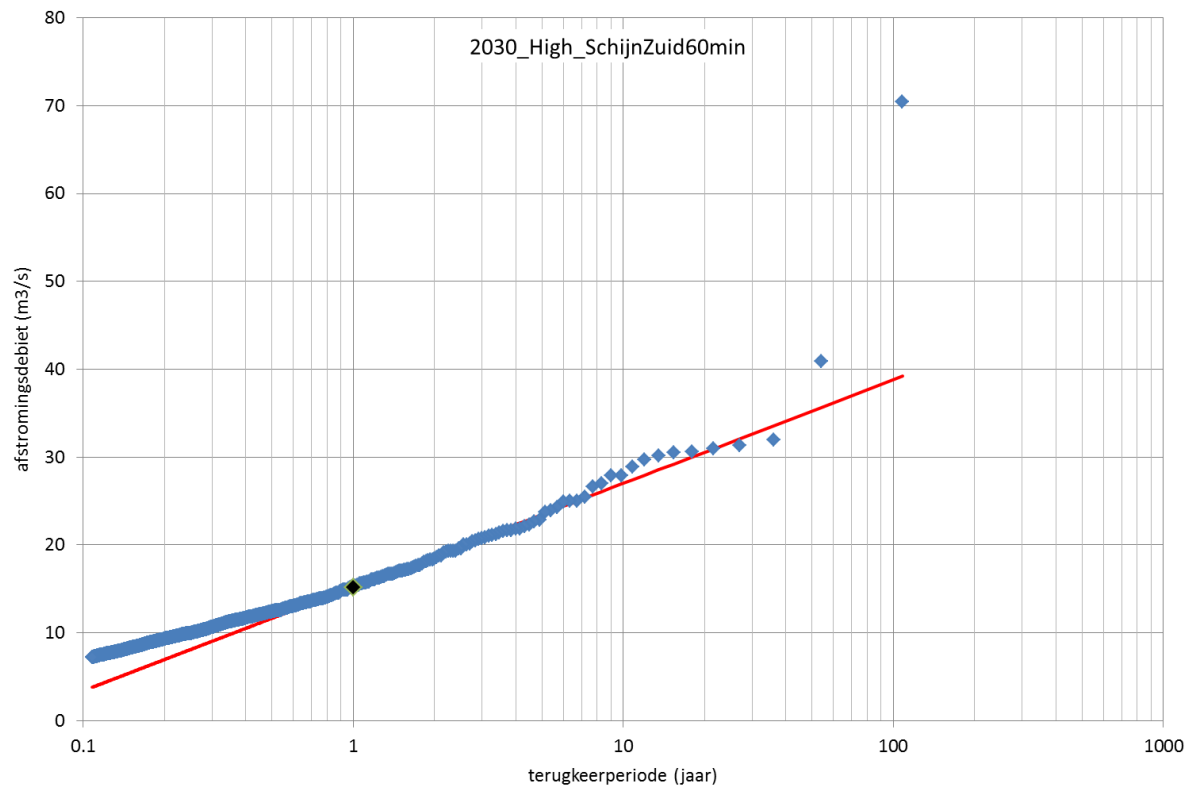


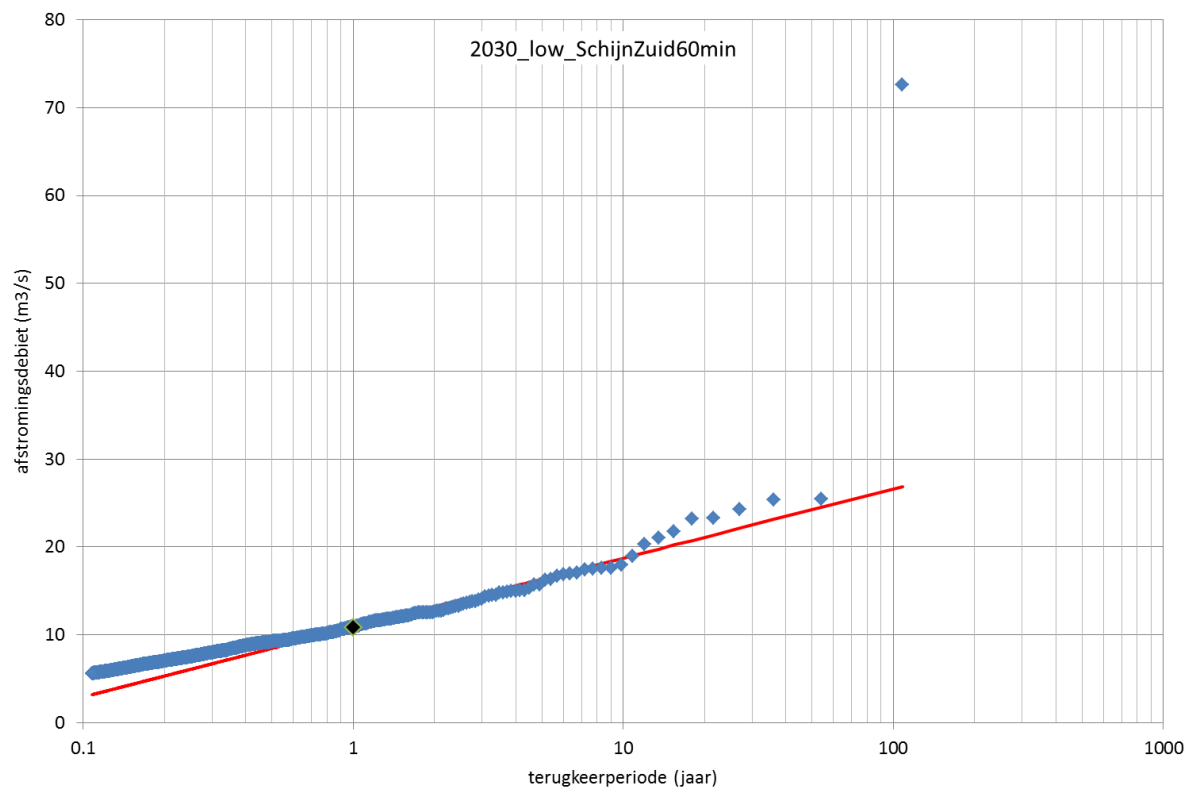
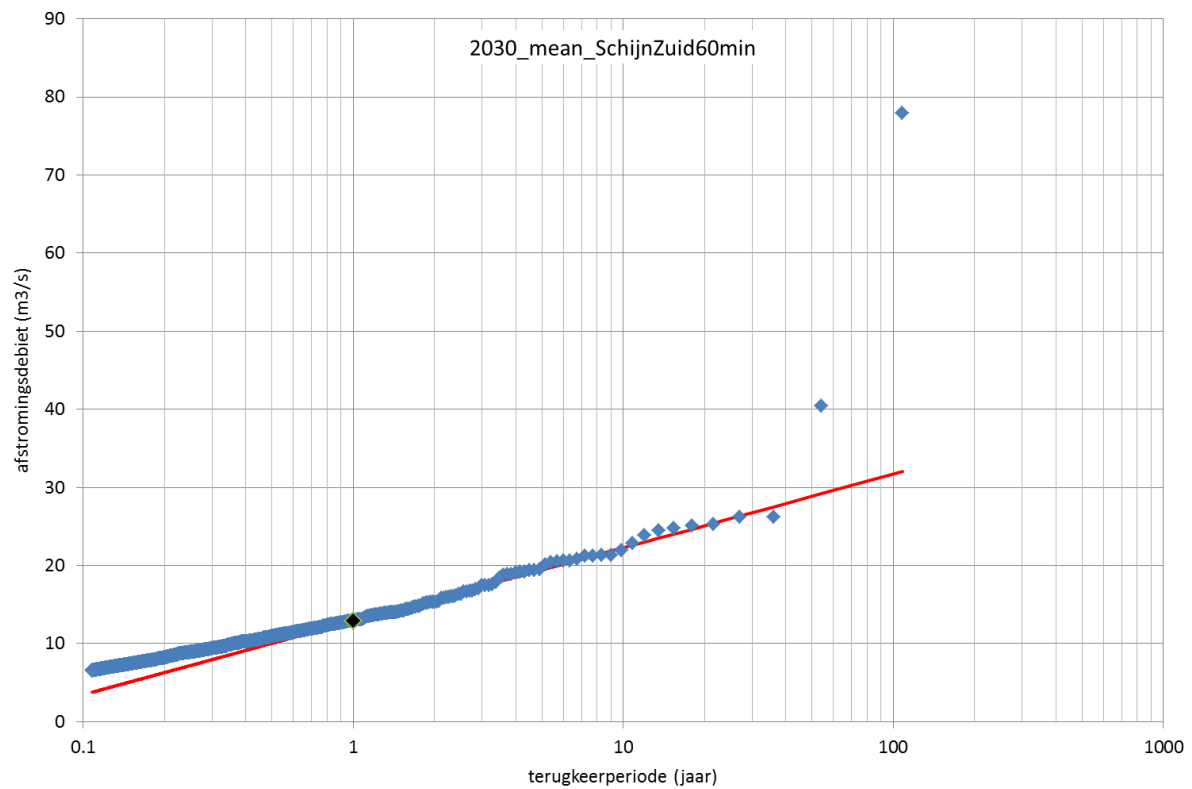


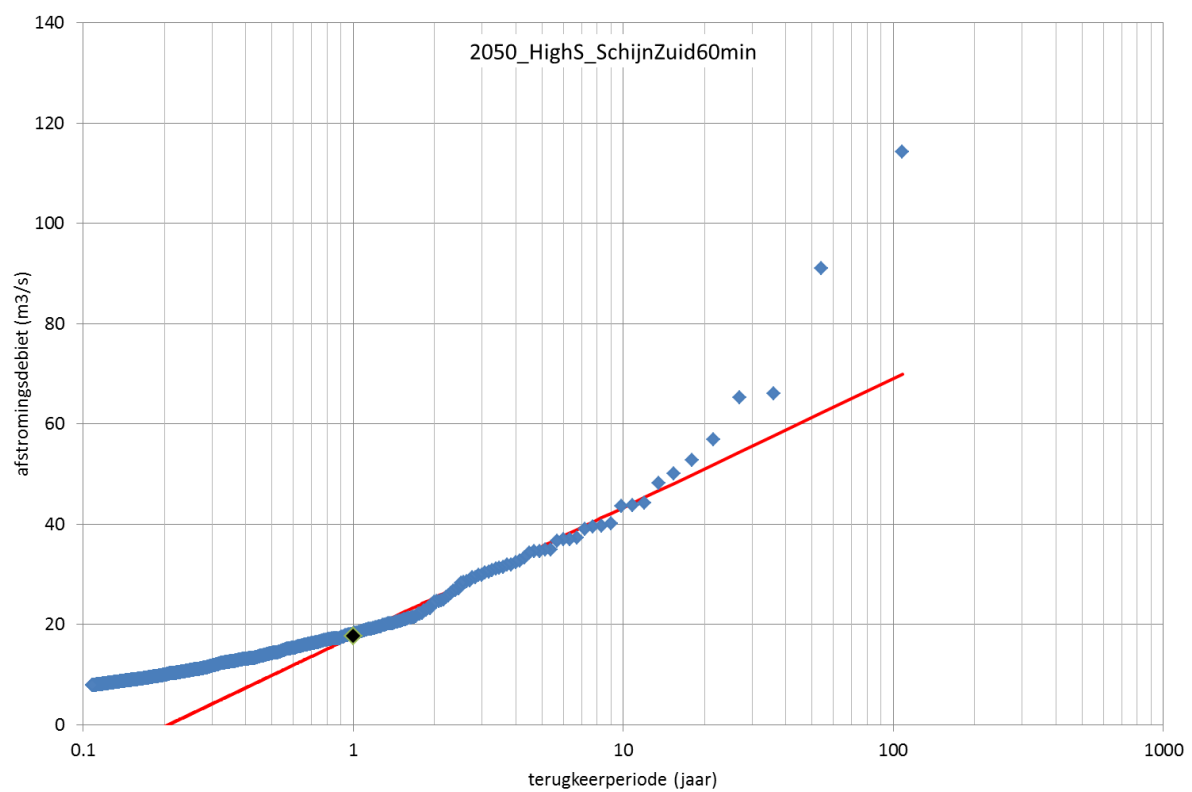
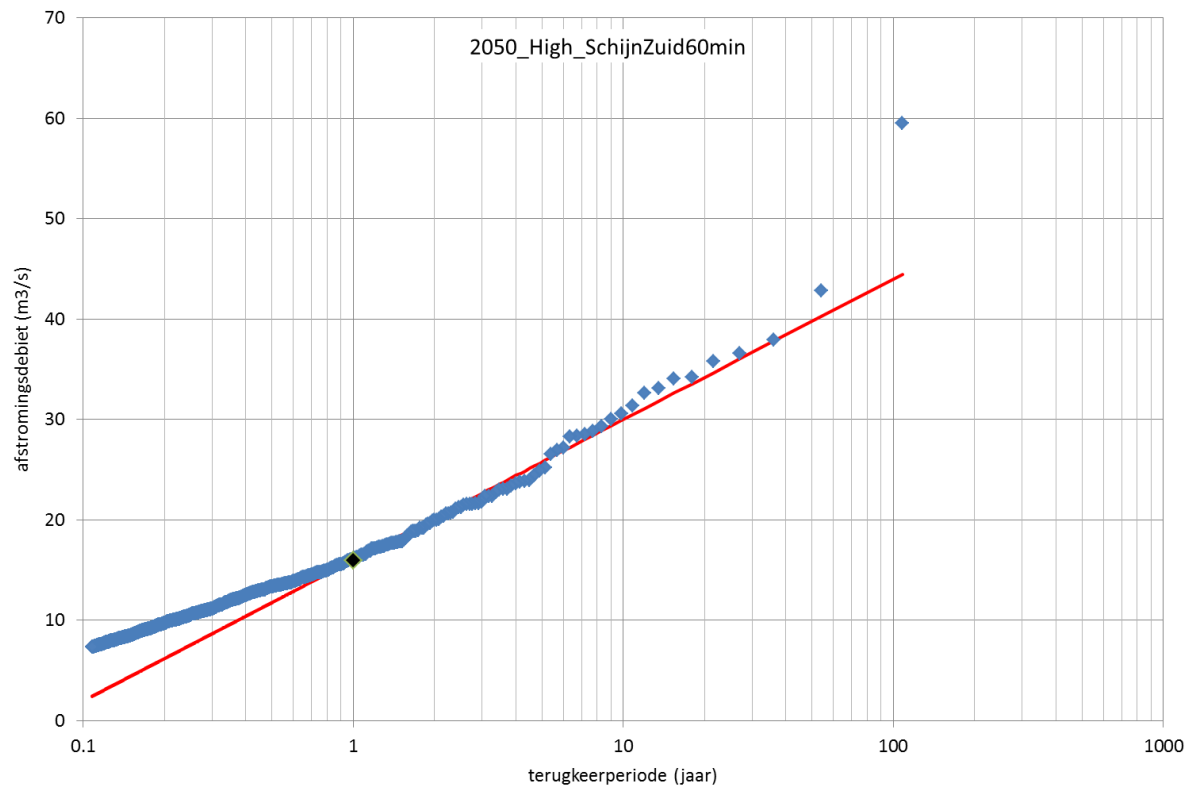


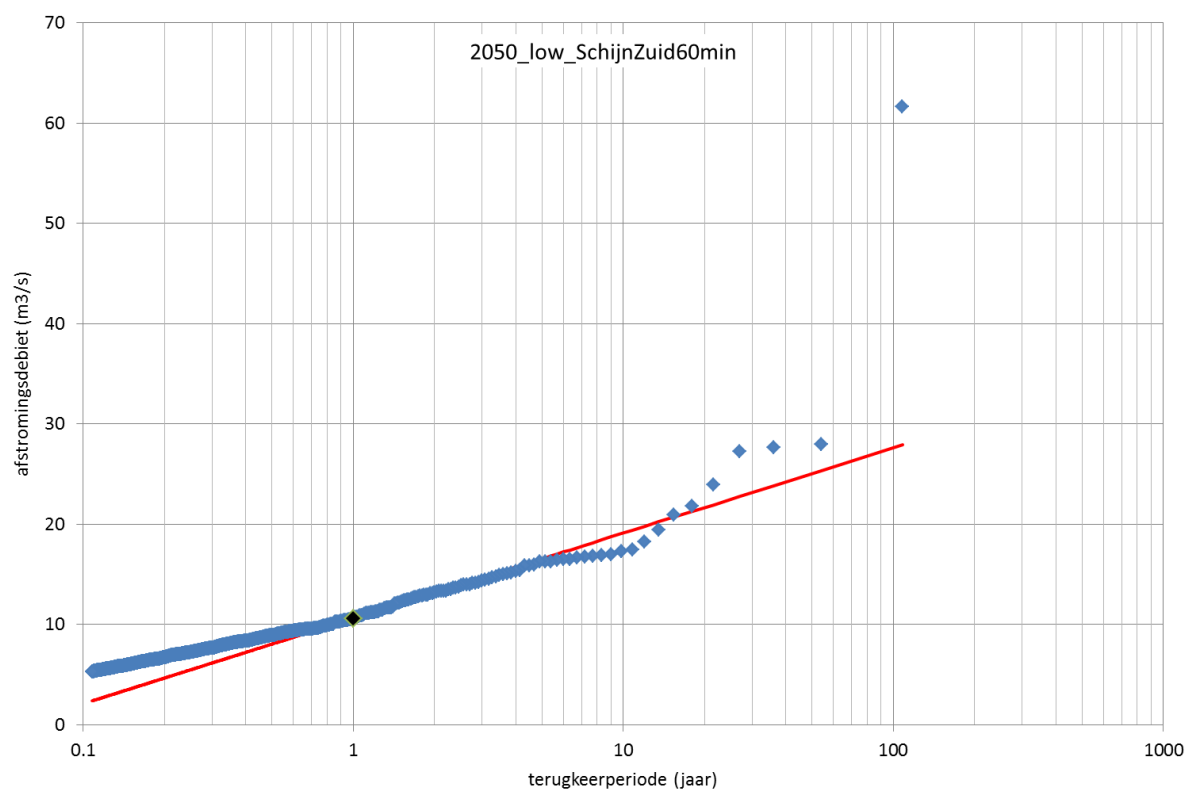
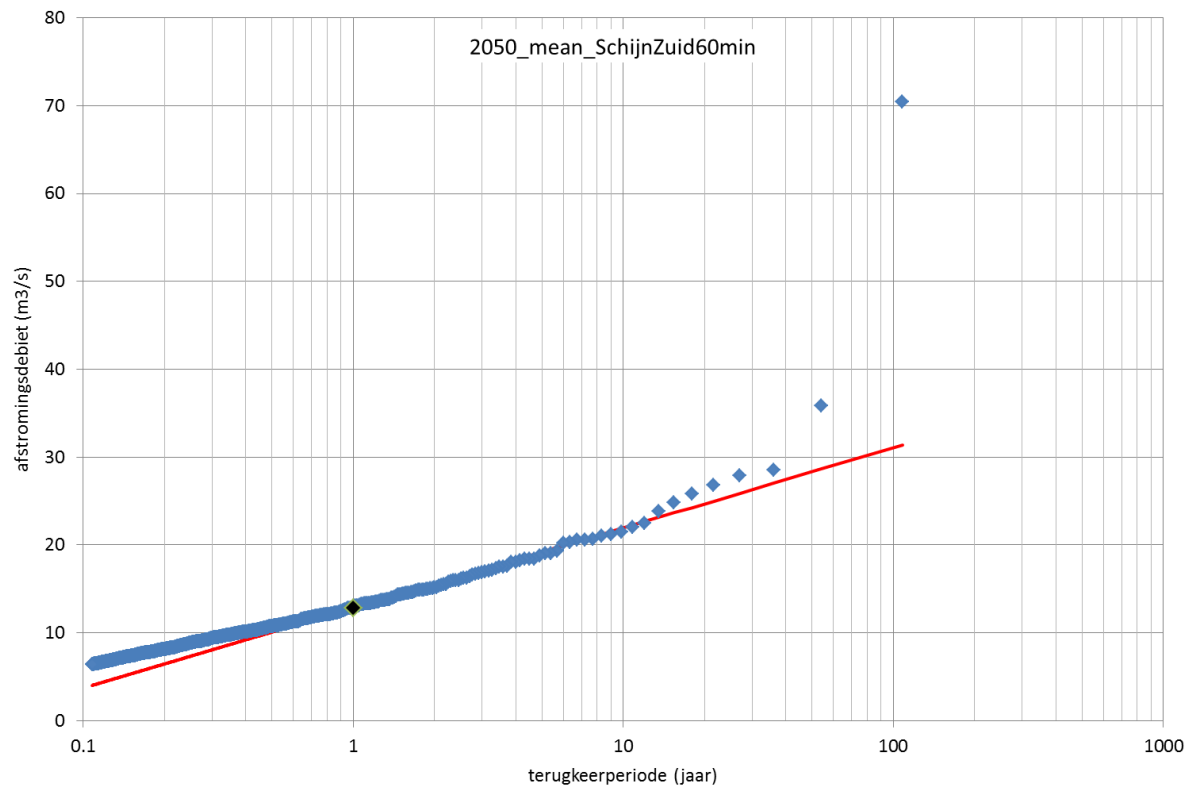


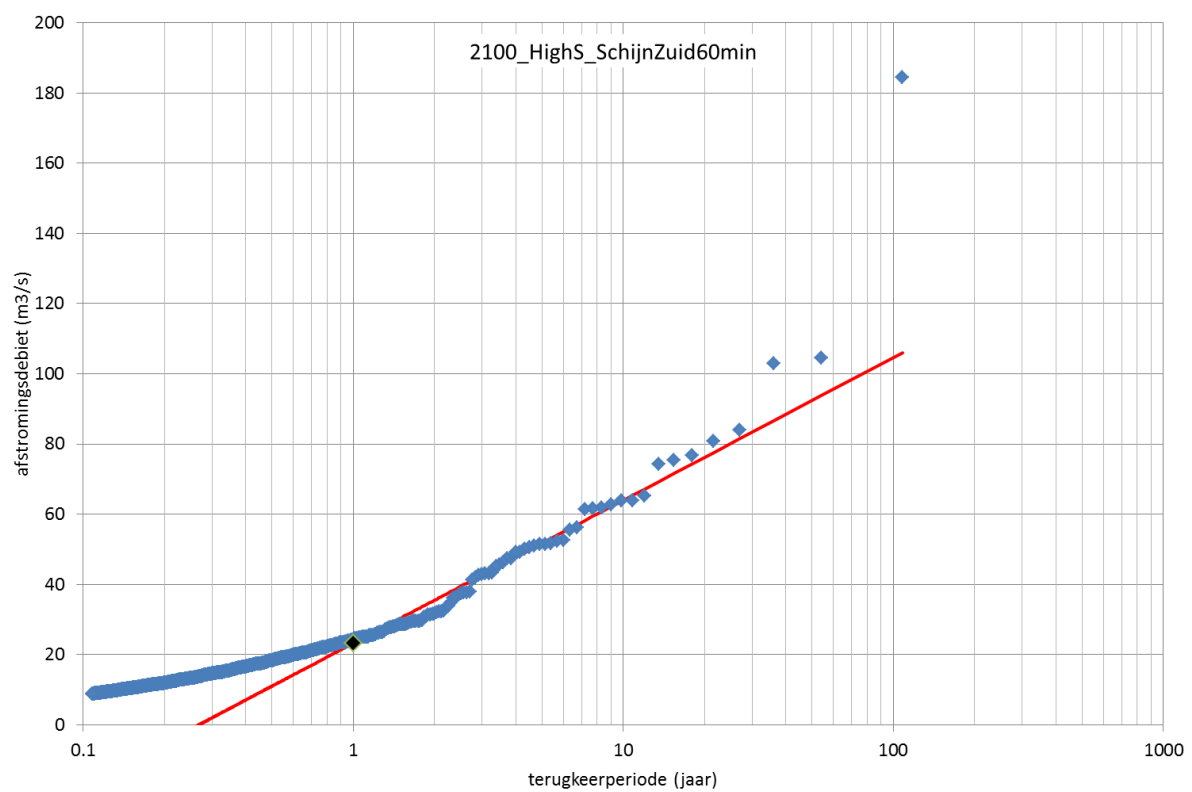
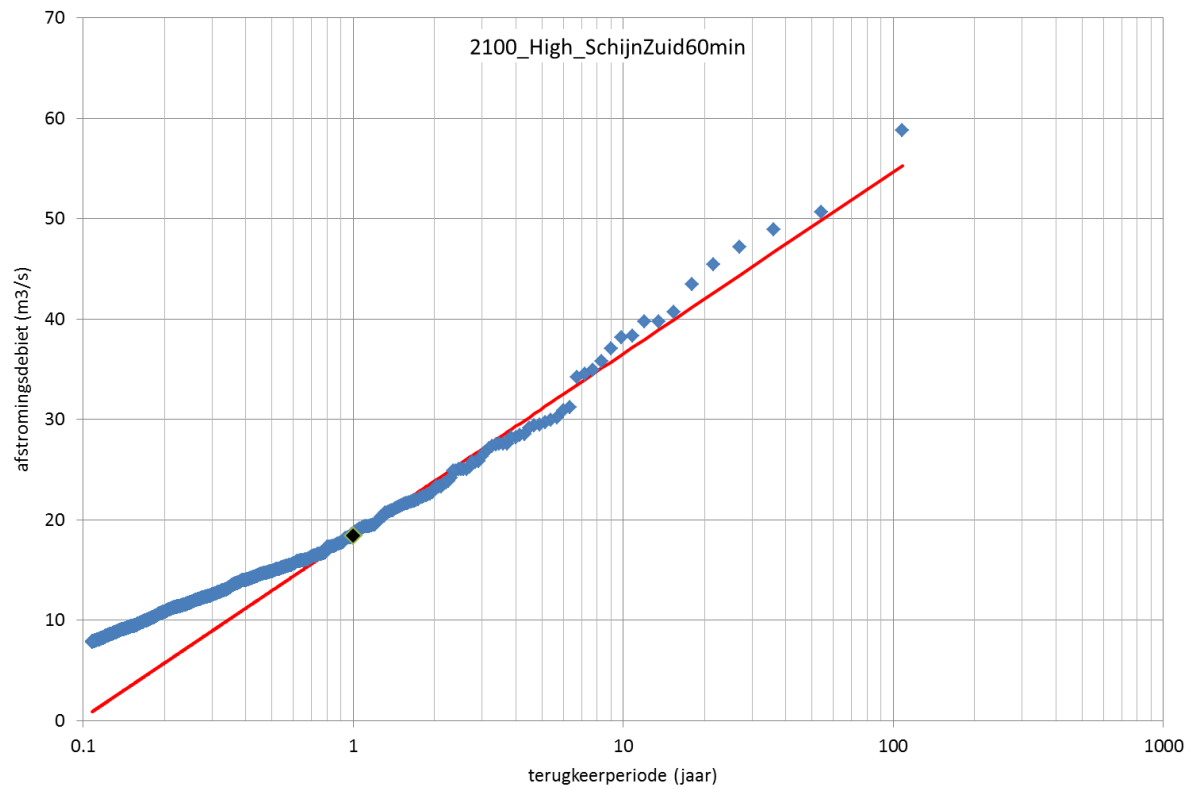
C.3 PDM Schijn Zuid uurgemiddeld

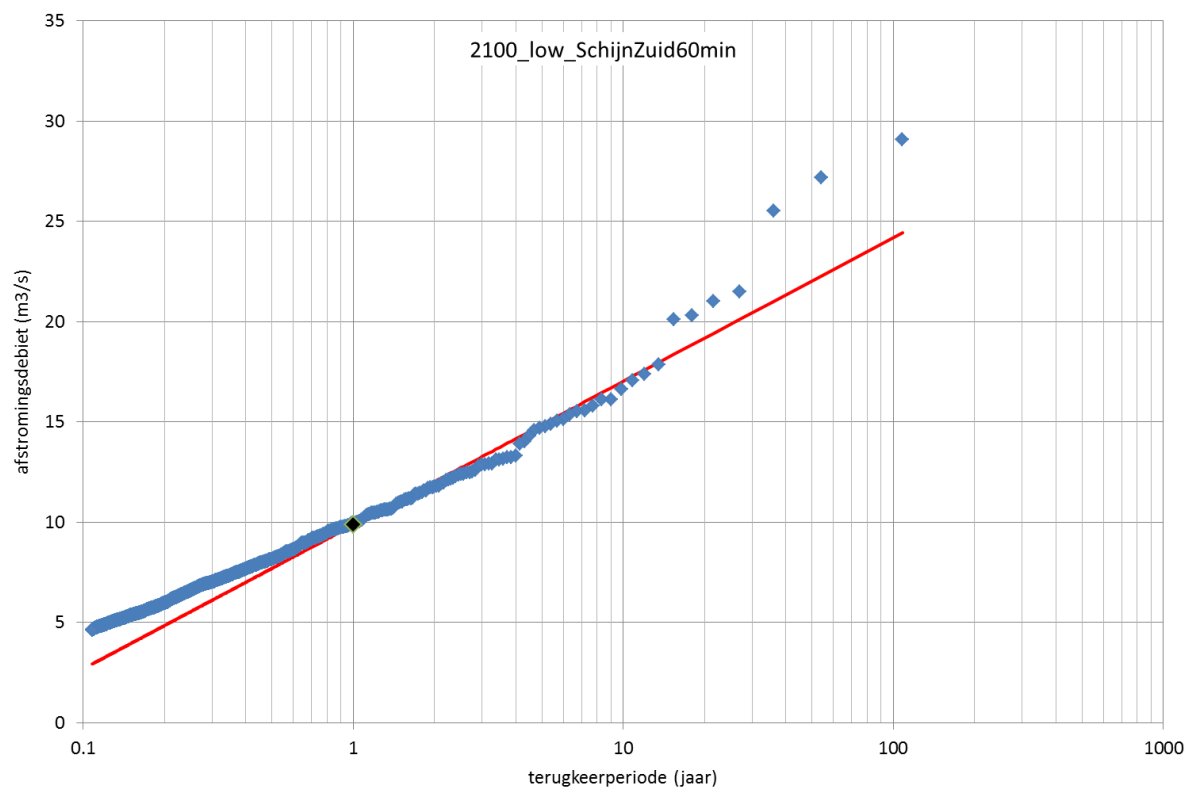
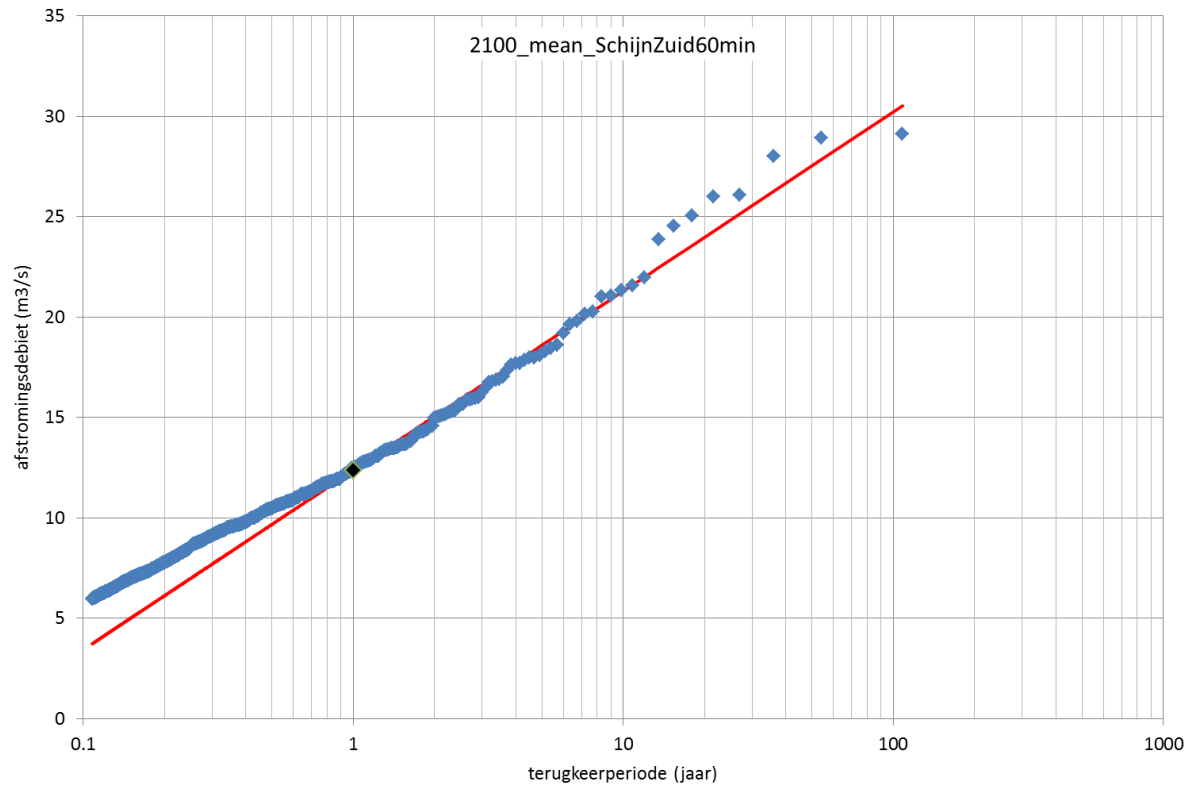


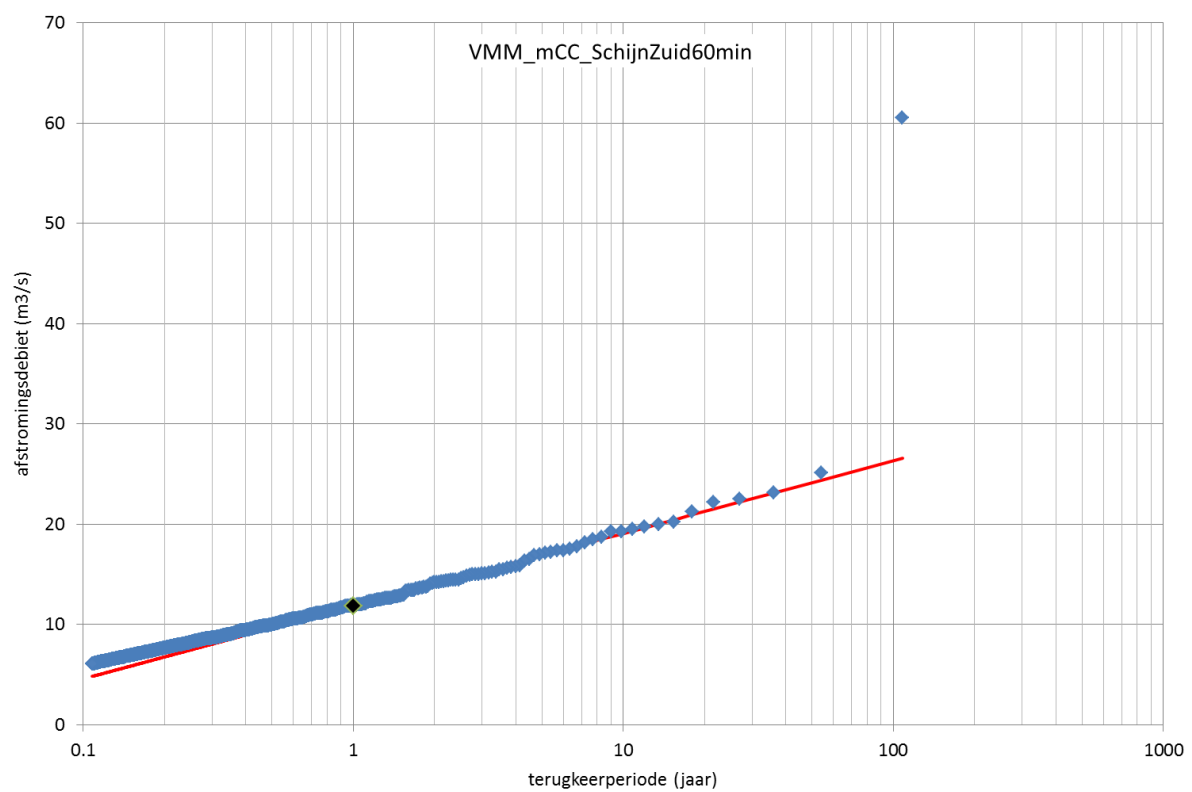
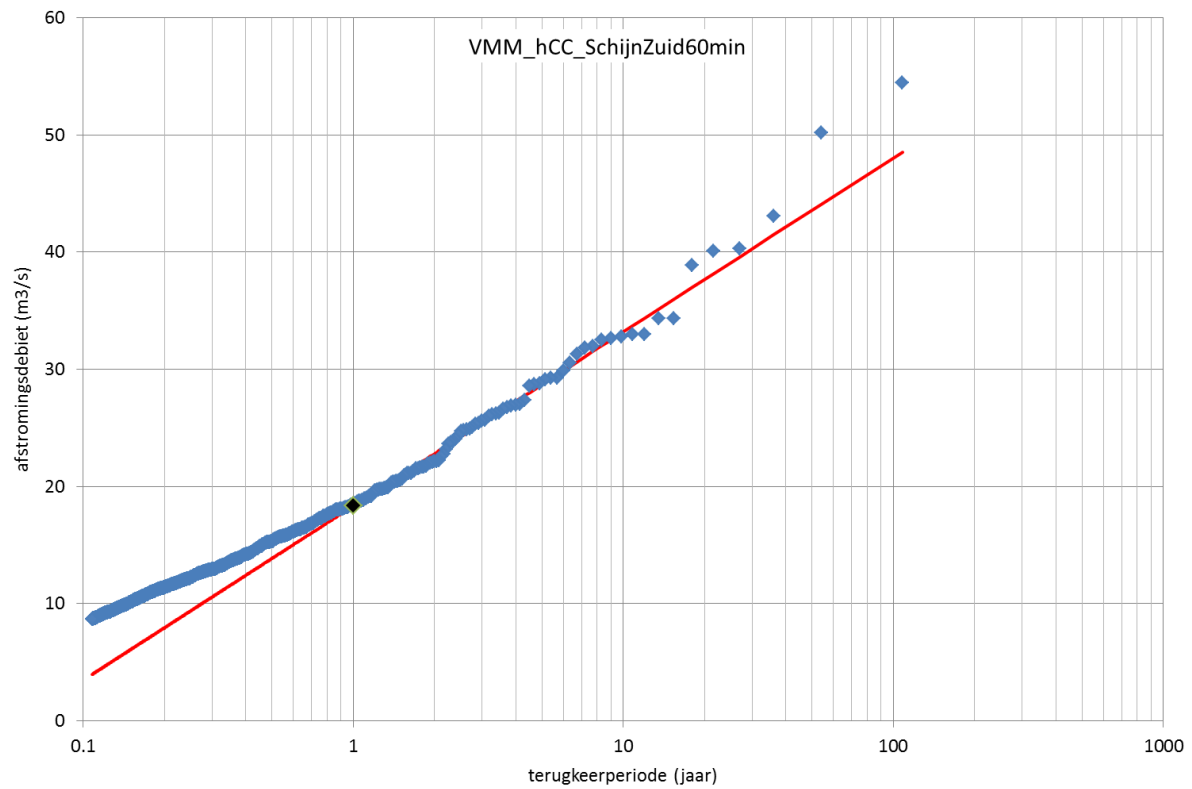


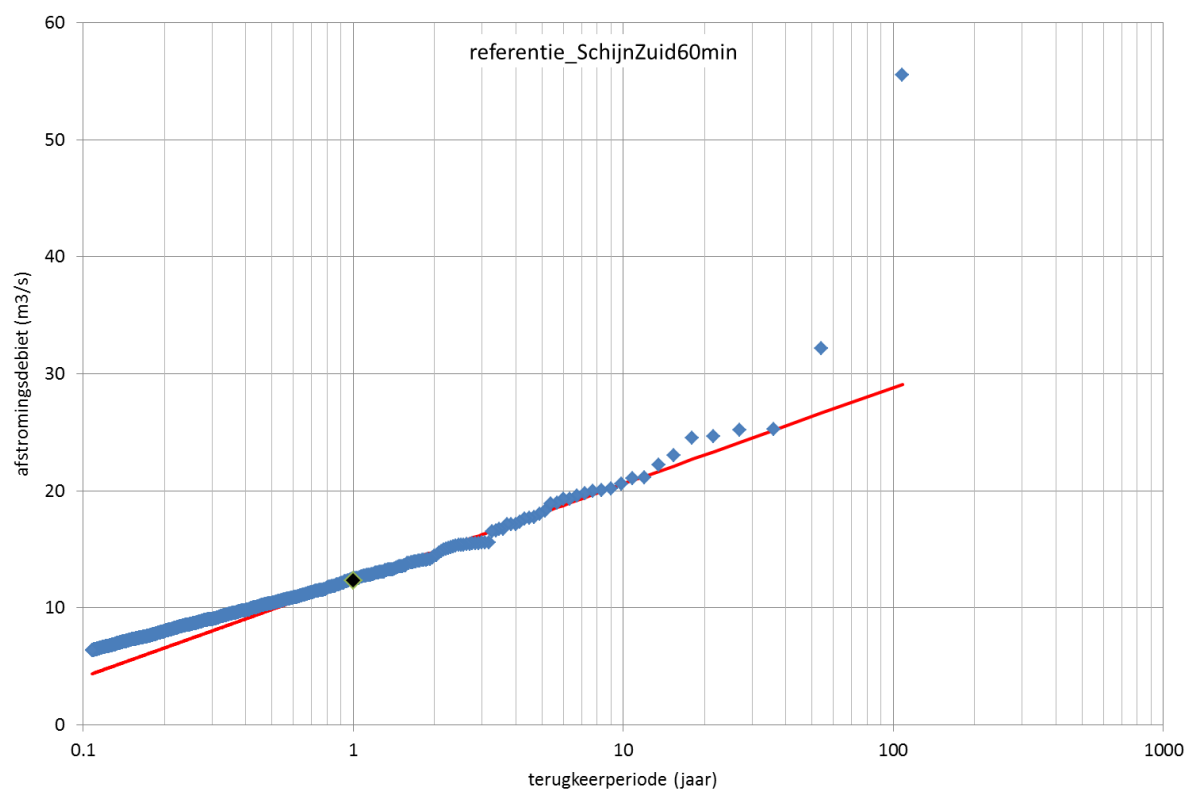
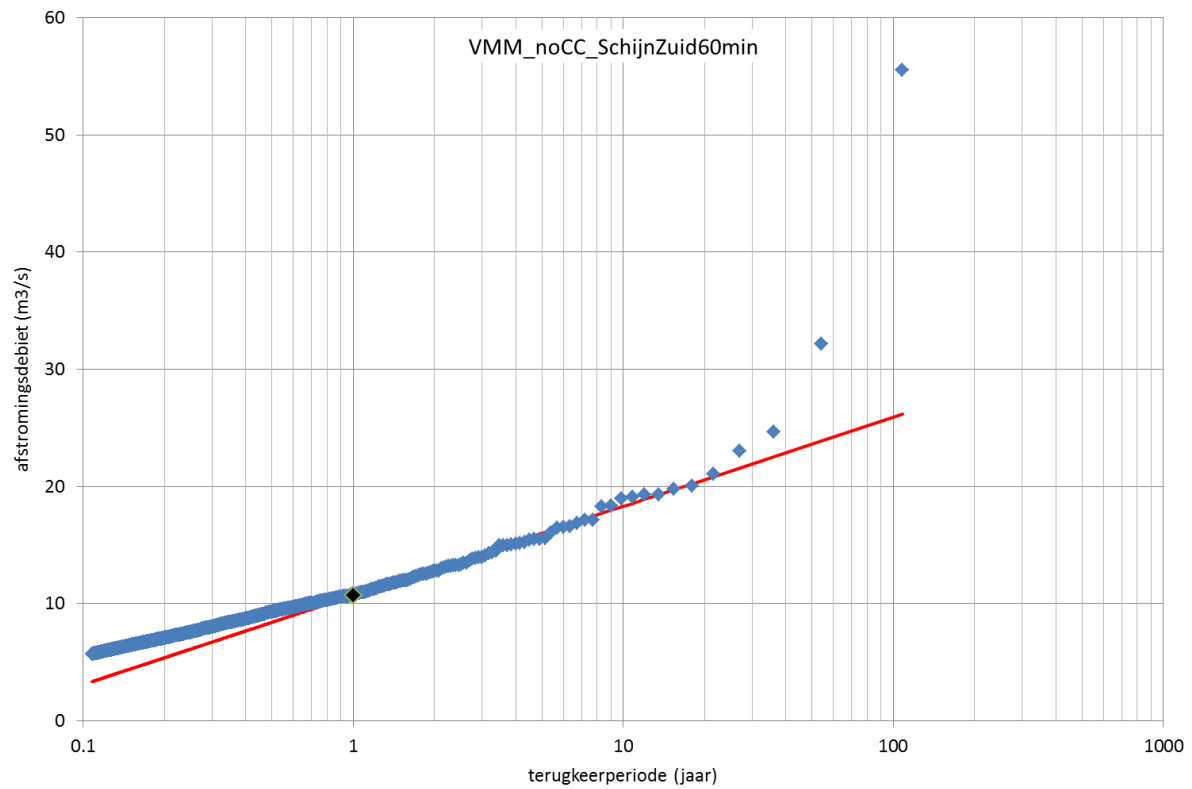




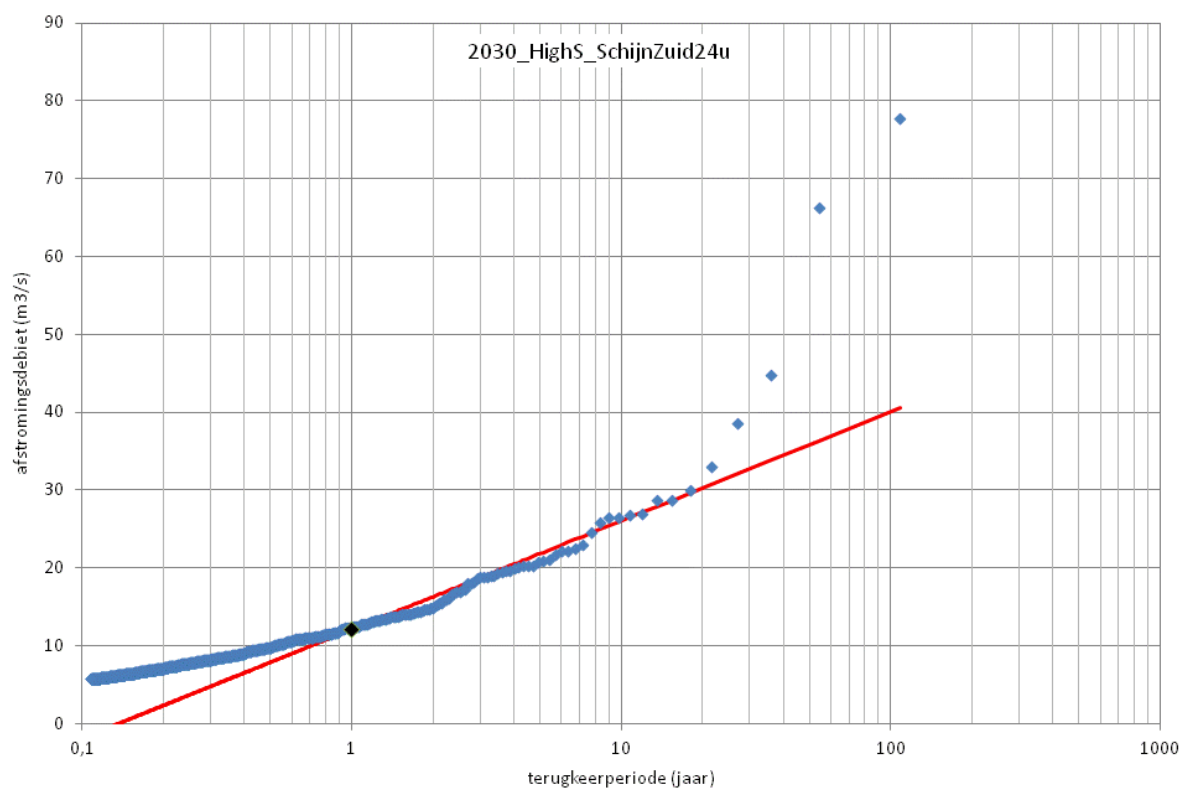
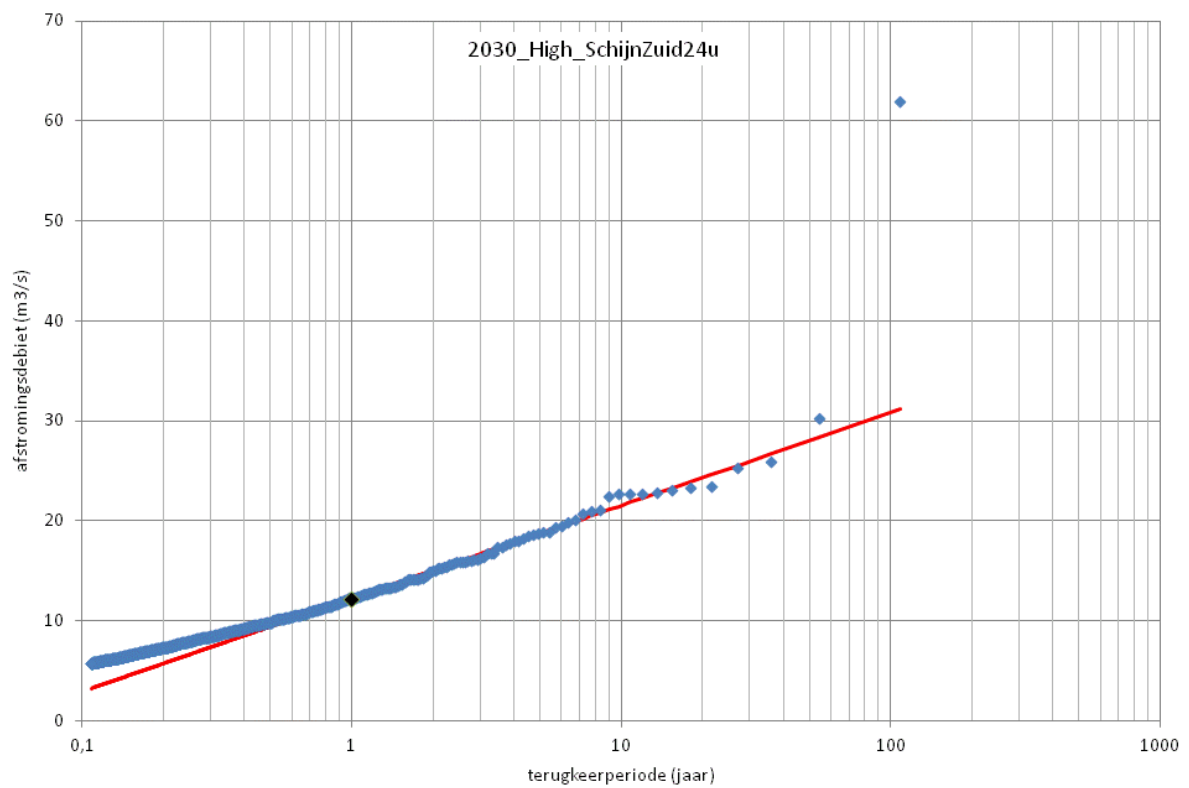


