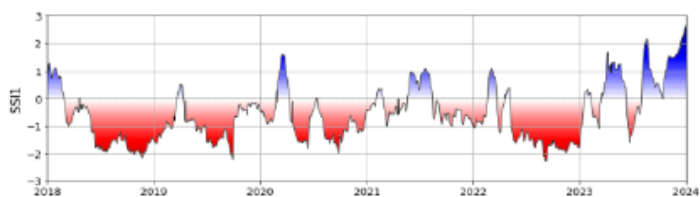




Droogte en droogval van beken in zandgebieden van Nederland

Berekening en visualisatie van de 'Standardized Streamflow Index' en beek droogval in een operationele setting in het kader van droogteportaal.nl

Wilco Terink, Dion van Deijl en Gé van den Eertwegh



Datum: 29 november 2024



WATERBEHEER: VEILIG EN OP MAAT



met de omgeving, voor de omgeving

Opdrachtgever:



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

Colofon

Titel:

Droogte en droogval van beken in zandgebieden van Nederland – Berekening en visualisatie van de 'Standardized Streamflow Index' en droogval in een operationele setting in het kader van droogteportaal.nl

Datum:

29 november 2024

Opdrachtgever:

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Projectteam KnowH2O:

W. Terink, D. van Deijl en G.A.P.H. van den Eertwegh

Kader:

Dit rapport is uitgebracht in opdracht van MinlenW met als contactpersoon B.J. Teunis/DGWB

Foto's:

W. Terink en G.A.P.H. van den Eertwegh

Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in dit rapport, en/of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport. Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Dankwoord

We willen de volgende personen bedanken, die bij de totstandkoming van ons werk en dit rapport betrokken waren:

- Gert van den Houten/WRIJ
- Arnoud Keizer/WVV
- Nicole Meijer en Karlijn Kessels/WL
- Gosro Karimlou/WDD
- Emma Poppelier en Thomas Deurloo/WBD
- Renier Kramer en Erwin Vonk/StellaSpark
- Maab Altayeb/MSc. student Wageningen Universiteit
- Claudia Brauer/HEH Wageningen Universiteit
- Paul Torfs

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	6
1.1 <i>Kader</i>	6
1.2 <i>Probleemstelling</i>	6
1.3 <i>Doelen project</i>	7
1.4 <i>Leeswijzer</i>	7
2 Onderzoeksgebied	8
3 Methode	10
3.1 <i>Data</i>	10
3.2 <i>Berekening en visualisatie van SSI</i>	10
3.2.1 <i>Werkwijze</i>	11
3.2.2 <i>Toetsing kwaliteit afvoersimulaties</i>	13
3.2.3 <i>Toetsing kwaliteit SSI (normalisatie toets)</i>	14
3.3 <i>Kartering van beek droogval</i>	15
3.4 <i>Grenswaarden beekafvoer</i>	16
3.4.1 <i>KaderRichtlijn Water (KRW) maatlatten</i>	16
3.4.2 <i>Wat hanteren de betrokken waterschappen momenteel?</i>	18
3.4.3 <i>Opties voor visualisatie grenswaarden droogteportaal.nl</i>	21
4 Resultaten SSI-berekening	22
4.1 <i>Afvoersimulaties</i>	22
4.2 <i>Shapiro-Wilk test</i>	25
4.3 <i>Visuele analyse SSI-tijdreeksen</i>	30
4.4 <i>Implementatie en visualisatie in droogteportaal.nl</i>	33
5 Conclusies, discussie en aanbevelingen	37
5.1 <i>Conclusies</i>	37
5.2 <i>Discussie en aanbevelingen</i>	37
6 Bibliografie	40
Bijlage A: Afvoermeetlocaties geselecteerd door de waterschappen	41
Bijlage B: Voorbeeld modelsimulaties die voldoen aan de Pearson r en Spearman r criteria, maar slecht tot minder goed presteren voor de model bias en NS	43
Bijlage C: Voorbeeld modelsimulaties die ook goed presteren voor de model-bias en Nash-Sutcliffe "goodness-of-fit" criteria	47
Bijlage D: Voorbeeld SSI-tijdreeksen op basis van de Generalized Extreme Value (GEV) en Tweedie verdeling	55