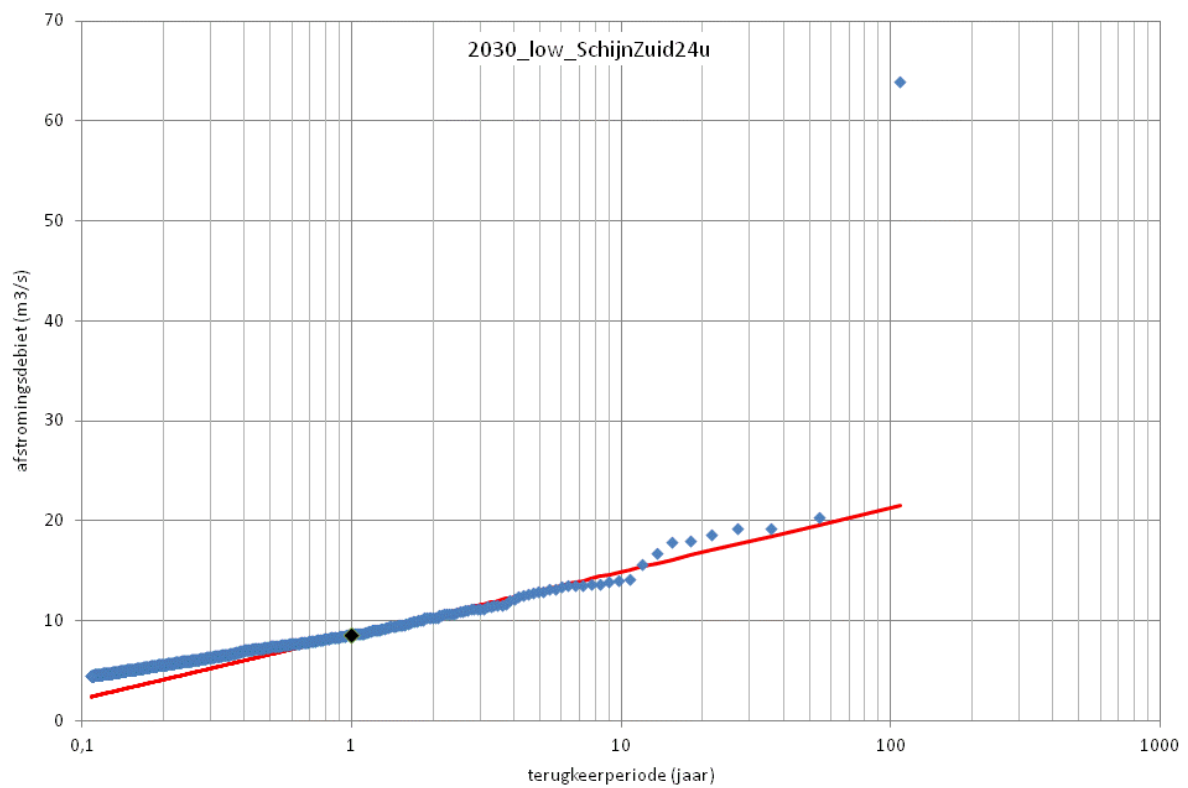
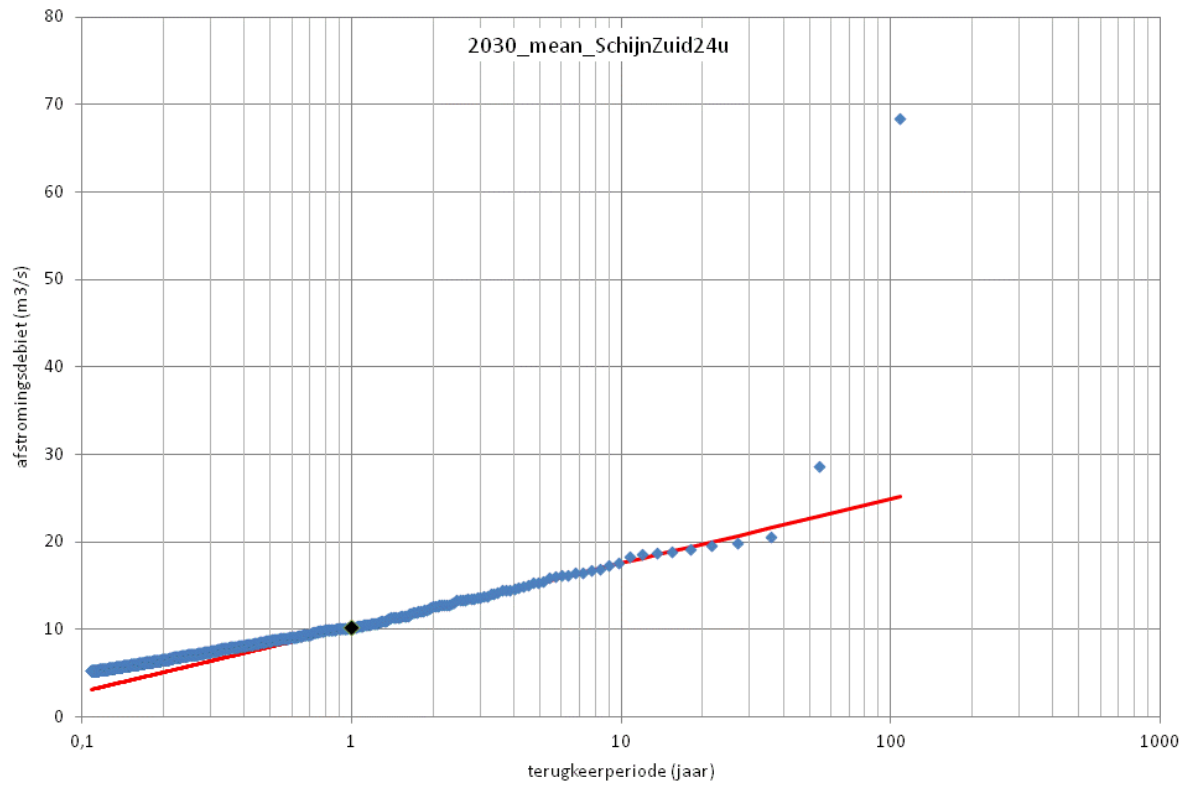


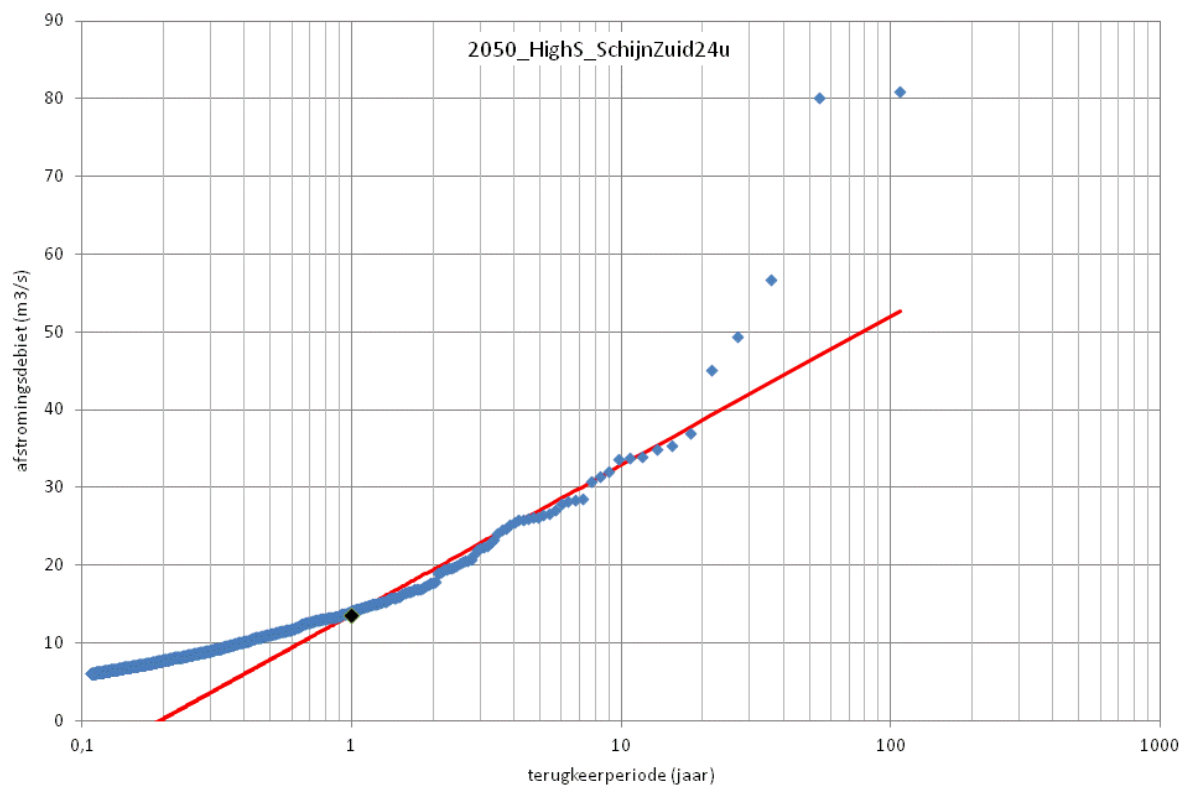
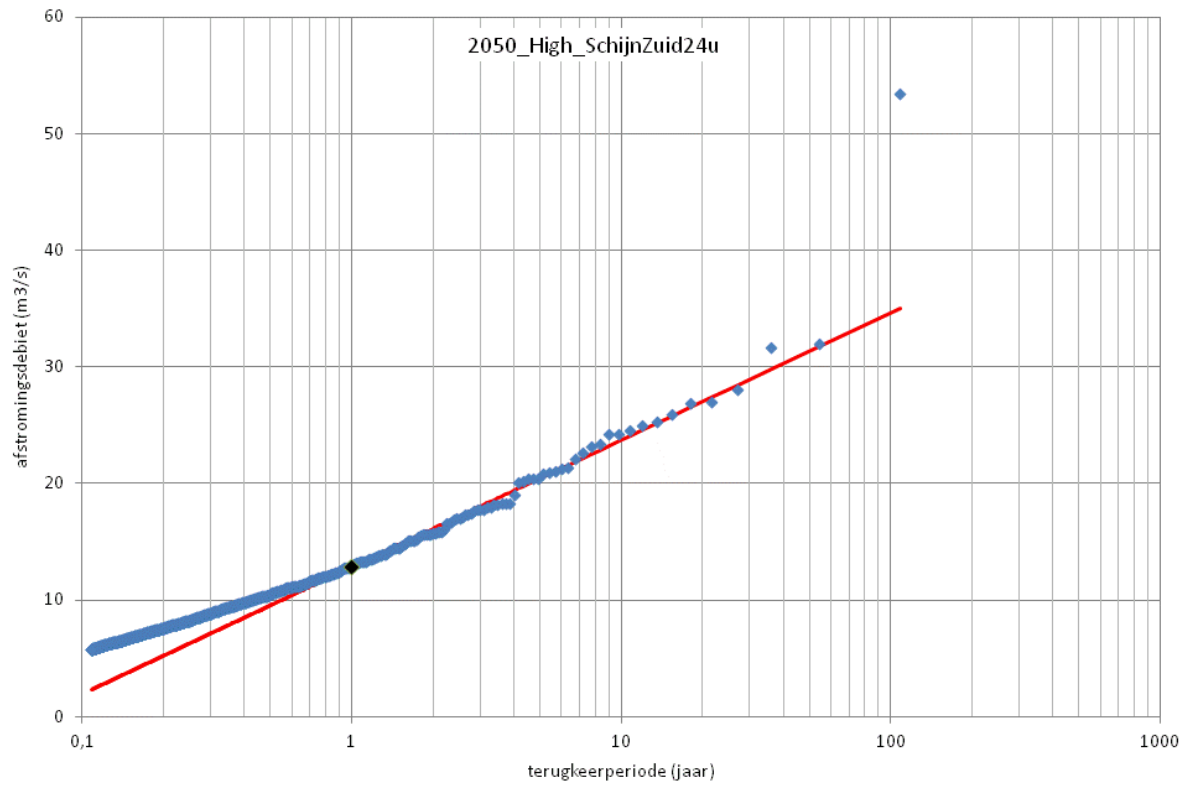


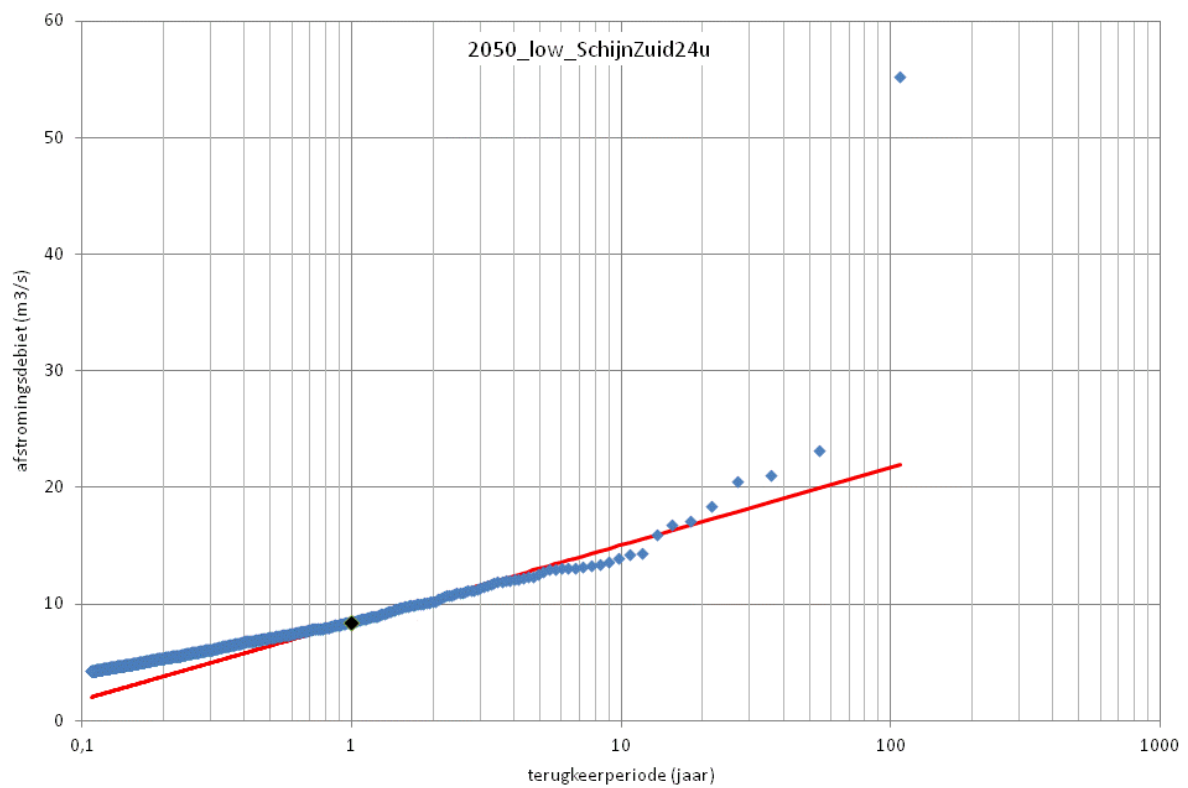
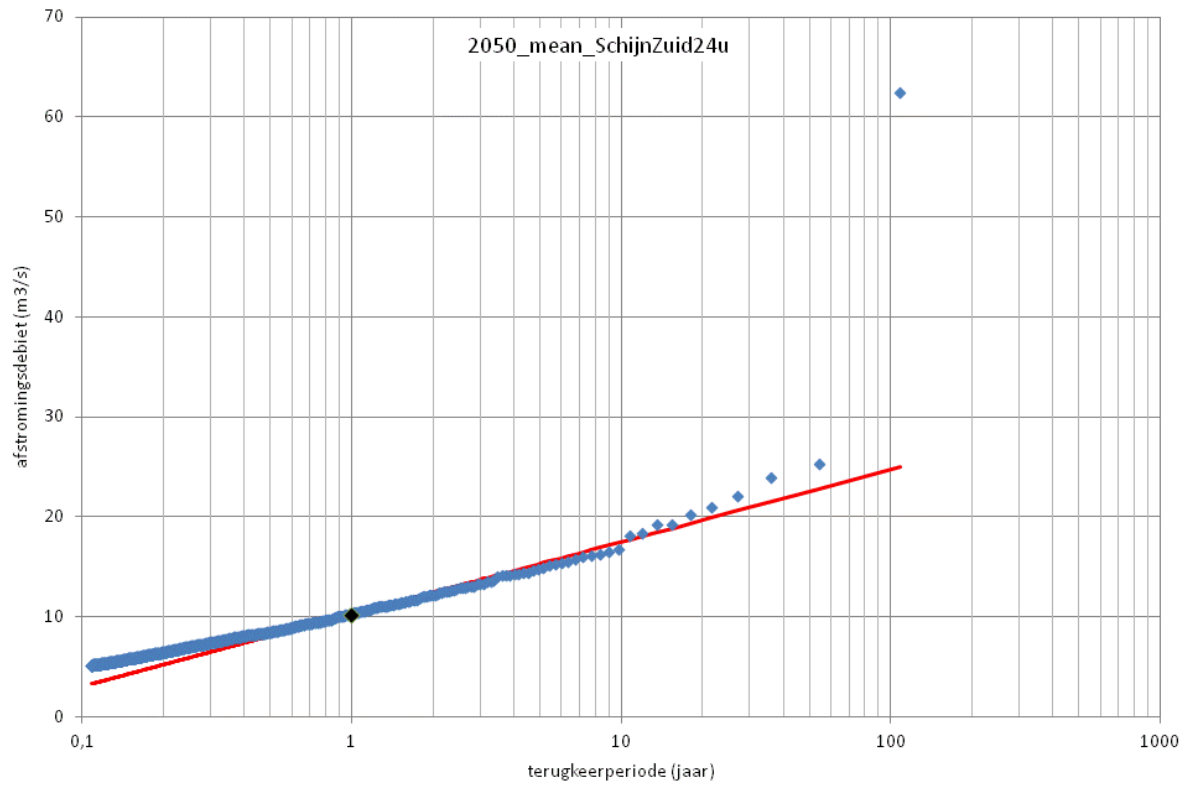


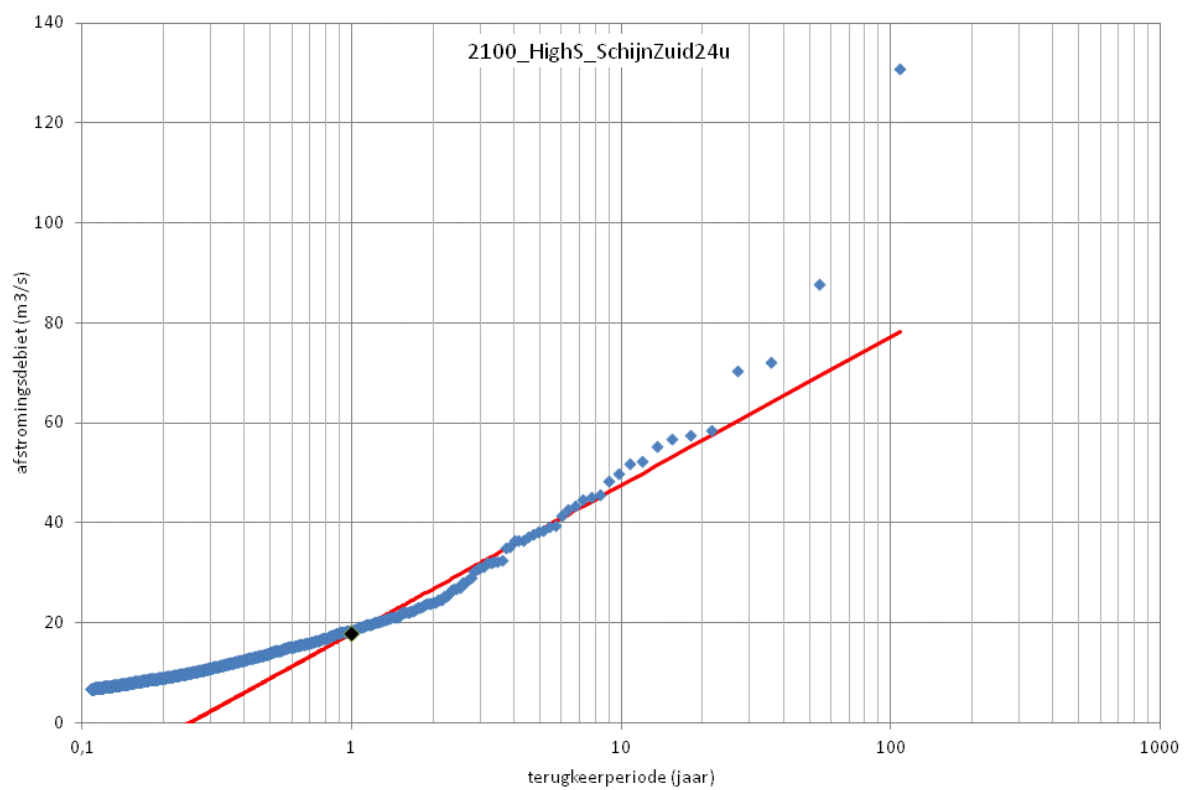
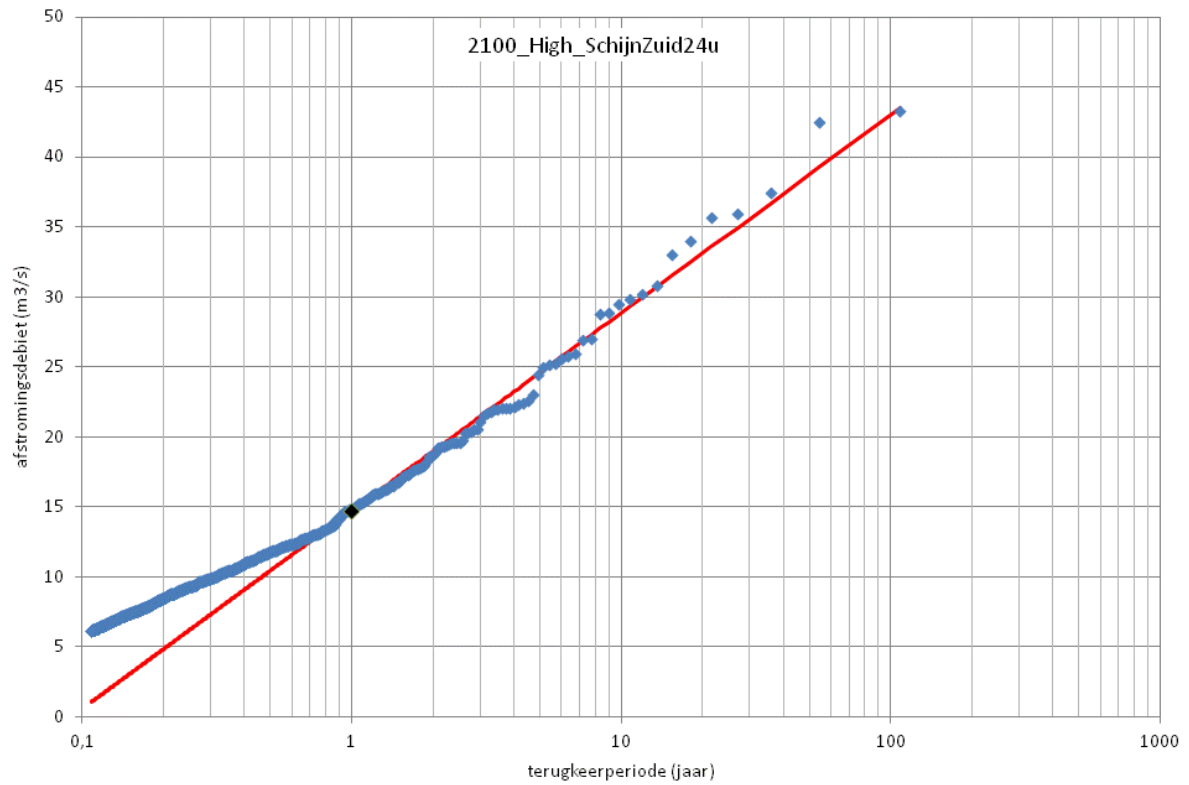
C.4 PDM Schijn Zuid daggemiddeld

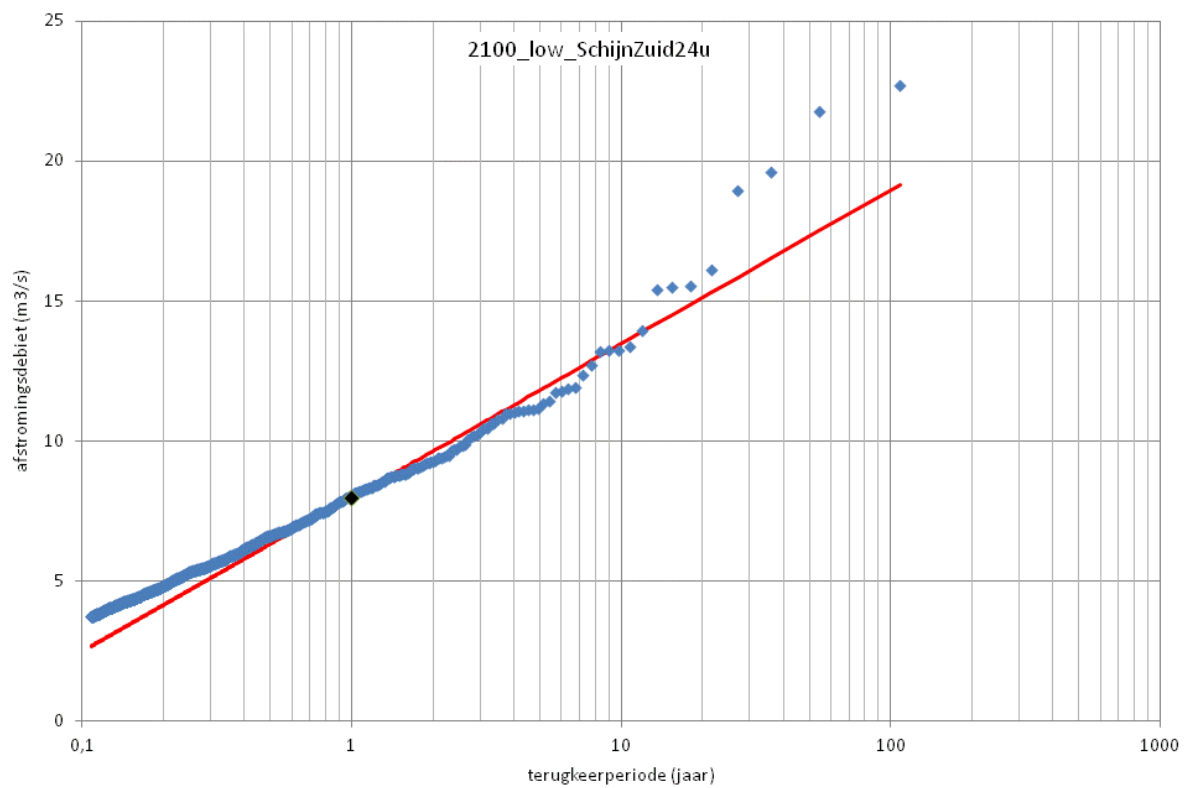
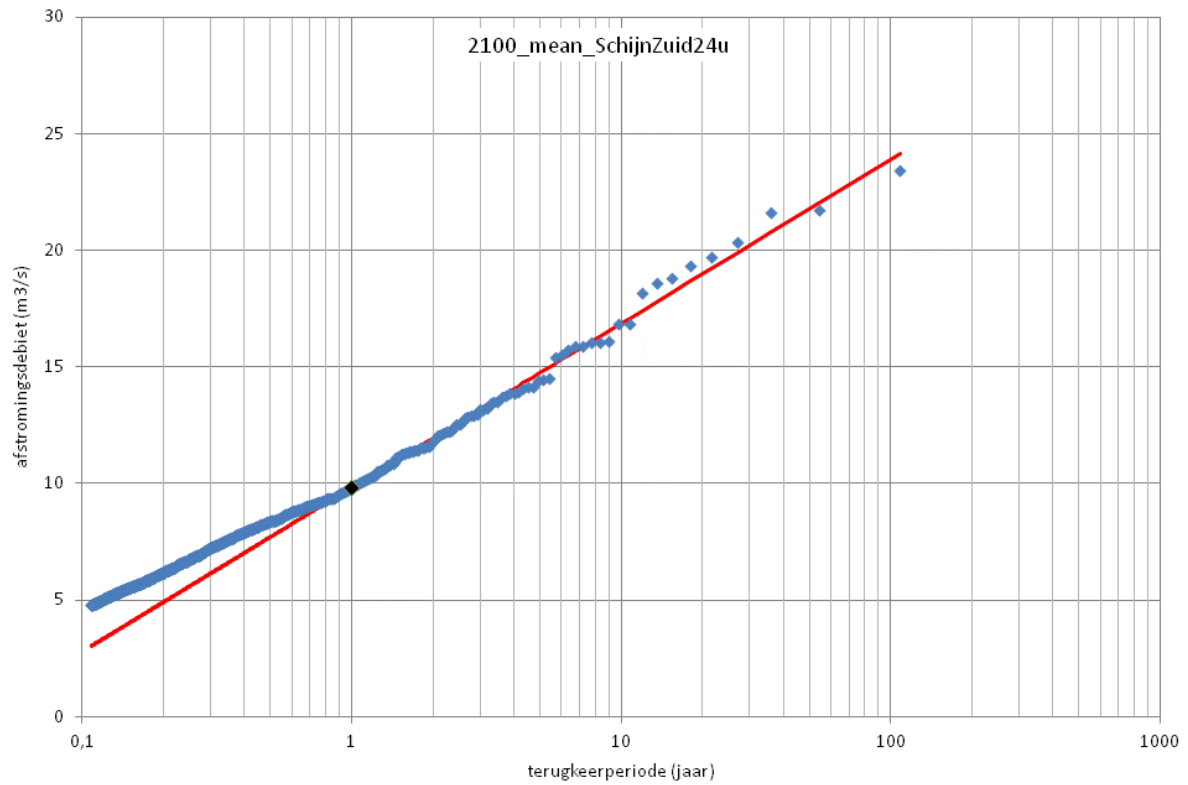


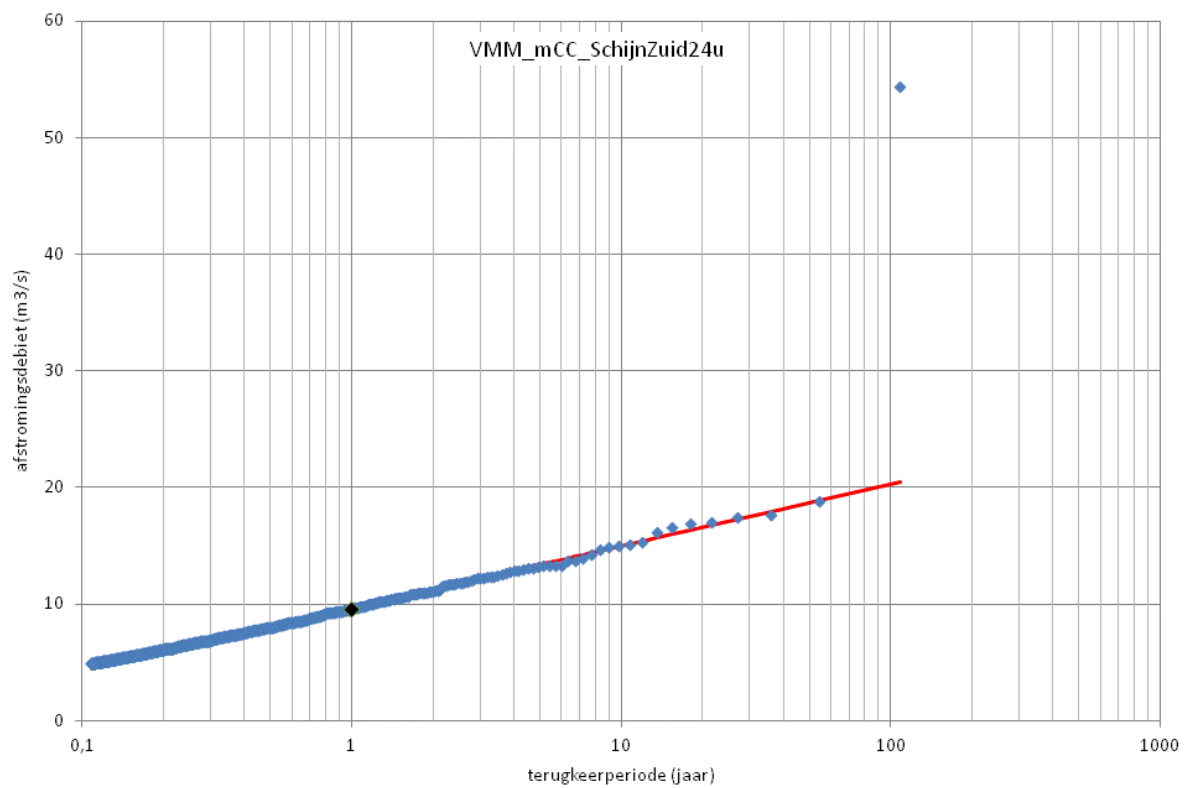
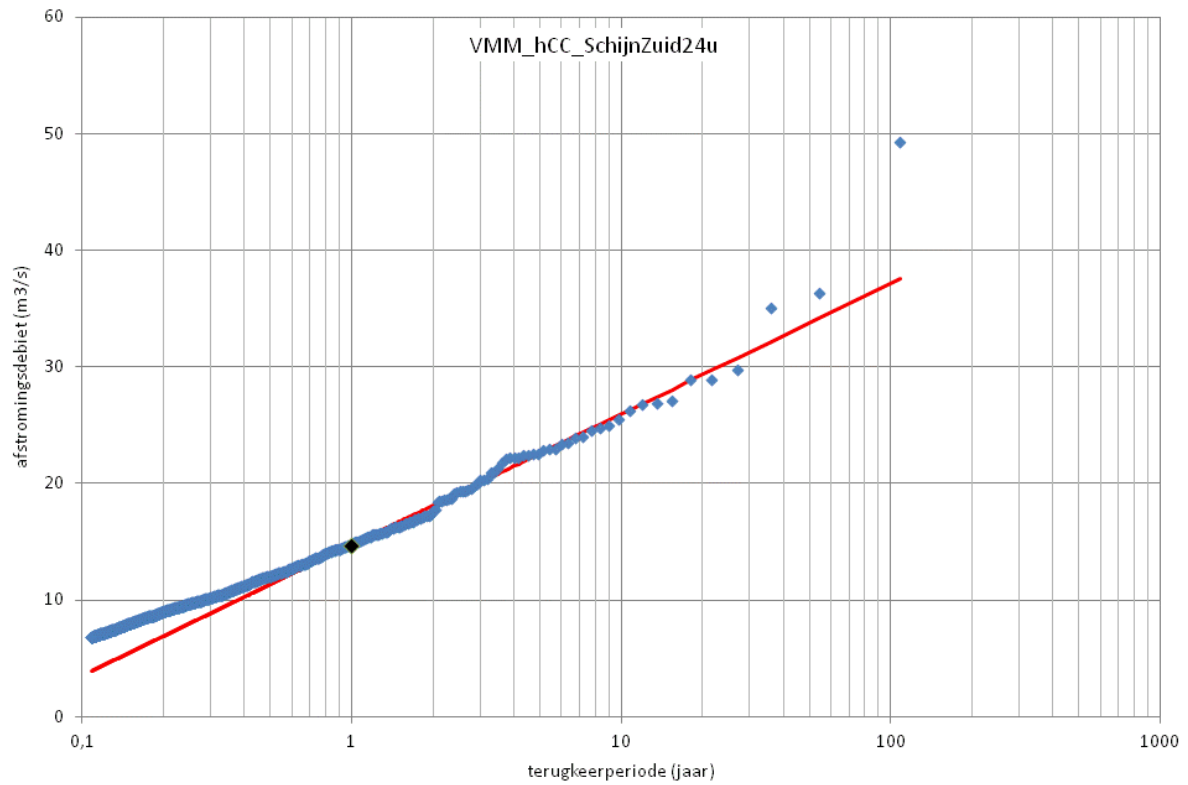


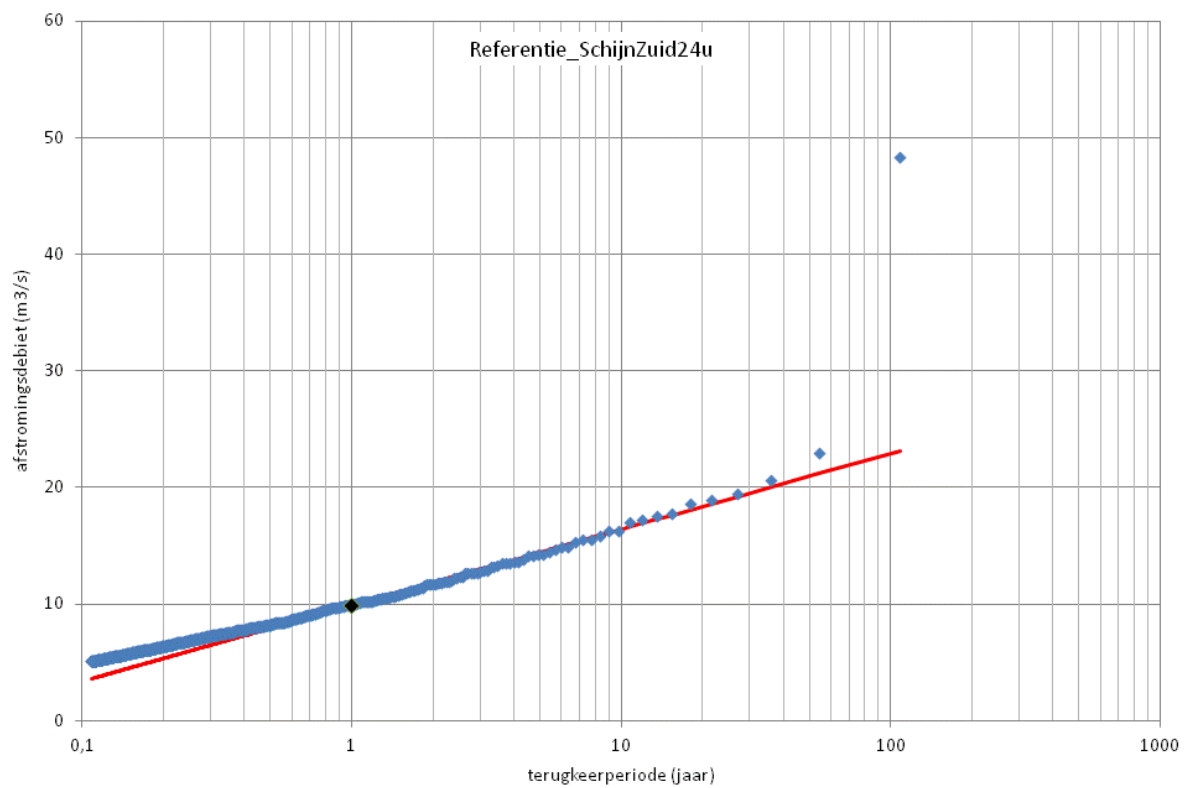
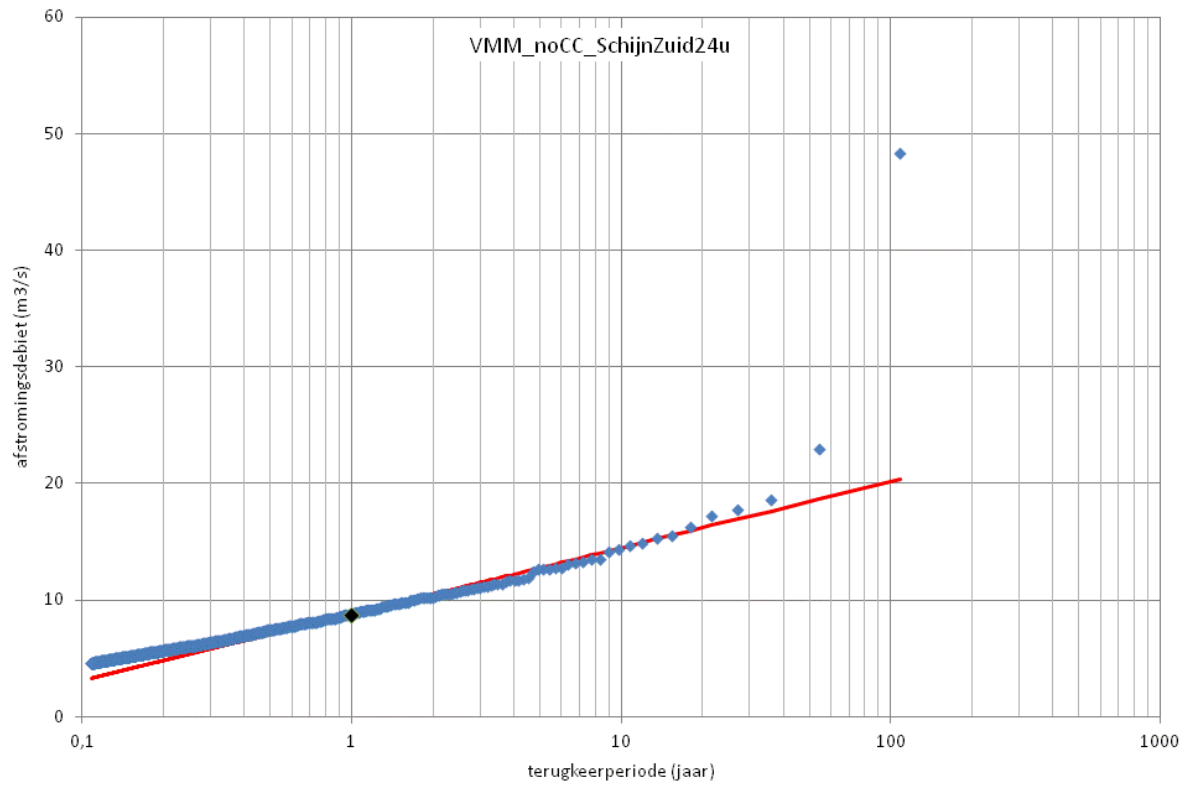




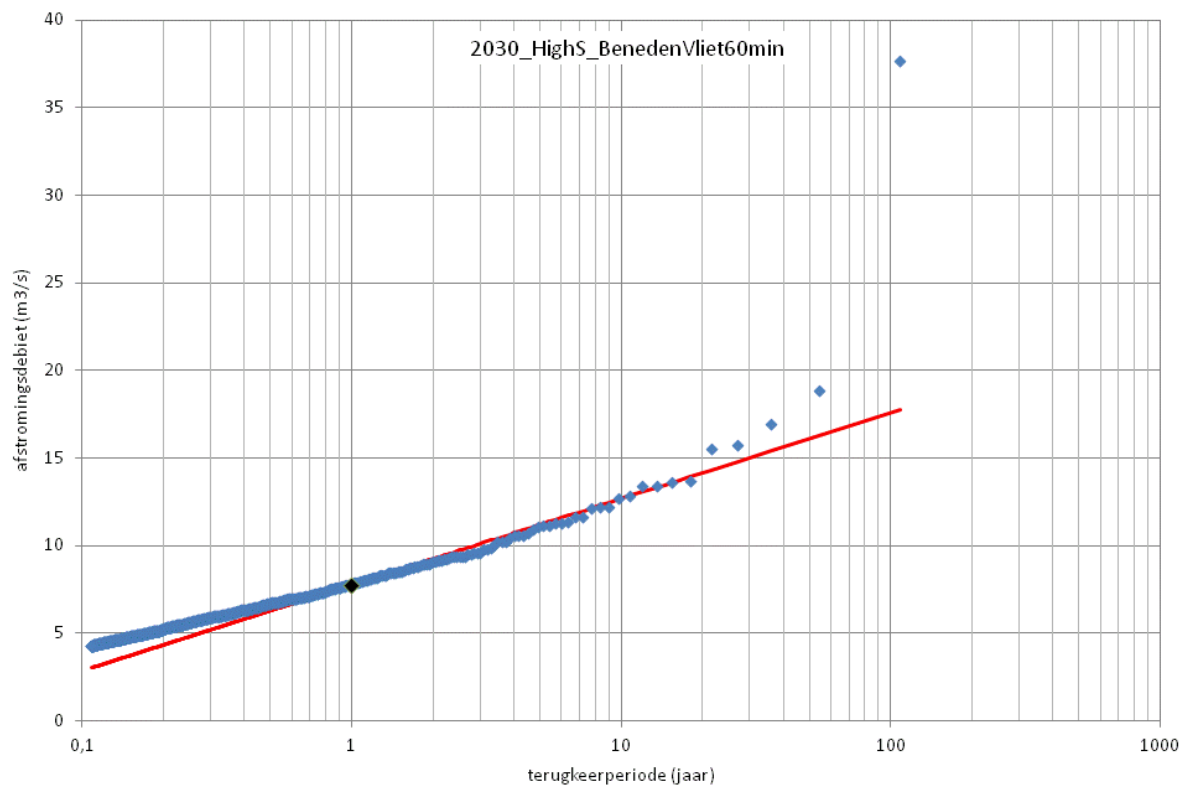
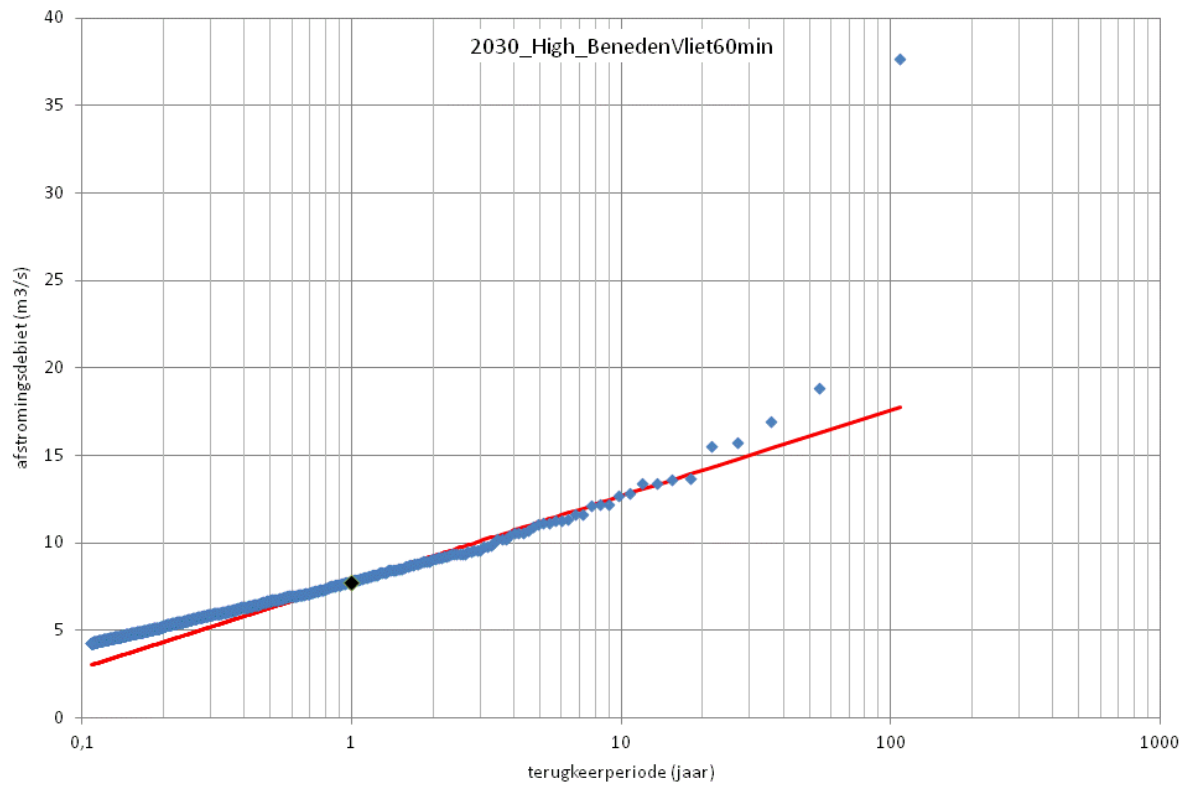


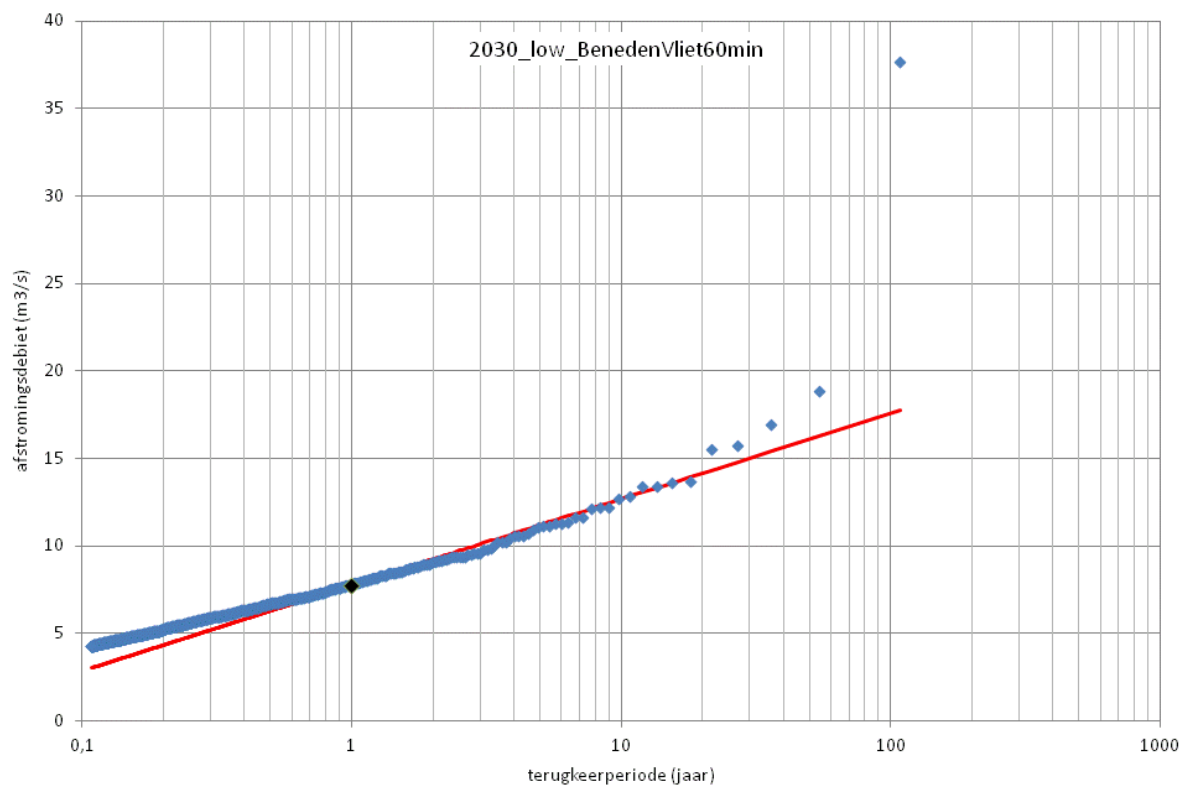
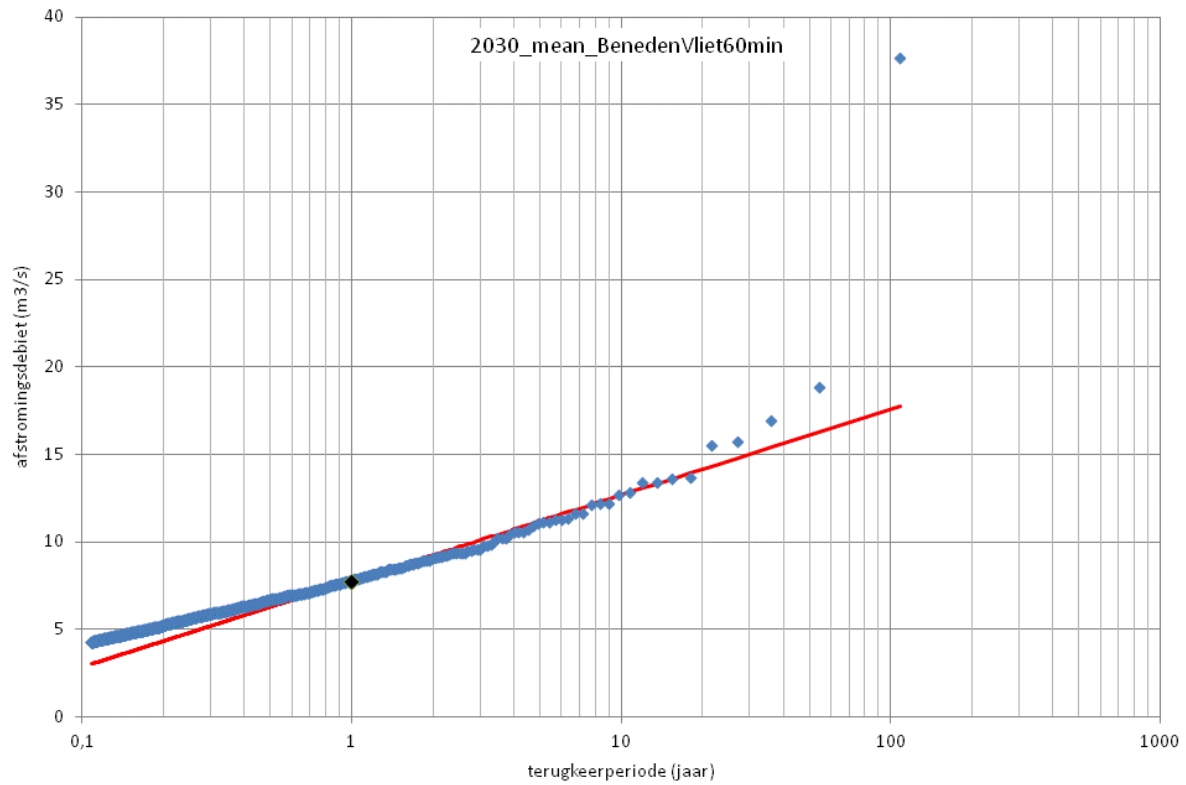


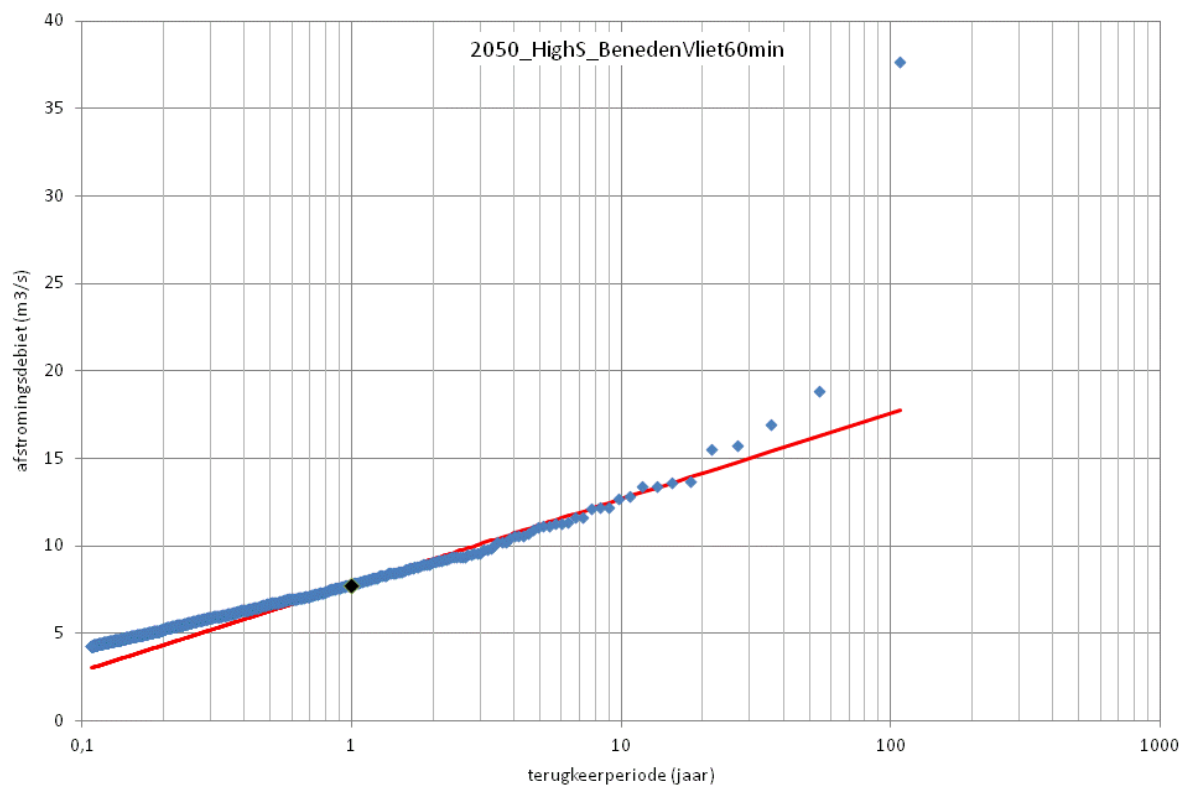
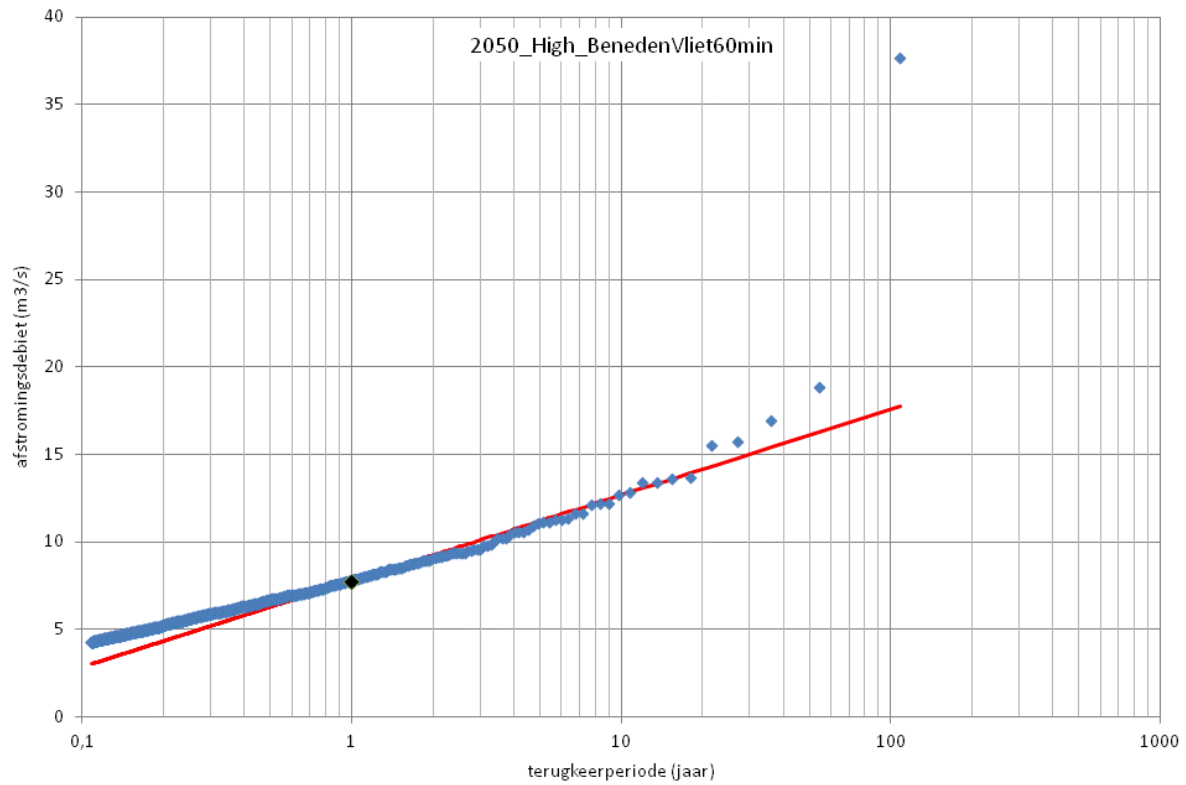


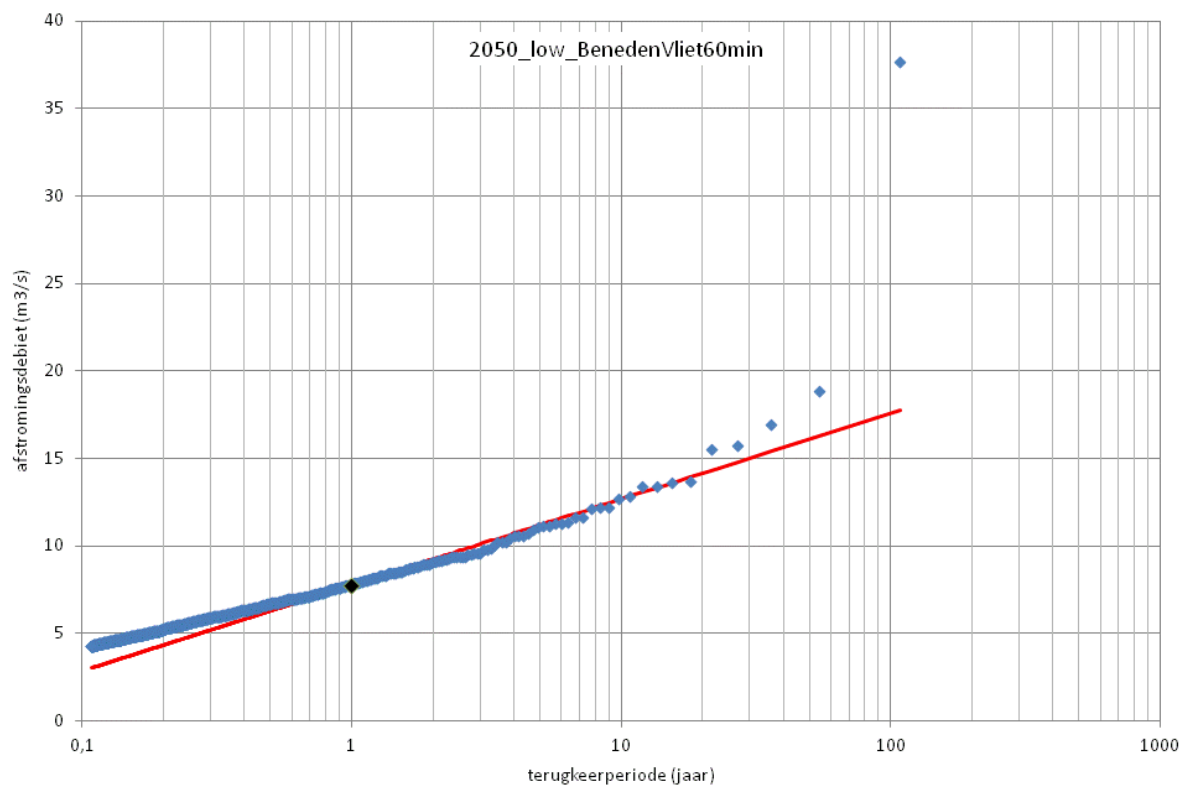
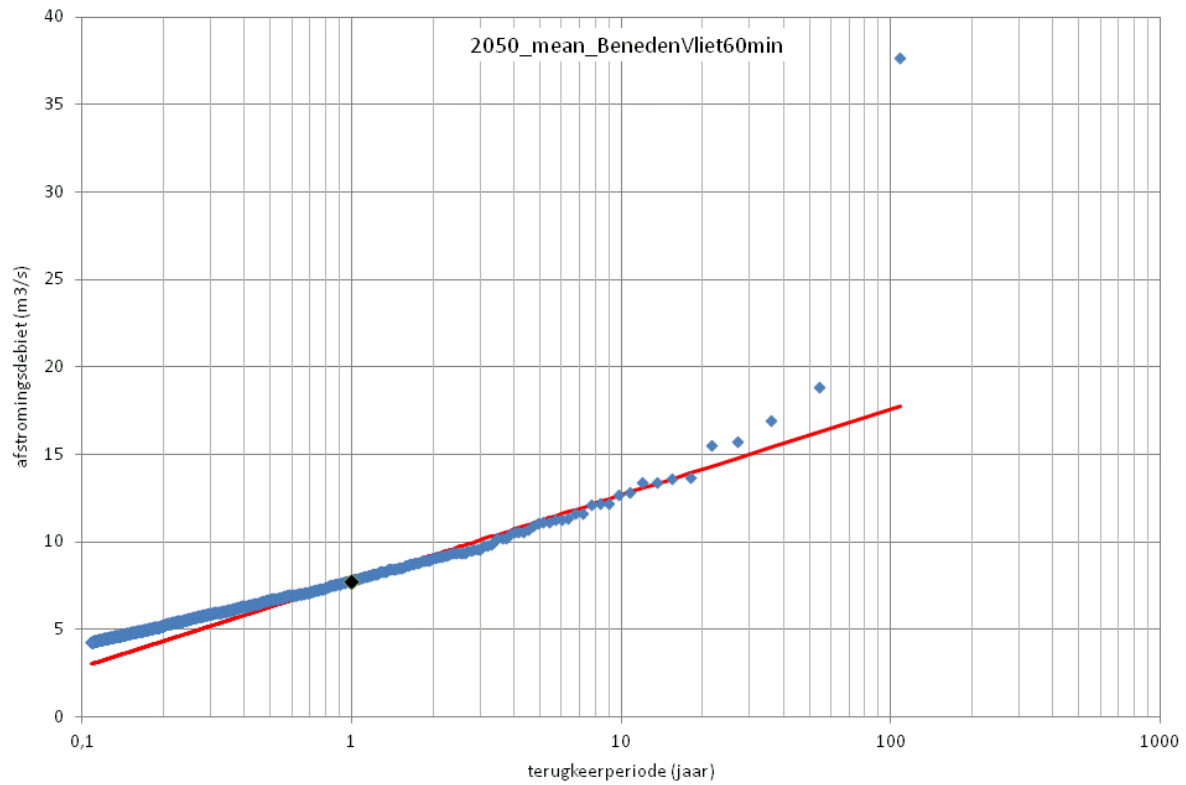


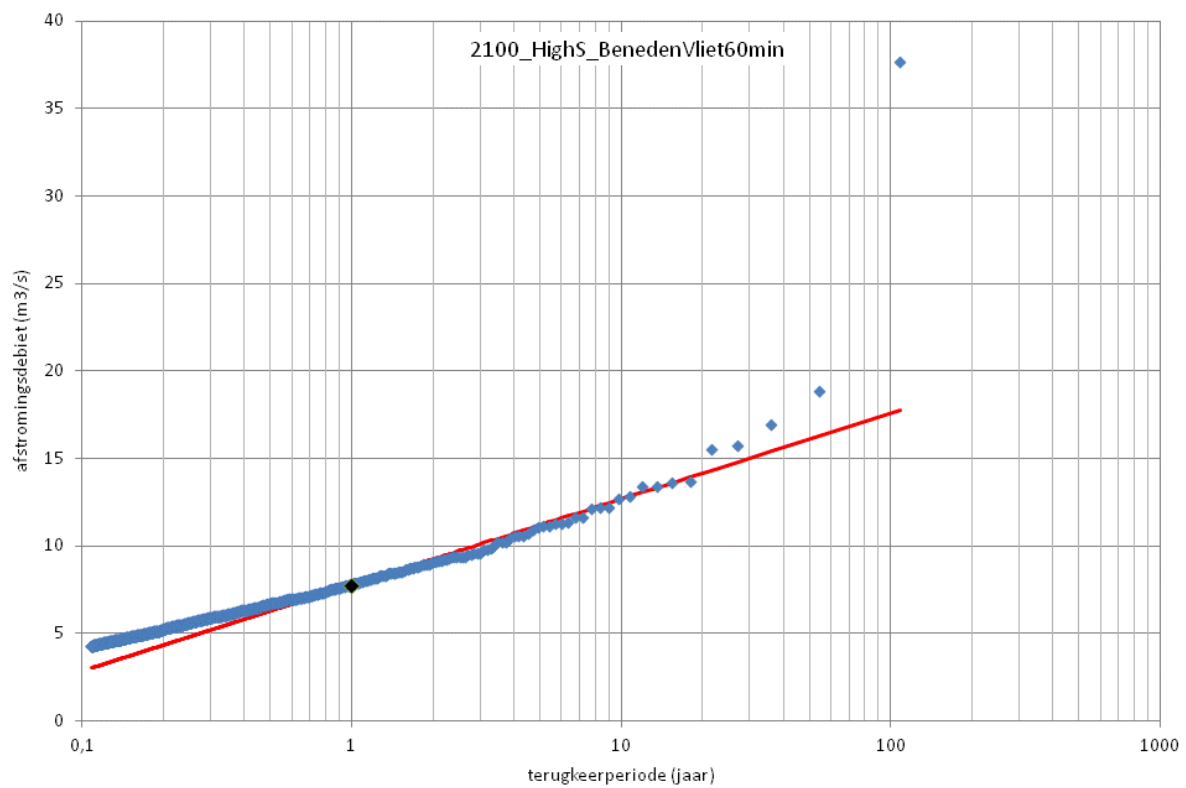
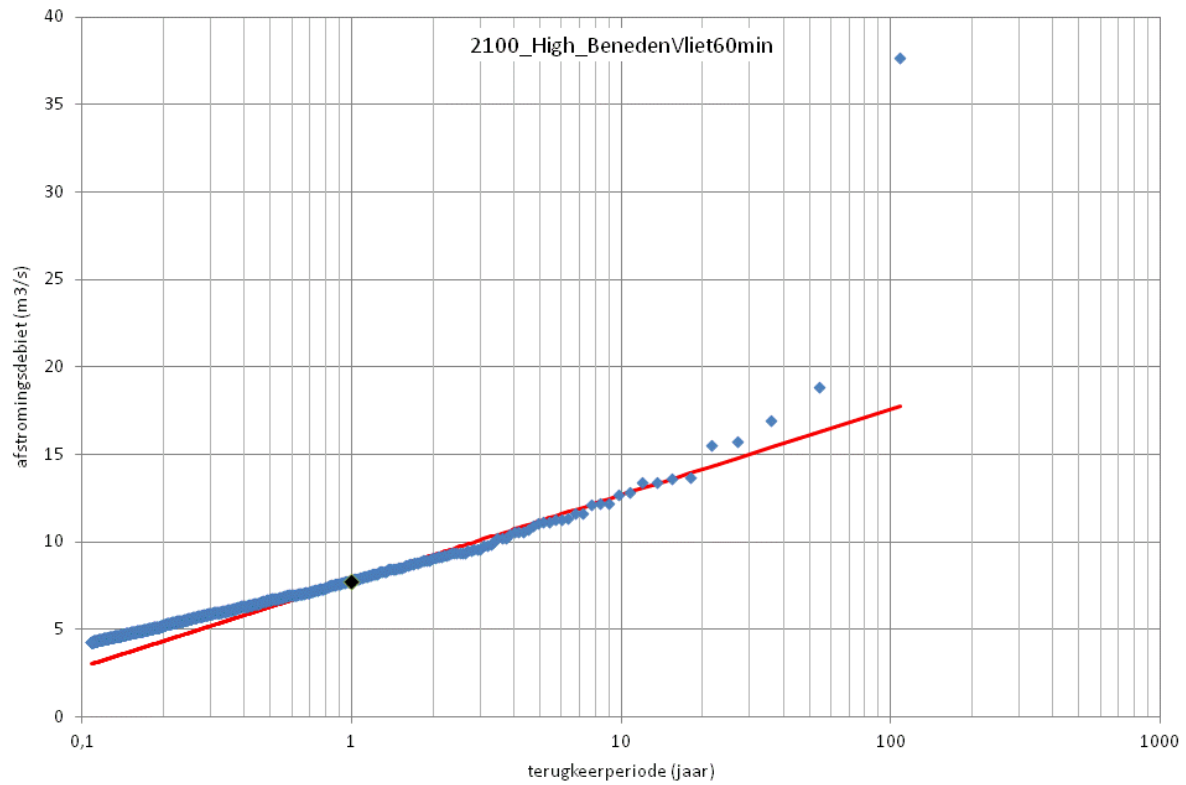
C.5 Neerslag Benedenvliet uurgemiddeld

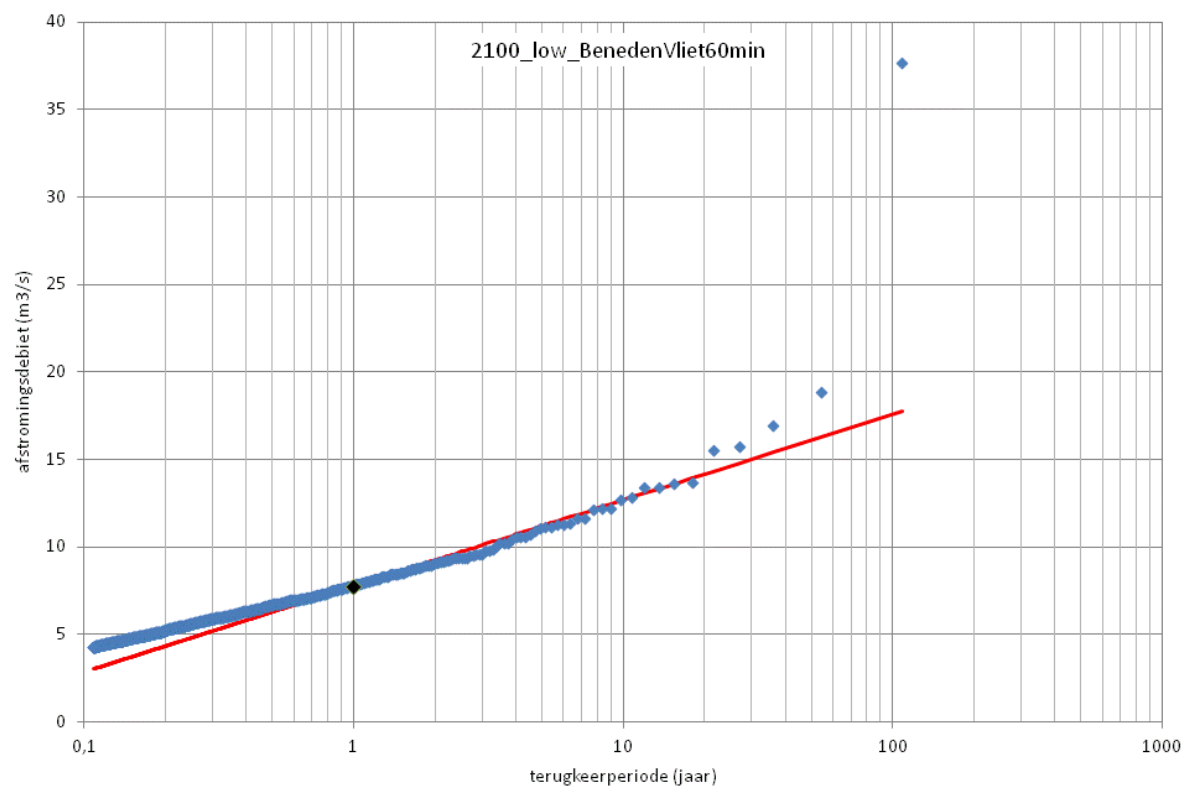
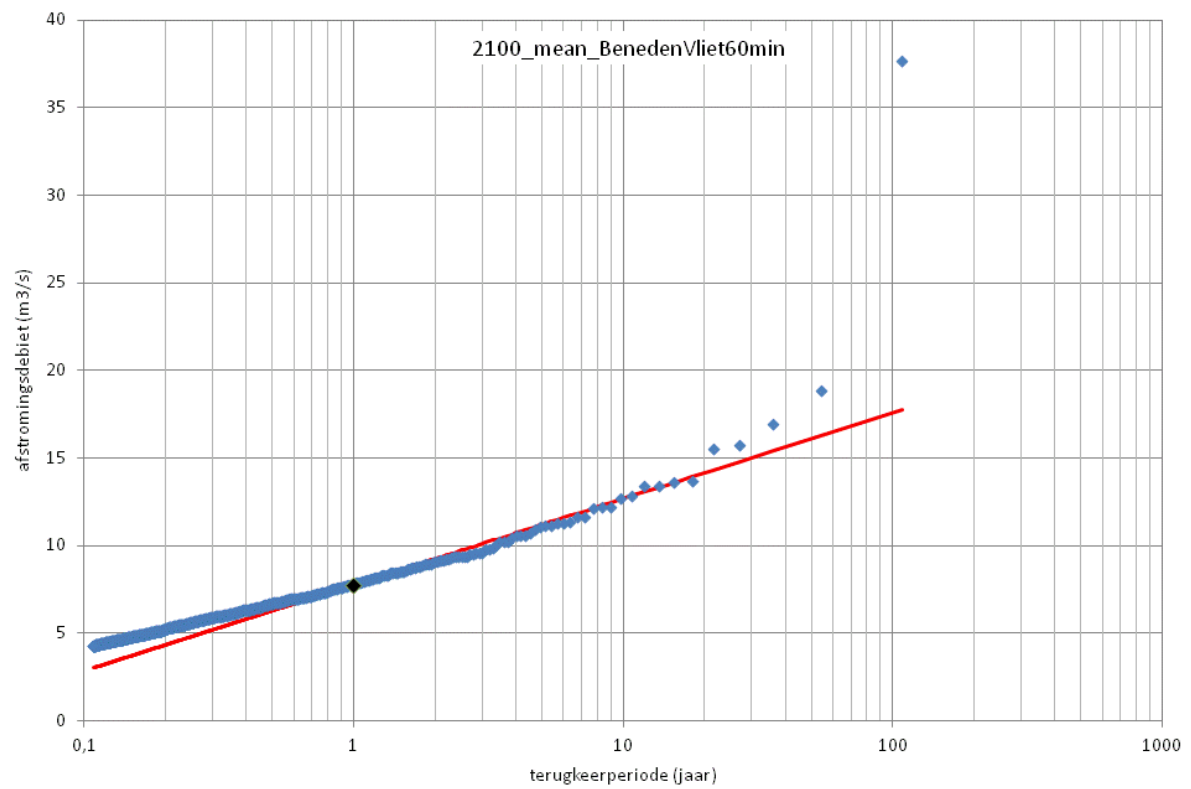


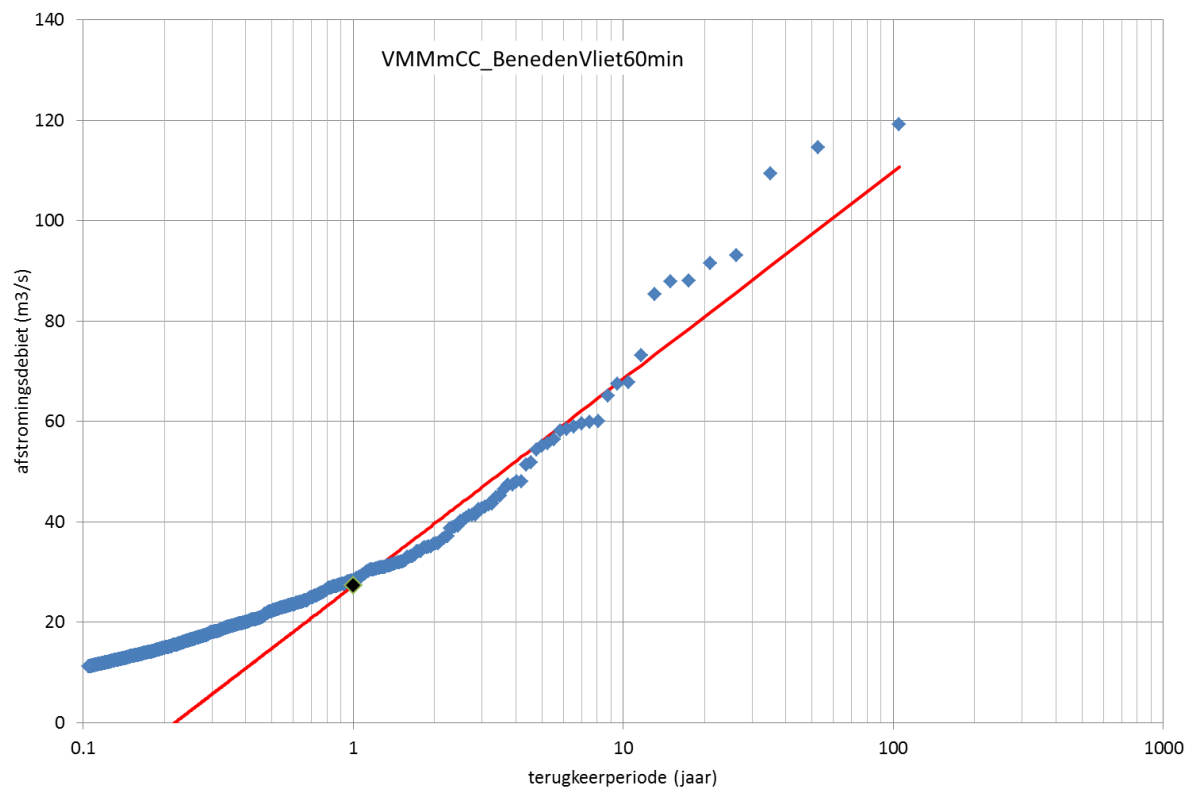
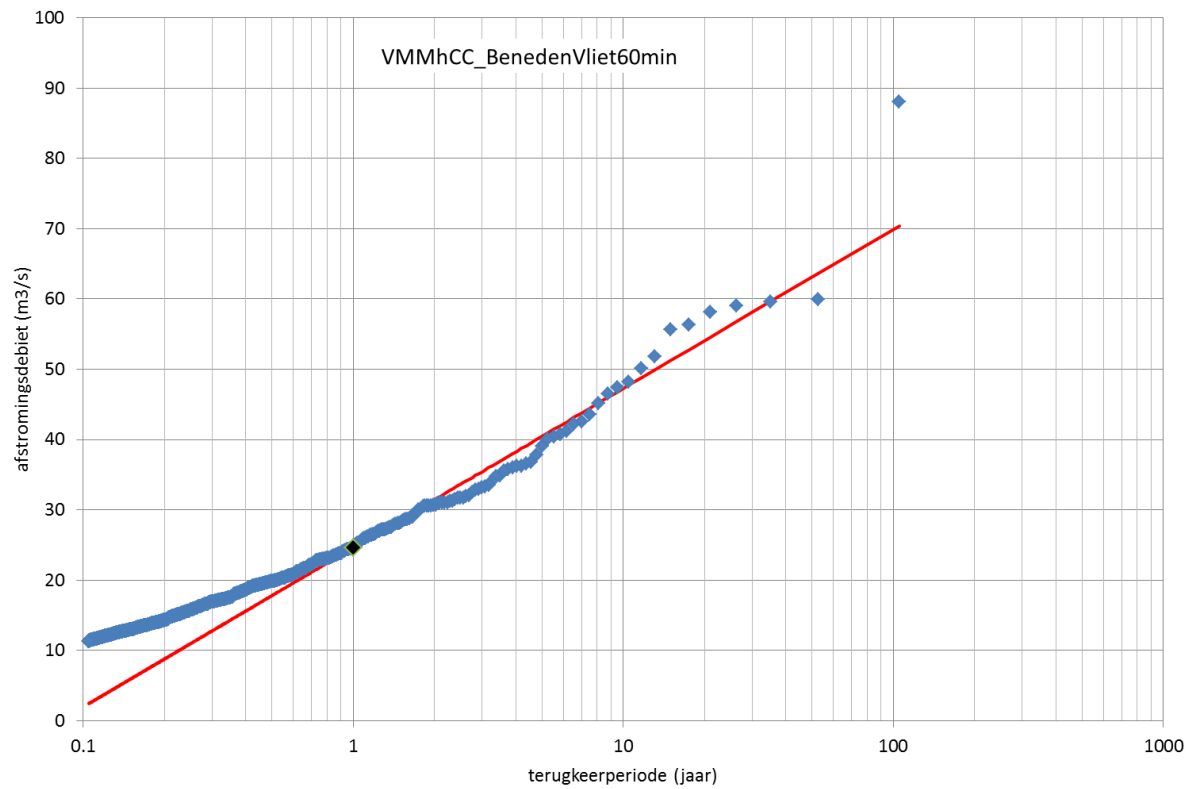


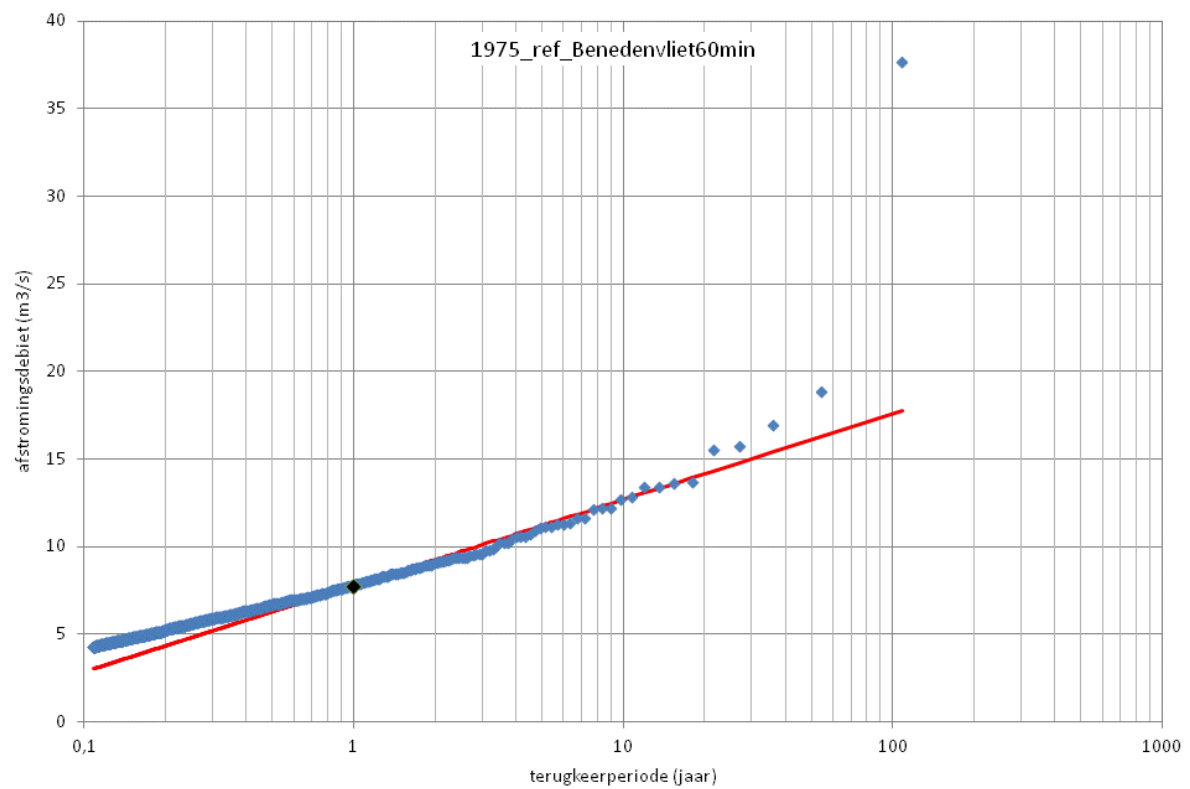
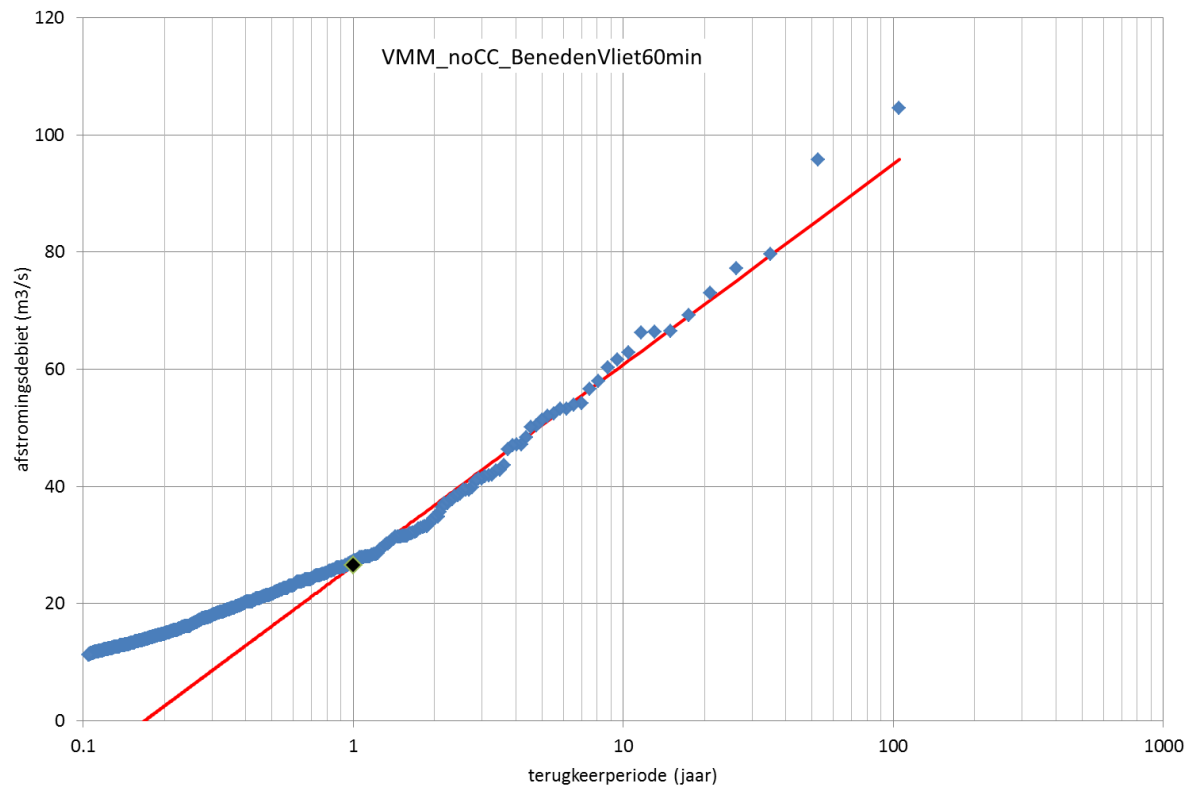




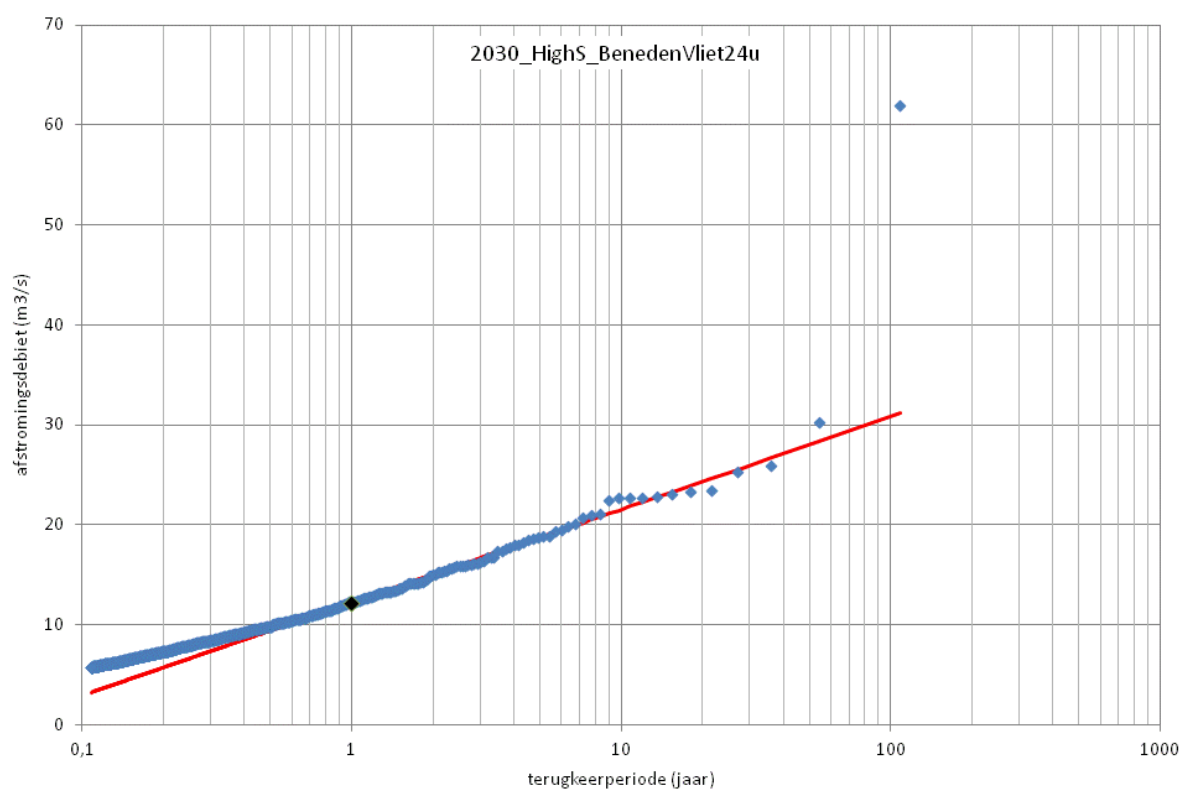
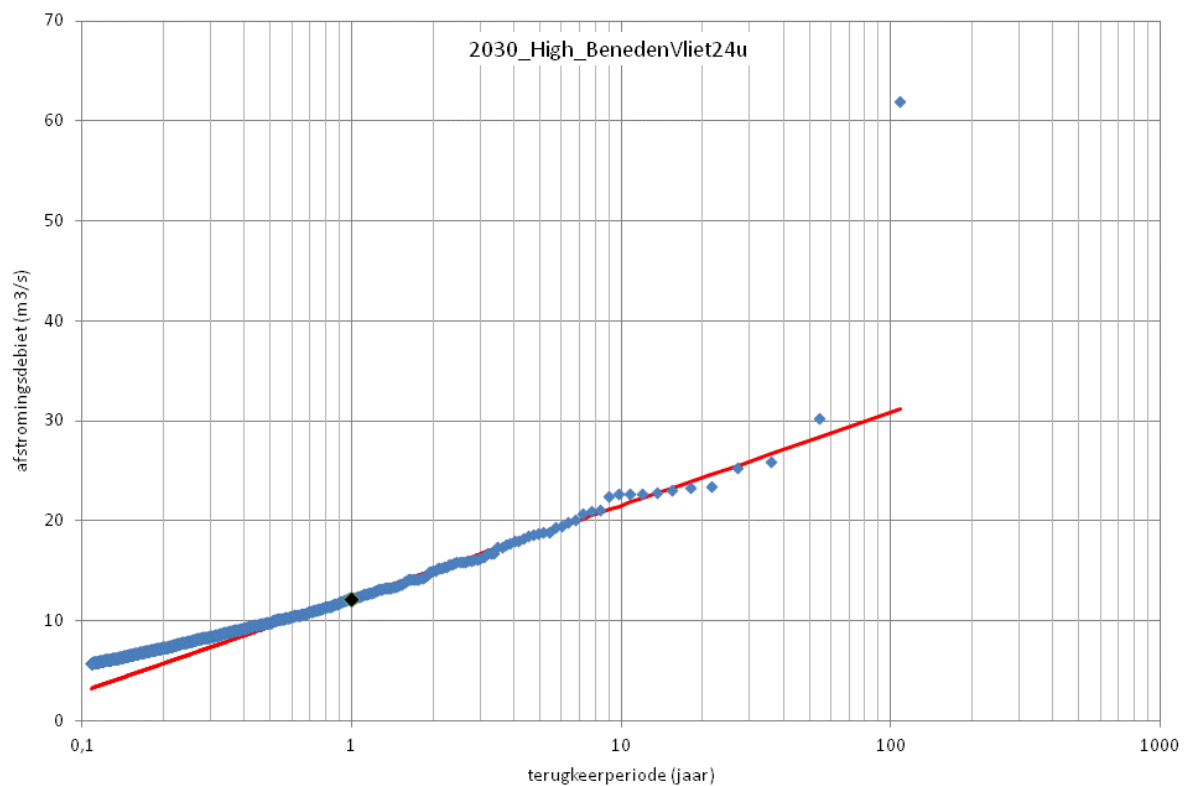


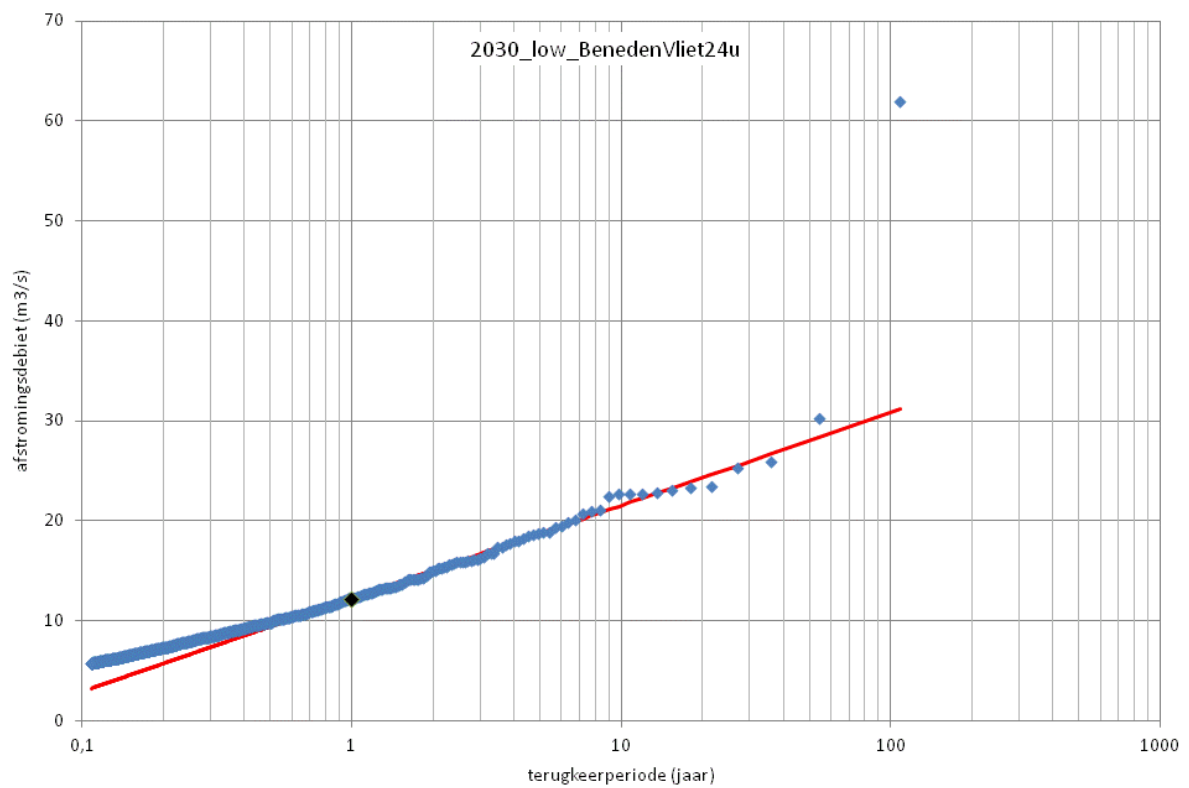
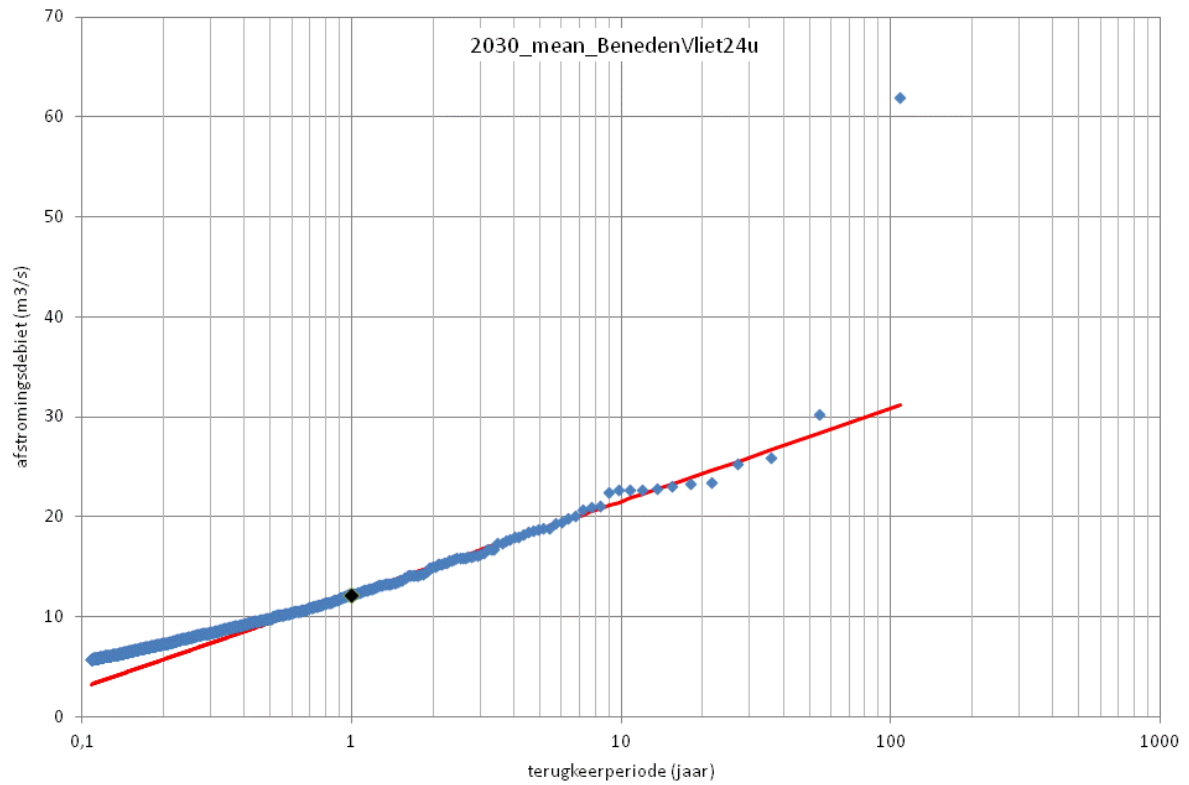


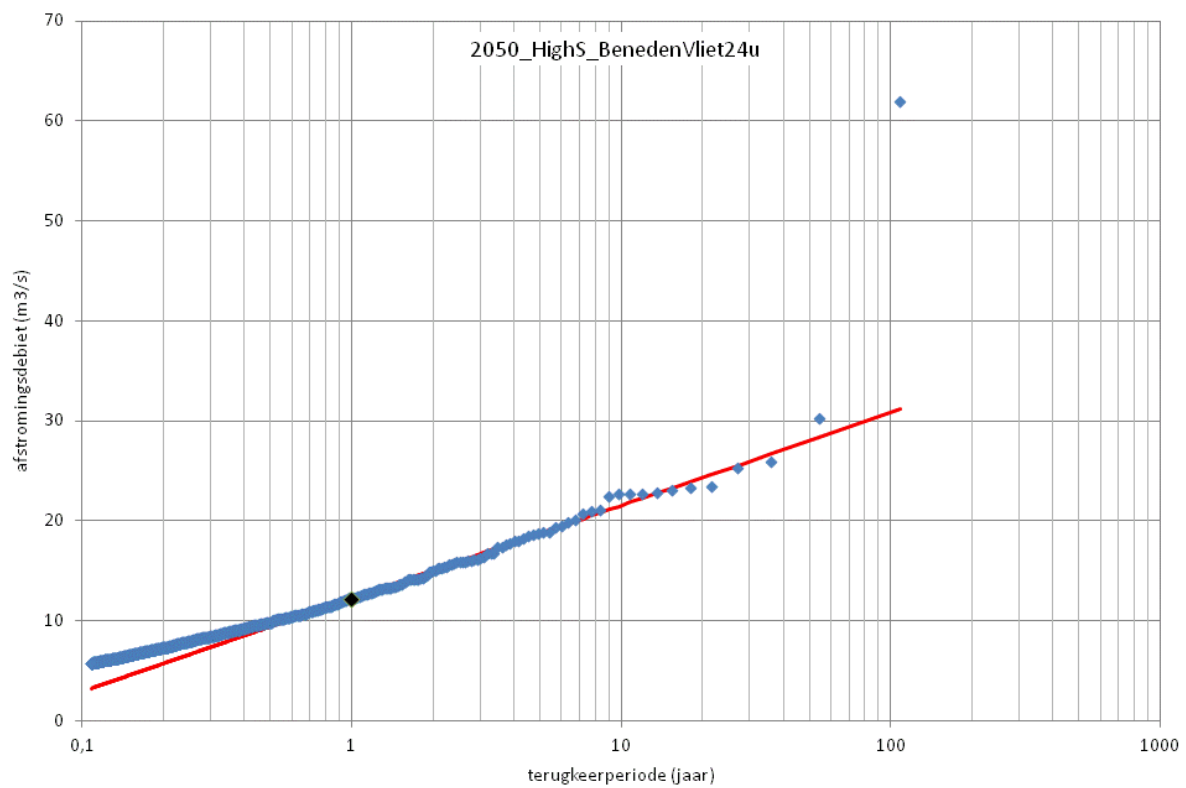
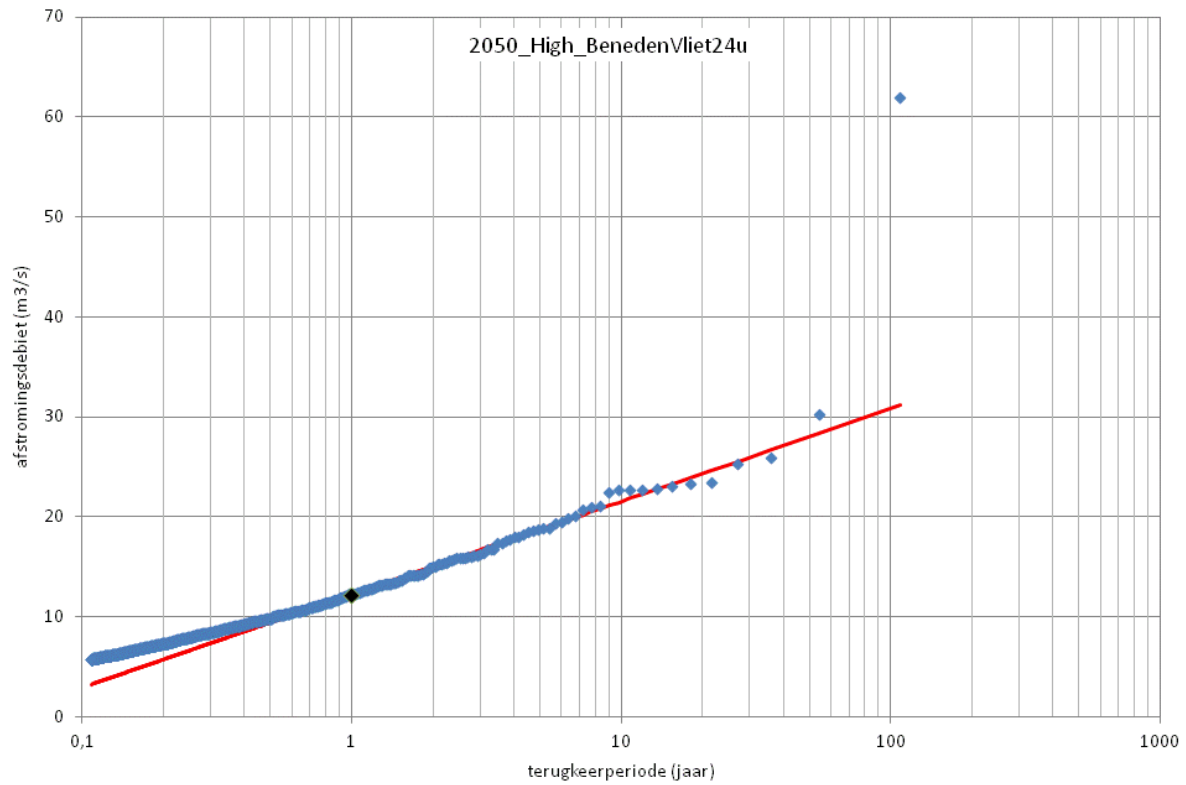