1 Inleiding

1.1 Kader

De laatste paar jaren heeft Nederland te maken gehad met een aantal 'extreem' droge jaren. Voorbeelden hiervan zijn de jaren 2018, 2019, 2020 en 2022. Volgens het KNMI was het jaar 2018 met een herhalingstijd van eens in de 30 jaar een uitzonderlijk droog jaar (Sluijter et al., 2018). Zowel de landbouw als de natuur ondervinden schade als gevolg van deze droogtes. Daarnaast zijn op meerdere plekken binnen Nederland, en dan met name de Hoge Zandgronden, beken drooggevallen. Een concreet voorbeeld hiervan is de Reusel Bovenstroom in het beheersgebied van Waterschap de Dommel, die in 2018 maar liefst 109 dagen van het jaar niet watervoerend was en droogviel (30%) (Terink et al., 2023). Op basis van de recent verschenen klimaatscenario's van het KNMI (van Dorland et al., 2023) verwacht men dat droogtes vaker zullen voorkomen en ook langduriger van aard zijn. Zonder ingrijpen zal dit resulteren in (nog) meer beeksystemen die niet-watervoerend zullen zijn en droogvallen, maar daarnaast ook vaker en langduriger niet-watervoerend zullen zijn en droogvallen. Beek-droogval brengt allerlei nadelige gevolgen met zich mee: er is geen water voor benedenstroomse gebruikers en doelen en het verslechtert in de beek zelf de hydrologische en ecologische kwaliteit.

De Kaderrichtlijn Water (KRW) stelt dat de EU-lidstaten uiterlijk in 2027 een 'goede toestand' van het oppervlakte- en grondwatersysteem moeten realiseren. Bij een 'goede toestand' horen bijvoorbeeld minimale en maximale waarden voor stroomsnelheden en beekafvoeren (KRW factsheets, 2023). Oppervlaktewaterlichamen van (secties van) beken die zijn drooggevallen of onvoldoende watervoerend zijn, voldoen dan niet of in mindere mate aan de gewenste toestand. Dit kan ook tot gevolg hebben dat het bijbehorende grondwaterlichaam niet voldoet. In de KRW-factsheets (KRW factsheets, 2023) is per oppervlakte- en grondwaterlichaam aangegeven welke doelen in 2027 gerealiseerd moeten zijn.

Naar aanleiding van de extreem droge jaren heeft KnowH2O samen met partners KWR, StellaSpark en HSS het droogteportaal (<https://droogteportaal.nl>) ontwikkeld. Momenteel is het beheer en onderhoud van het portaal in een overgangsfase naar het InformatieHuis Water (IHW) aan het gaan. Via droogteportaal.nl trachten we voor heel Nederland, met uitzondering van het hoofdwatersysteem in beheer bij RWS, de 'hydrologische gesteldheid' van ons watersysteem te duiden en te visualiseren. De data die hier momenteel voor gebruikt wordt bestaat uit metingen voor neerslag, referentiegewas-verdamping (ETref Makkink van KNMI, formeel berekend), bodemvochtgehalte, grondwaterstanden en afvoer. Voor neerslag, potentieel neerslagoverschot en grondwater worden daarnaast operationeel droogte-indices berekend om zodoende inzicht te krijgen in 'hoe droog' of 'hoe nat' bepaalde plekken in Nederland zijn t.o.v. een historische periode op de plek van de meting. Eventueel droogvallende beken hebben onze nadere aandacht, waarbij de beekafvoer de in ruimte en tijd geïntegreerde graadmeter van de hydrologische toestand van een stroomgebied is.

1.2 Probleemstelling

Het droogteportaal verwerkt en visualiseert al afvoermetingen (Figuur 1), maar de functionaliteit voor het berekenen van droogte-indices voor beekafvoeren ontbreekt (stand november 2024). De "Standardized Streamflow Index" ofwel afgekort SSI (Tijdeman et al., 2020) is een voorbeeld van een droogte-index voor beekafvoer. Daarnaast kunnen drooggevallen beken gekarteerd worden door gebruik te maken van 'crowdsourcing' voor locaties waarvoor geen afvoermetingen bekend zijn.