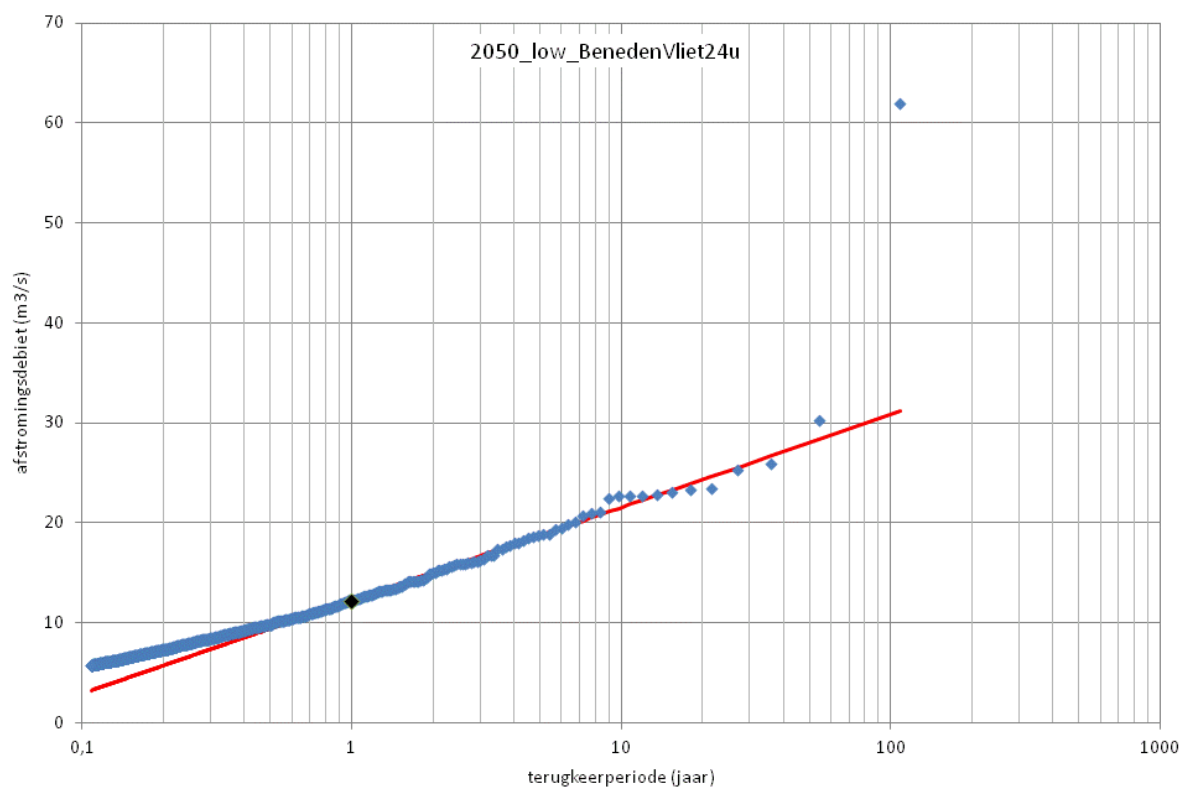
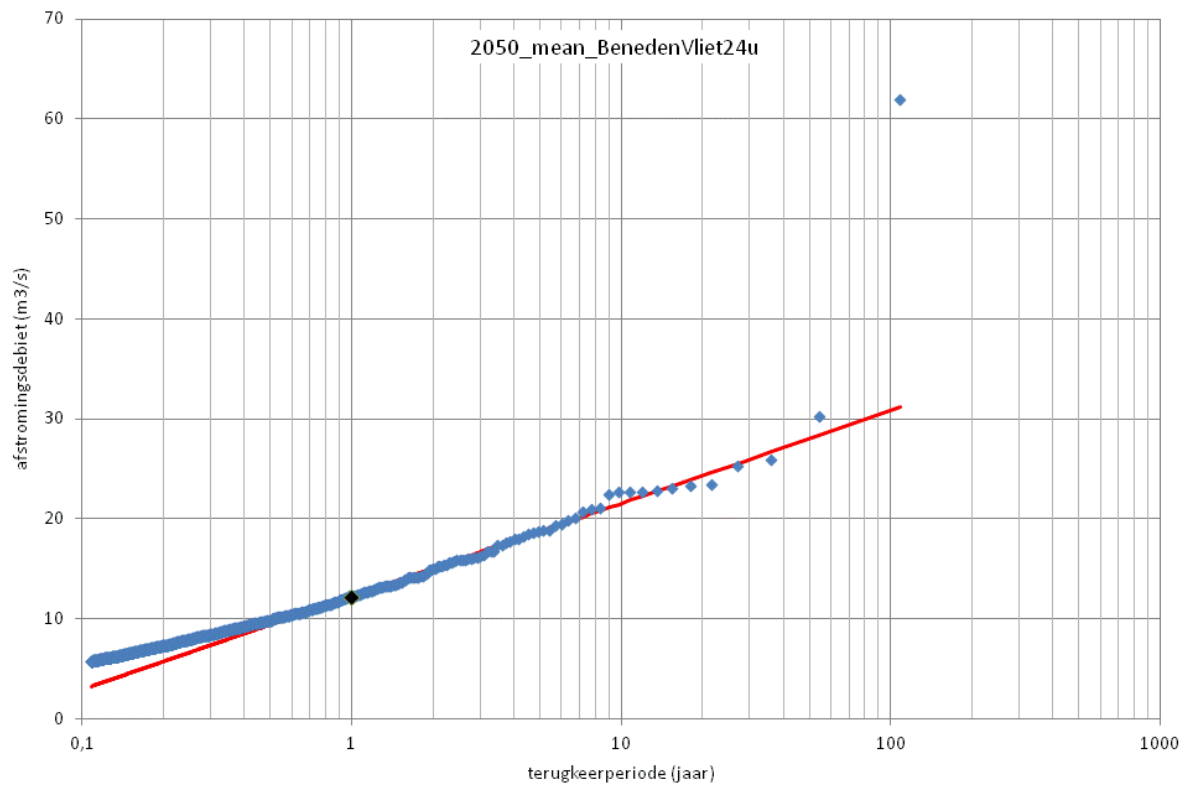


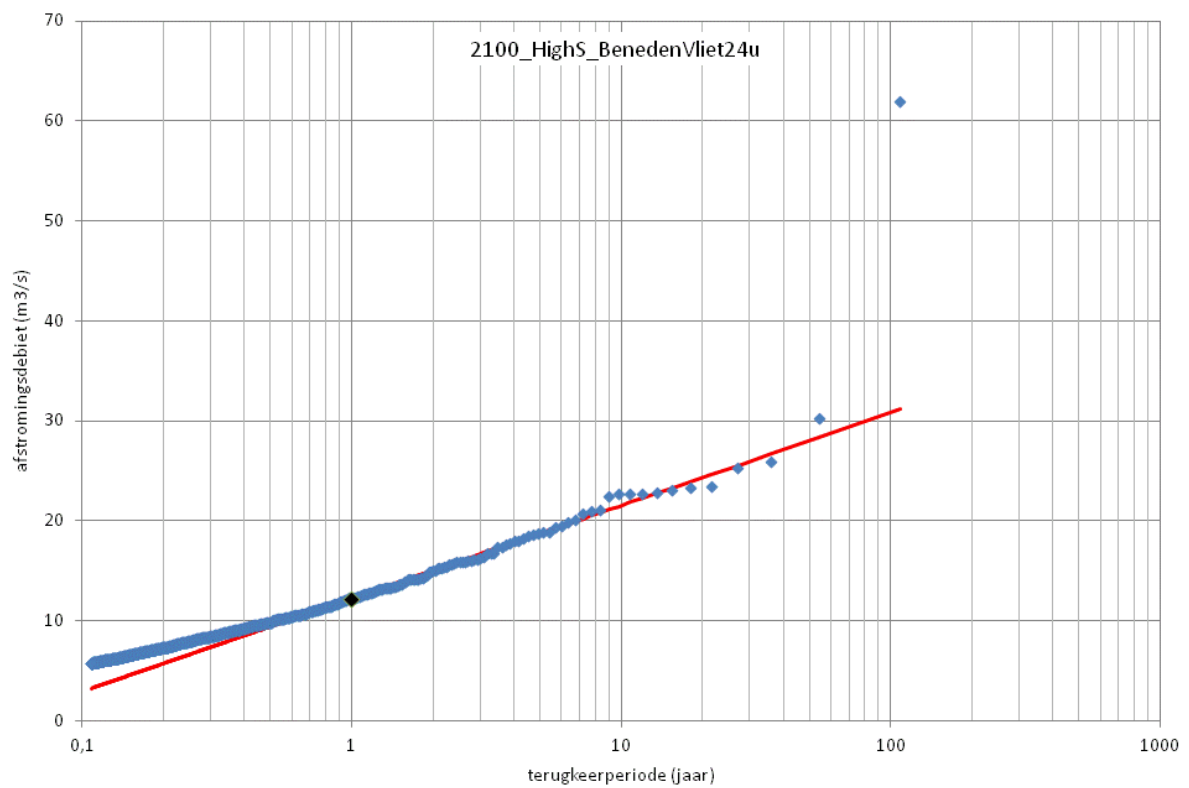
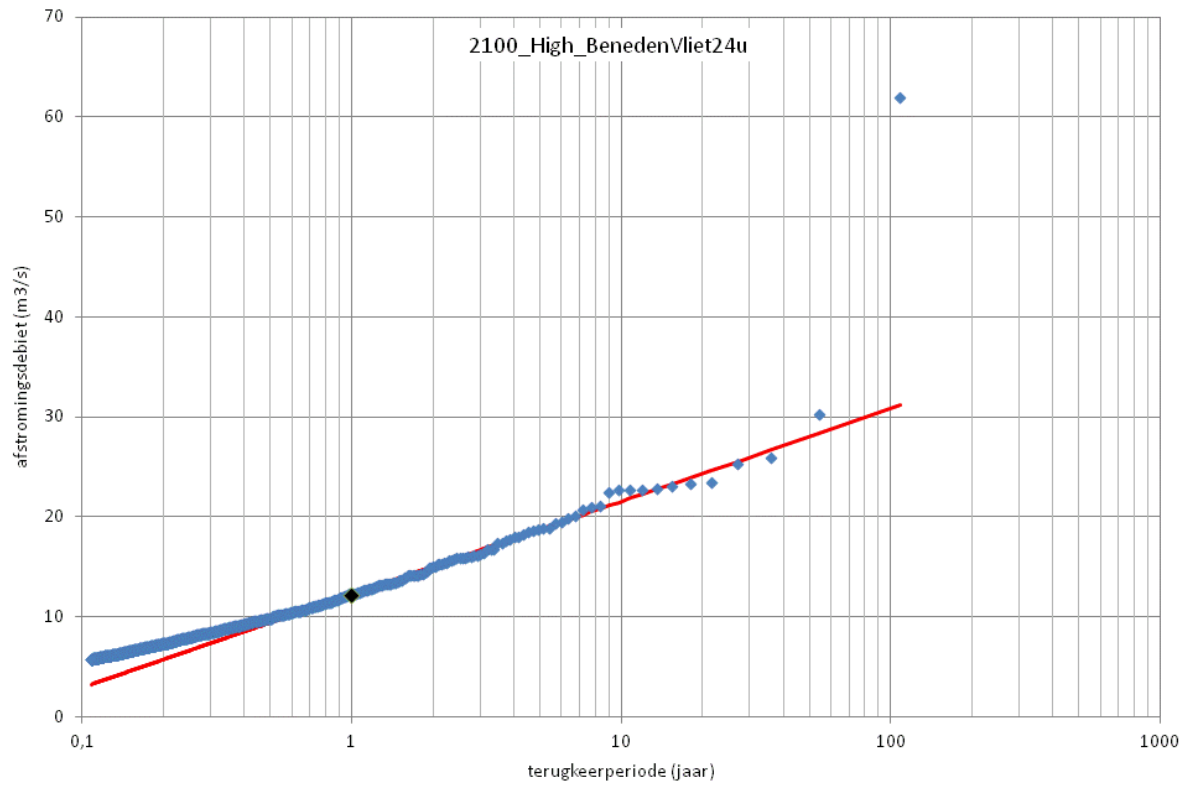
C.6 Neerslag Benedenvliet daggemiddeld

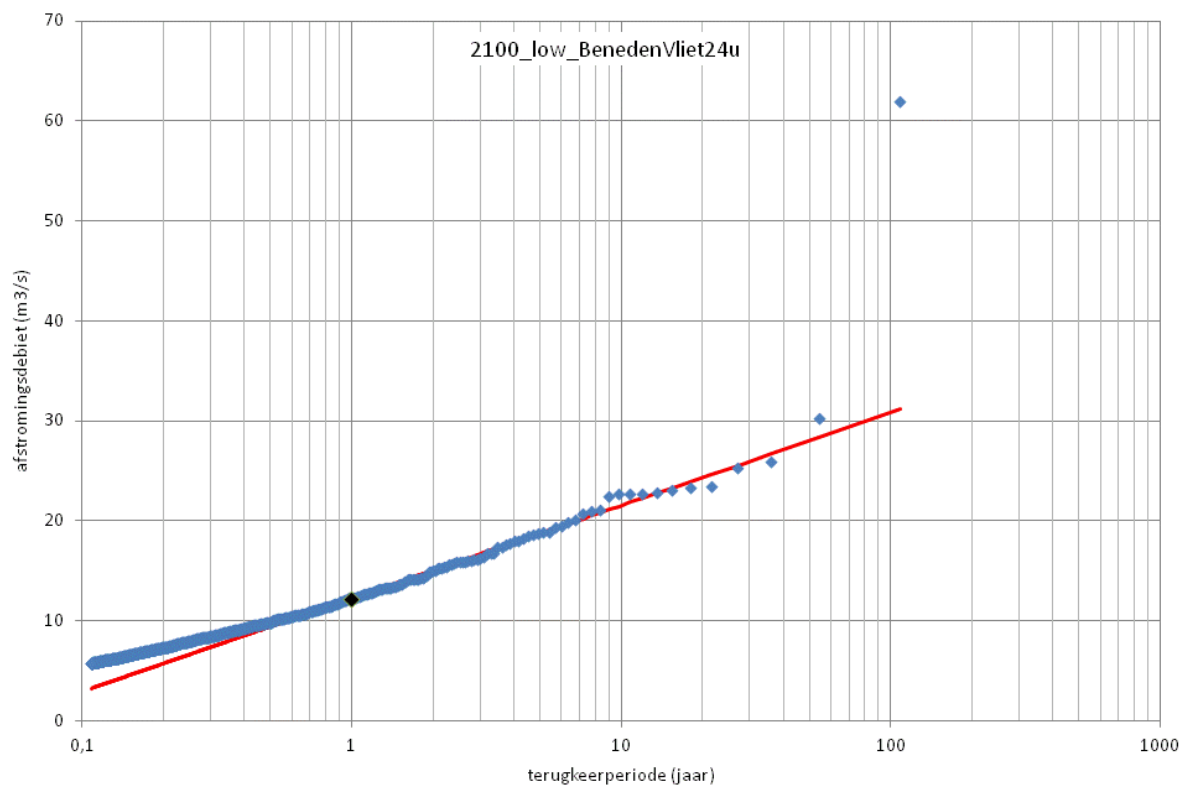
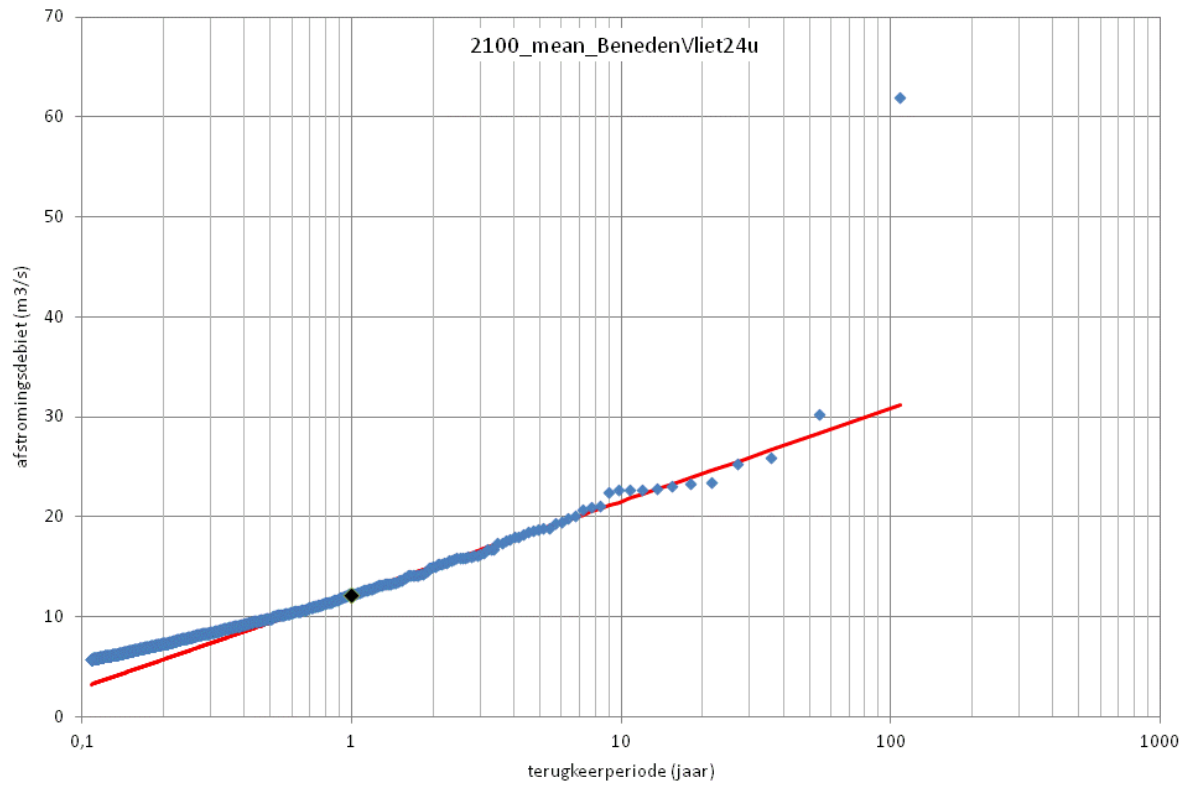


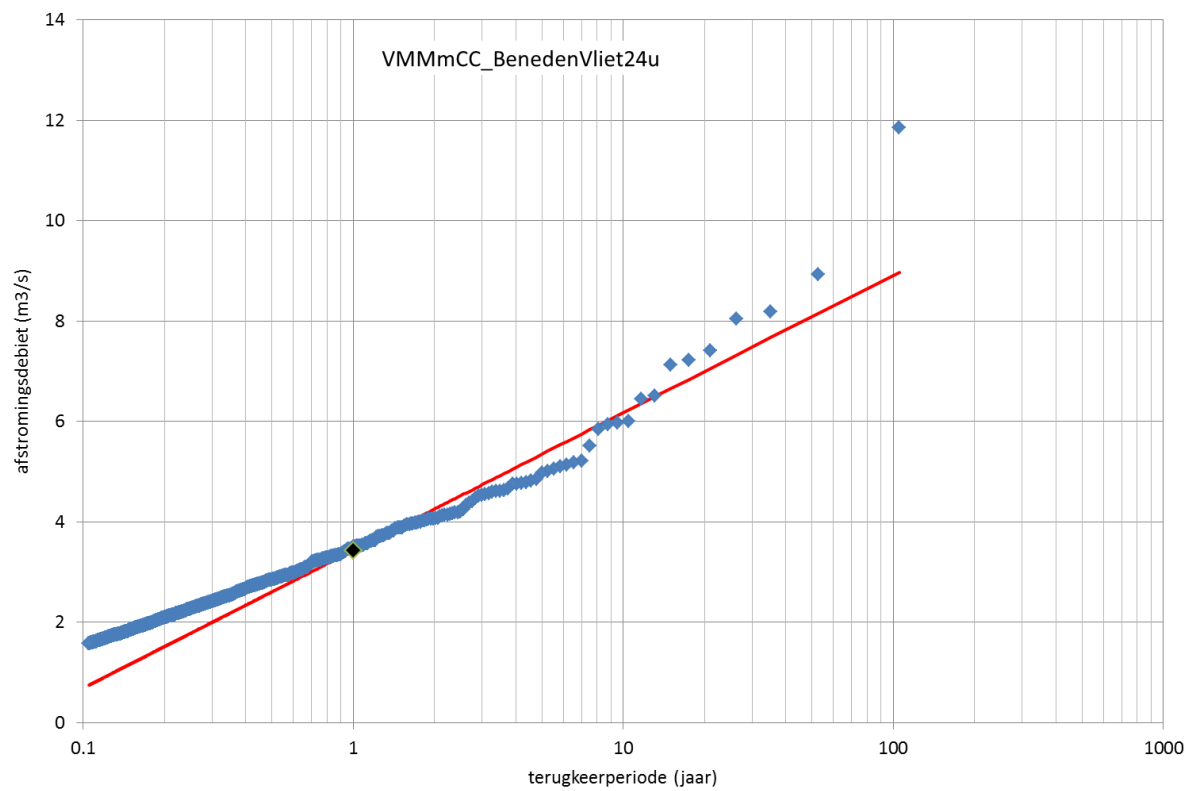
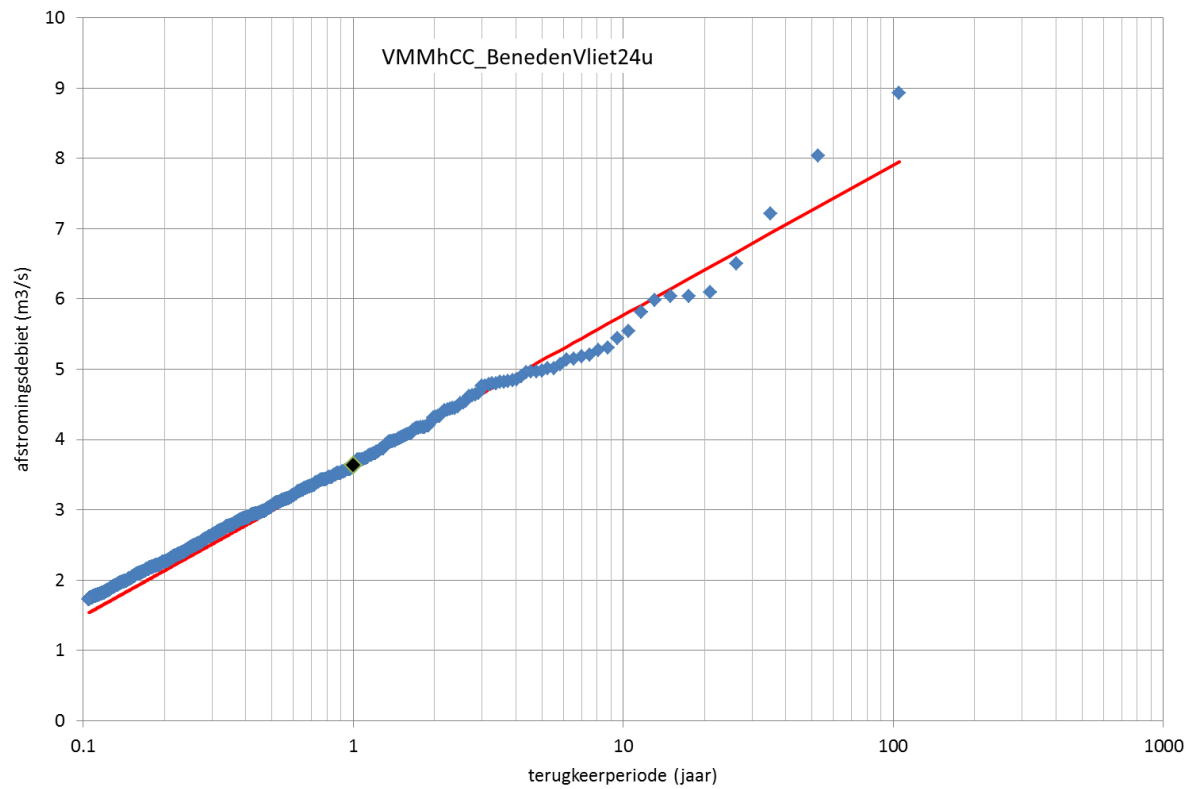


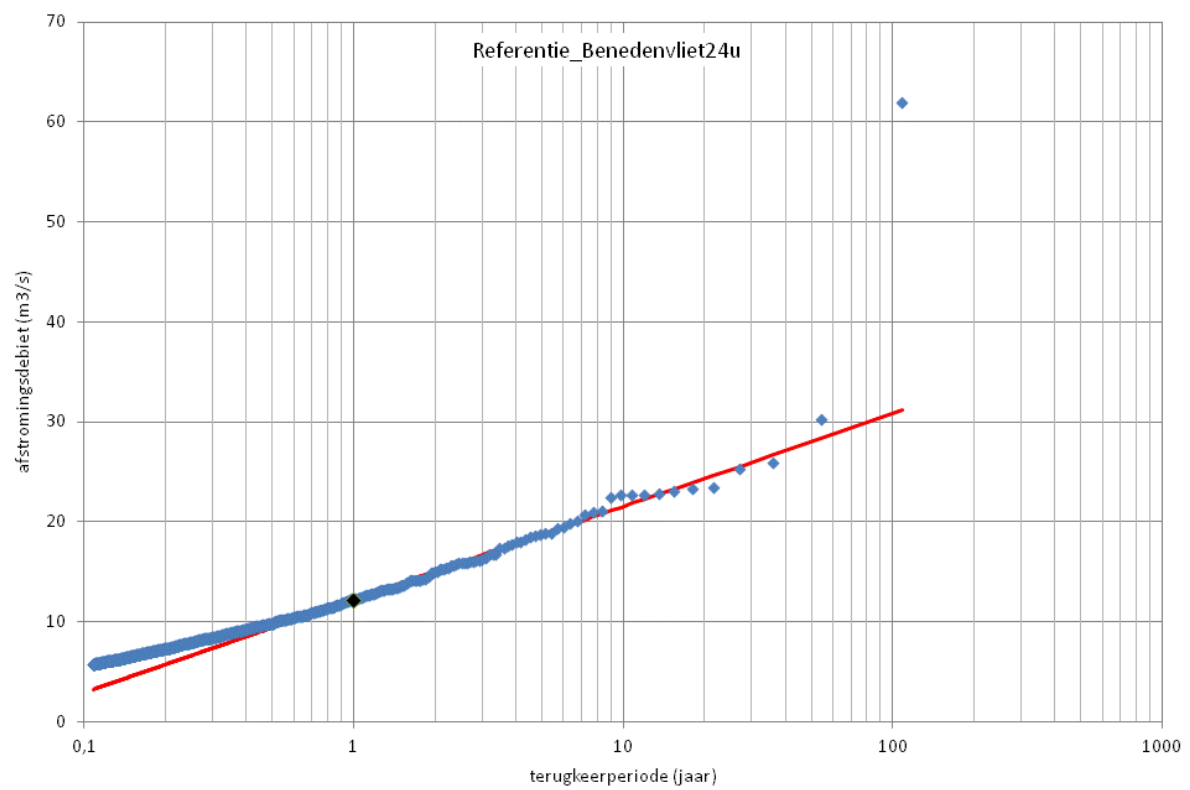
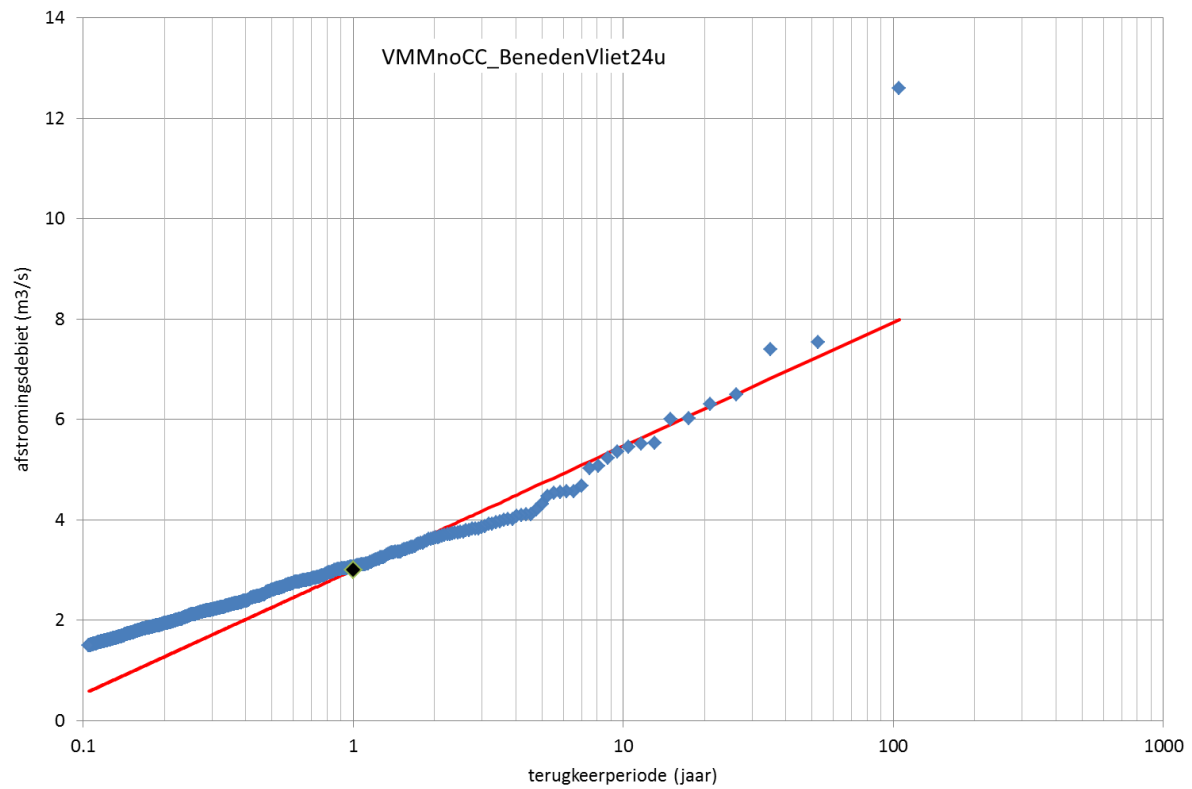




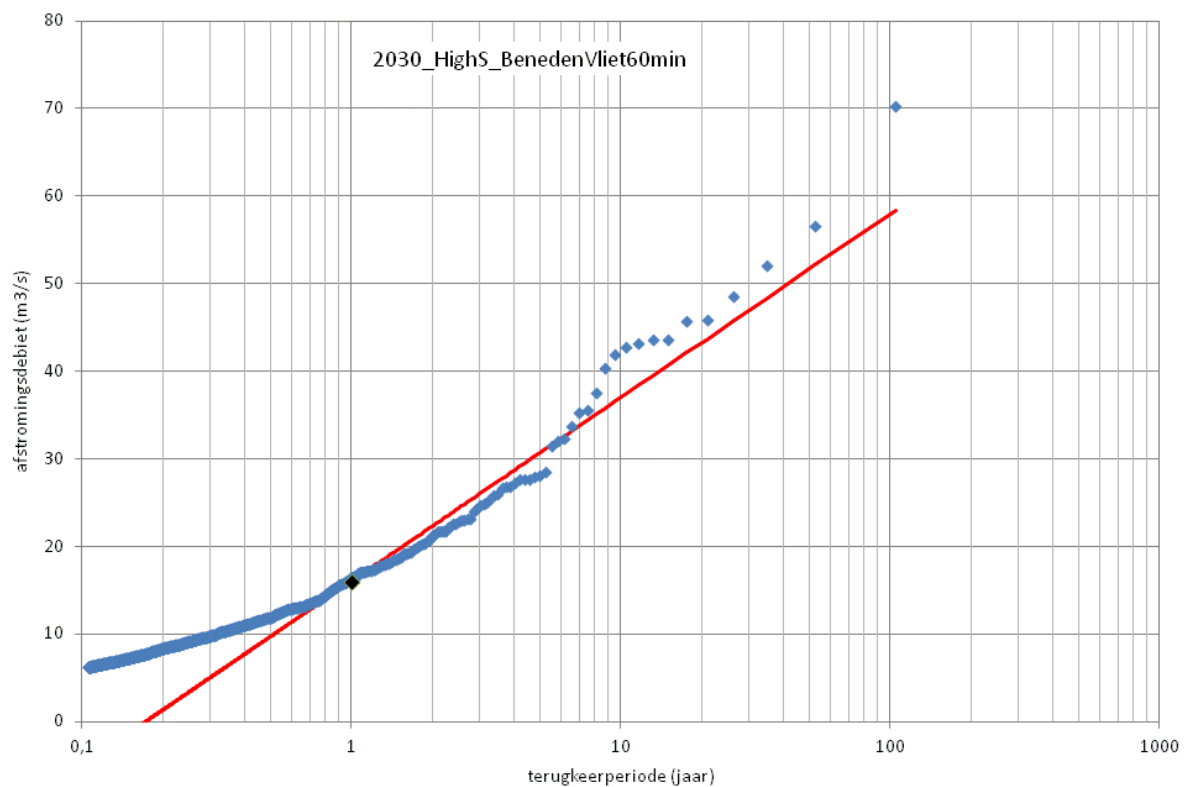
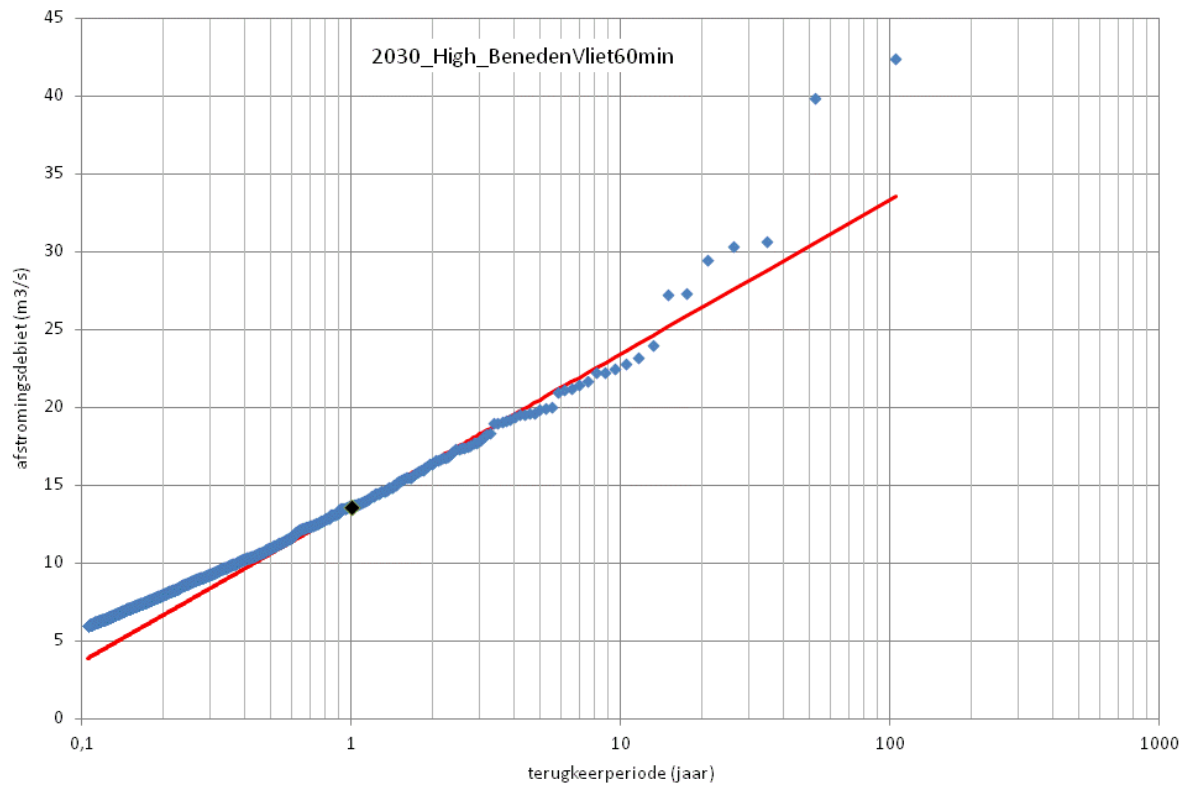


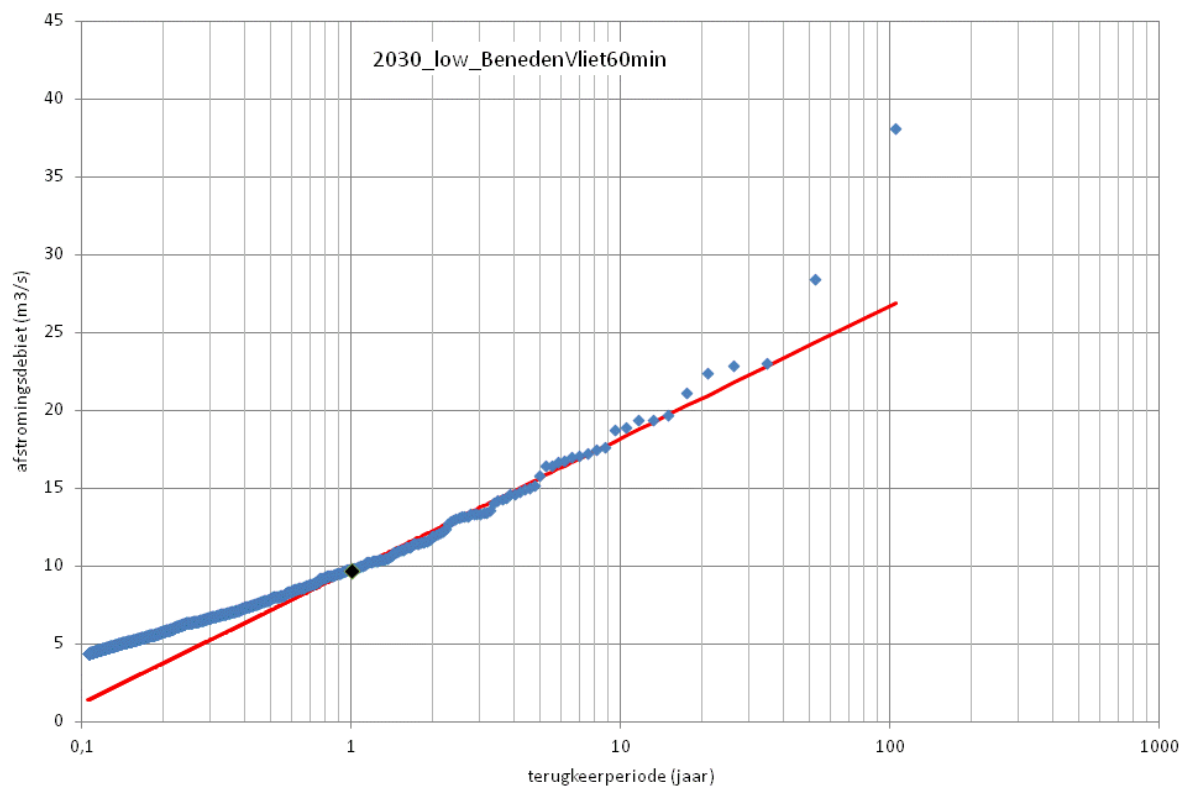
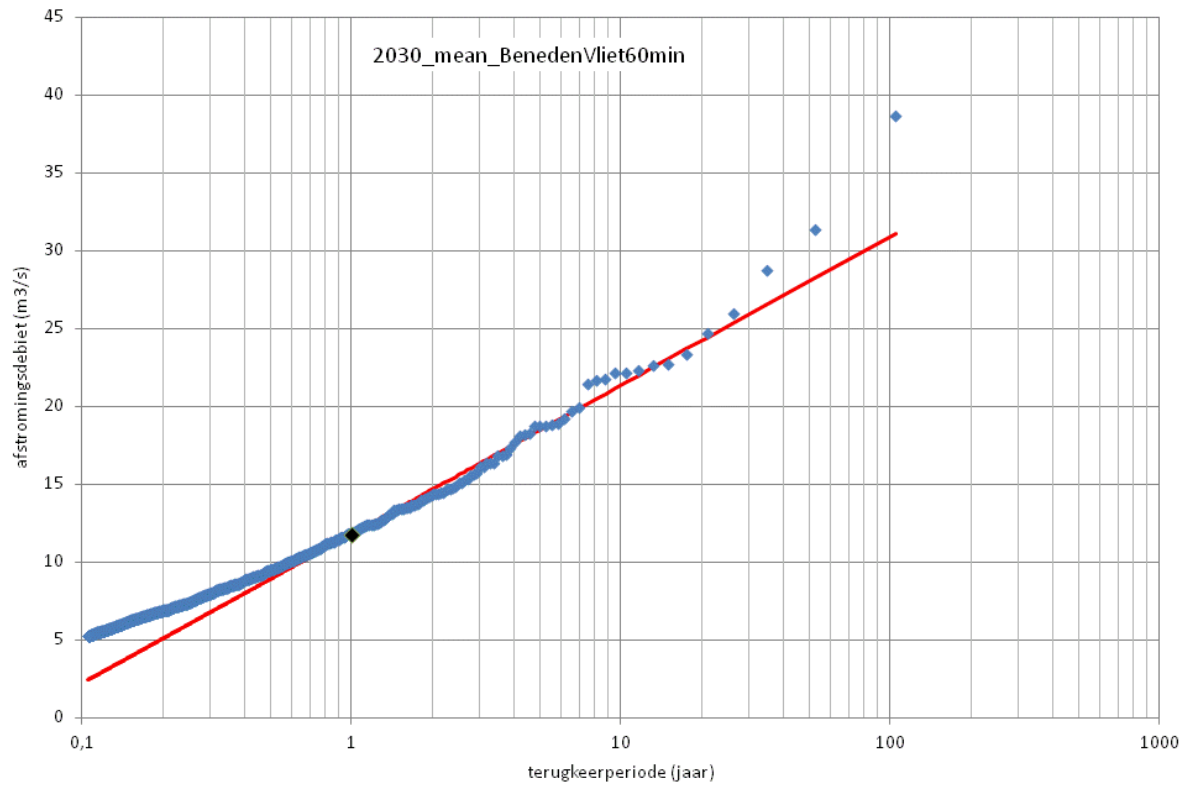


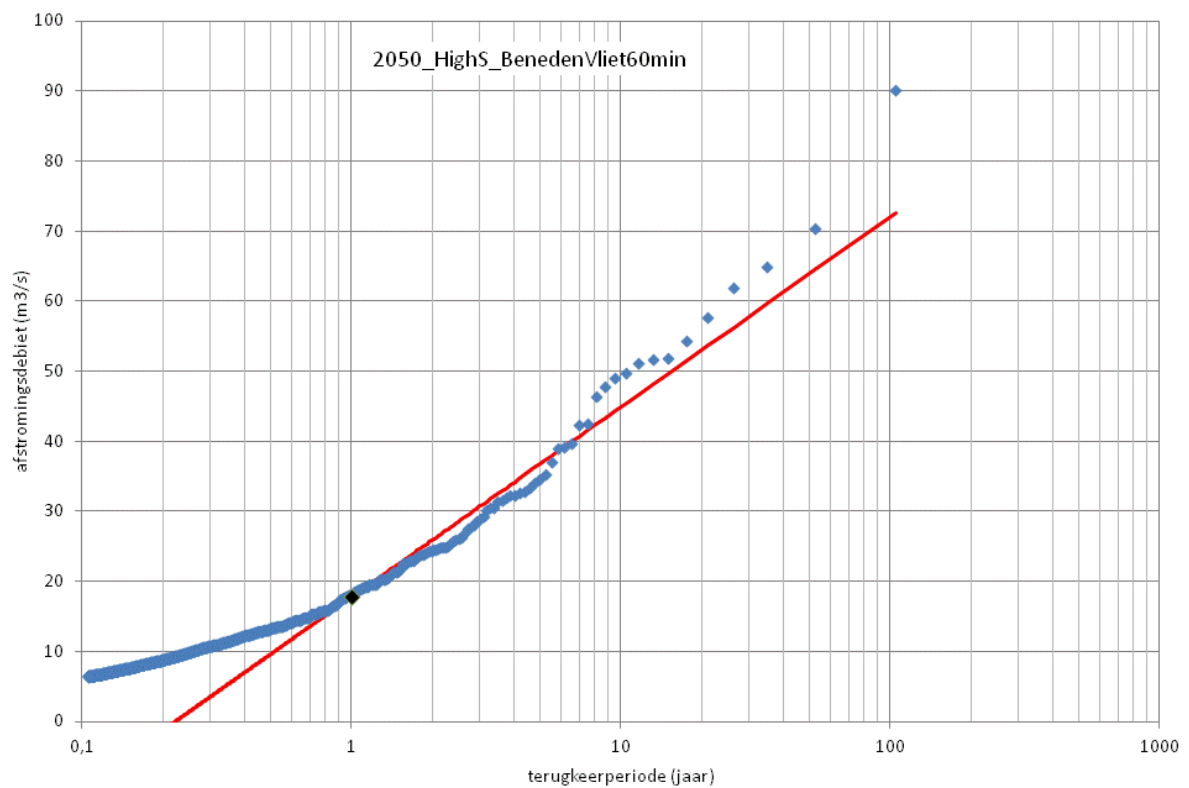
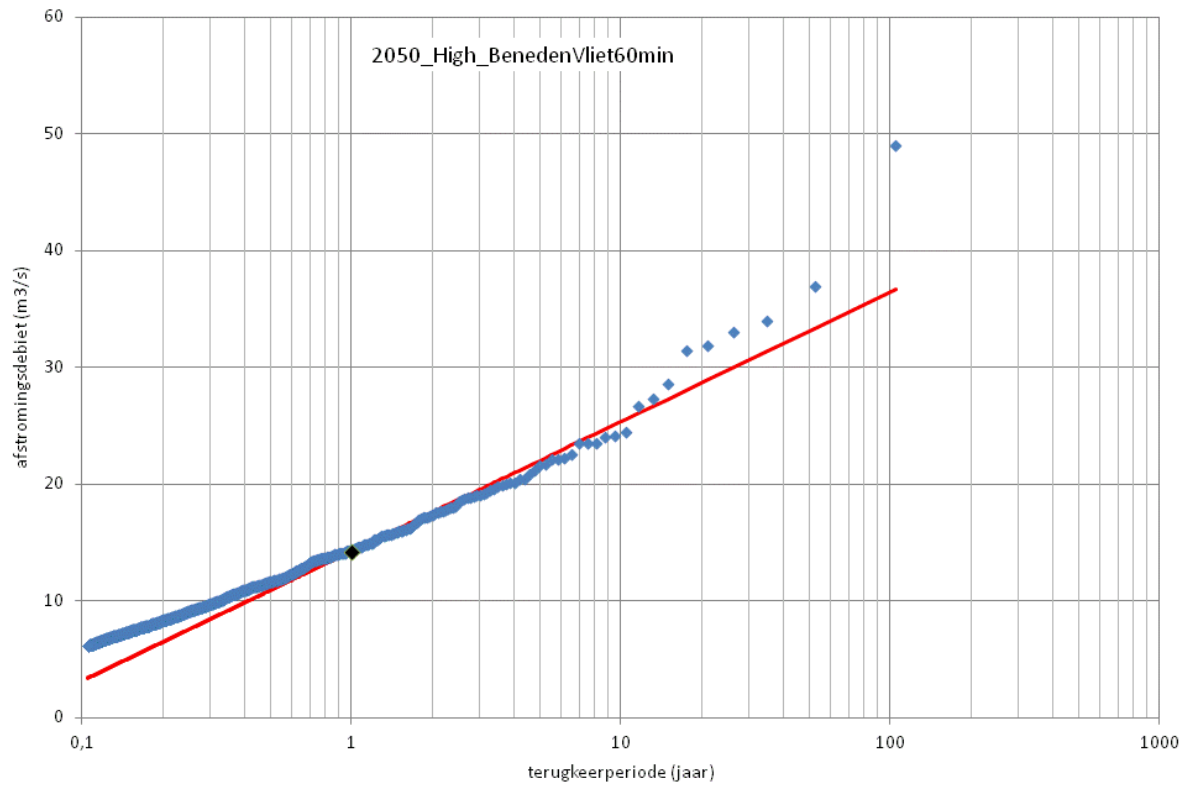


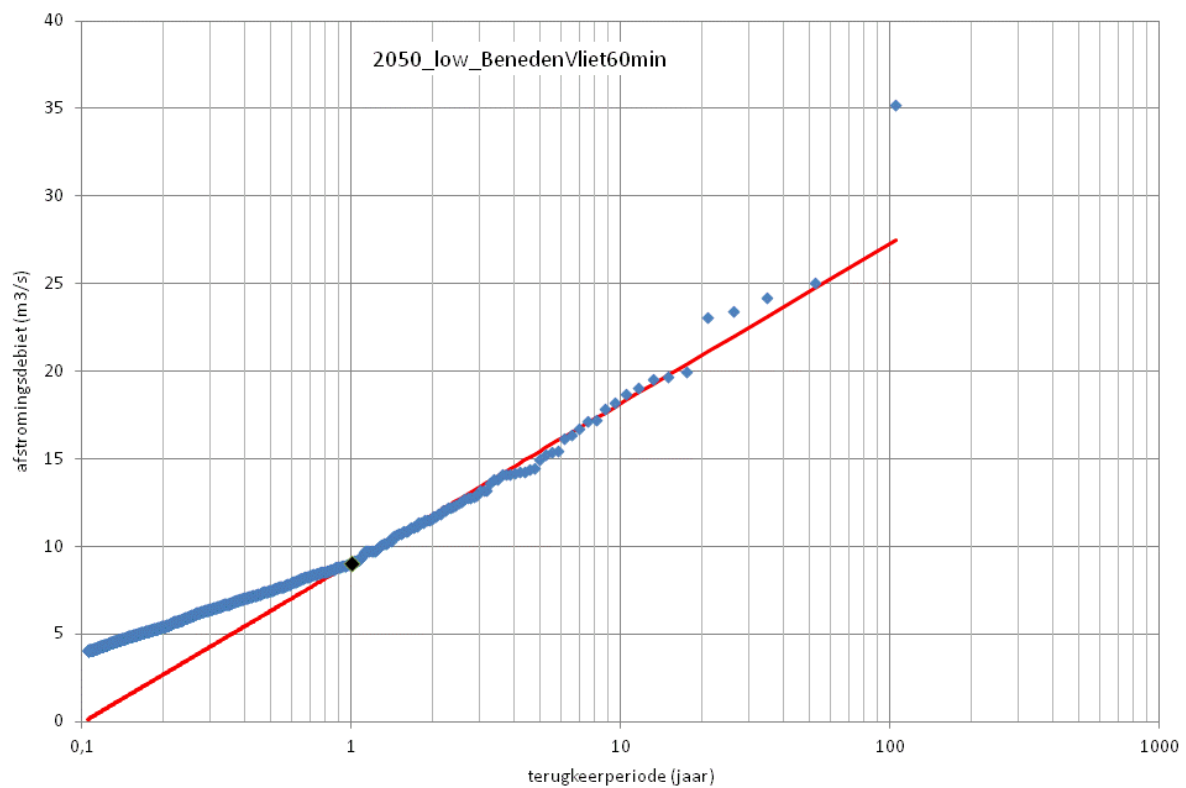
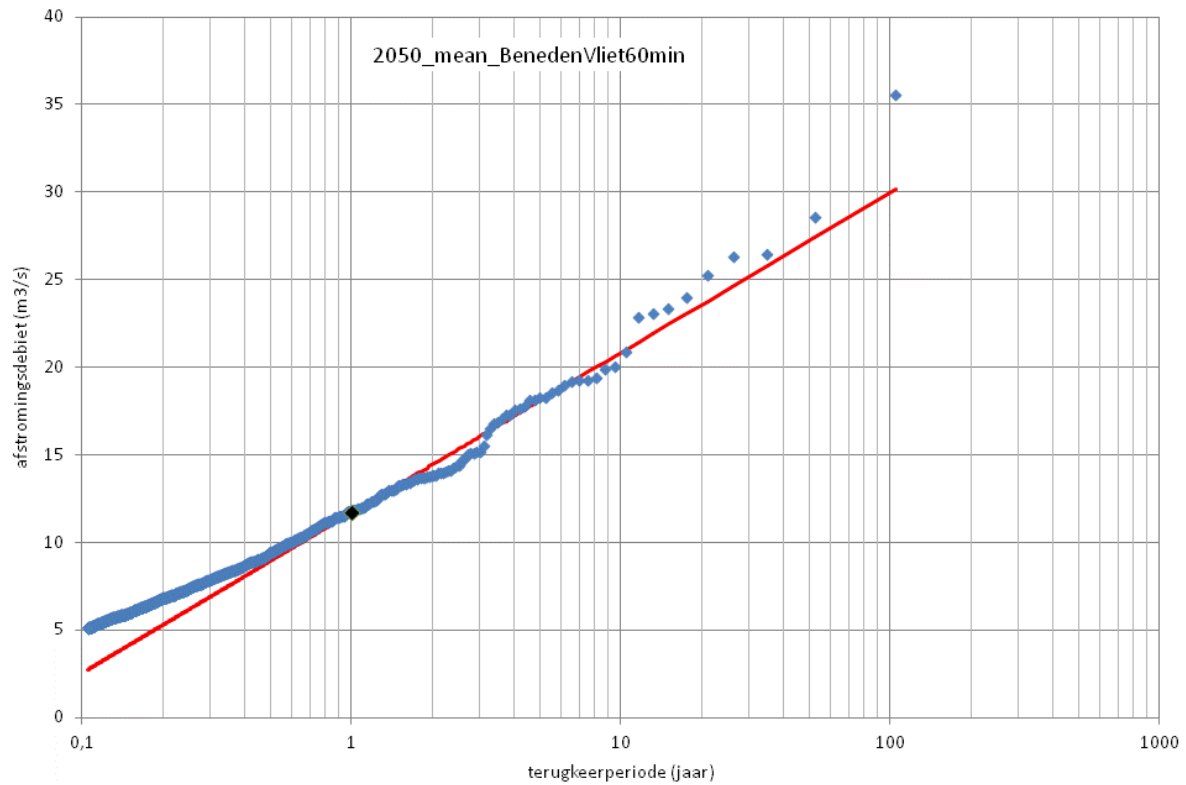


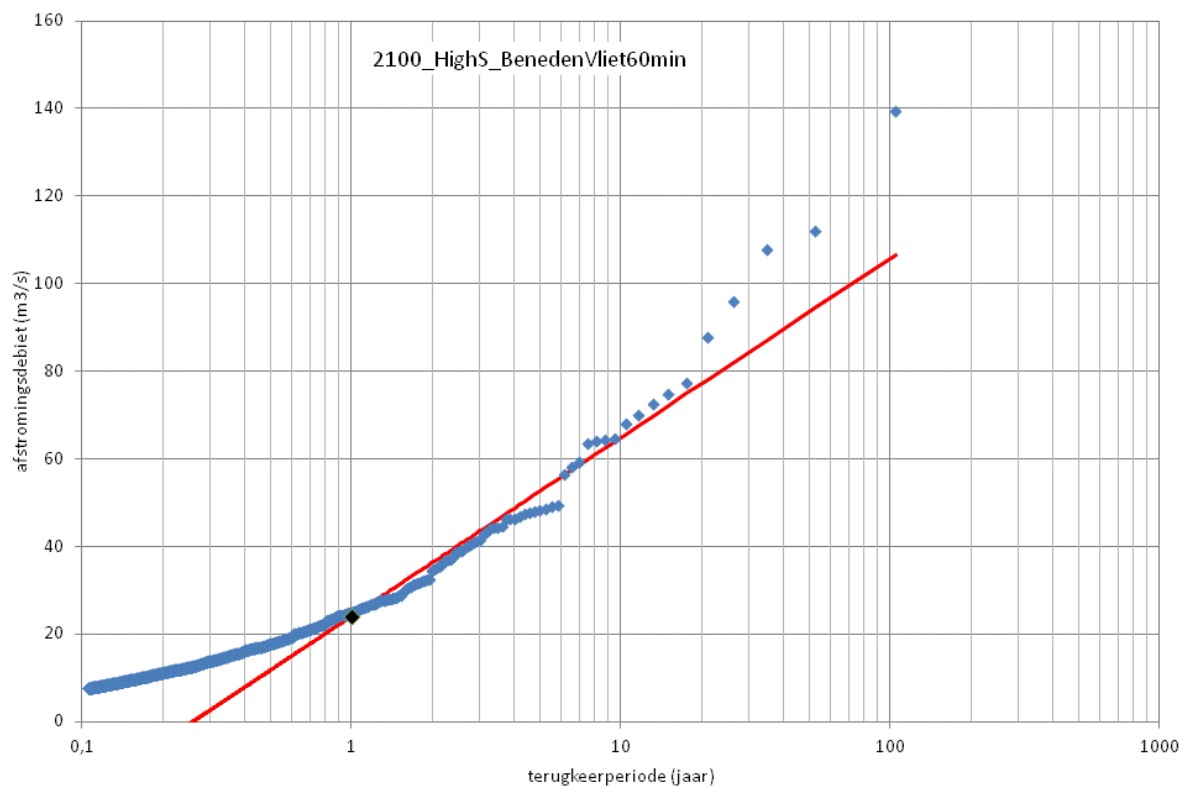
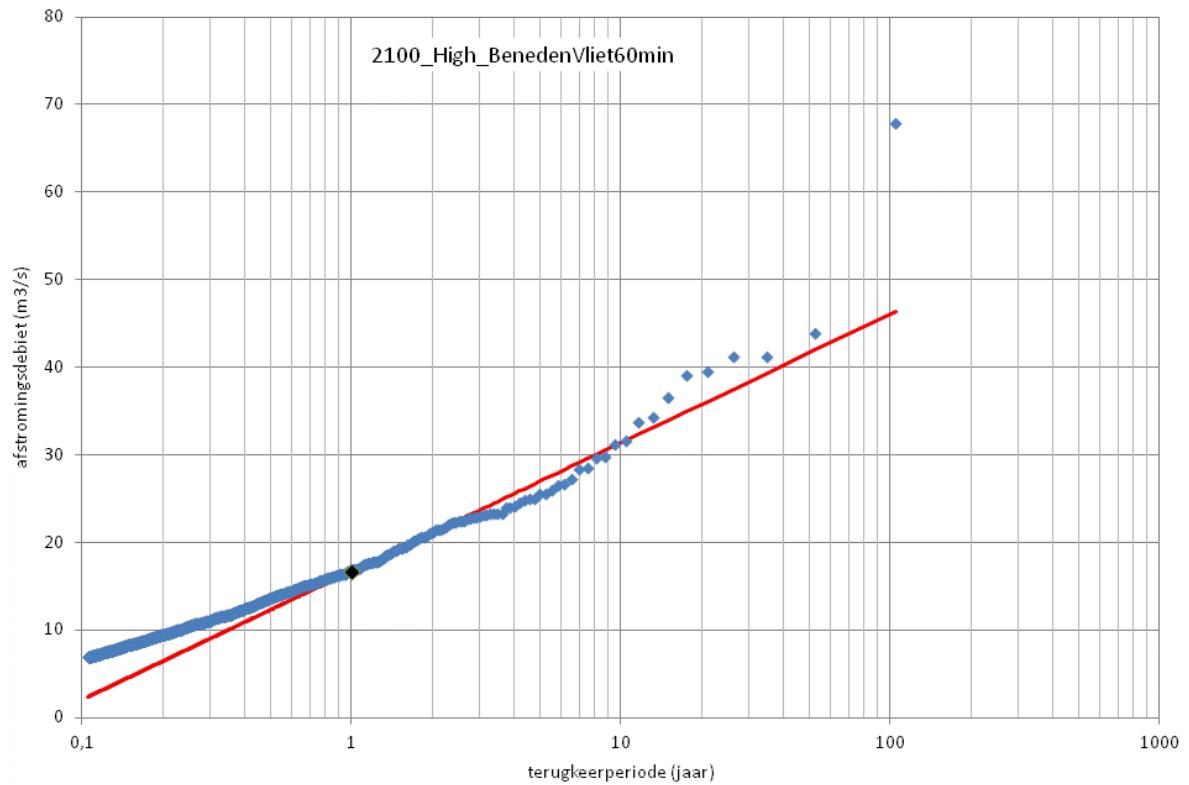
C.7 PDM Benedenvliet uurgemiddeld

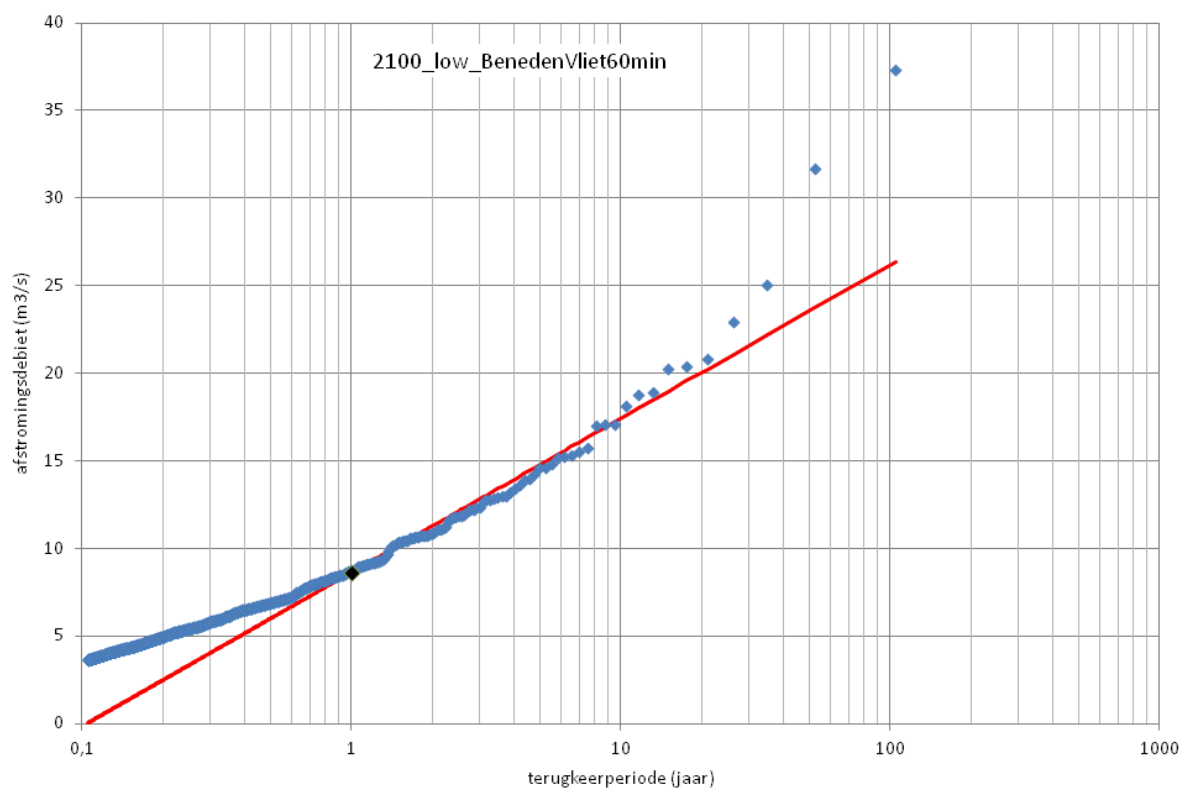
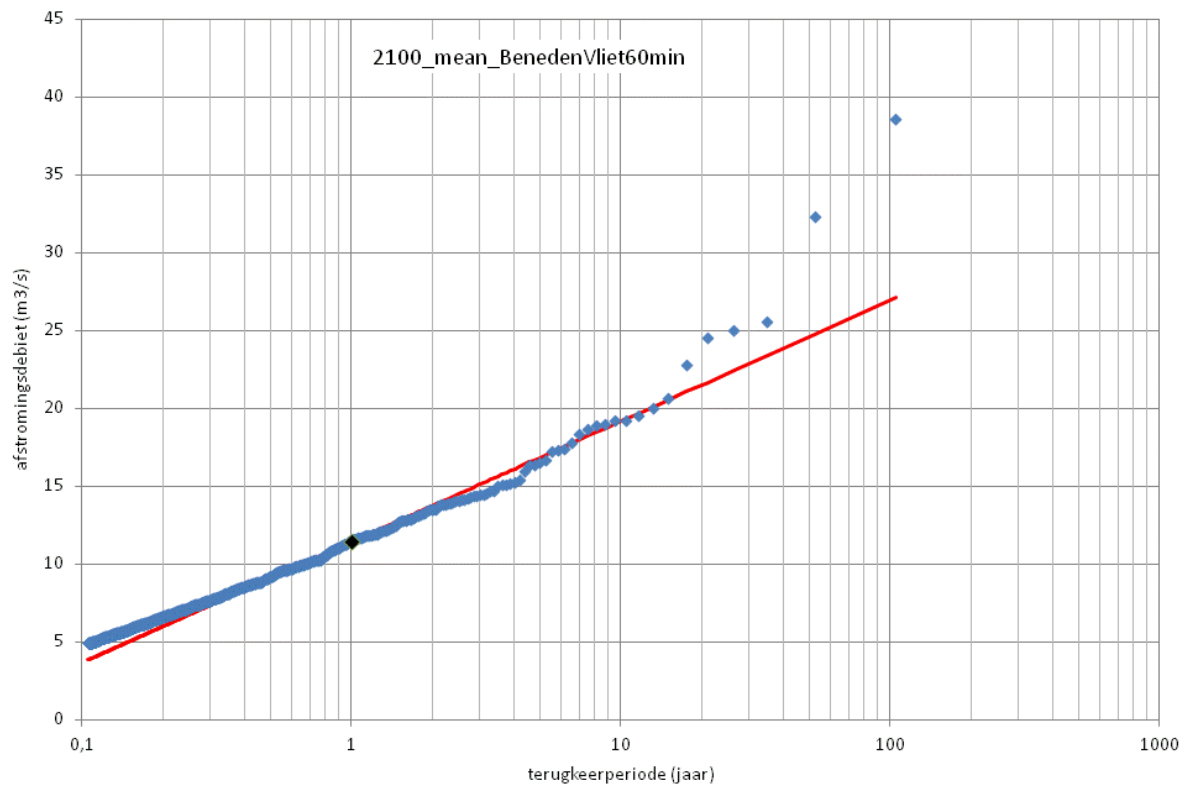


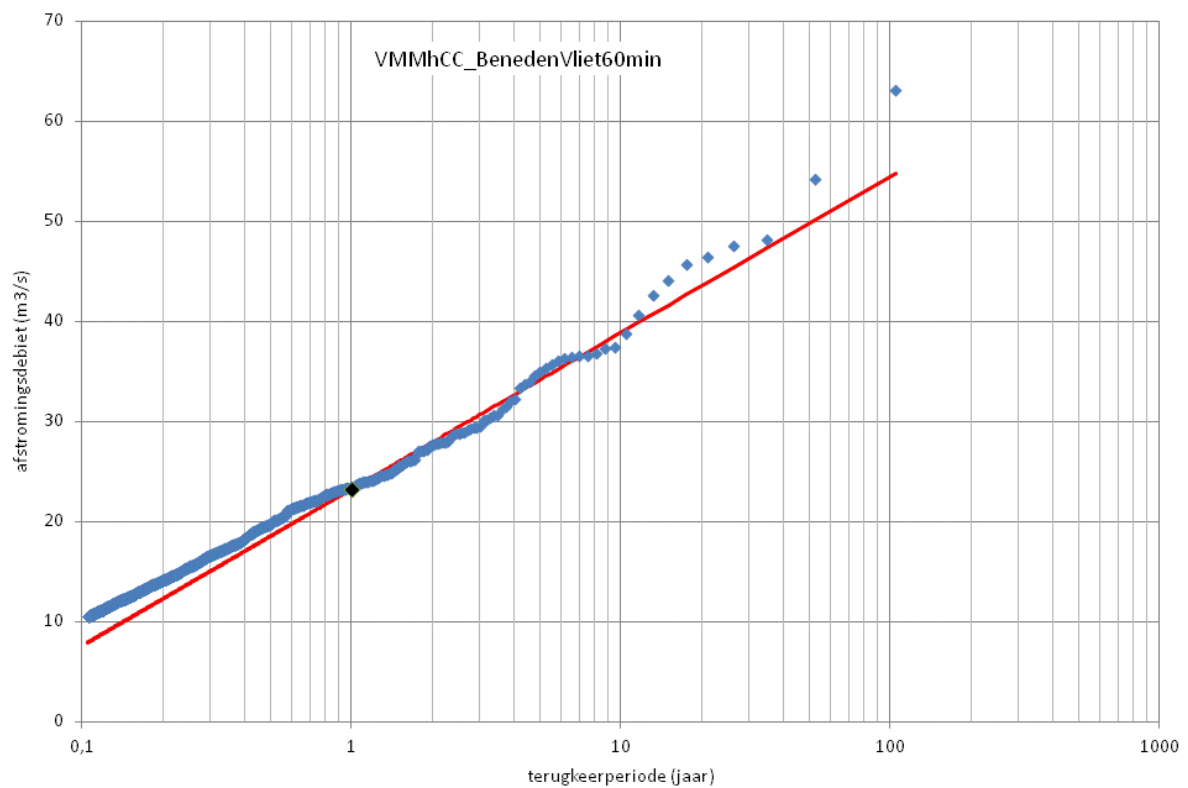
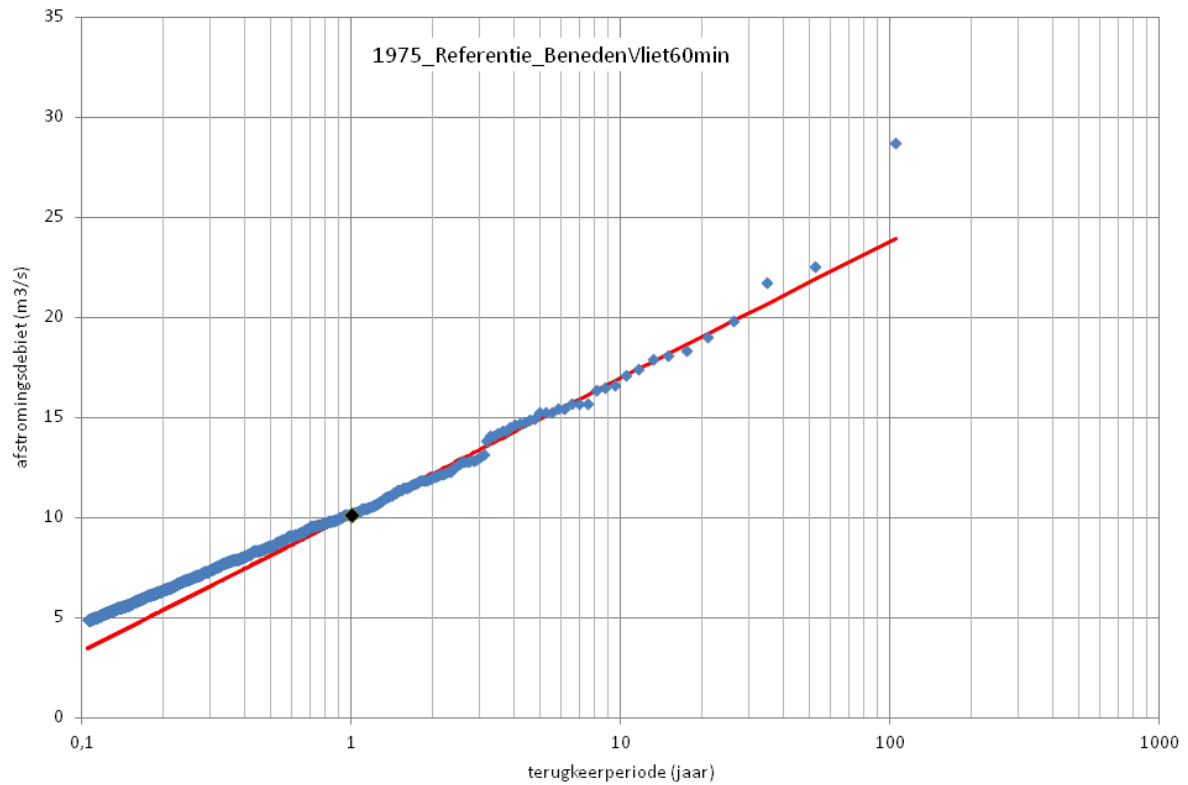


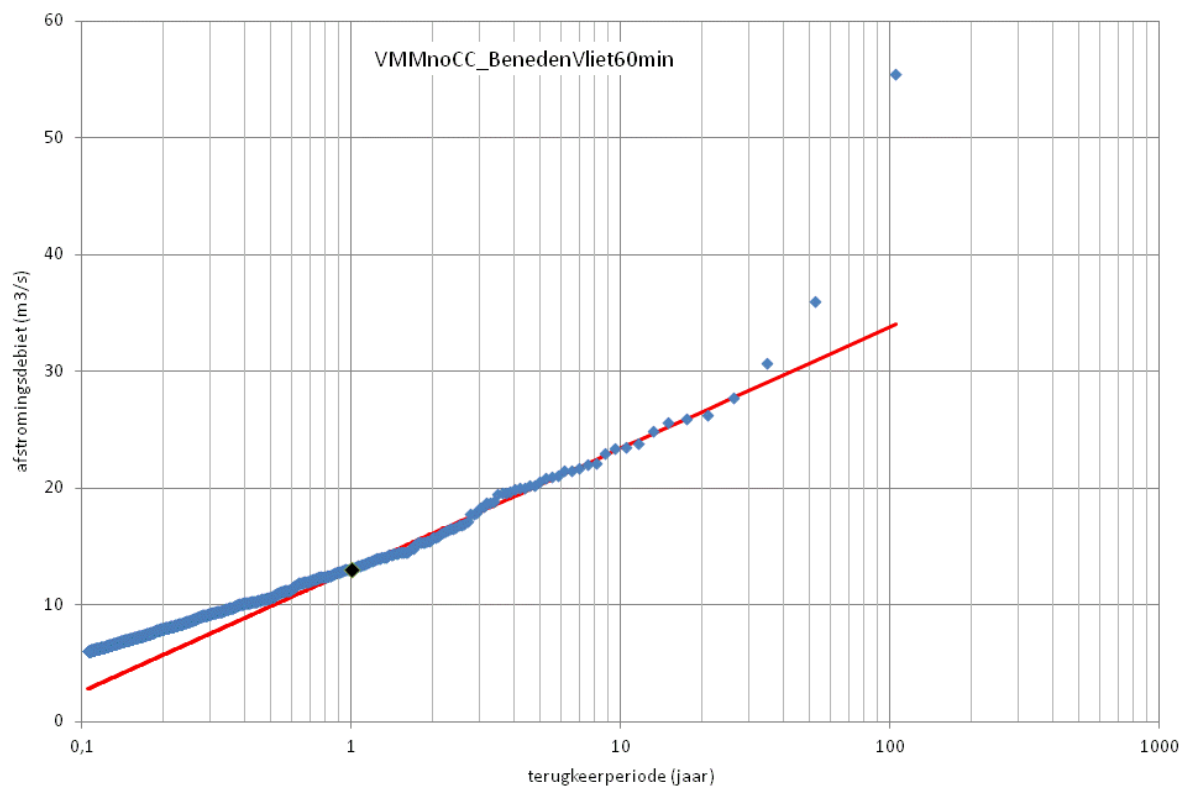
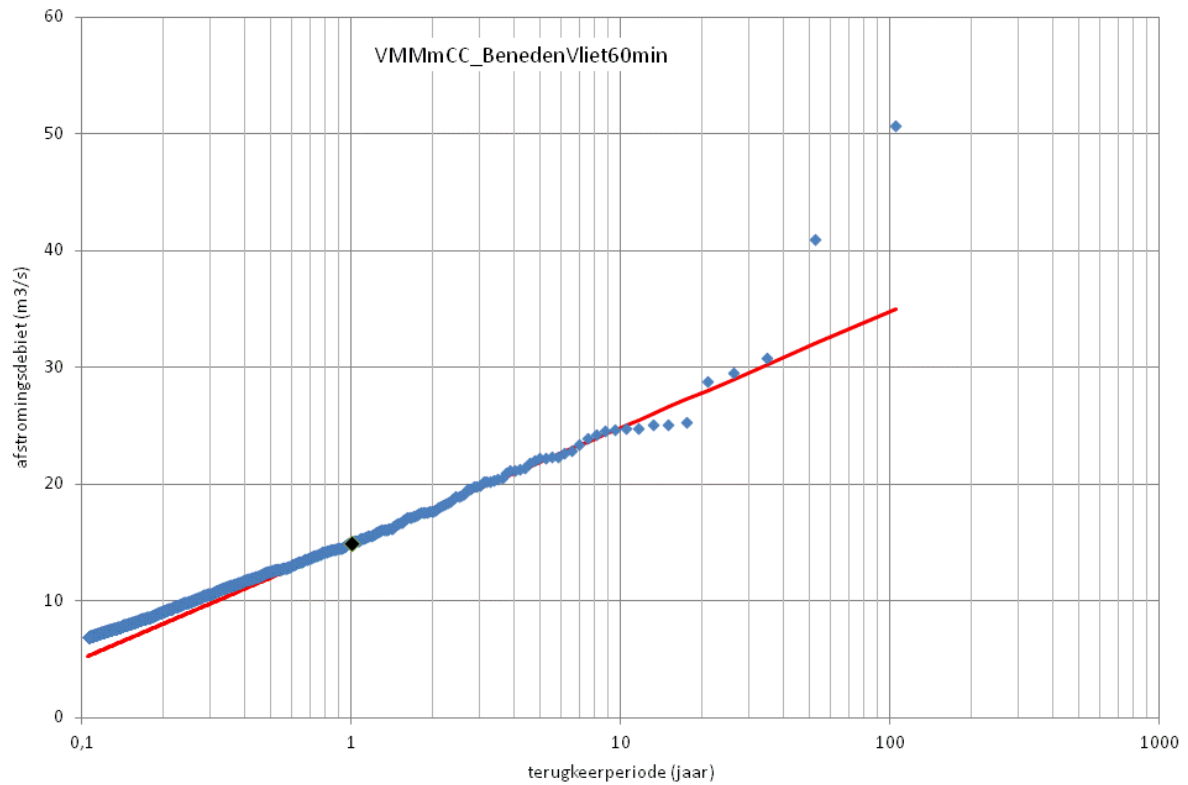




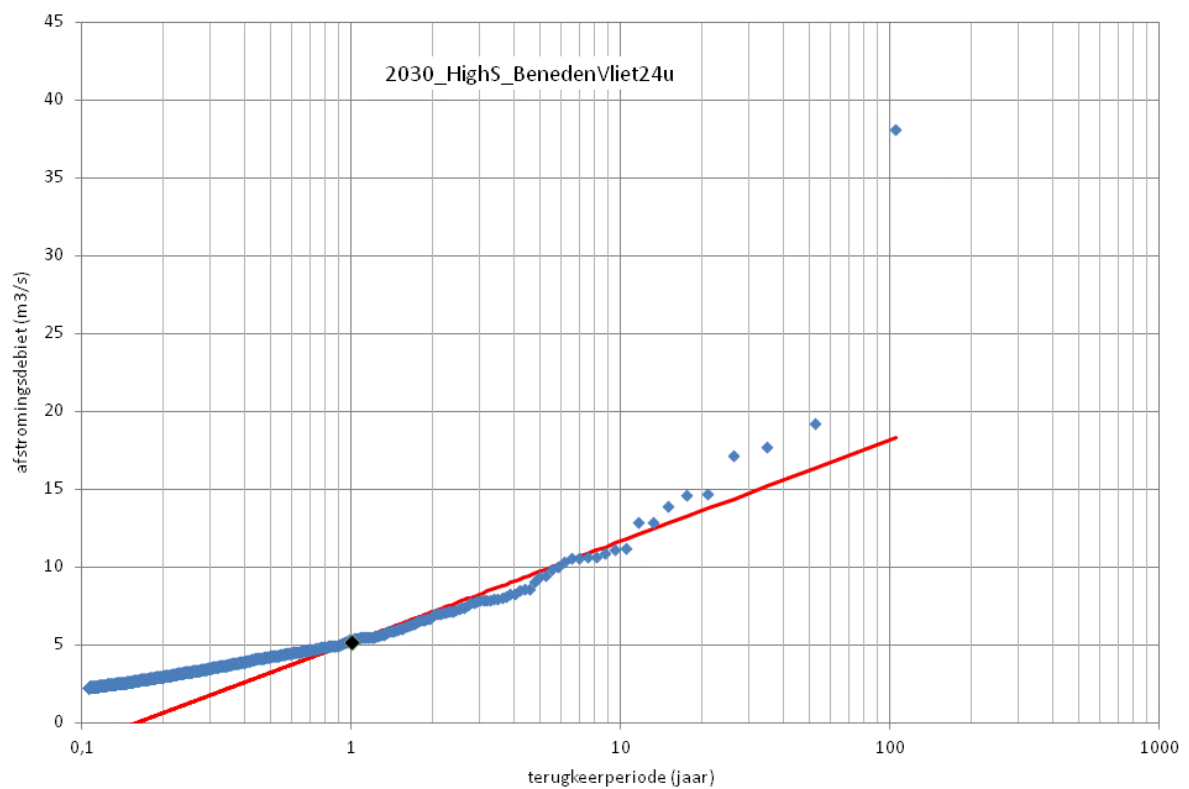
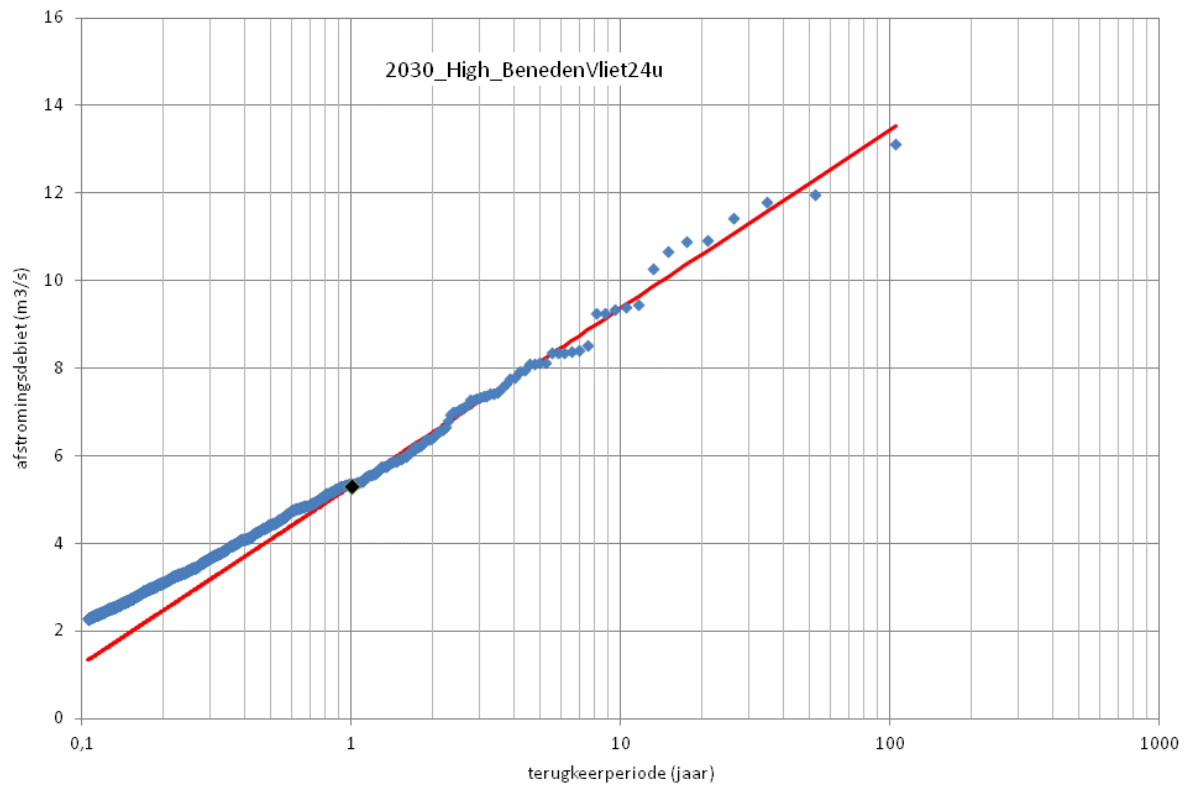


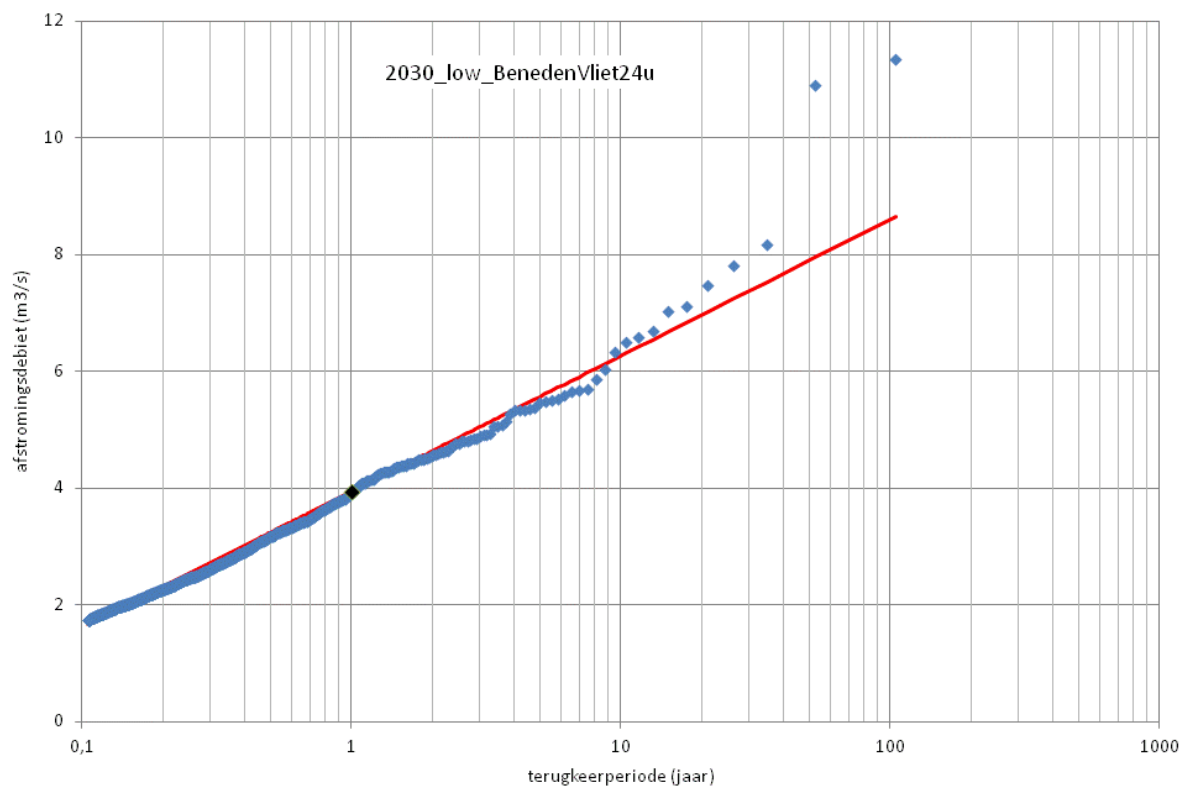
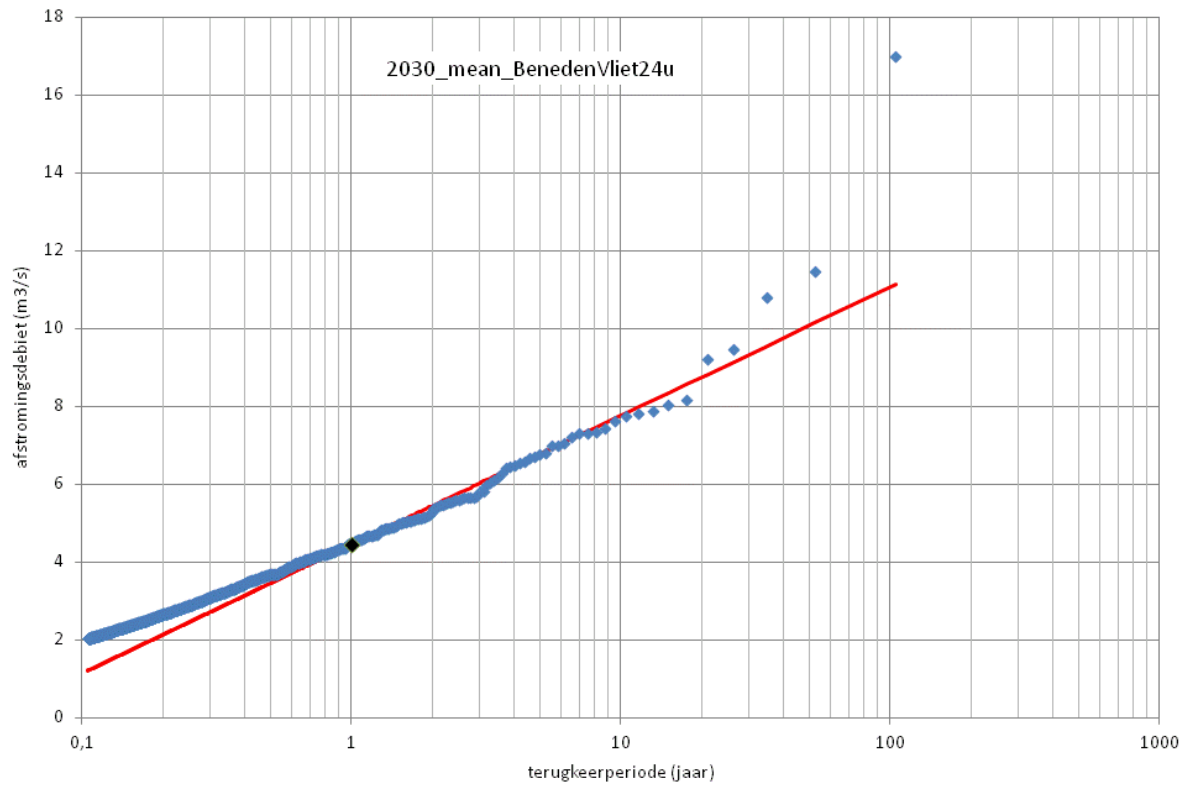


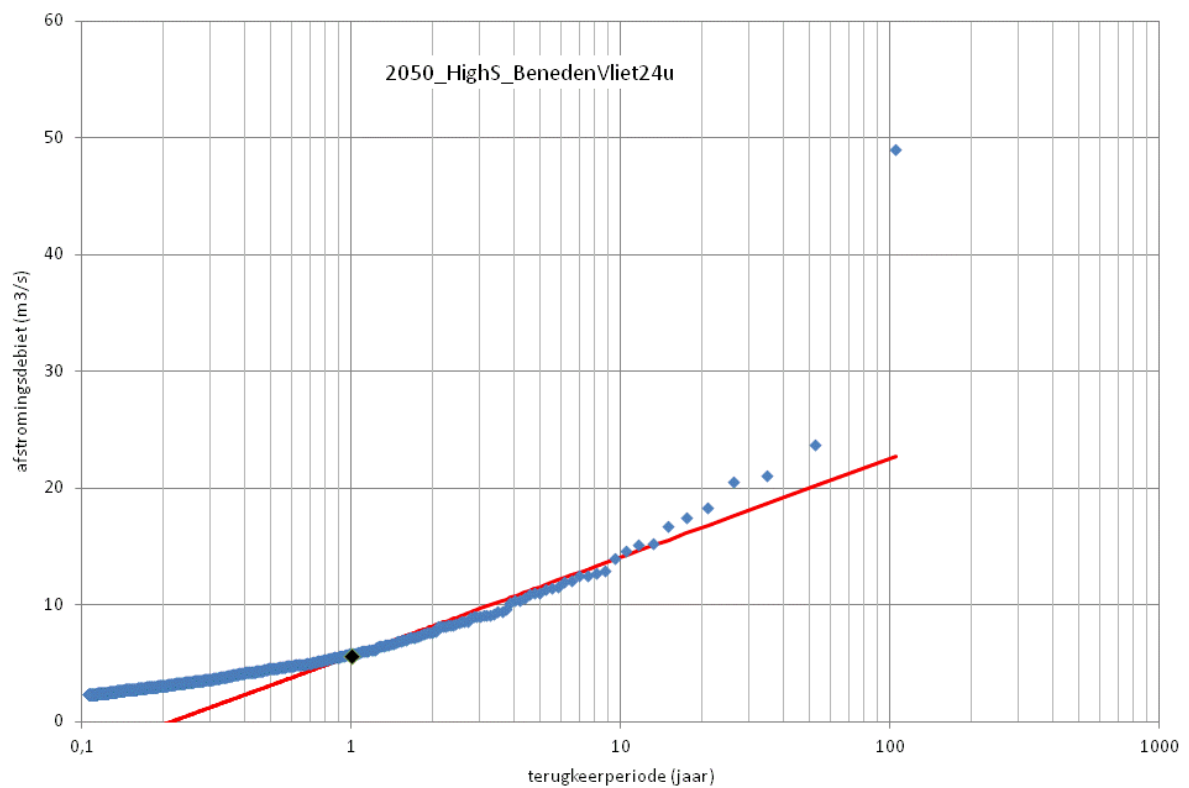
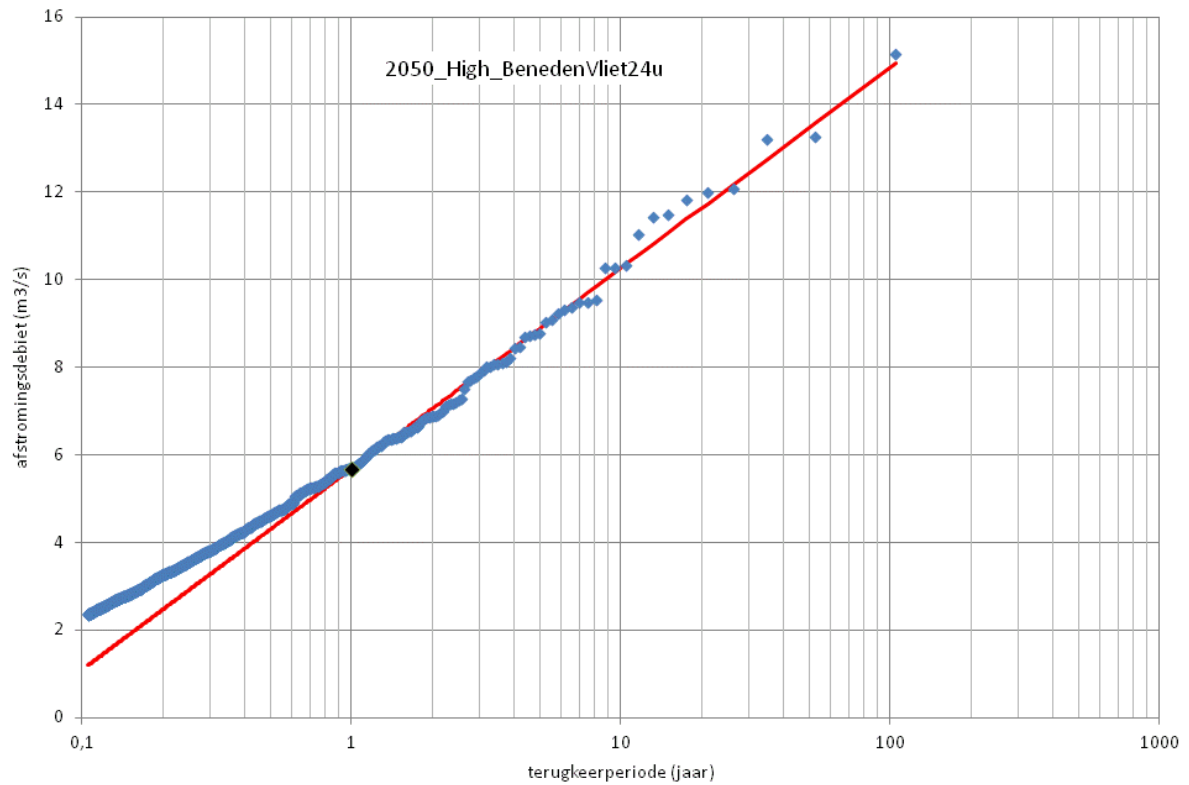


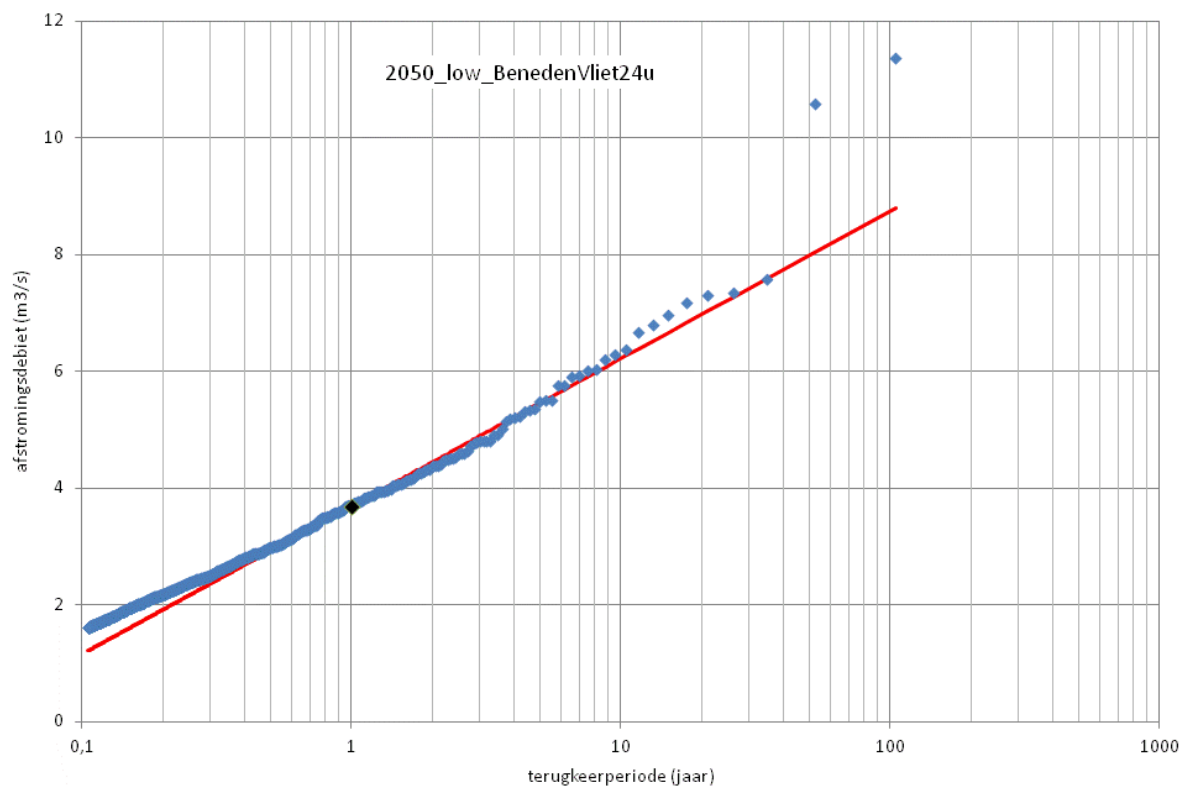
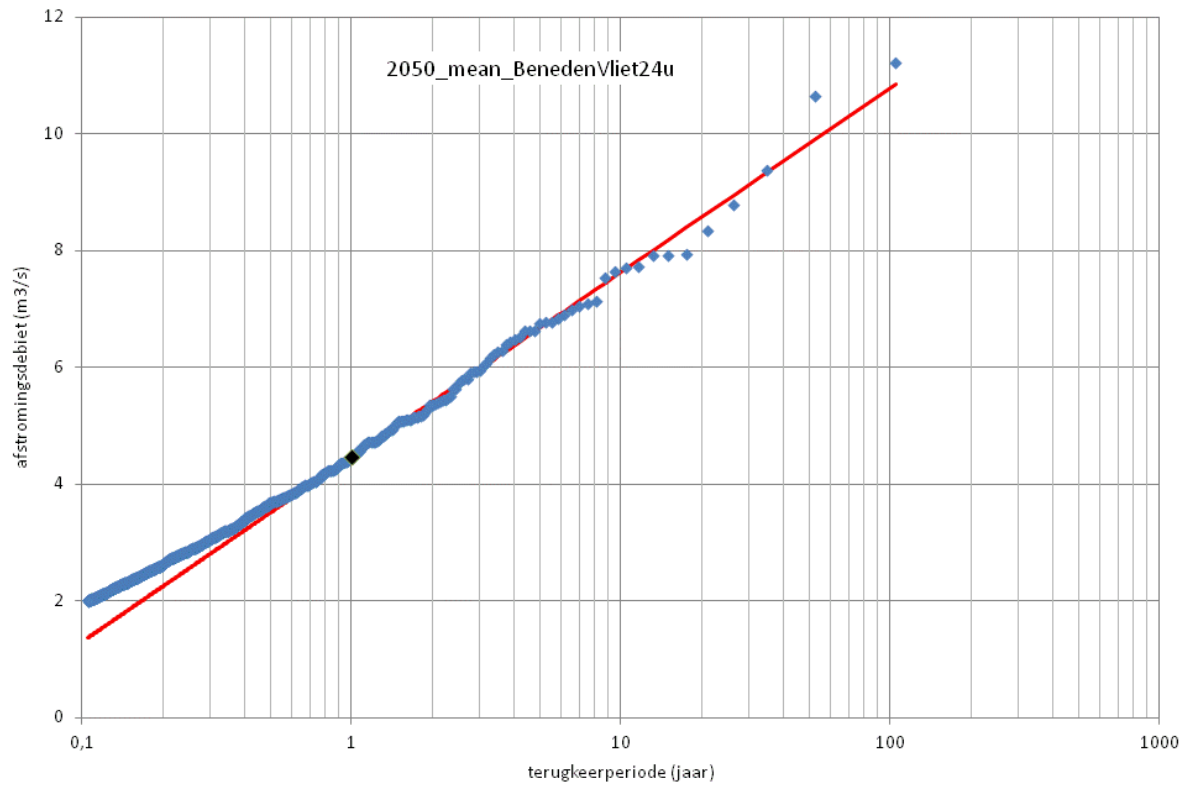


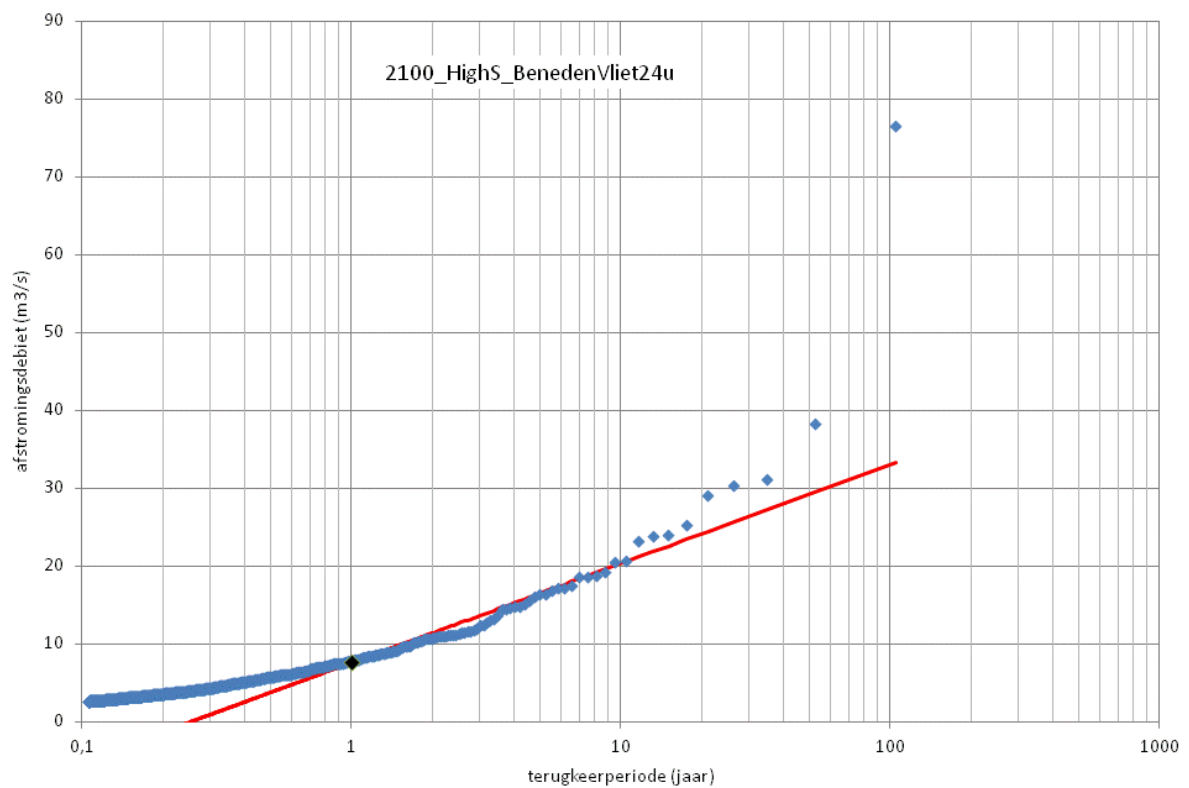
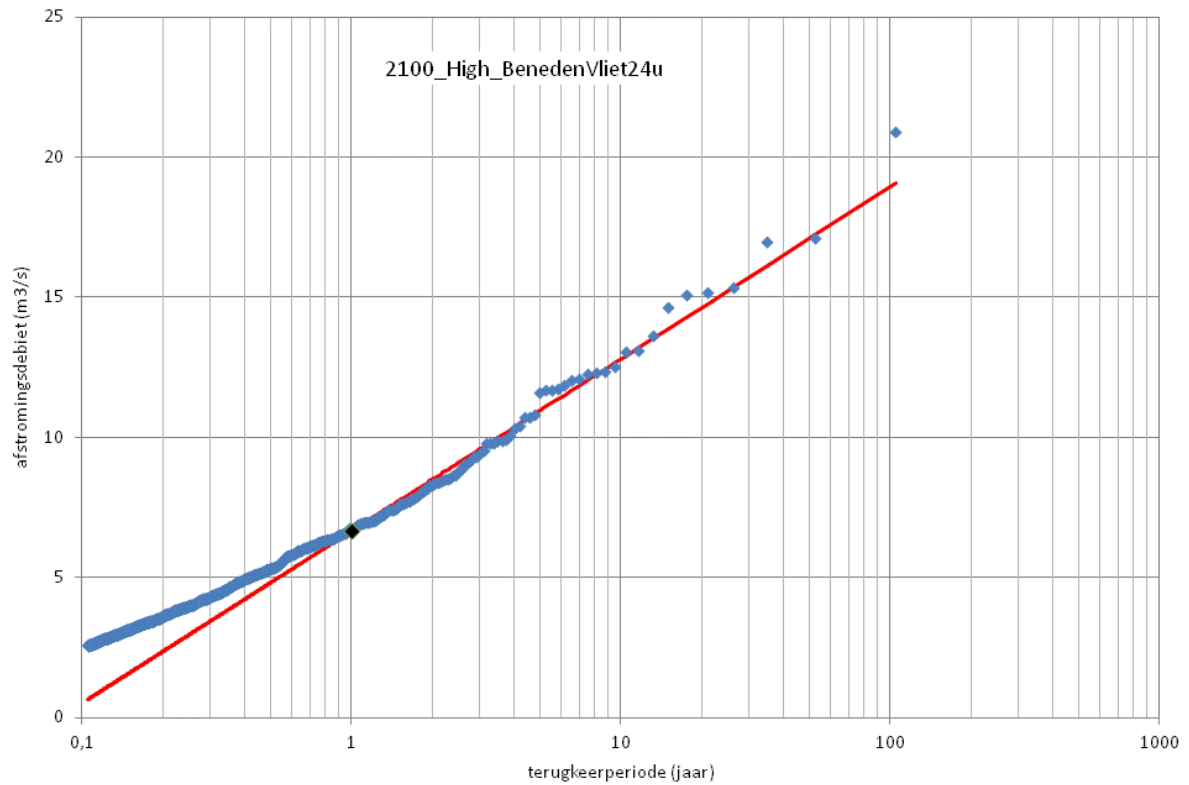
C.8 PDM Benedenvliet daggemiddeld