Omdat de beekafvoer de in de tijd en ruimte geïntegreerde graadmeter van de hydrologische toestand van een stroomgebied als geheel is, maakt de toevoeging "berekenen en visualiseren van een droogte index voor beekafvoer en kartering van beek droogval" aan het droogteportaal, het plaatje van droogte-propagatie, ofwel de voortplanting van droogte door het bodem-watersysteem, completer: meteorologie -> bodemvocht -> grondwater -> beekafvoer (oppervlaktewater). Door de SSI automatisch en op een uniforme manier uit te rekenen, ontstaat een uniform beeld van de droogte van de beekafvoer.

Door daarbij ook de R-types van de KRW-oppervlaktewaterlichamen te visualiseren, kunnen waterschappen en provincies meer zicht krijgen in waar eventuele problemen zich voordoen, geredeneerd vanuit de KRW-waterdoelen (bijv. 'watervoerendheid gewenst'), en kan hier mogelijk op tijd op geanticipeerd worden. Veelal is er in de zomermaanden in het zandgebied bij beken sprake van zogenaamde basisafvoer, afvoer die voortkomt uit het grondwater in het stroomgebied. Deze vormt de hydro(morfo)logische verbinding tussen waterlichamen in grondwater en in oppervlaktewater.

1.3 Doelen project

De doelen van dit project zijn (zie Vraagspecificatie MinlenW; juli 2024):

1. Het operationeel berekenen en visualiseren van de SSI voor een selectie van beeksystemen van tenminste vier waterschappen, en de methodische beschrijving hiervan.
2. Kartering van beek droogval op basis van 'crowdsourcing' (via web app) en visualisatie.
3. Het hanteren van grenswaarden e.d. voor beekafvoer: inventarisatie en beschouwing

Deze uitbreiding zal vooralsnog een conceptversie van droogteportaal.nl betreffen.

1.4 Leeswijzer

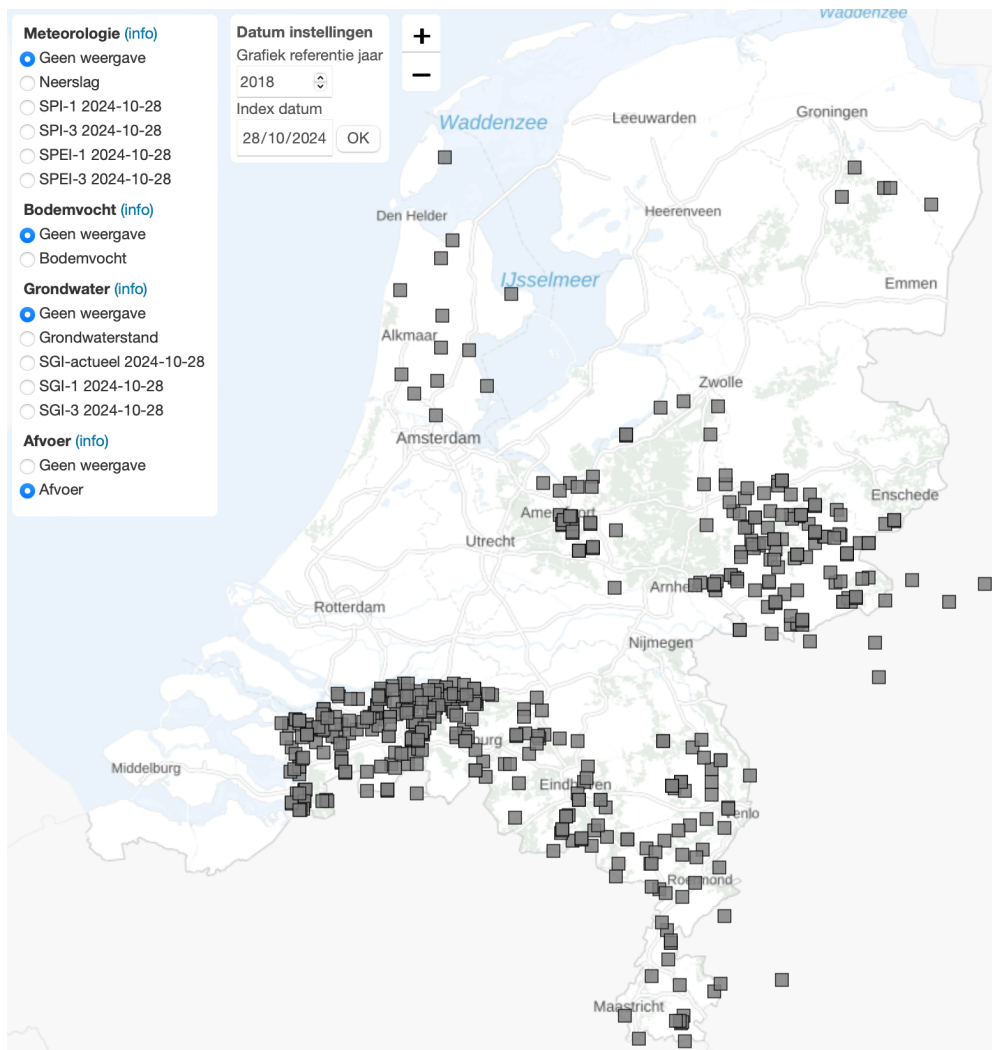
Dit rapport bevat een beknopte documentatie van de methodiek, de argumentatie waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt, beschrijft een aantal resultaten en sluit af met conclusies en aanbevelingen. Het resultaat van dit project is visueel beschikbaar op een ontwikkelversie van het droogteportaal.