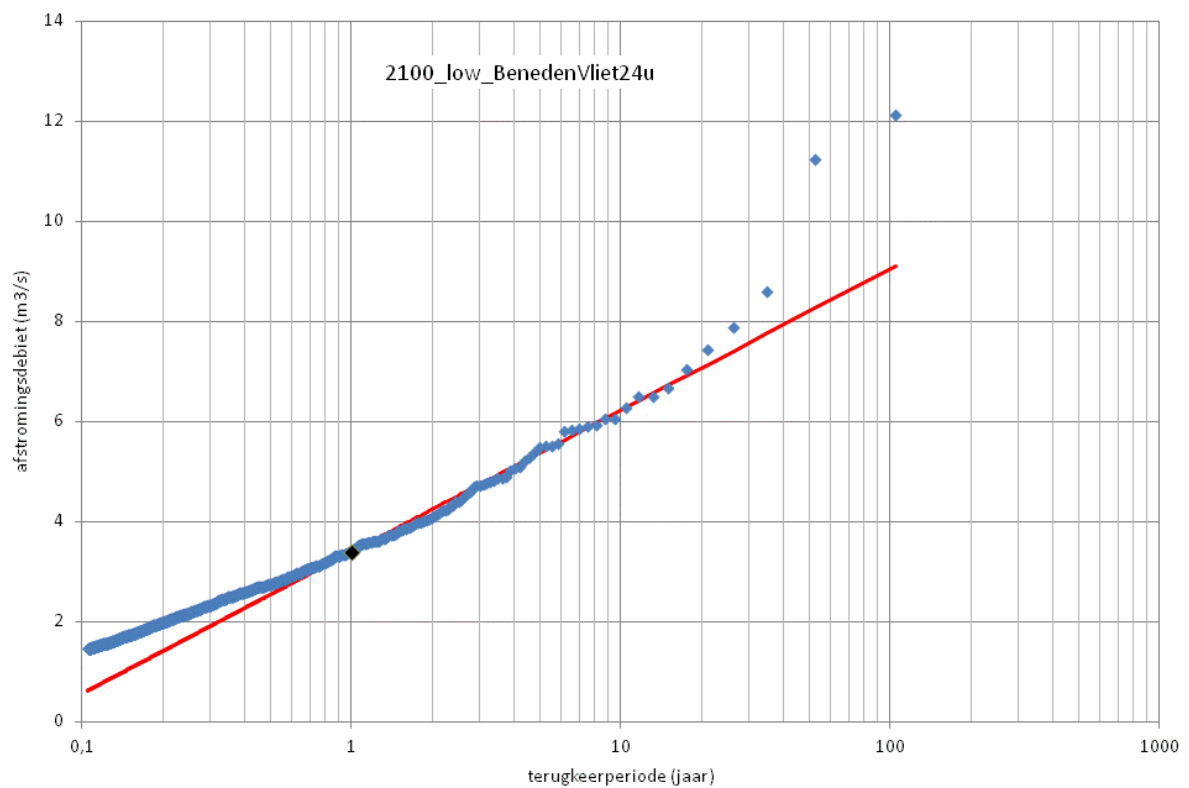
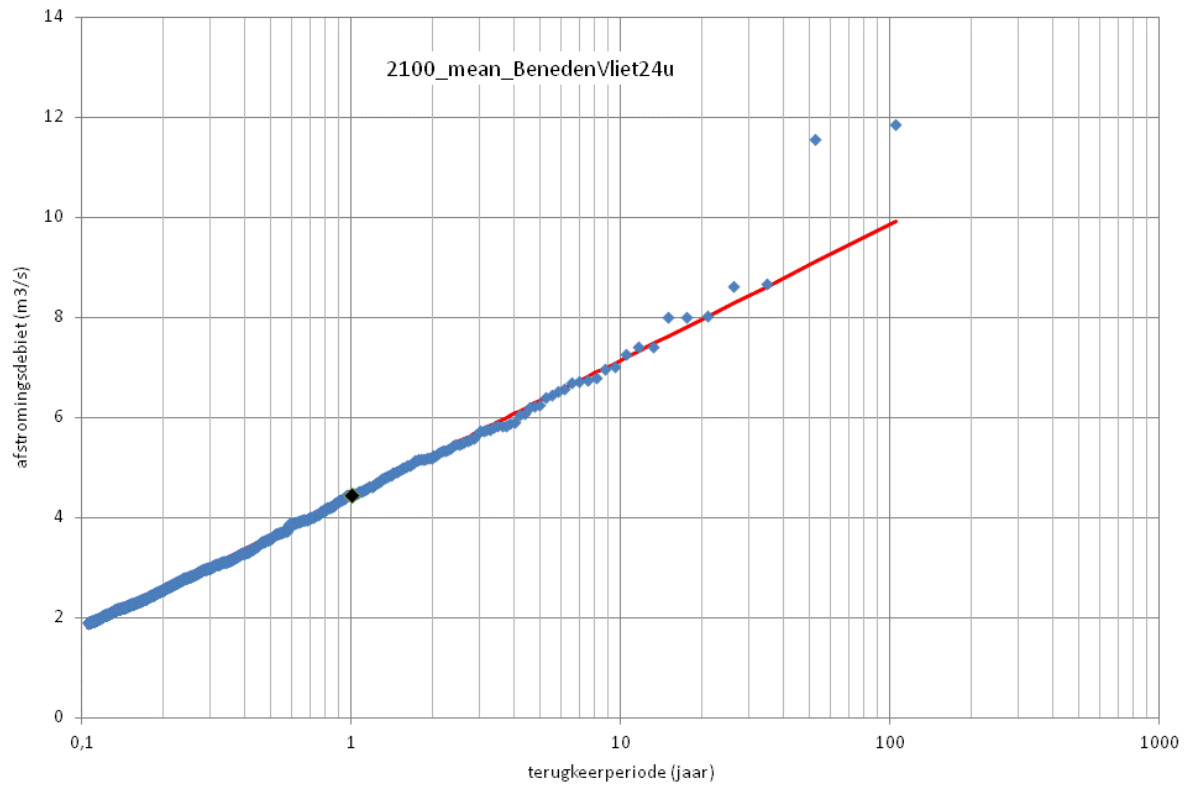


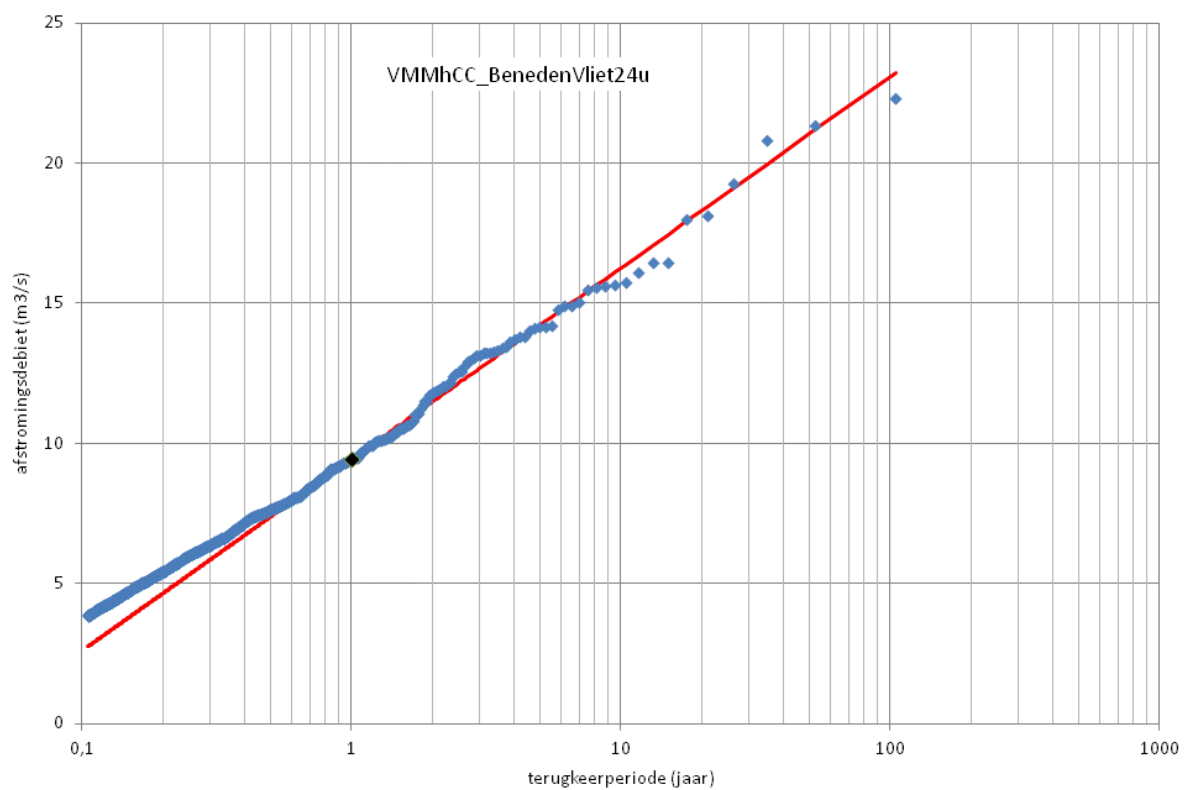
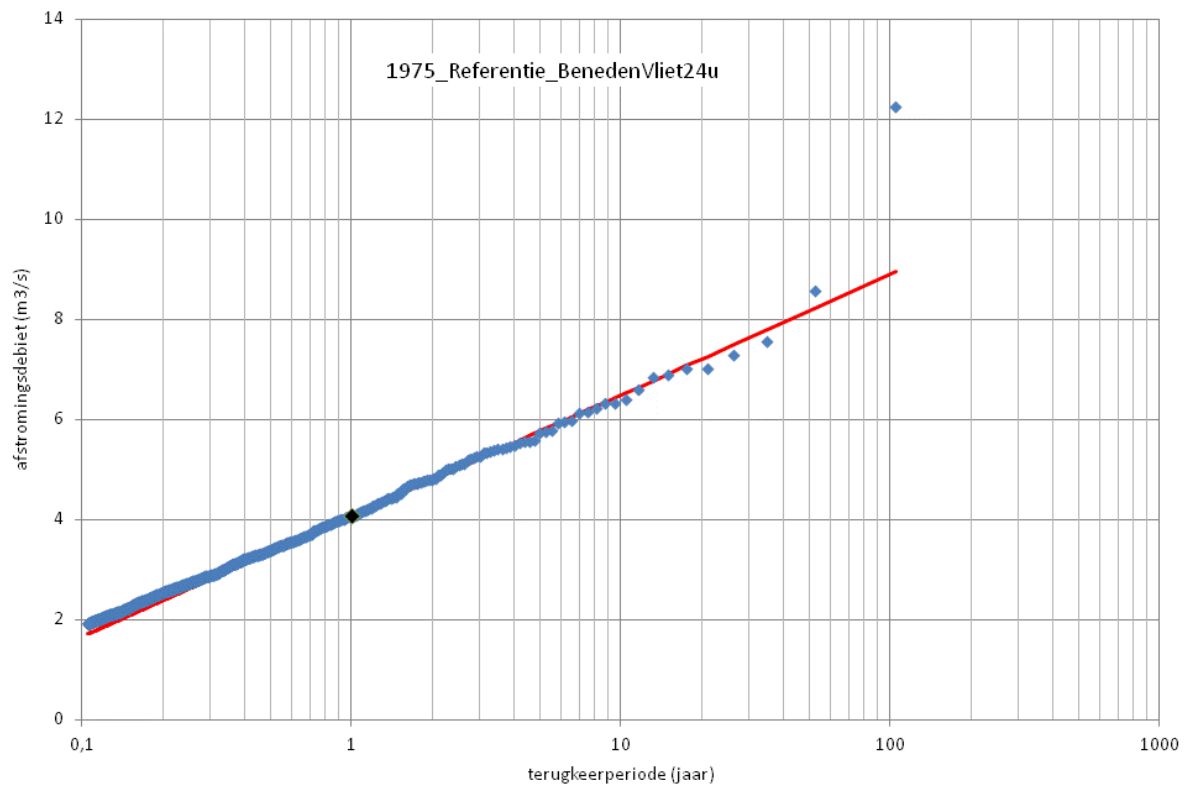


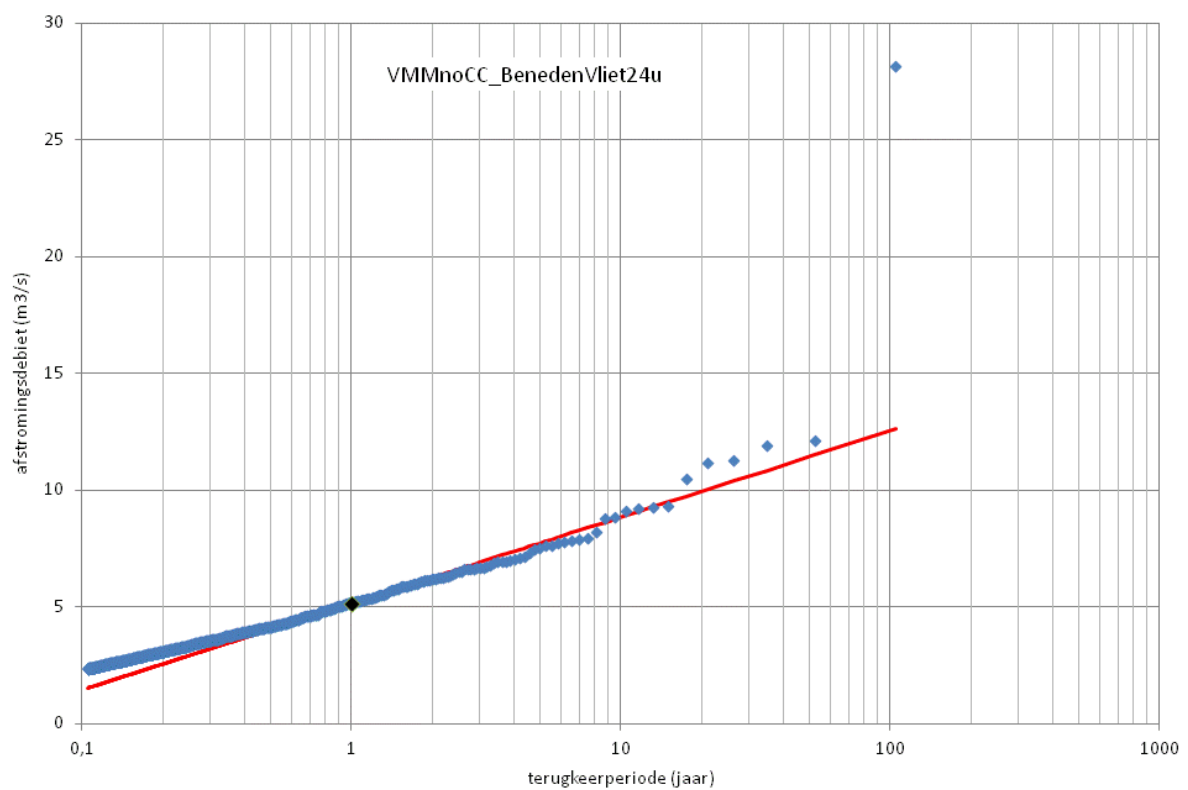
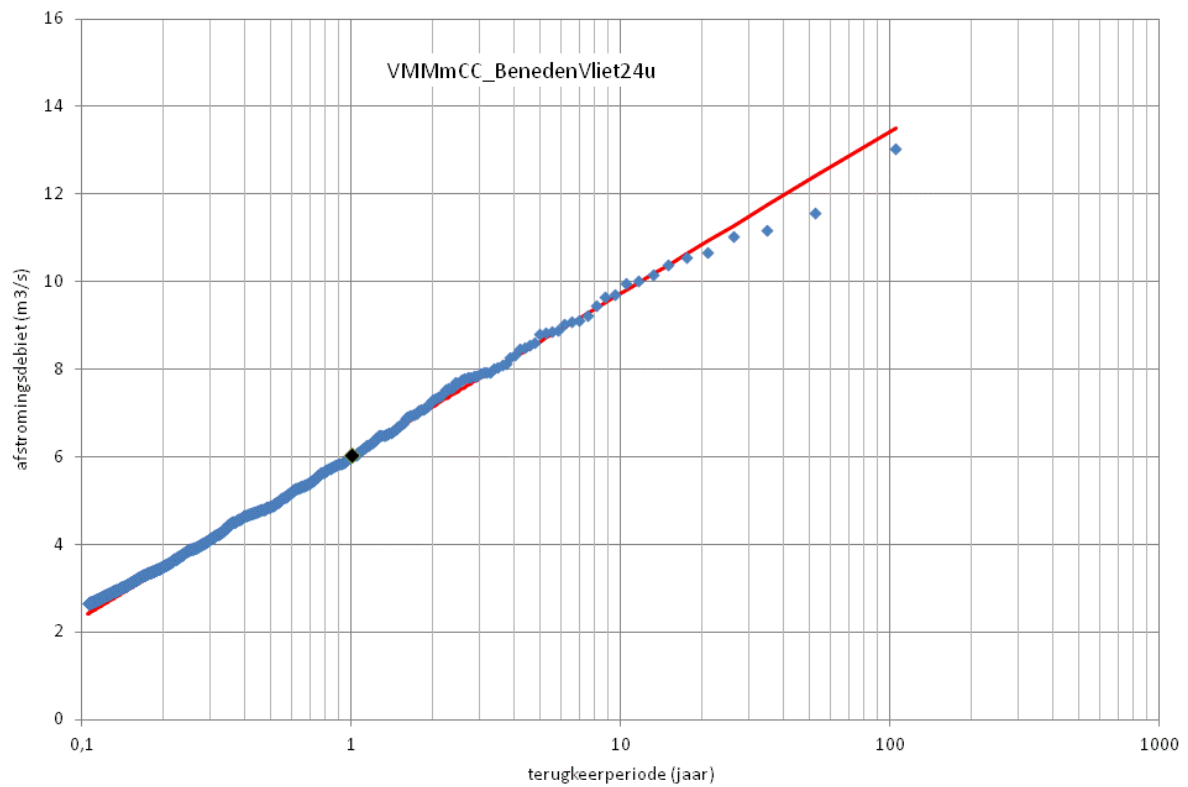






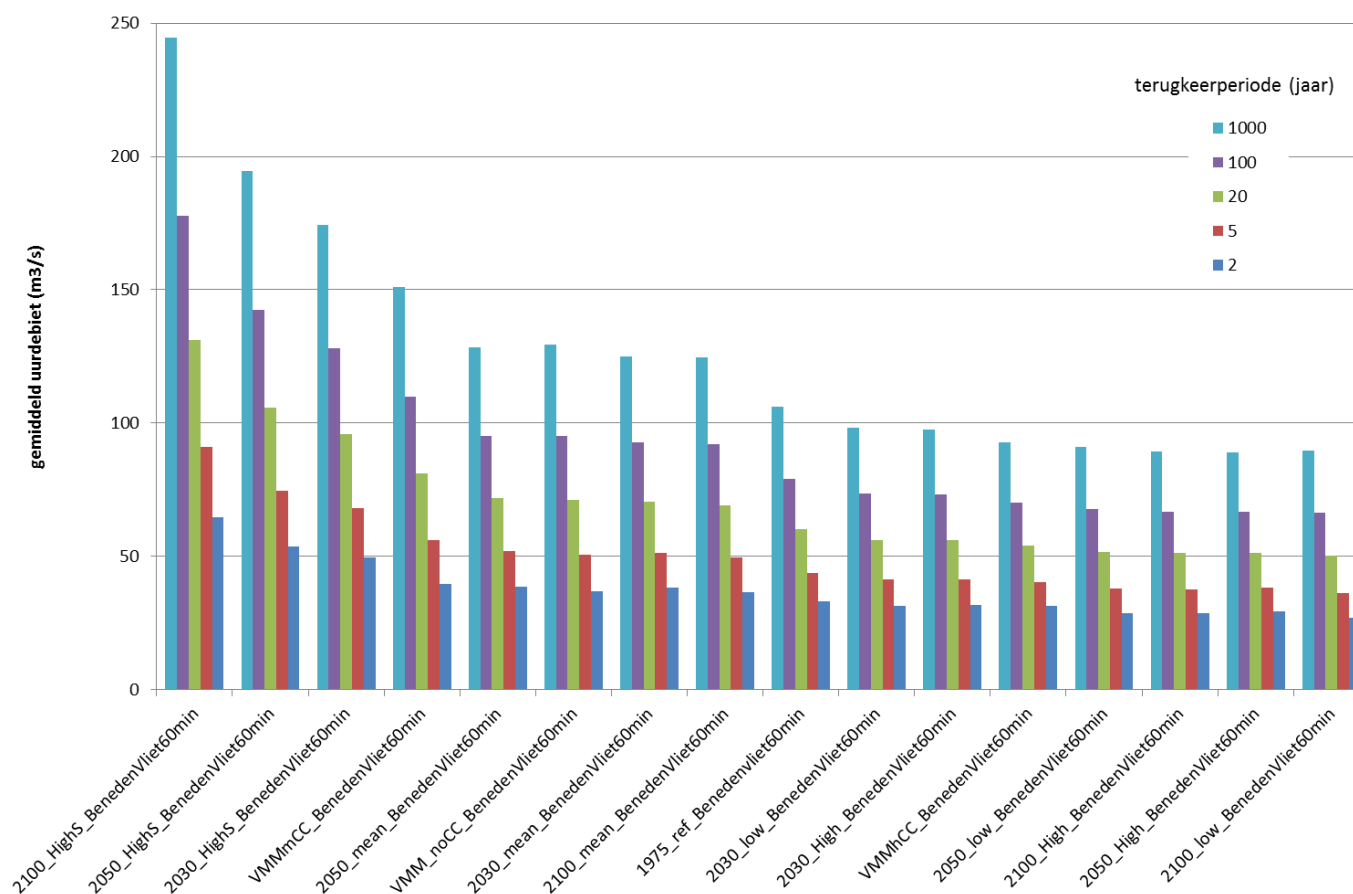


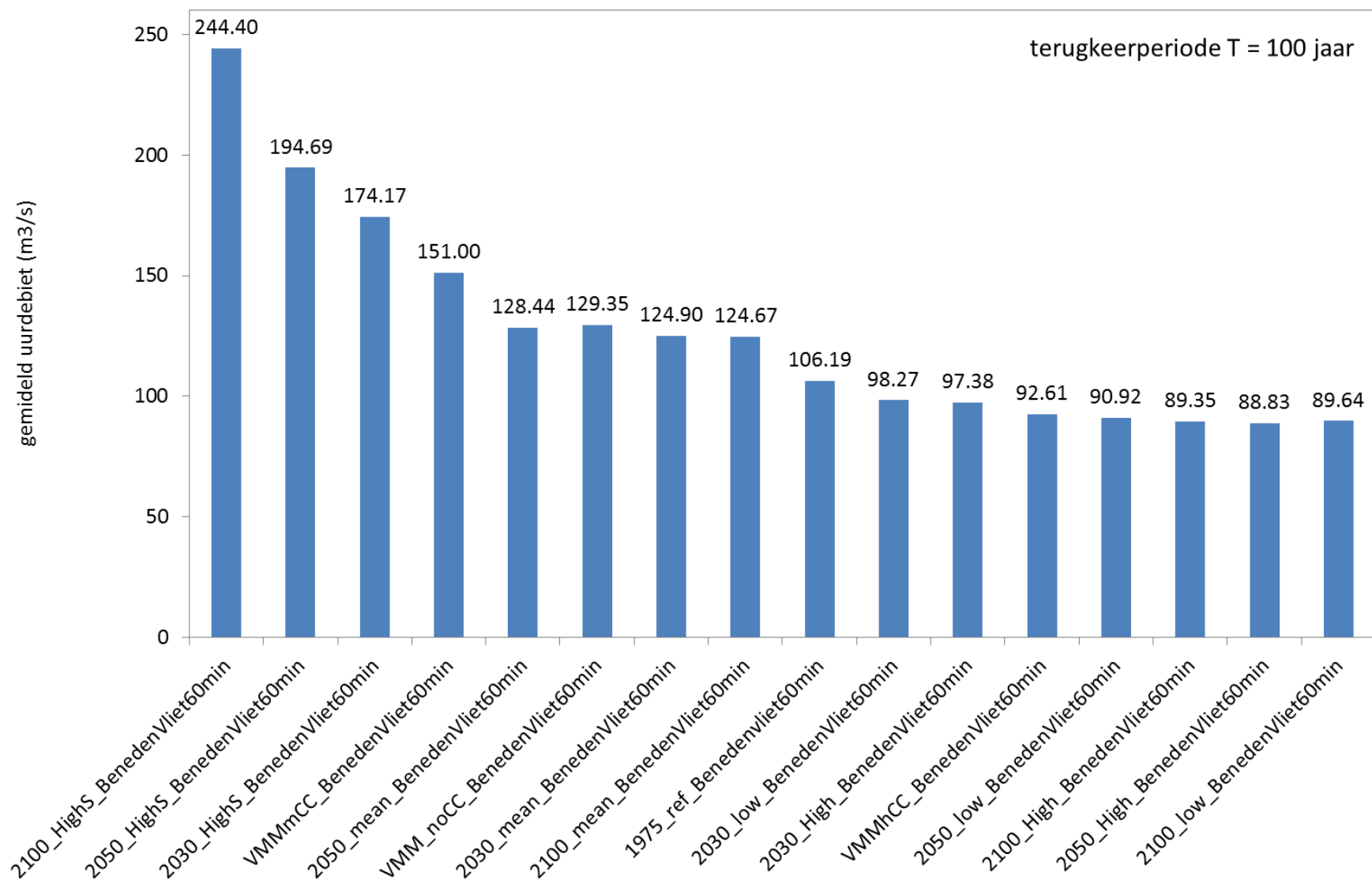




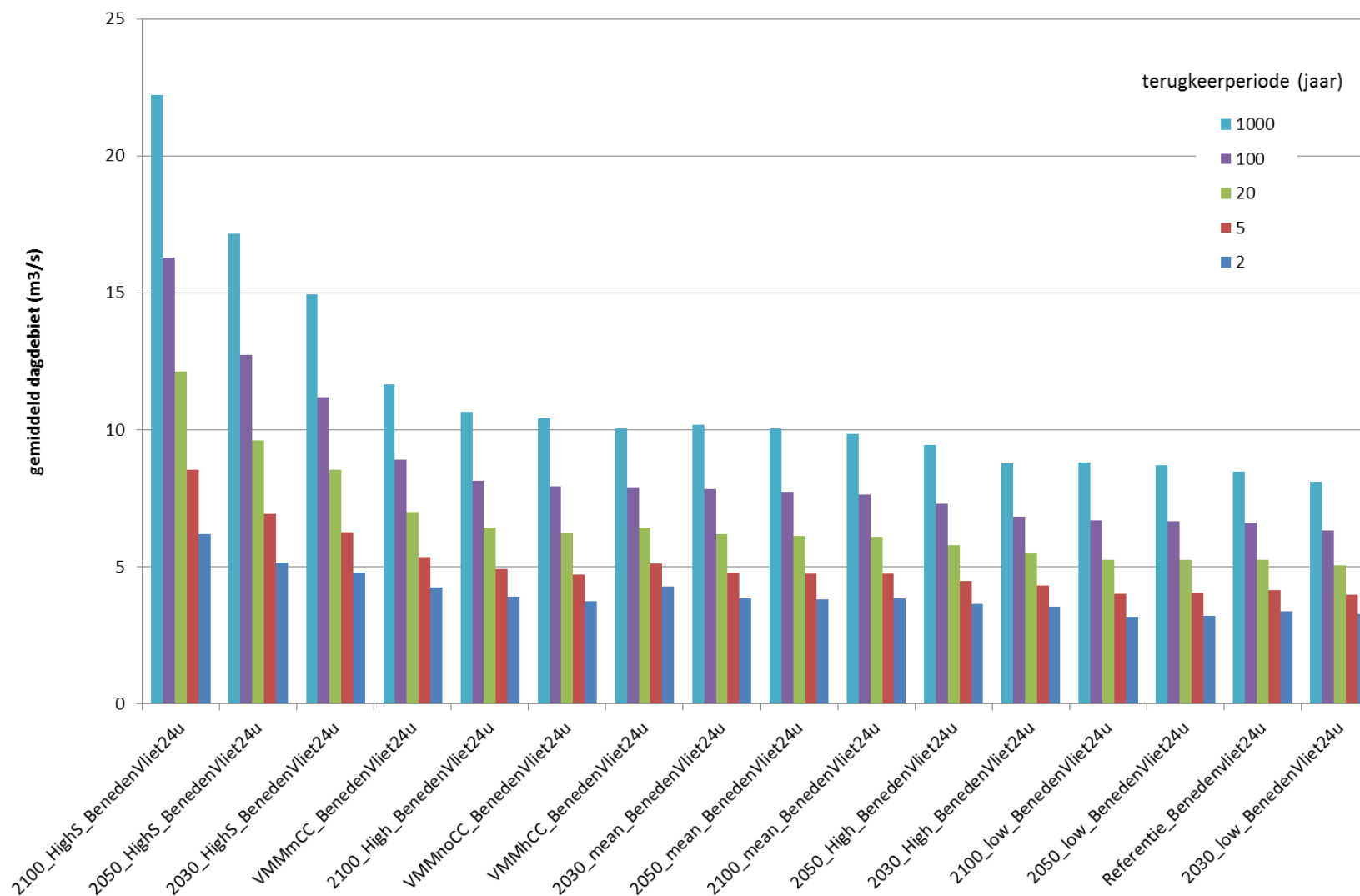
BIJLAGE D: GEFITTE AFSTROMINGSDEBIETEN VOOR VERSCHILLENDE TERUGKEERPERIODEN

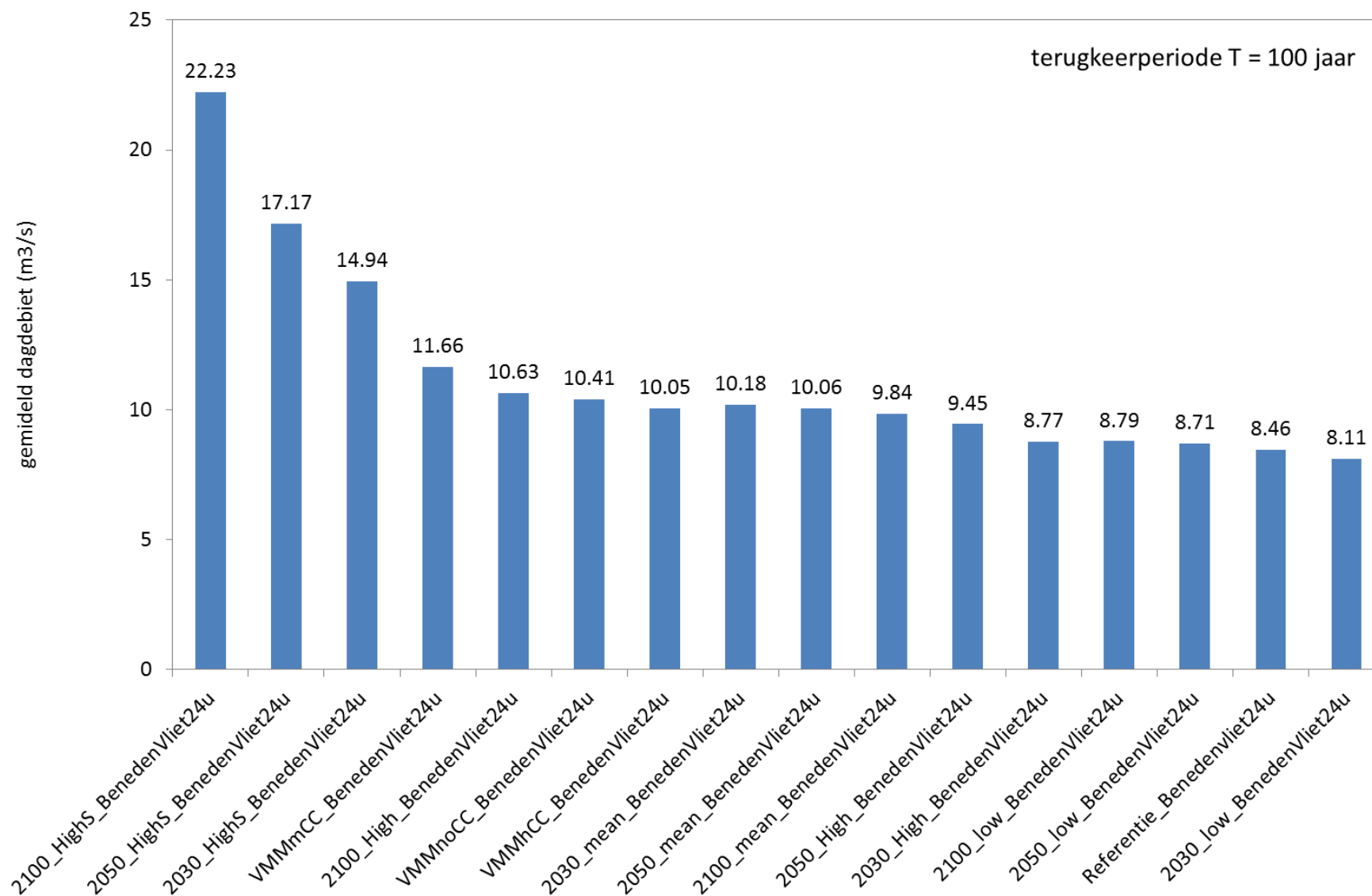
D.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



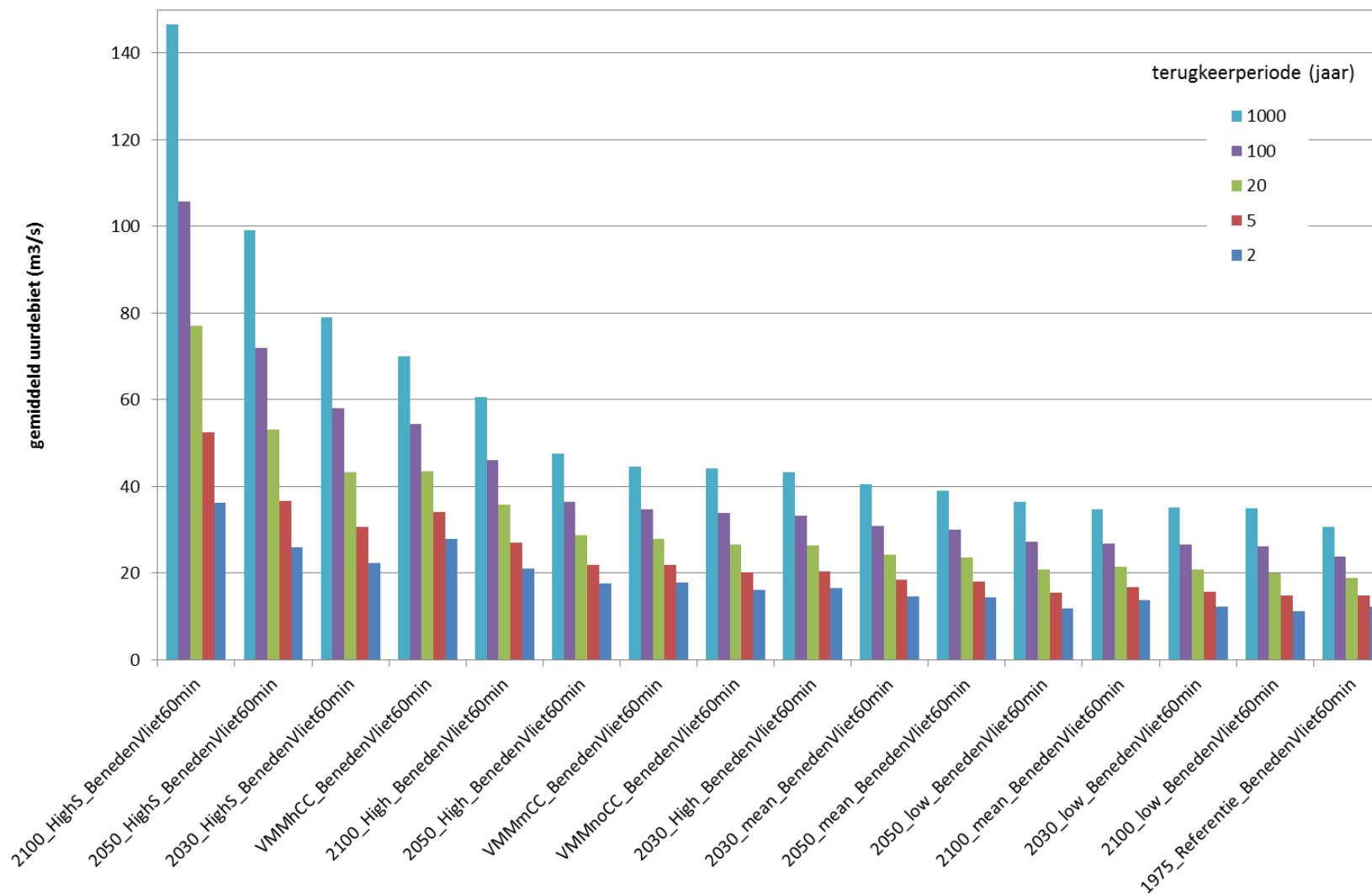


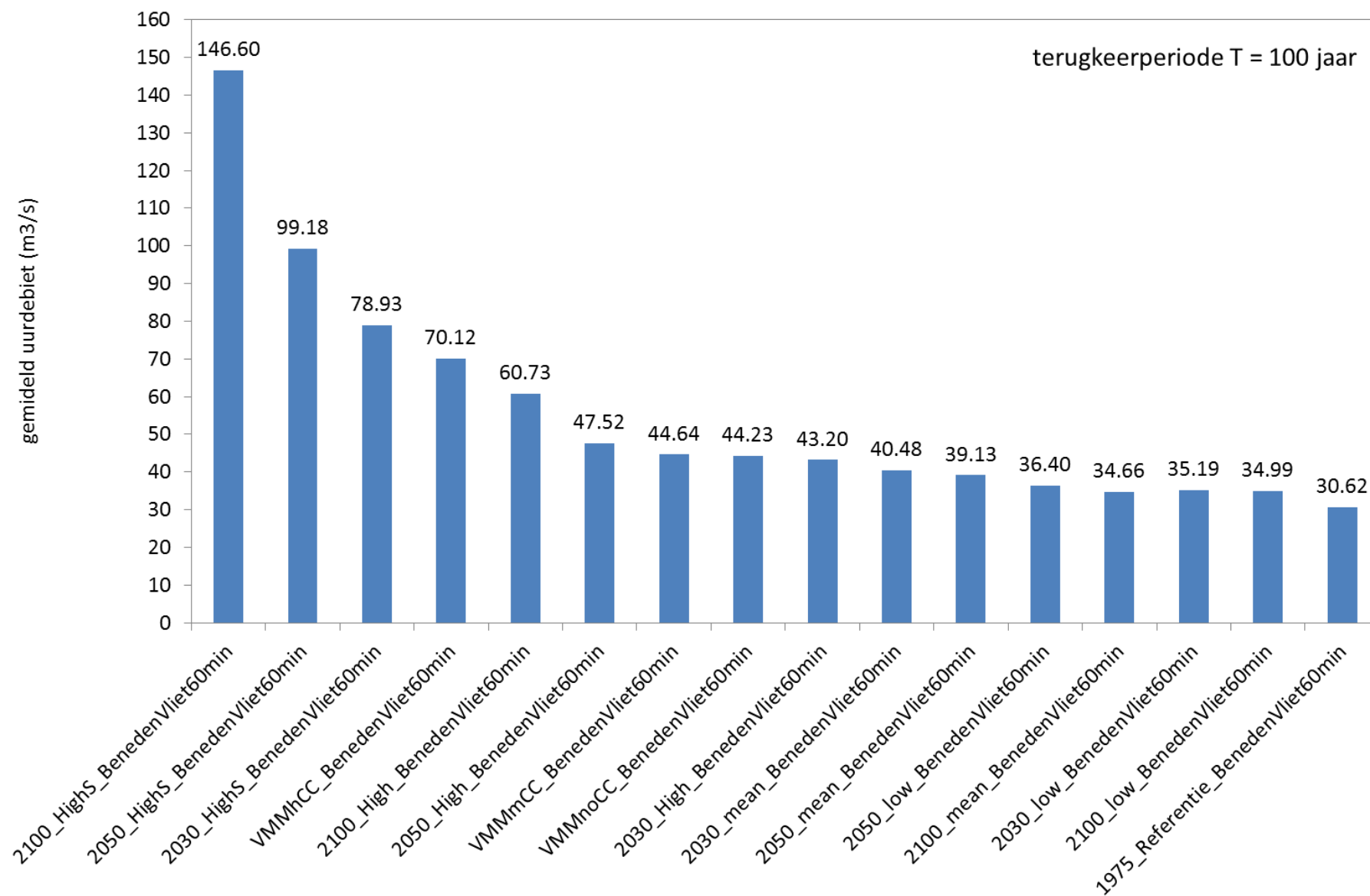
D.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld



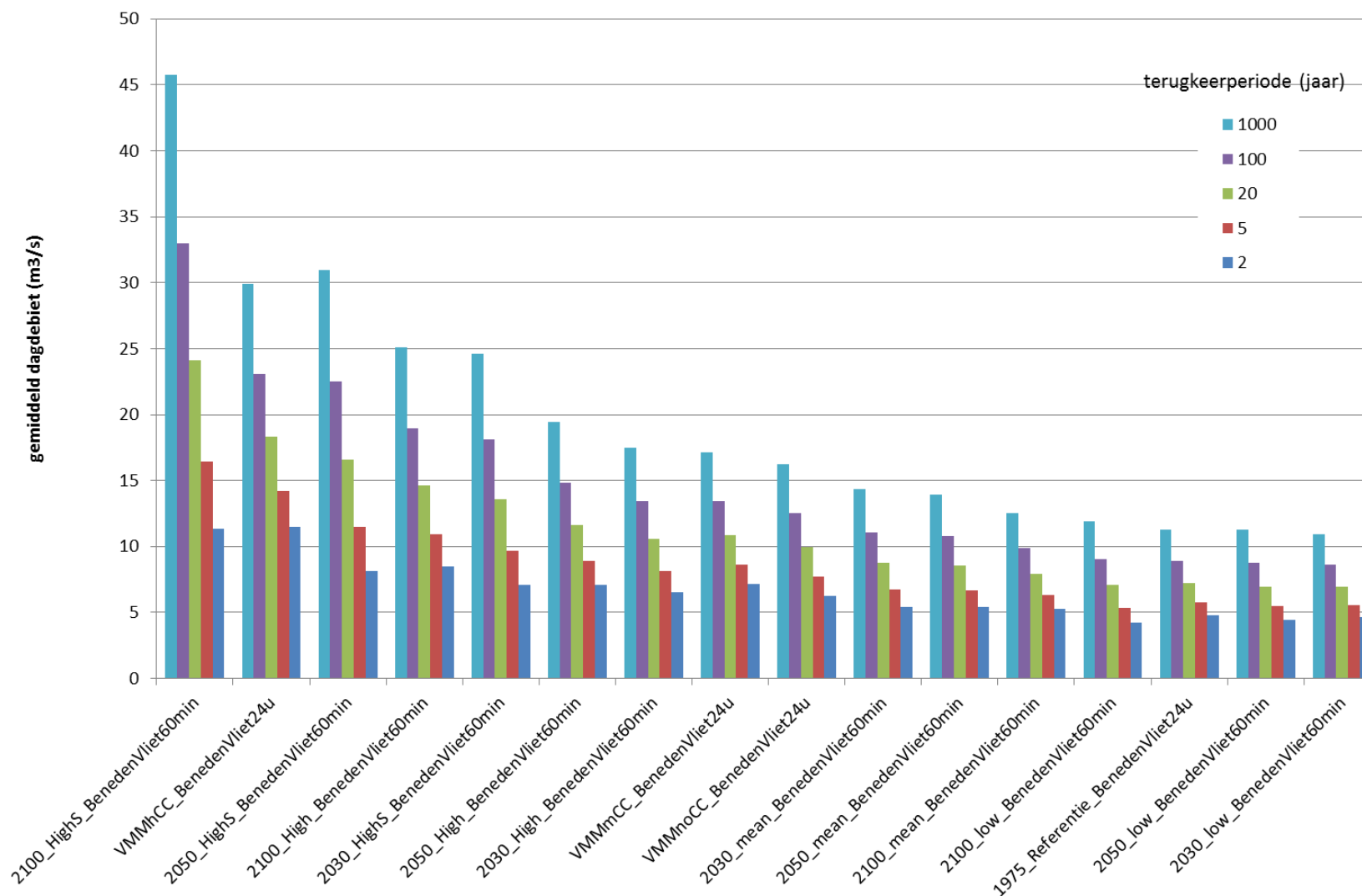


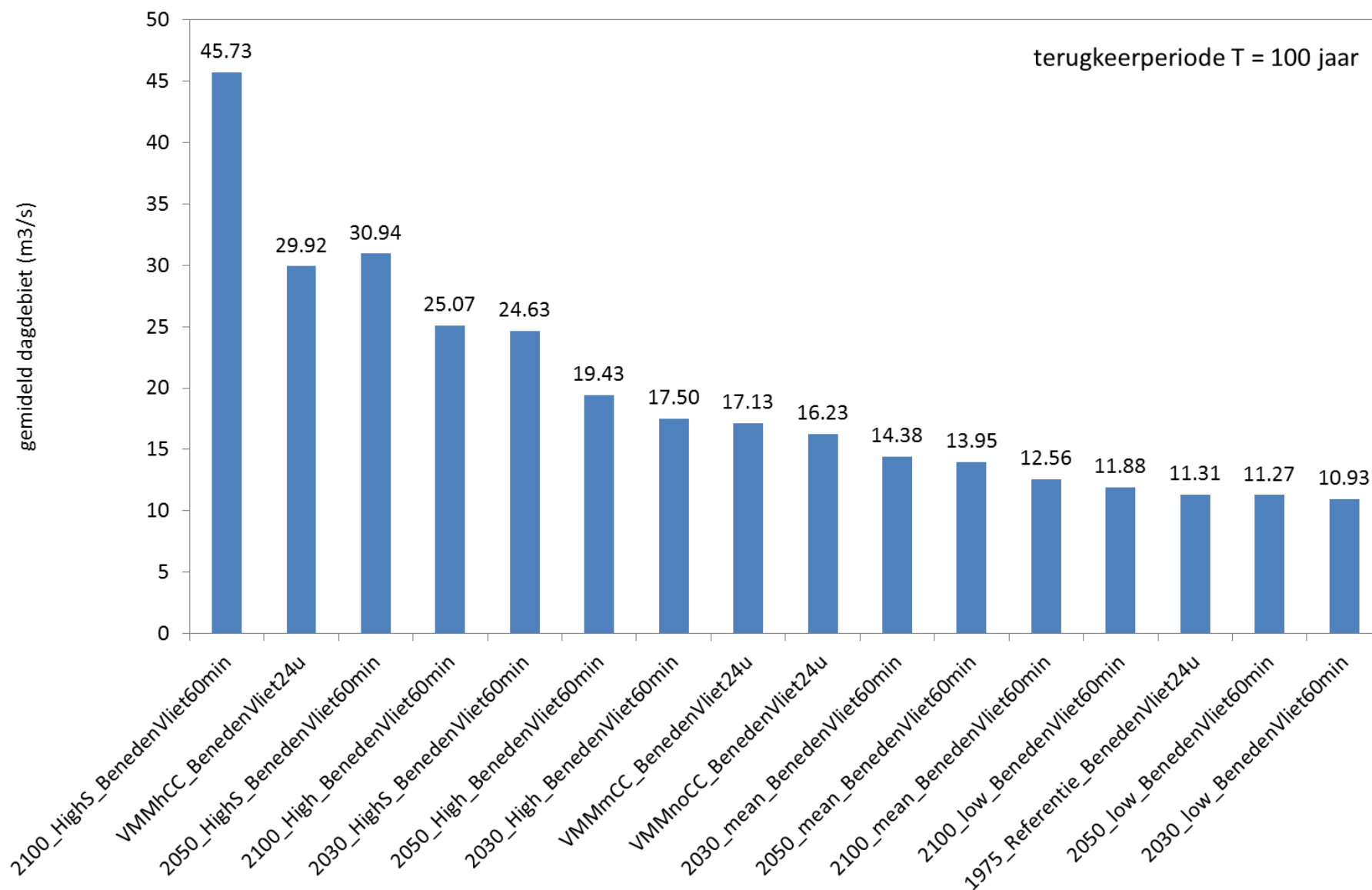
D.3 PDM afstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