Sectie 2 beschrijft het onderzoeksgebied waarop dit project zich focust. Dit zijn de afvoermeetpunten die al zijn aangesloten op het <https://droogteportaal.nl>, en in beheer zijn van Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap de Dommel, en Waterschap Limburg. Deze waterschappen zijn ook in actieve zin bij het project betrokken geweest. Sectie 3 beschrijft de methodiek die gehanteerd is voor de berekening en visualisatie van de SSI, en hoe beek droogval gedetecteerd kan worden via een webapplicatie en vervolgens gevisualiseerd wordt in de ontwikkelversie van het droogteportaal. Deze sectie gaat tevens in op grenswaarden voor beekafvoer, en in hoeverre de waterschappen hier 'nu' al wat mee doen. Grenswaarden voor debiet of afvoer kunnen bijv. voortkomen uit het beheren van onttrekkingen van water uit oppervlaktewater of zijn afgeleid voor ecologische doelen binnen de KRW (hydromorfologie). De resultaten van de WALRUS (hydrologisch model) afvoersimulaties, de 'geschiktheid' van deze simulaties om te gebruiken voor de berekening van de SSI, en de beoordeling van de kwaliteit van de SSI-tijdreeksen zijn beschreven in Sectie 4. Tot slot zijn in Sectie 5 beknopt de belangrijkste bevindingen opgeschreven, en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgstappen om de informatievoorziening en visualisatie van de hydrologische toestand van het Nederlandse watersysteem verder te verbeteren.