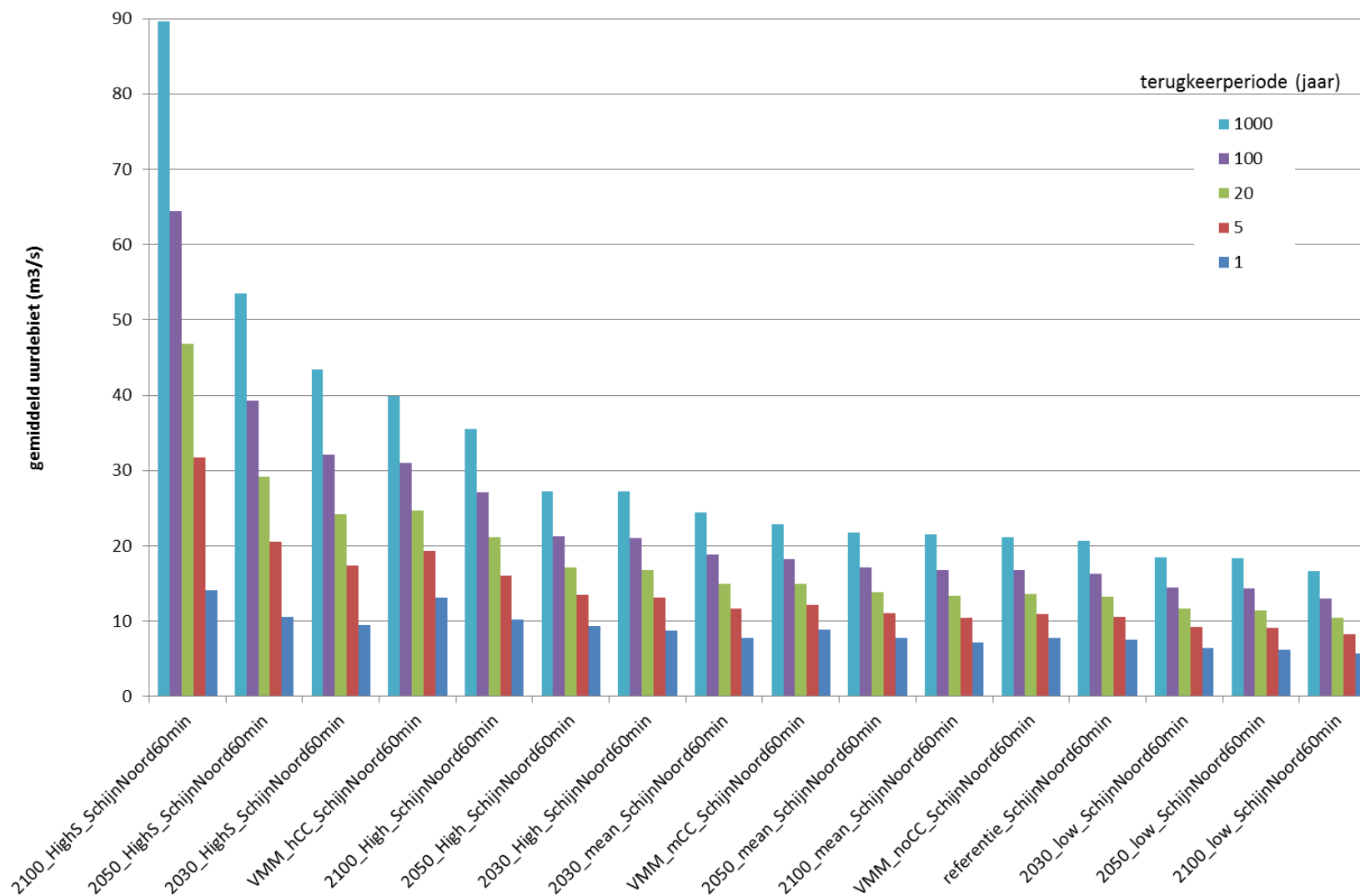


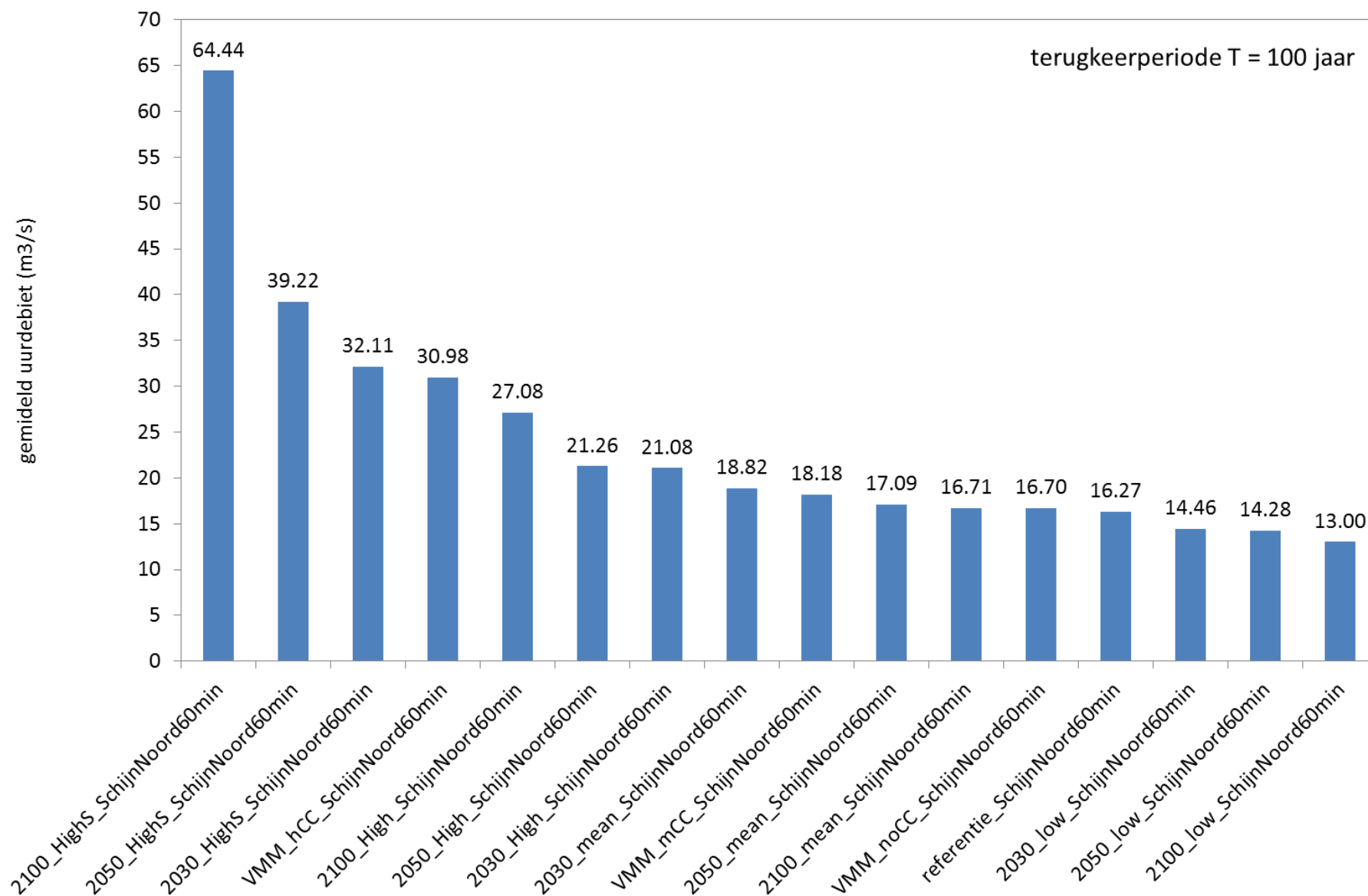
D.4 PDM afstroming Benedenvliet, daggemiddeld

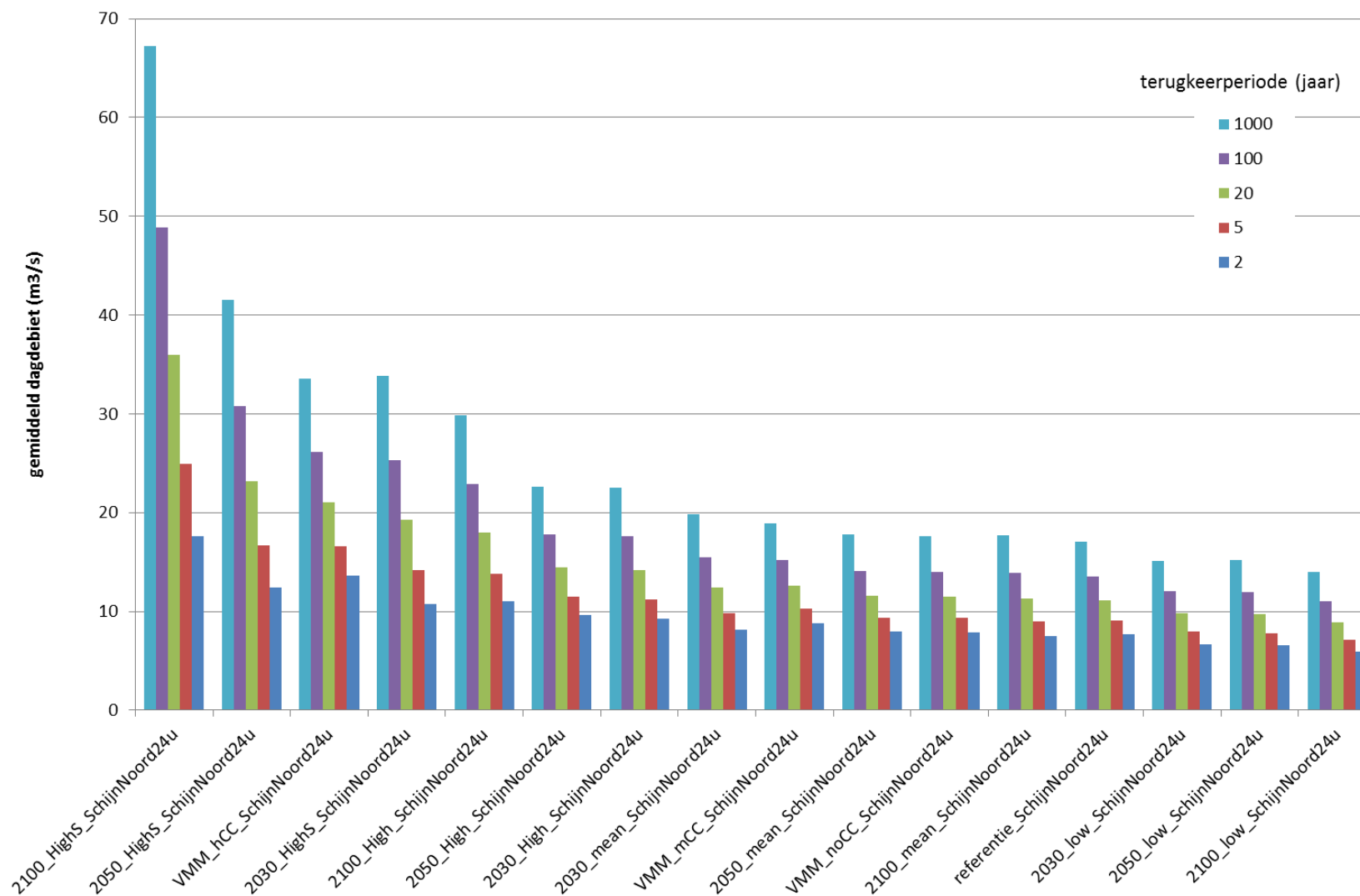


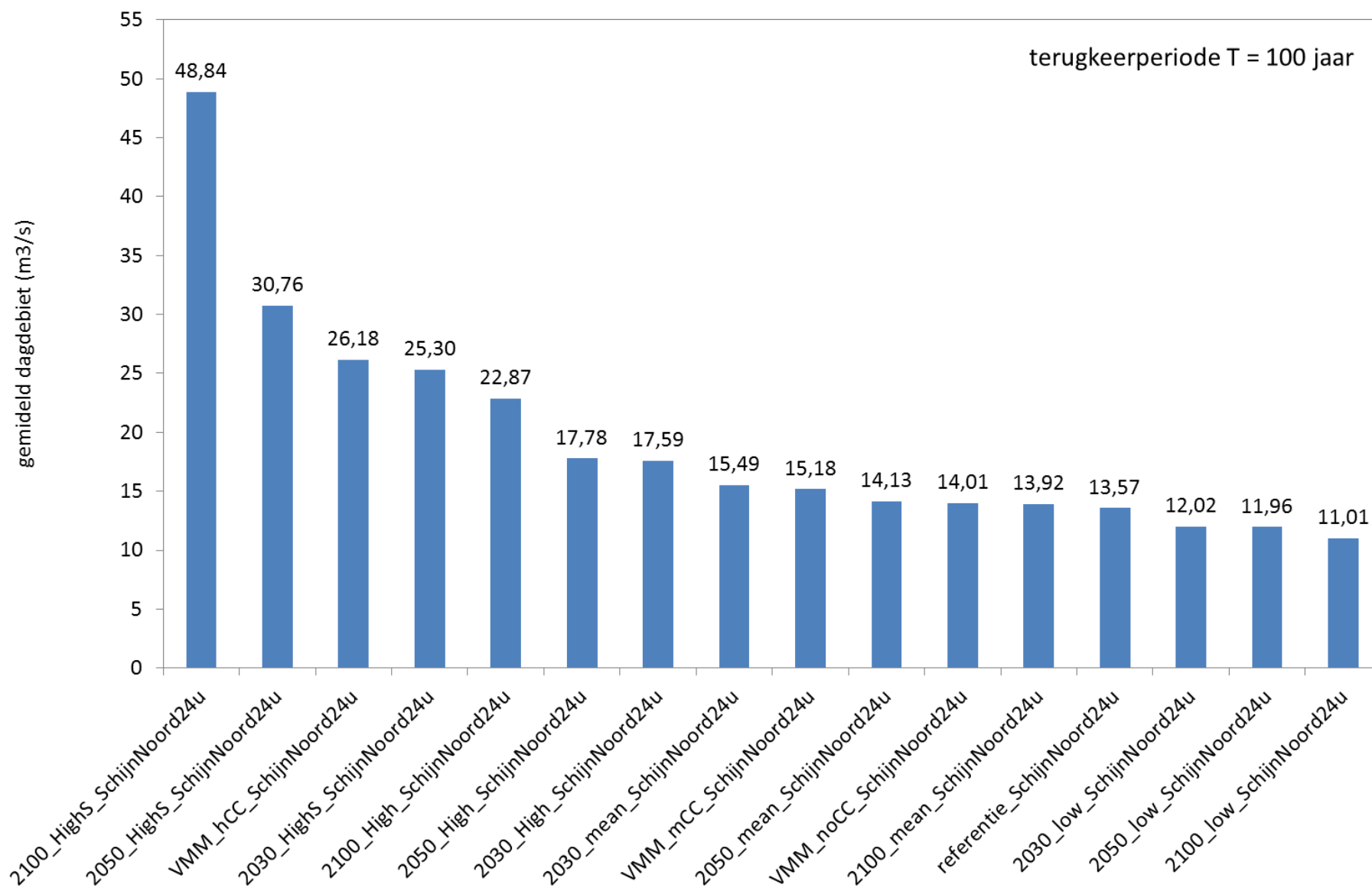


D.5 PDM afstroming Schijn Noord, uurgemiddeld

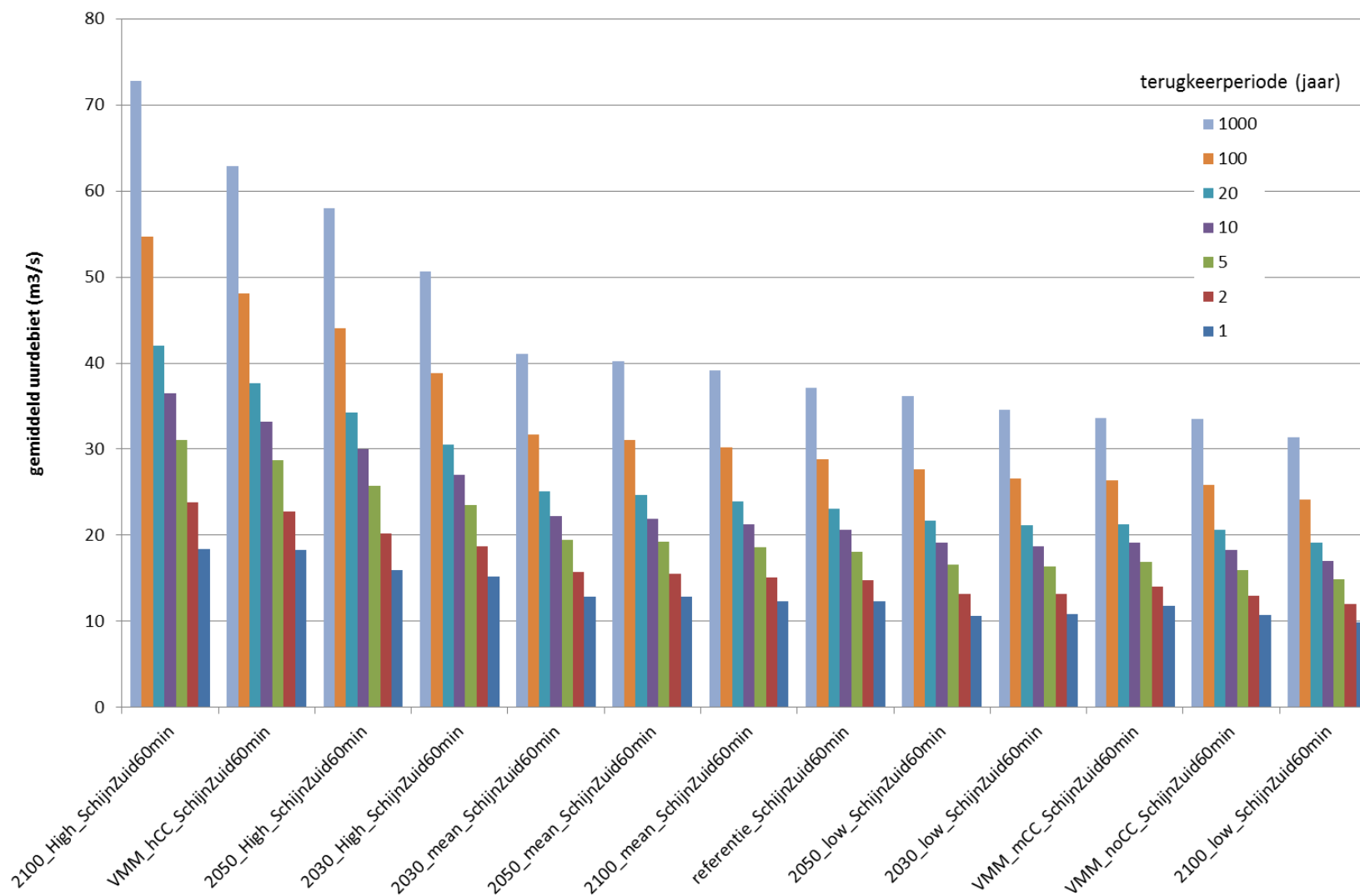


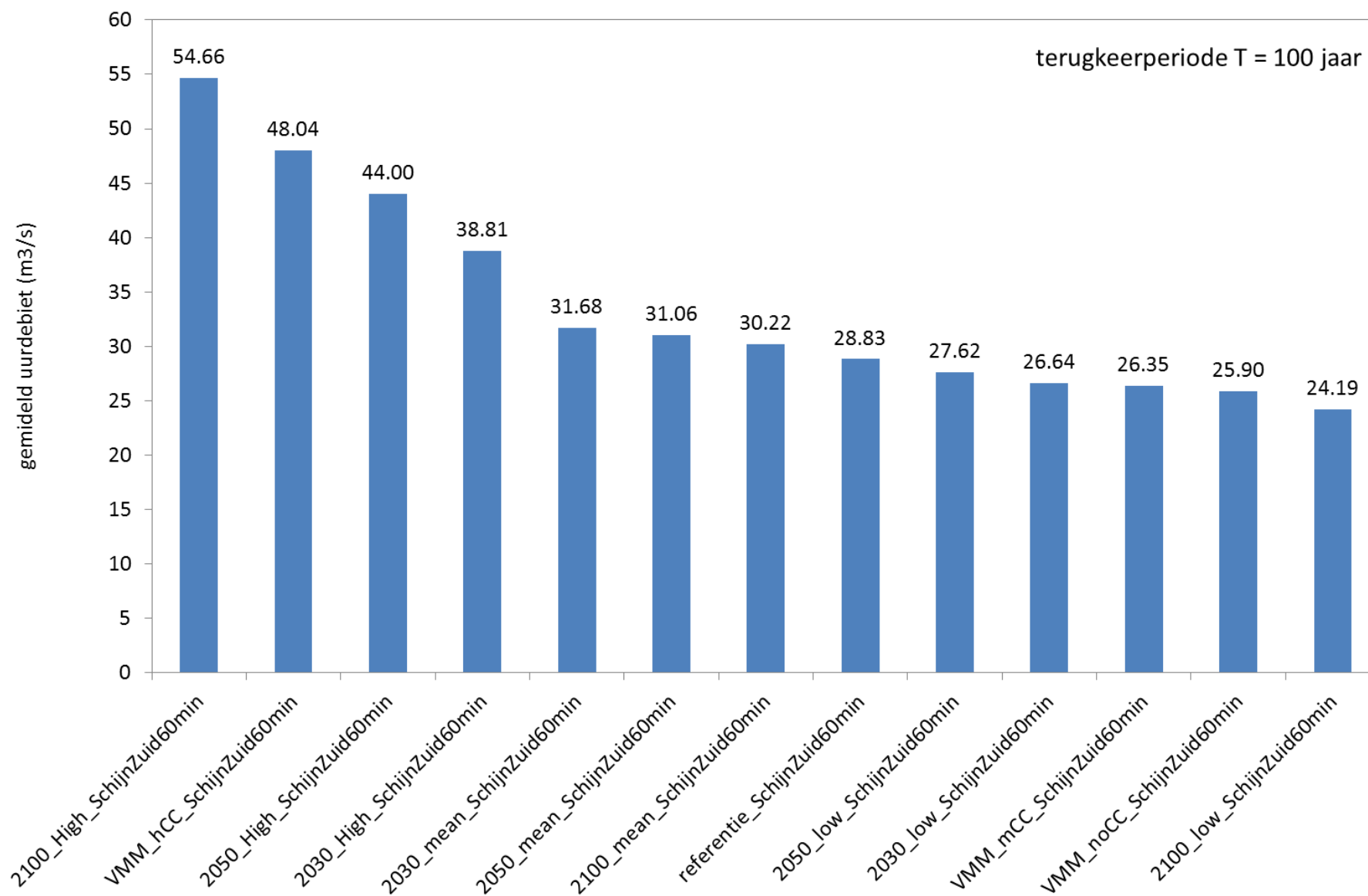




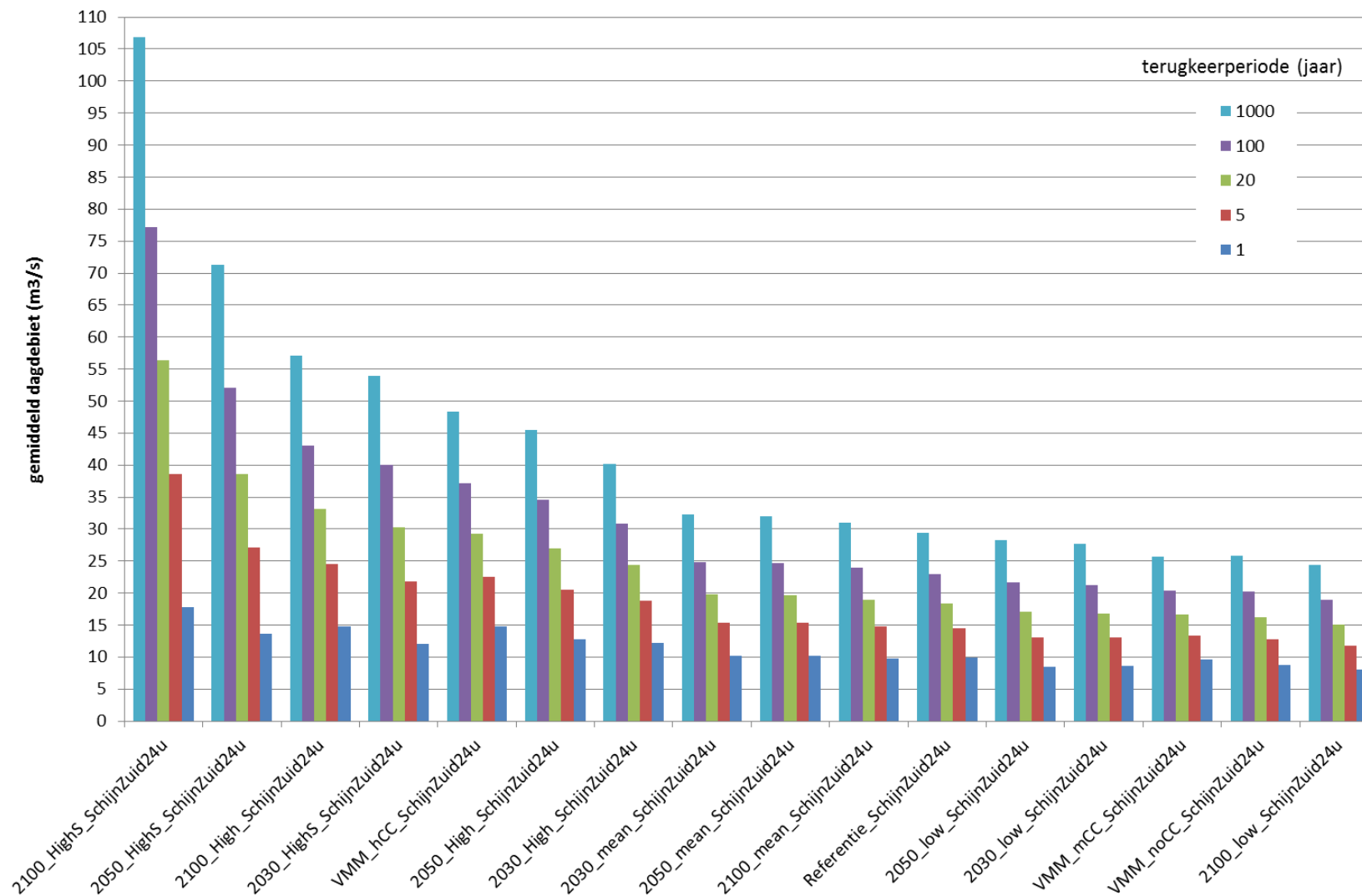


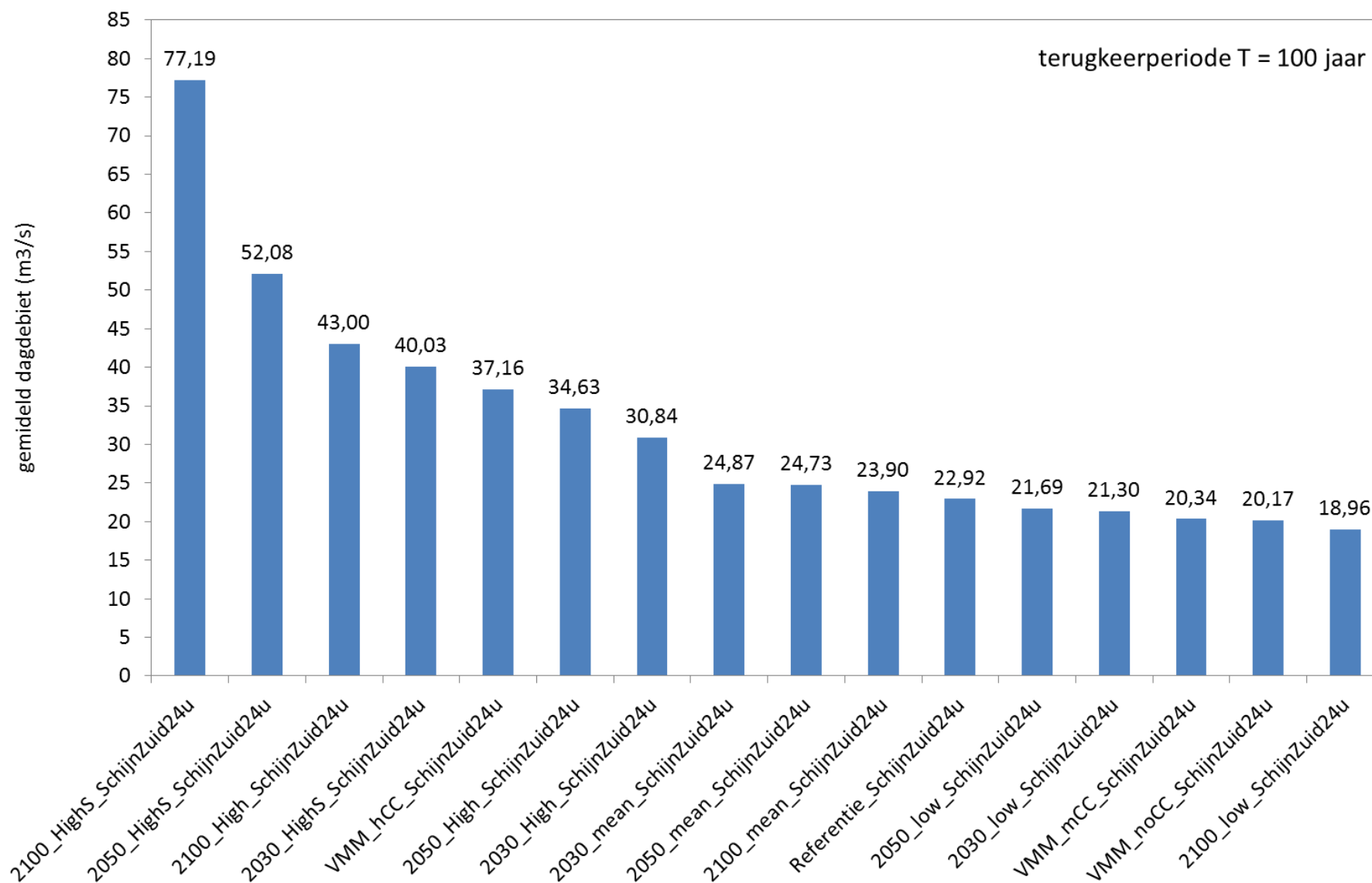
D.7 PDM afstroming Schijn Zuid, uurgemiddeld





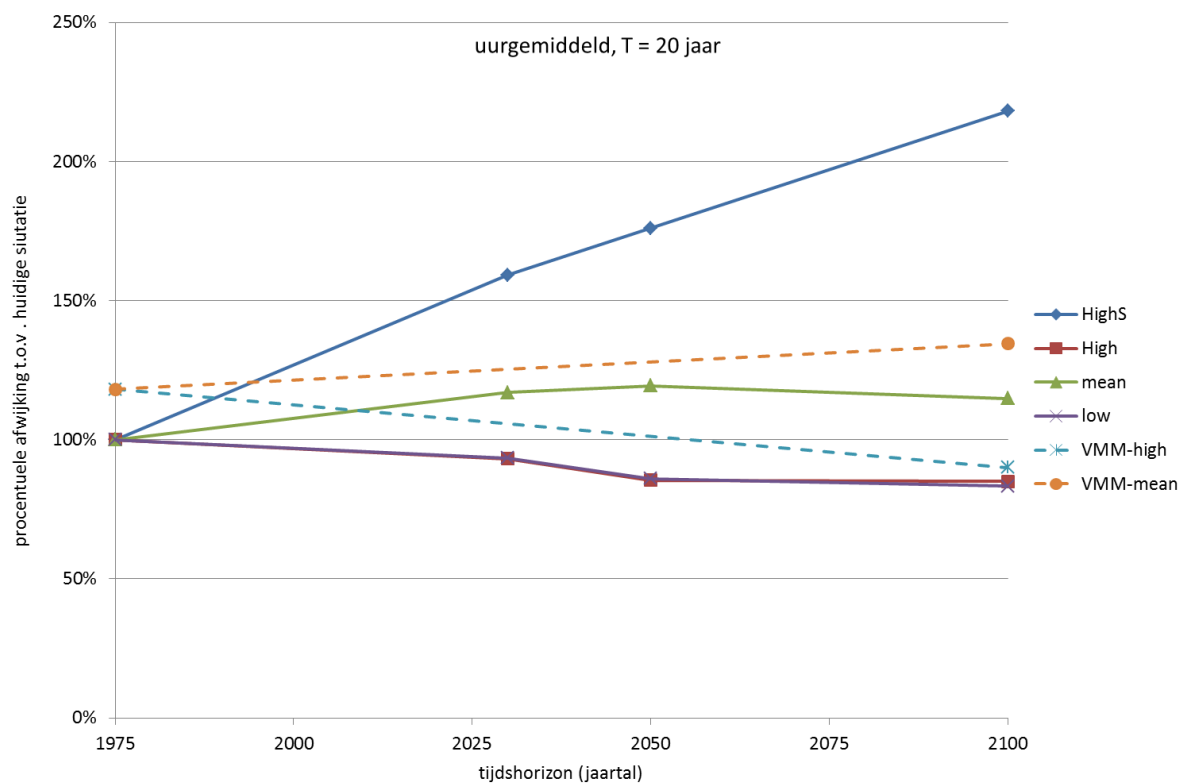
D.8 PDM afstroming Schijn Zuid, daggemiddeld

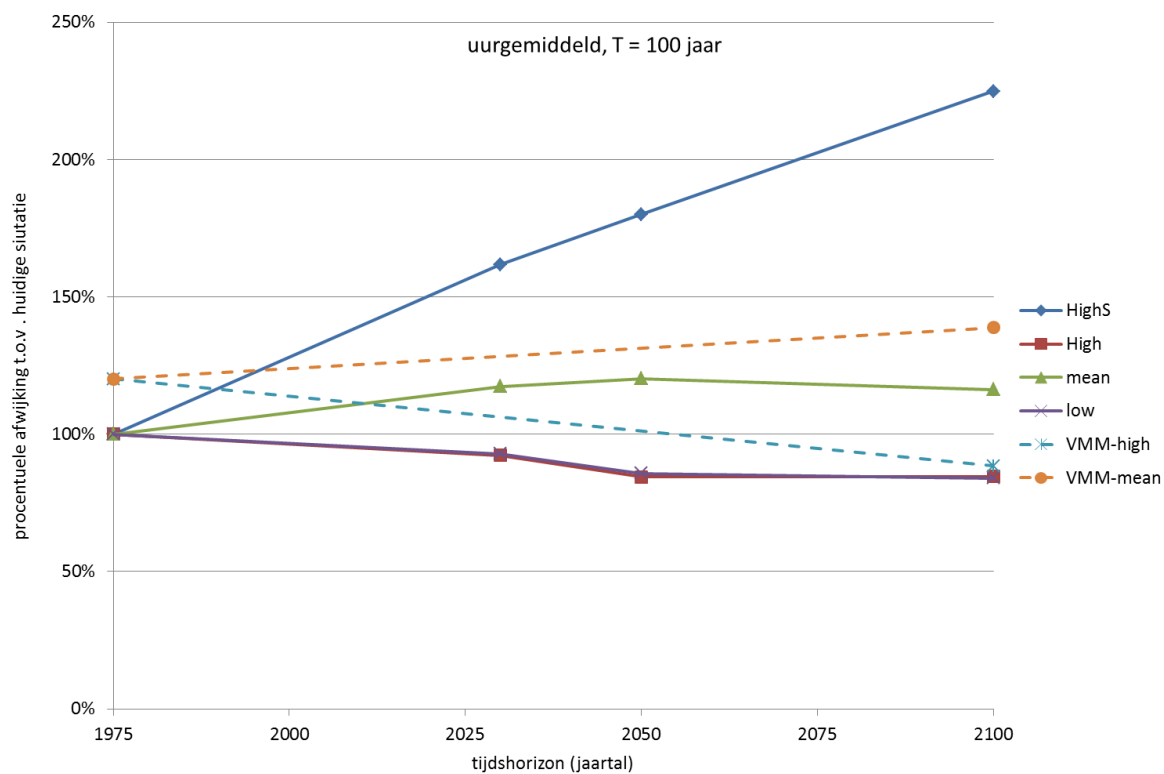




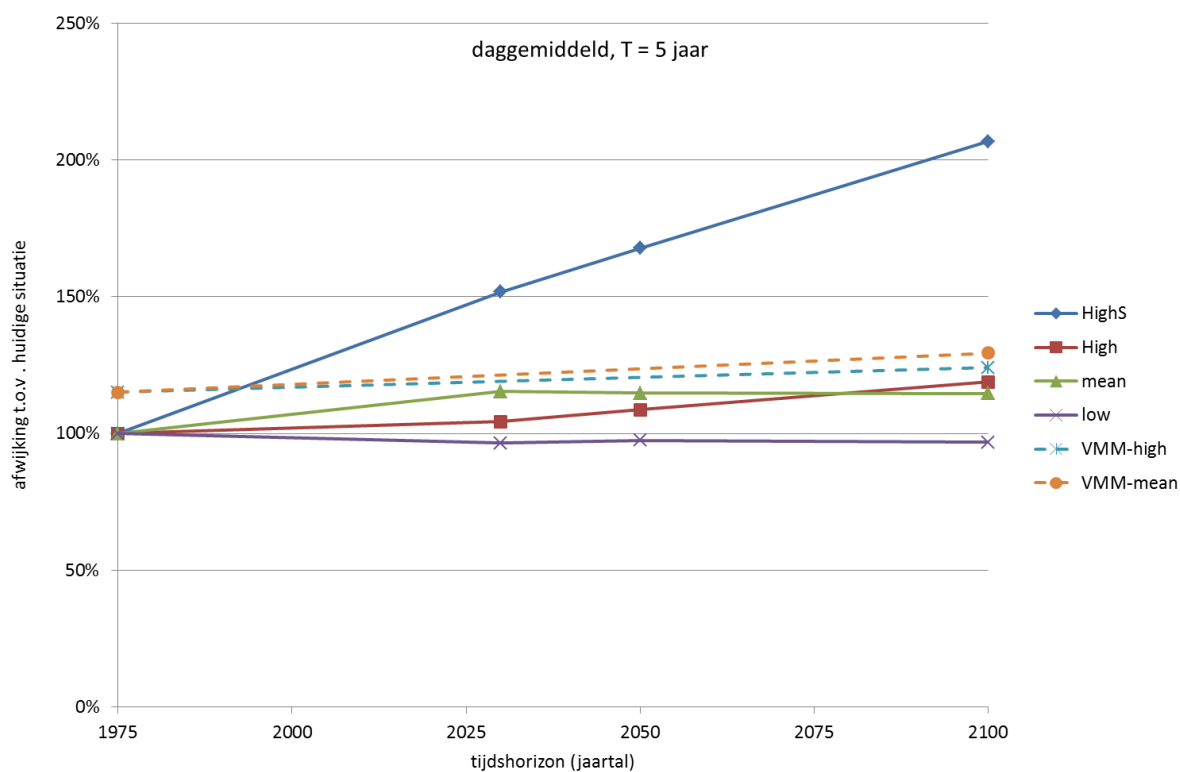
BIJLAGE E: VERGELIJKING KLIMAATSCENARIO'S

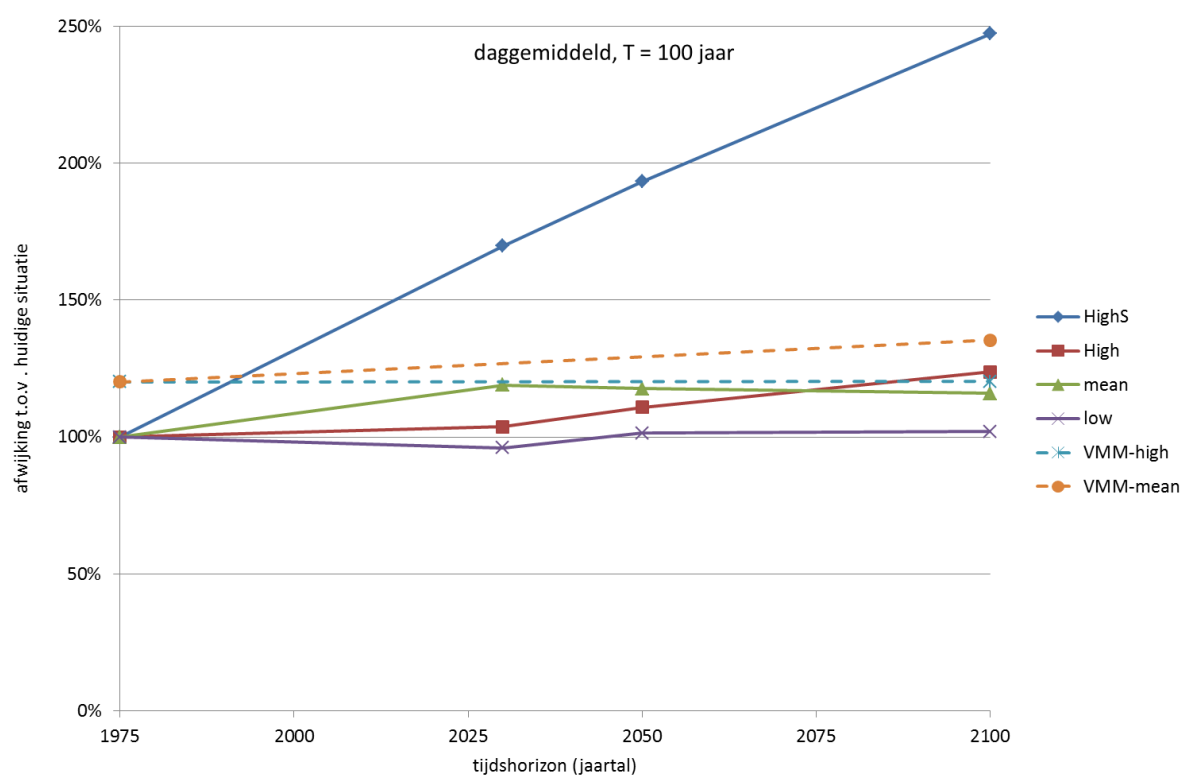
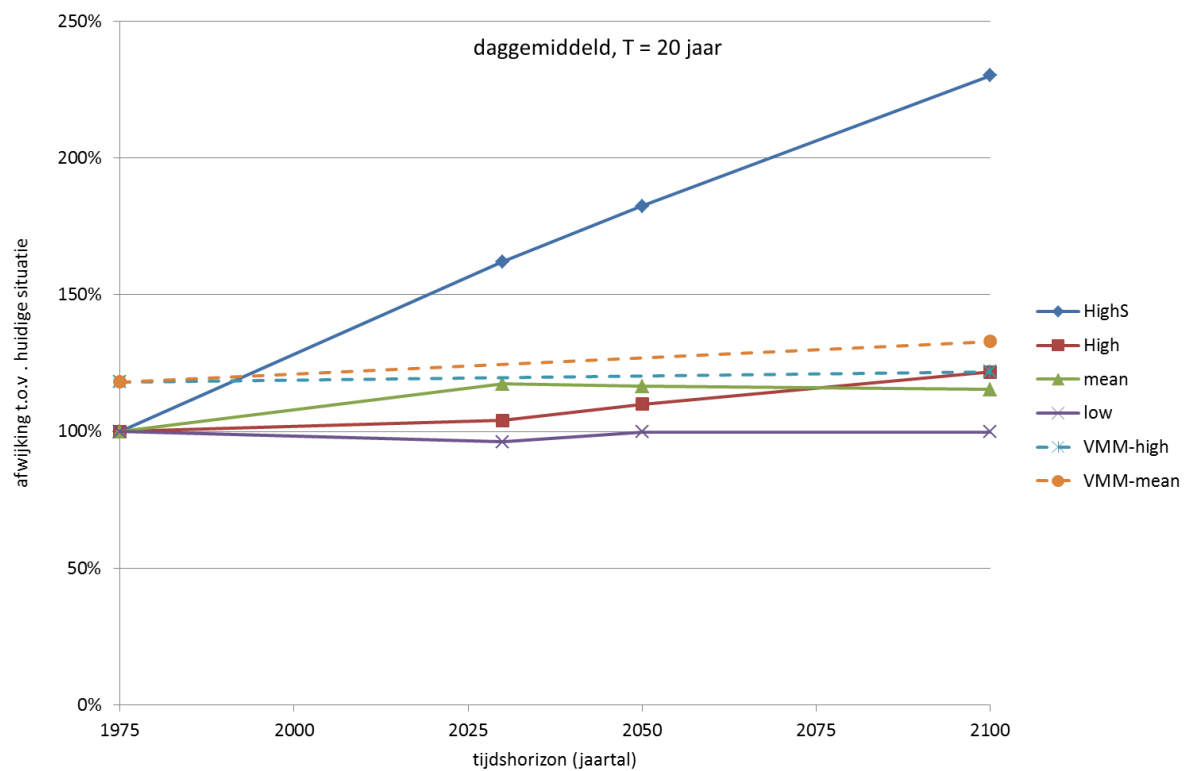
E.1 Neerslagafstroming Benedenvliet, uurgemiddeld



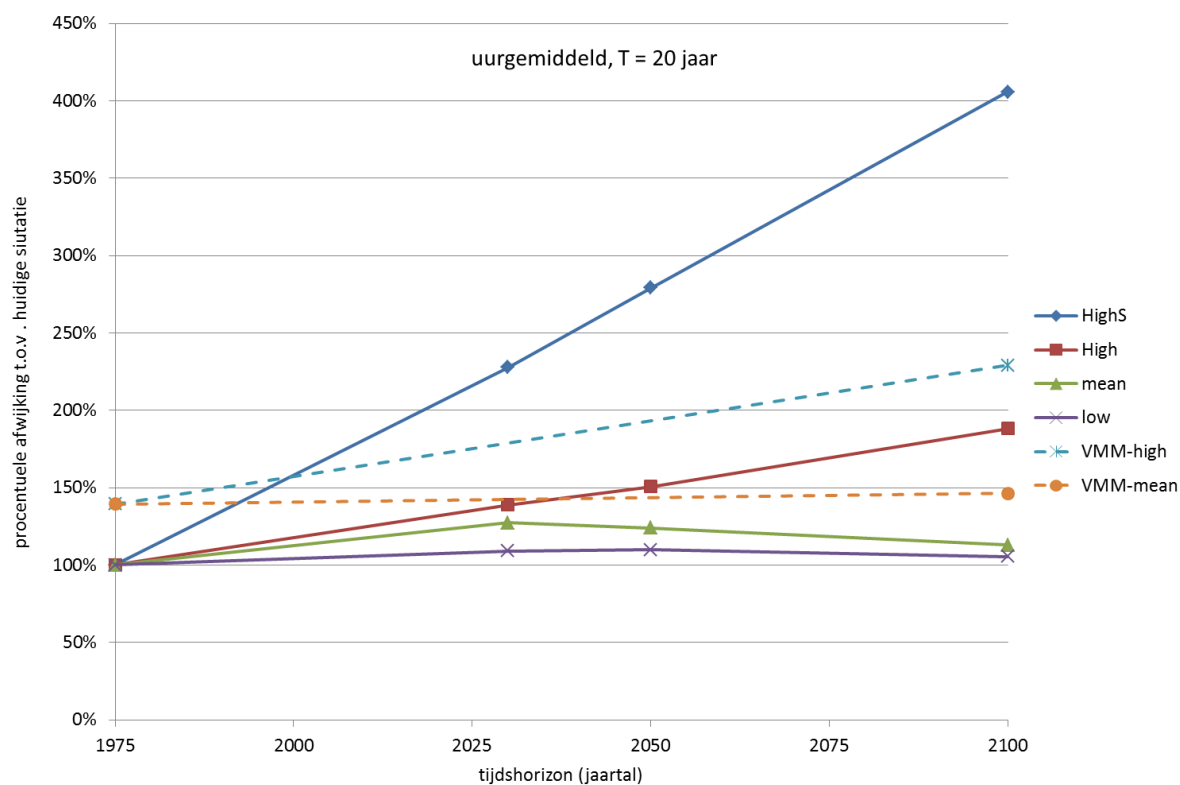
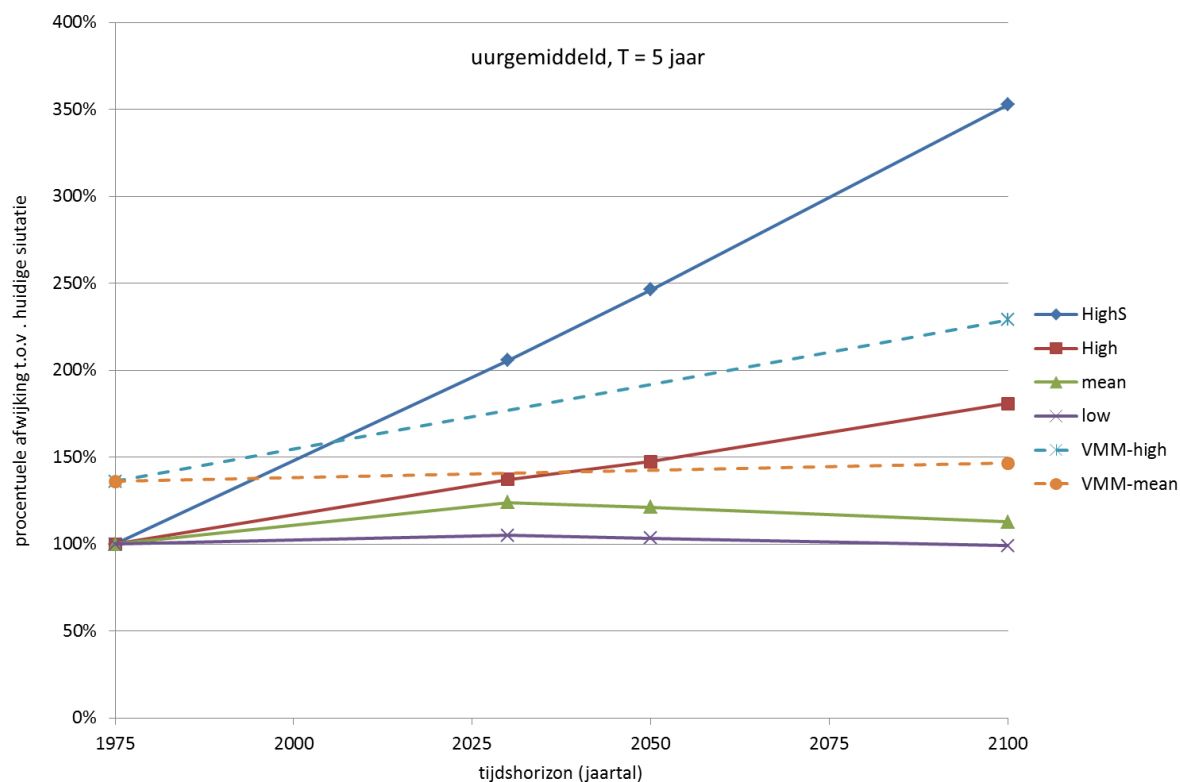


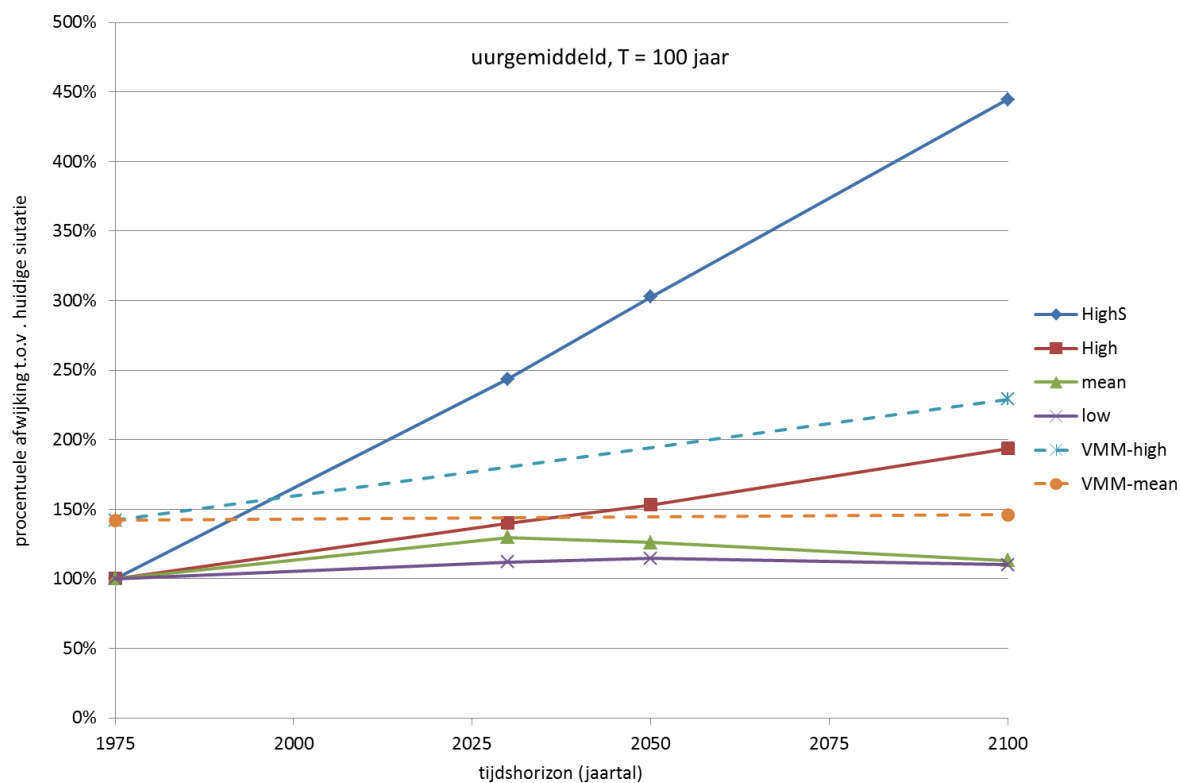
E.2 Neerslagafstroming Benedenvliet, daggemiddeld



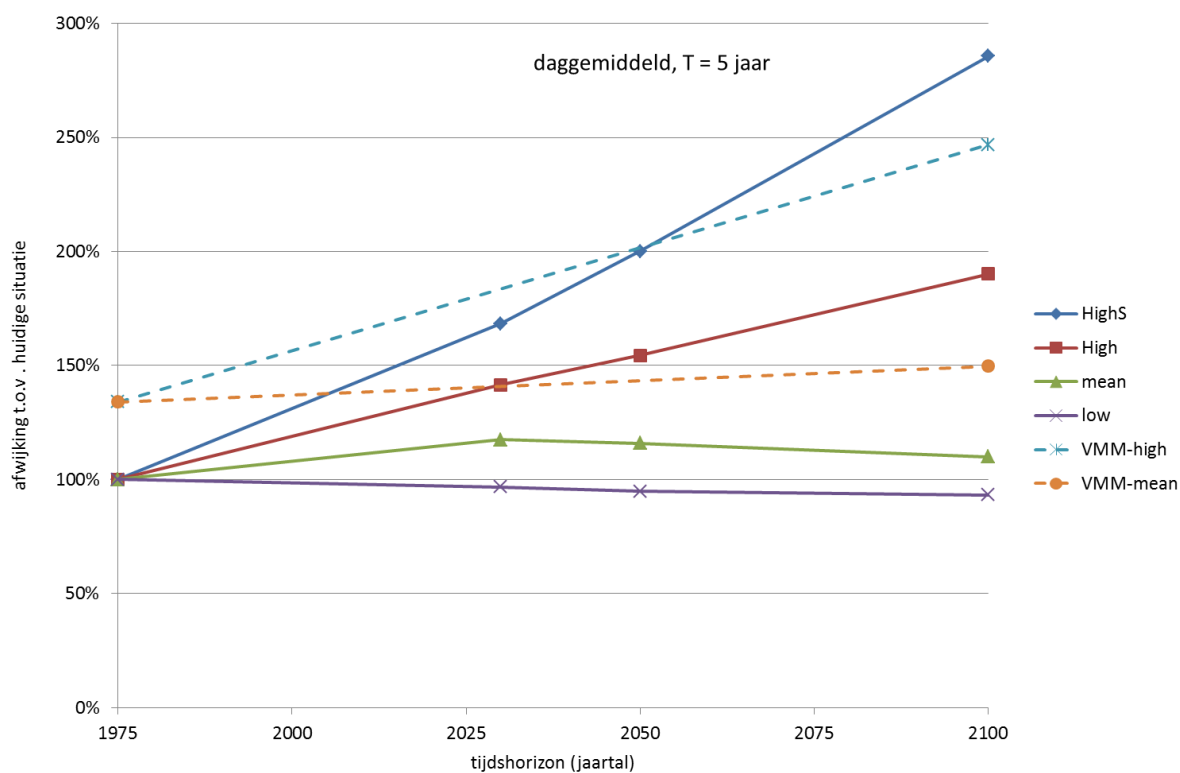


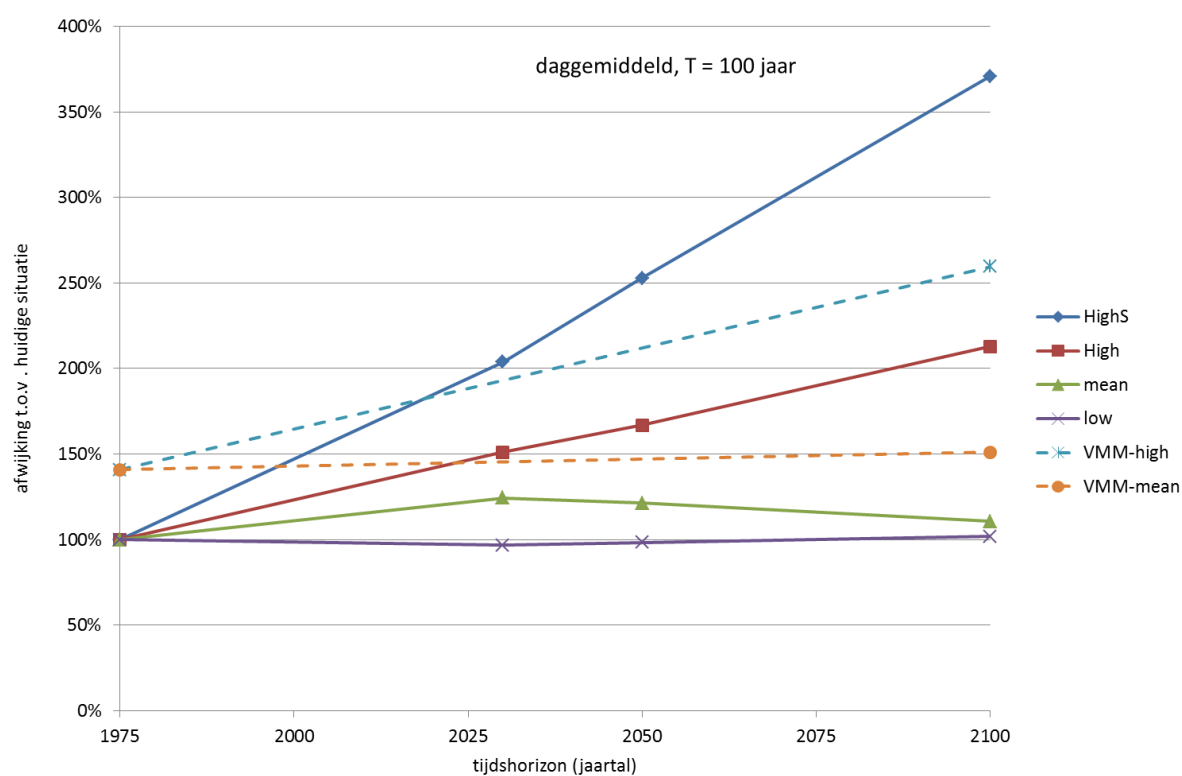
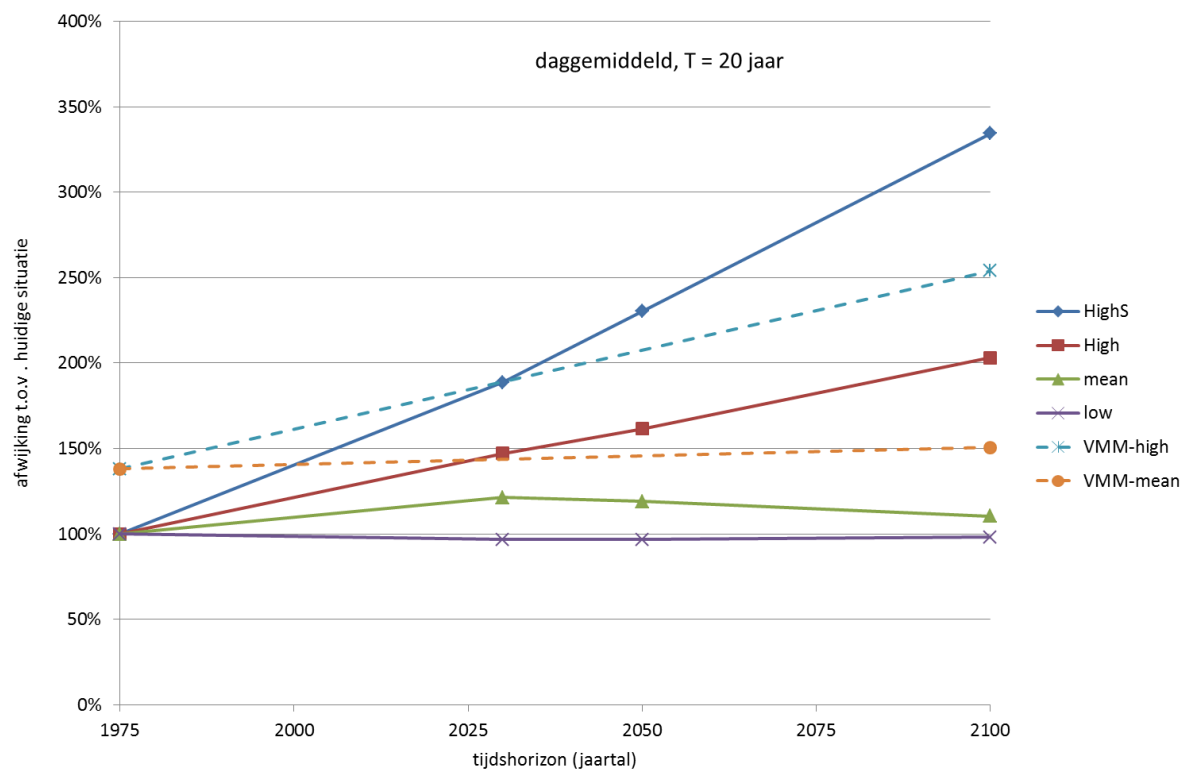
E.3 PDM Benedenvliet, uurgemiddeld



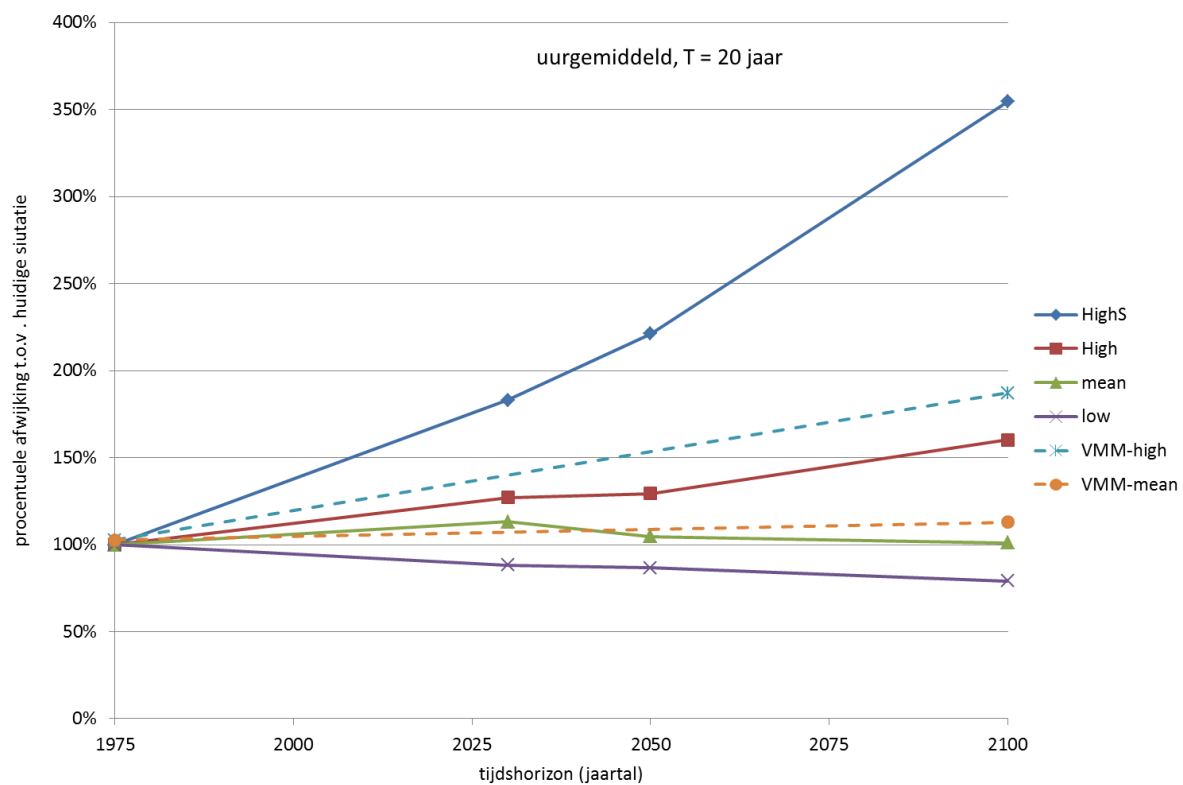
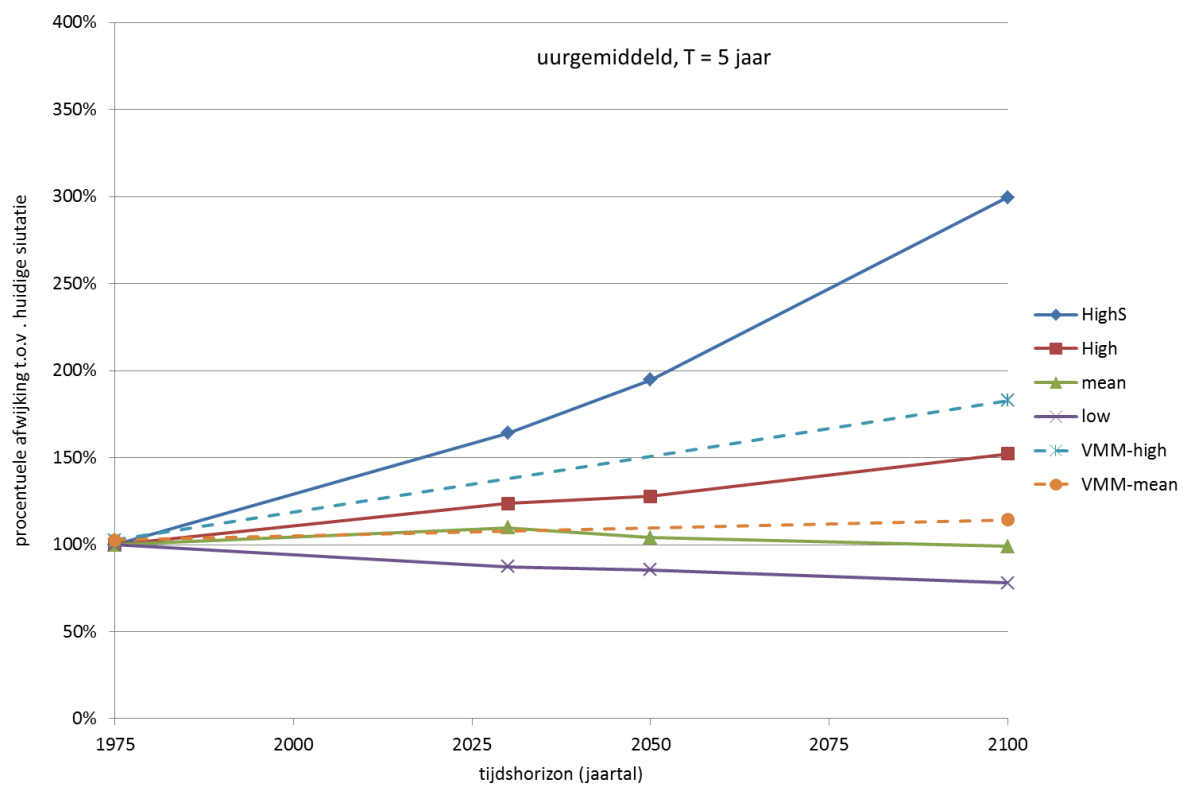


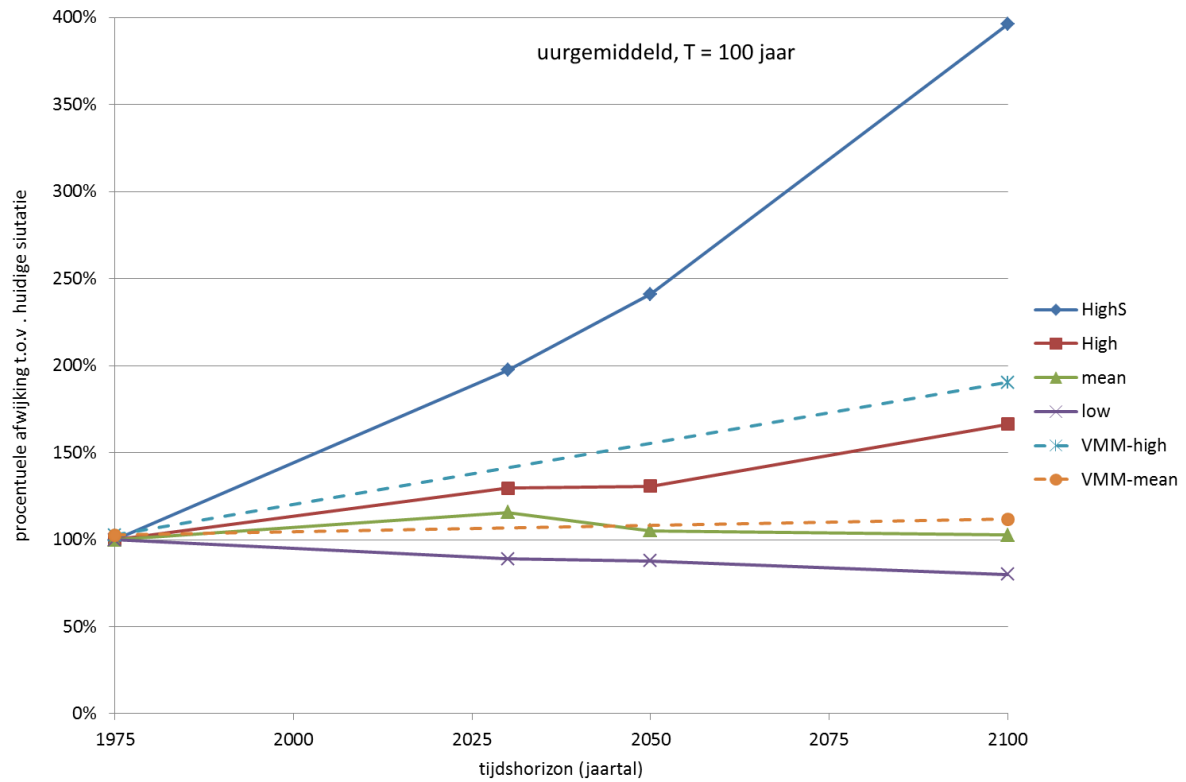
E.4 PDM Benedenvliet, daggemiddeld



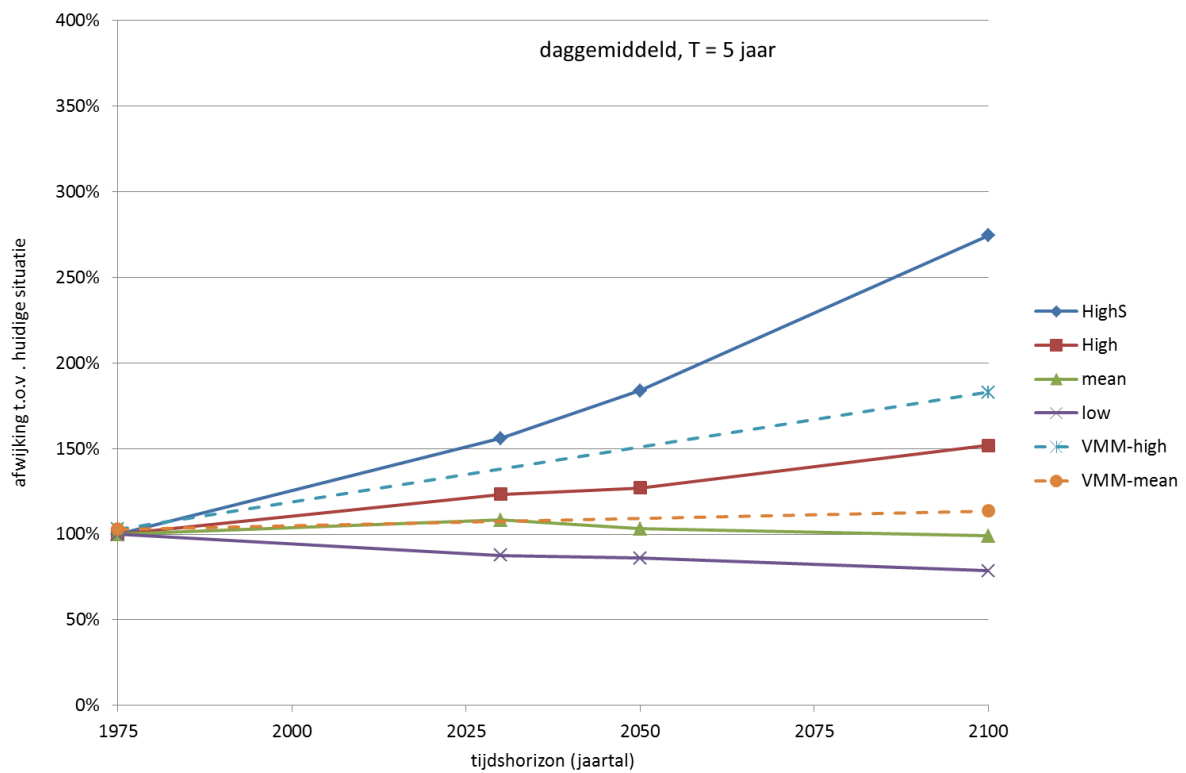


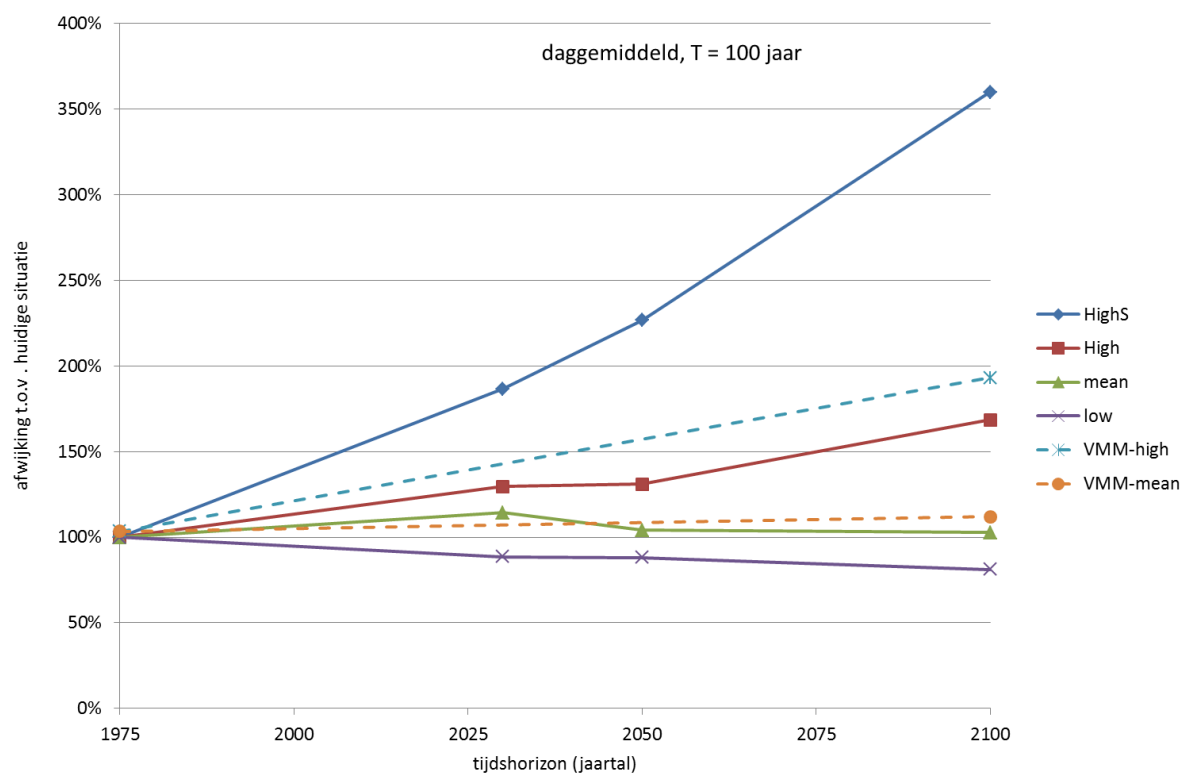
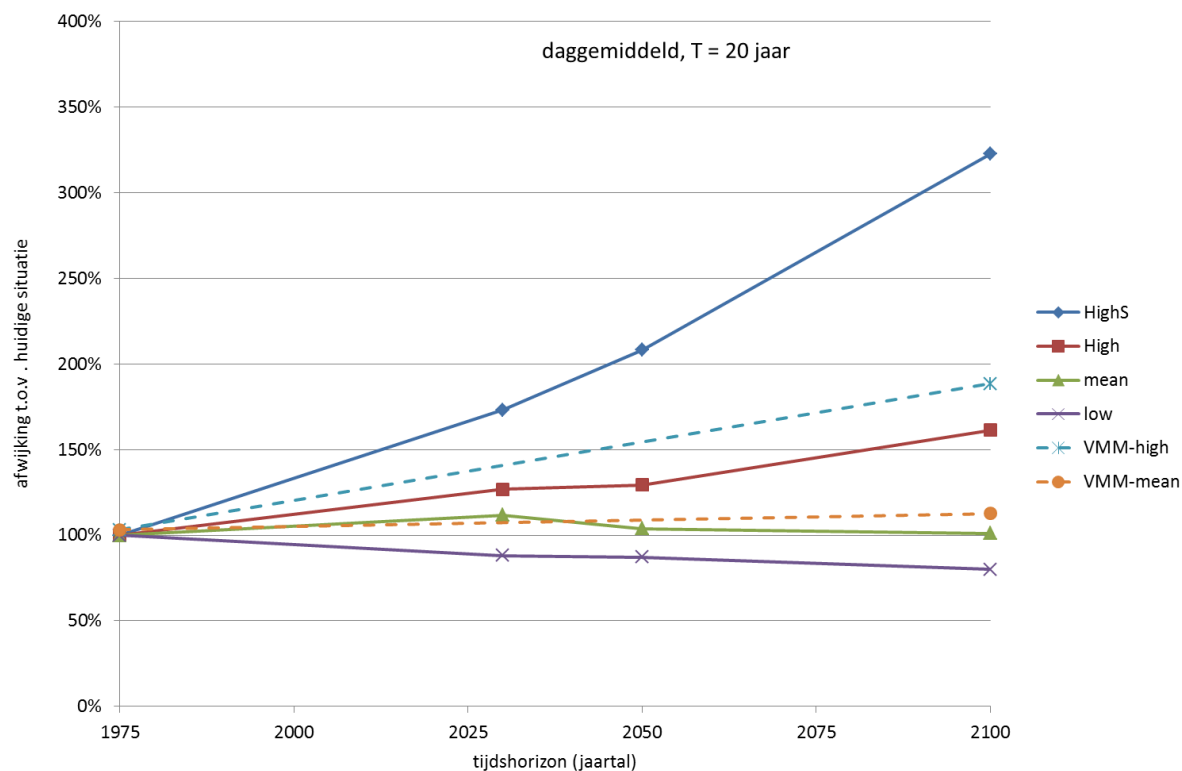
E.5 PDM Schijn Noord, uurgemiddeld



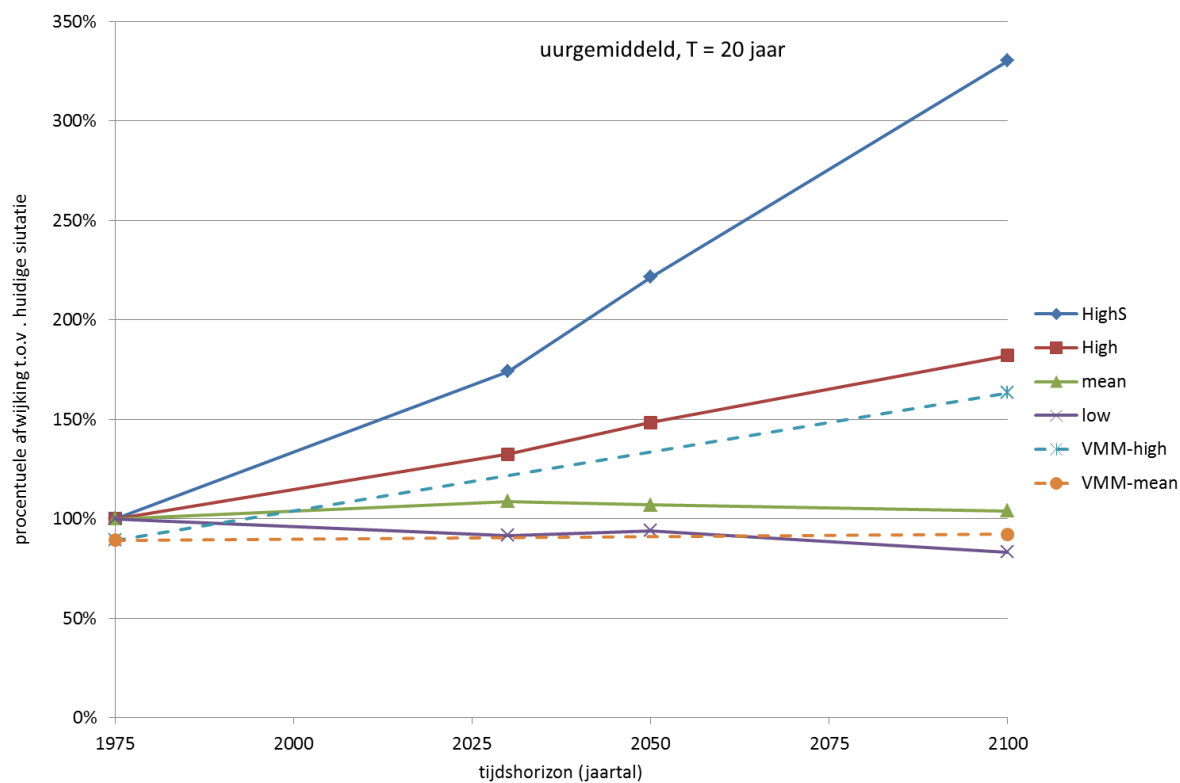
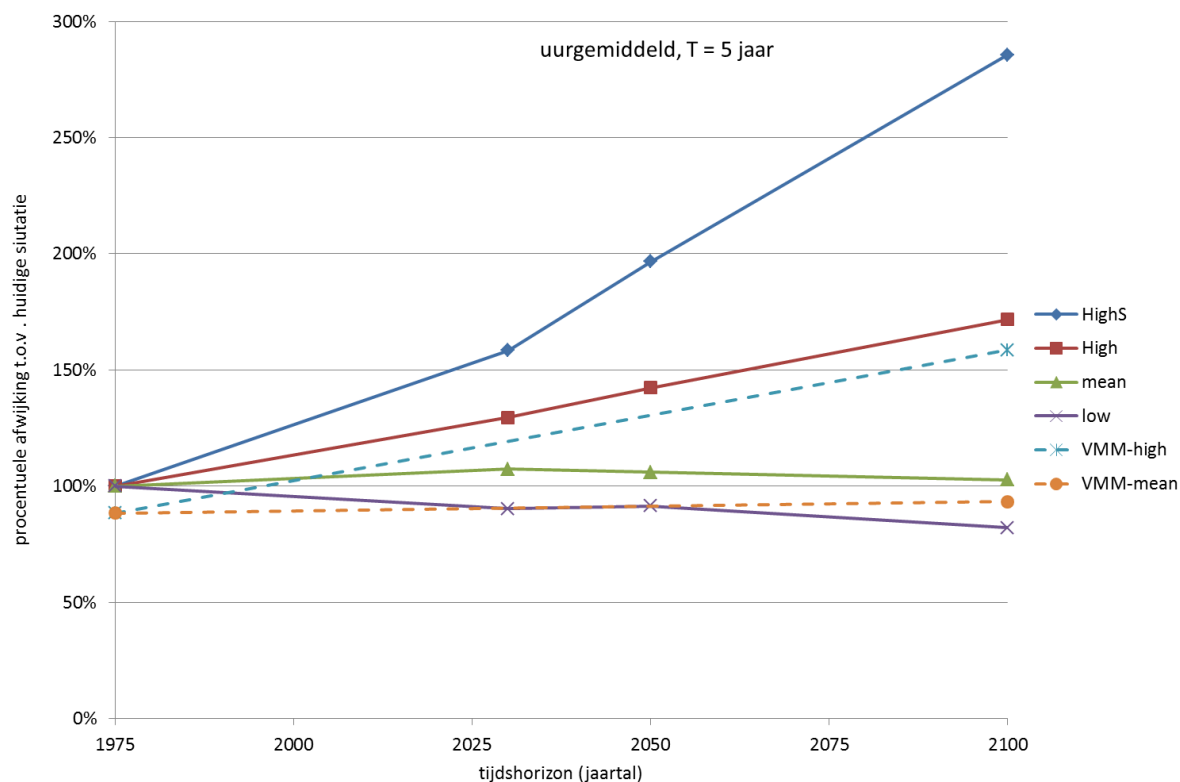


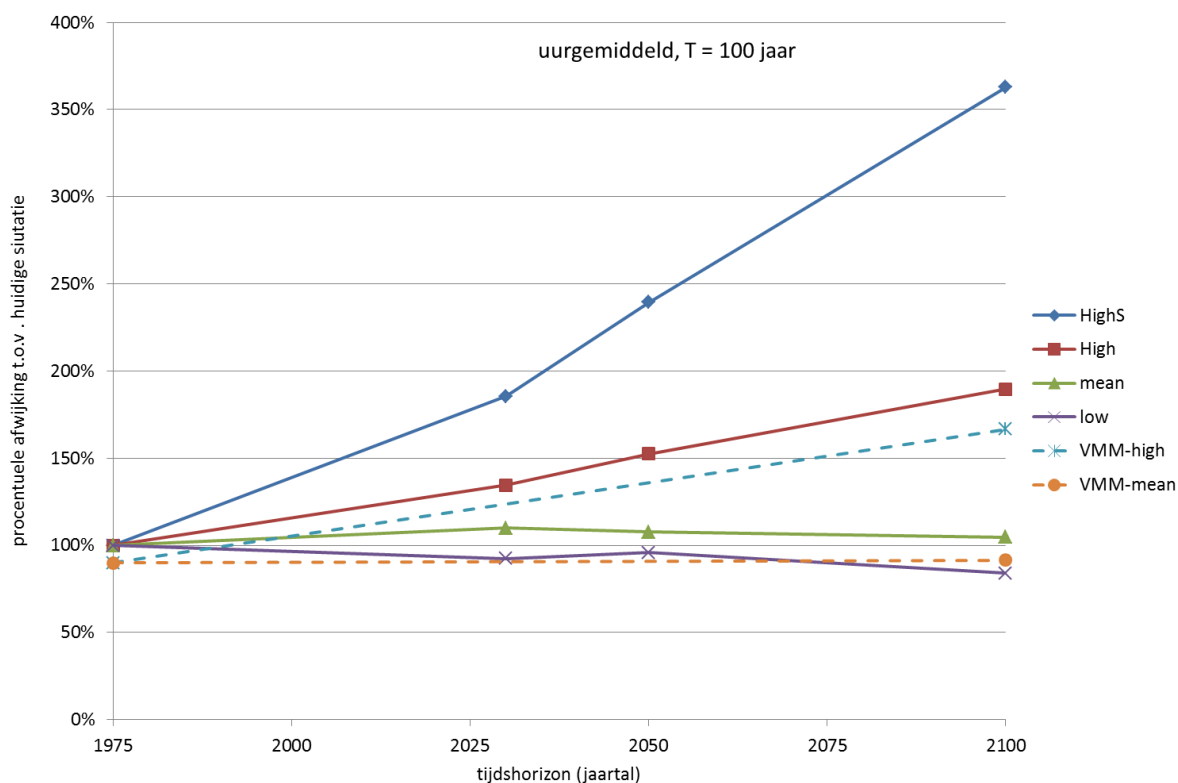
E.6 PDM Schijn Noord, daggemiddeld



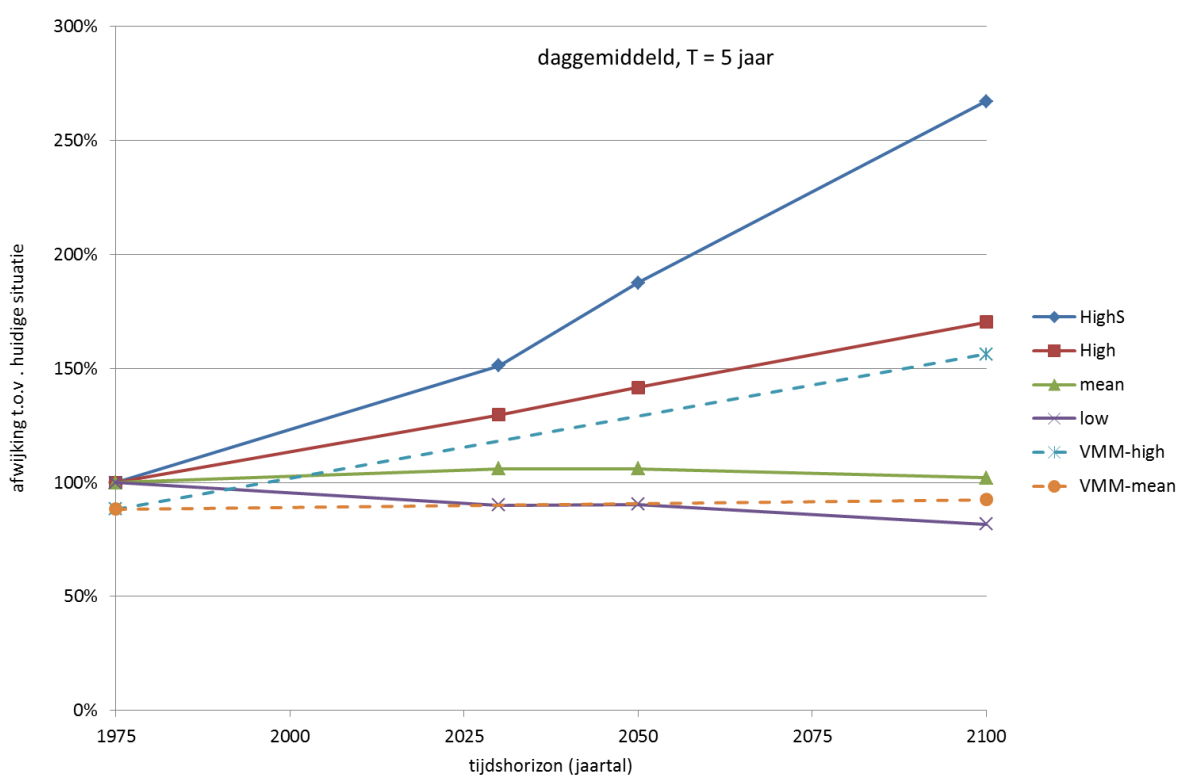


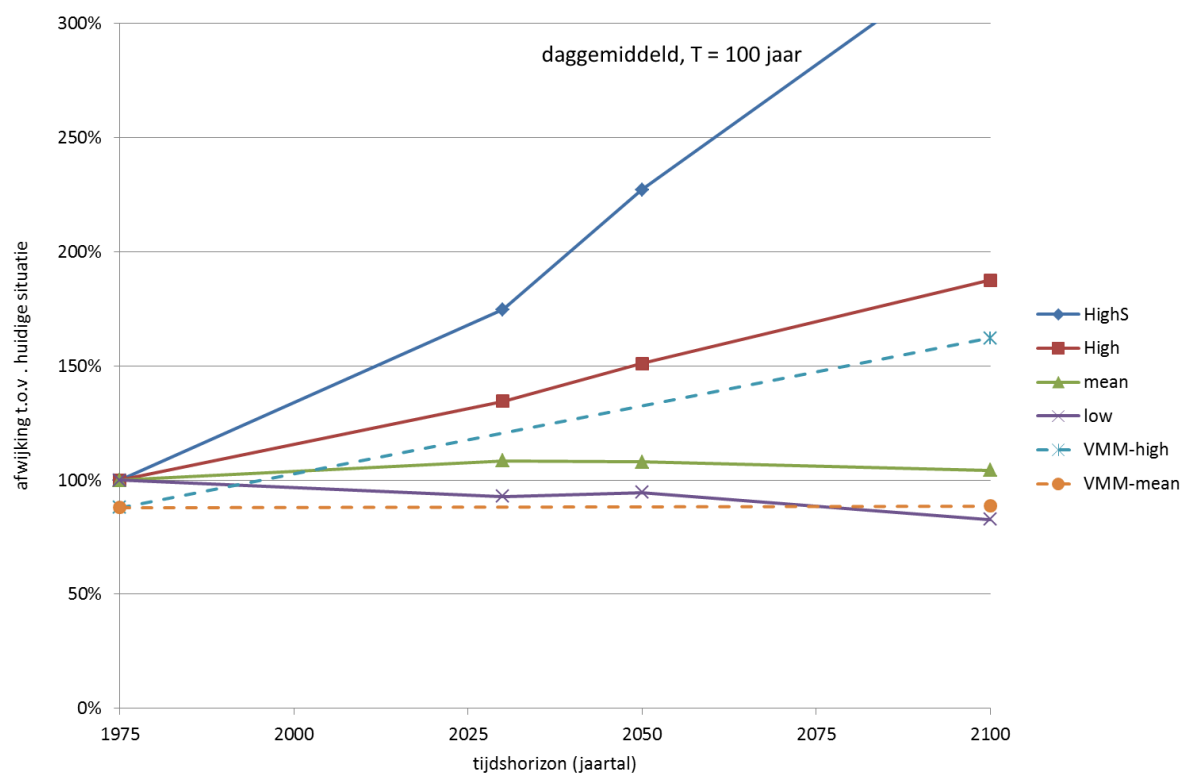
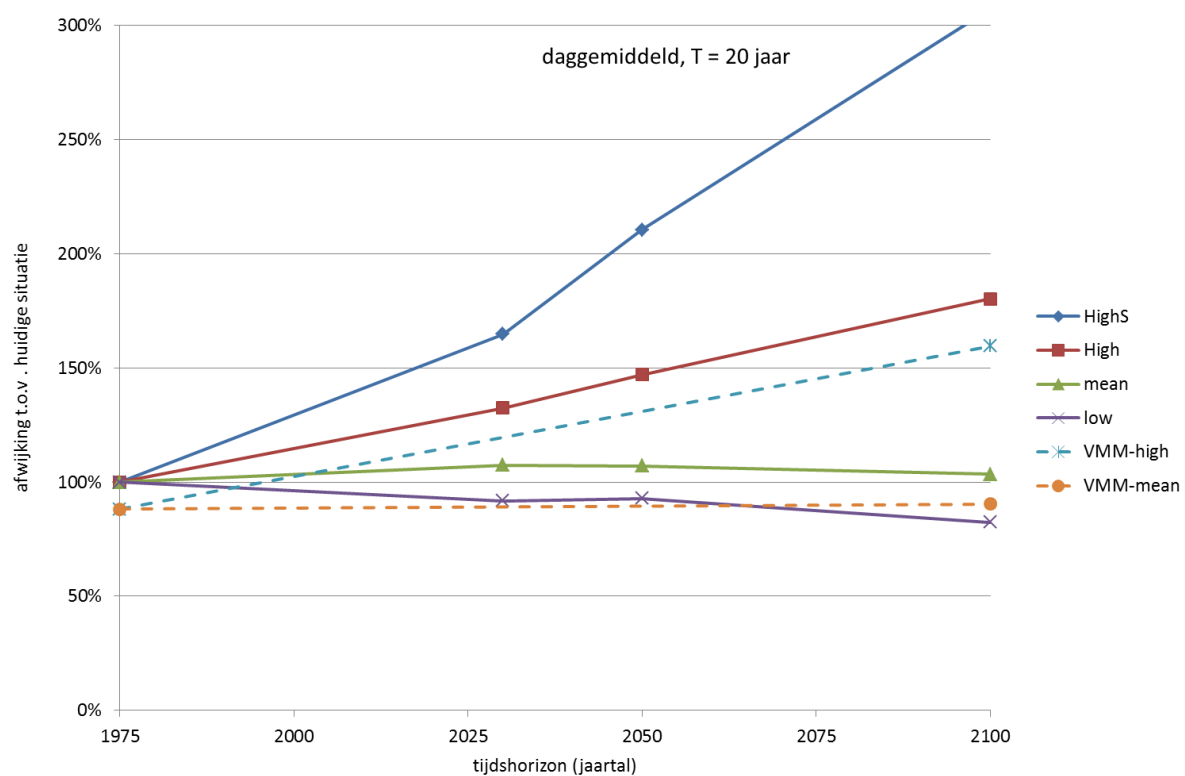
E.7 PDM Schijn Zuid, uurgemiddeld





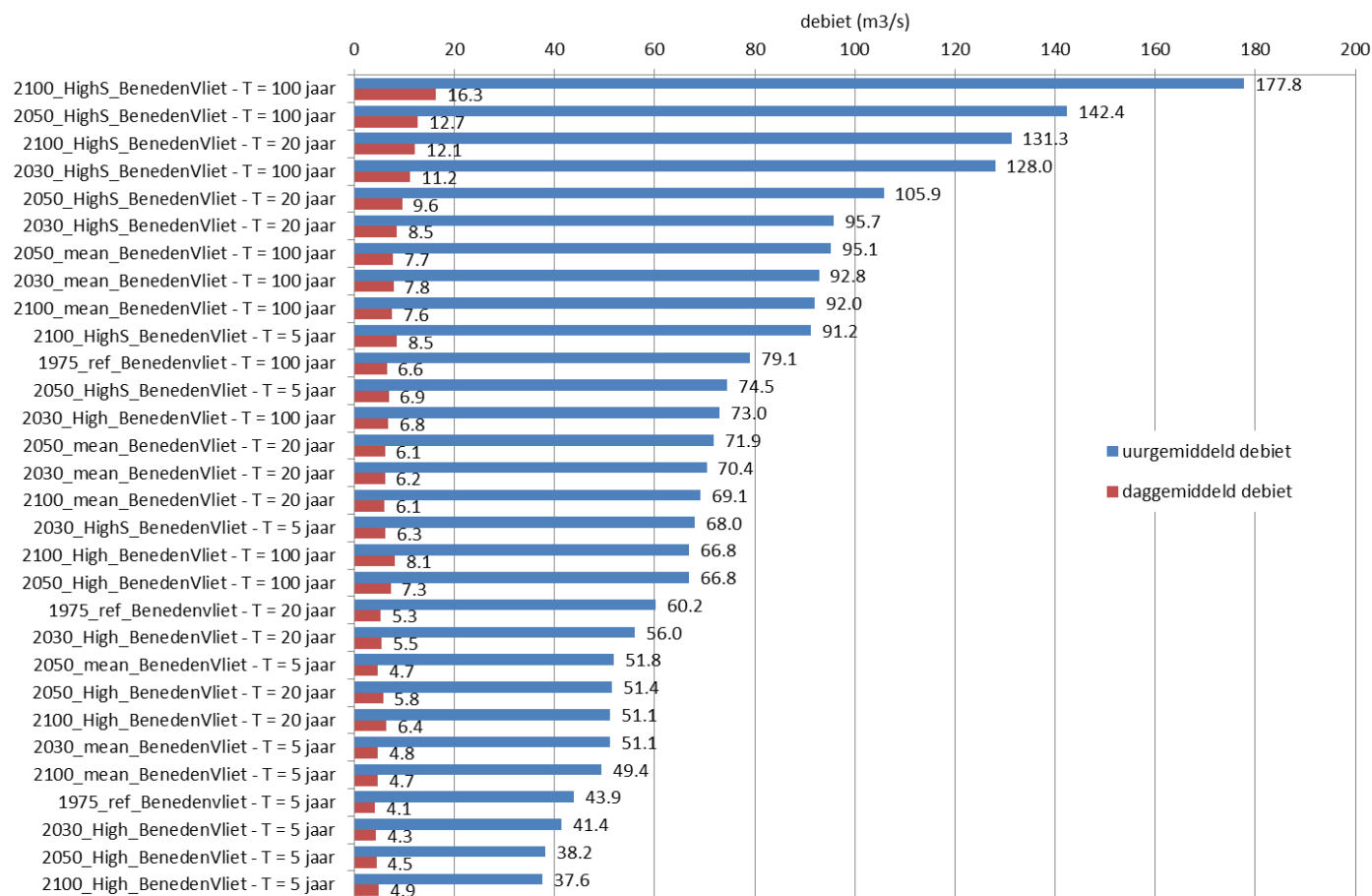
E.8 PDM Schijn Zuid, daggemiddeld



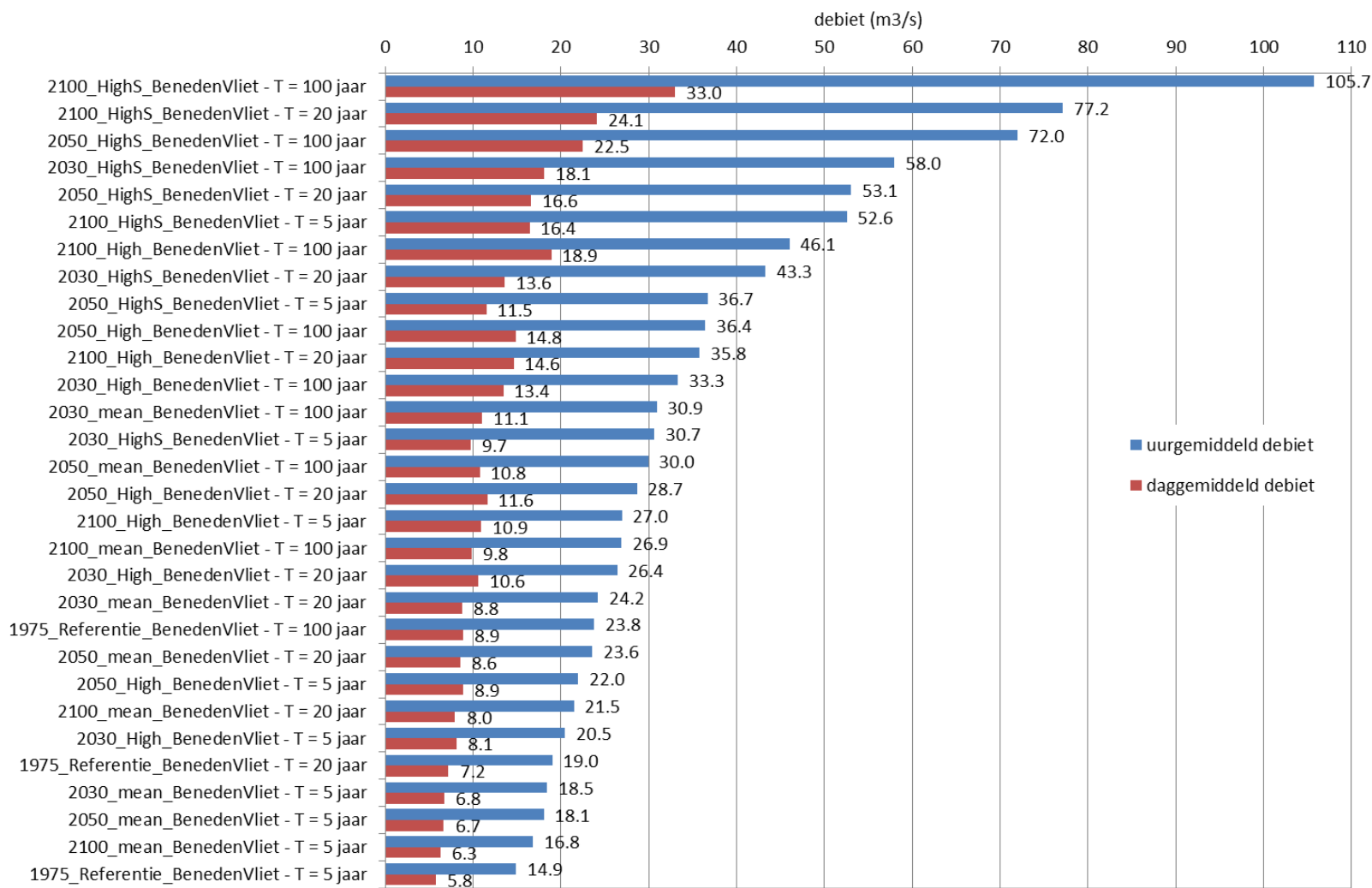


BIJLAGE F: GESELECTEERDE GEBEURTENISSEN

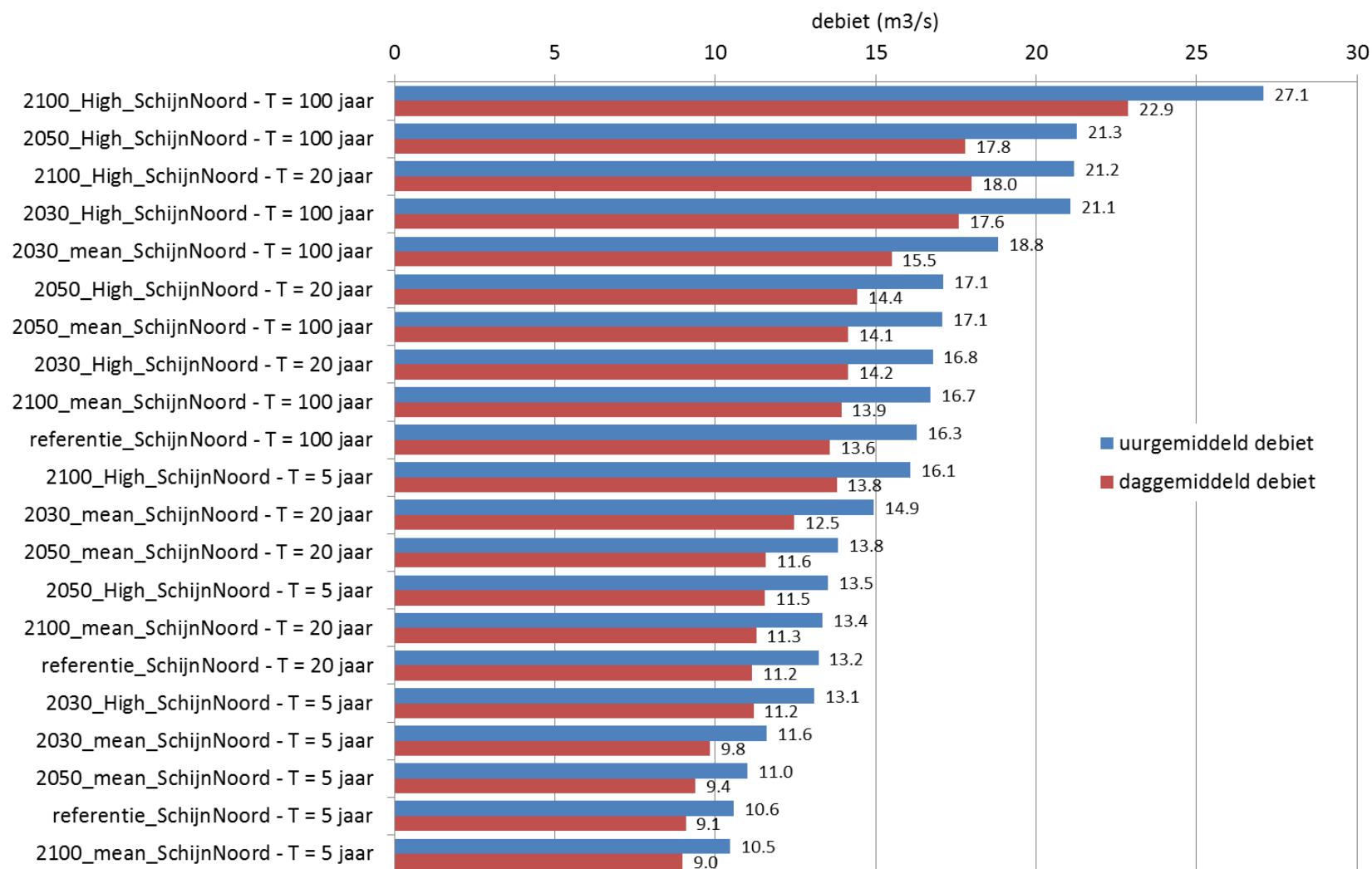
F.1 Neerslagafstroming Benedenvliet



F.2 PDM Benedenvliet



F.3 PDM Schijn Noord



F.4 PDM Schijn Zuid