2 Onderzoeksgebied

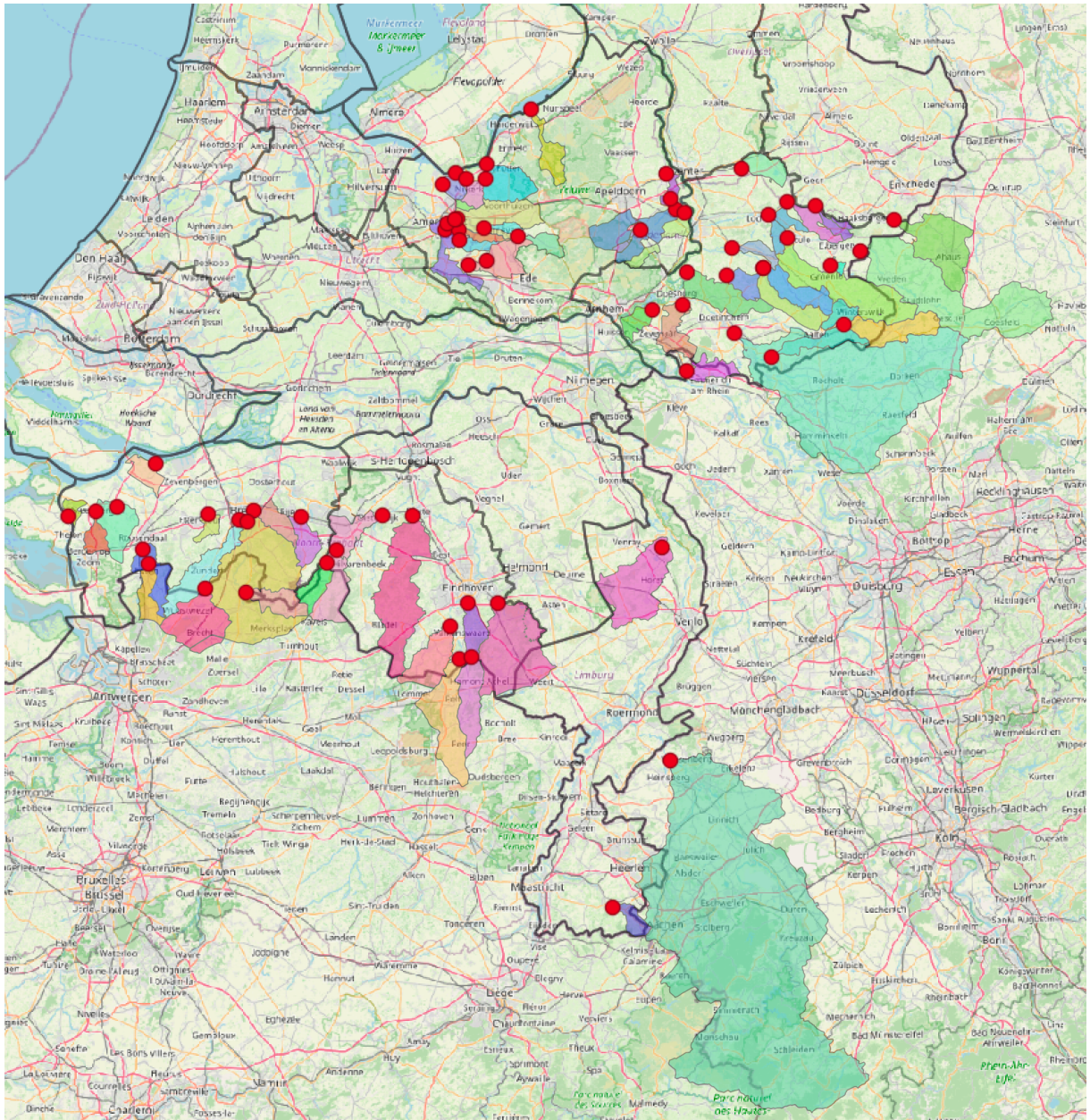
De focus van dit project ligt op de afvoermeetpunten die al zijn aangesloten op het www.droogteportaal.nl (Figuur 1). De volgende vijf waterschappen zijn betrokken bij de uitvoering van dit project:

- Brabantse Delta
- De Dommel
- Limburg
- Rijn en IJssel
- Vallei en Veluwe



Figuur 1 Afvoermeetpunten die momenteel (1 november 2024) zijn aangesloten op het www.droogteportaal.nl.

De betrokken medewerker(s) waterschappen zijn gevraagd een selectie van afvoermeetpunten aan te dragen die voor hen relevant zijn voor de berekening en visualisatie van de SSI. Tevens is hen verzocht om de polygonen van de stroomgebieden bovenstrooms van deze selectie van afvoermeetpunten aan te leveren. Dit is benodigd voor de selectie van KNMI-klimaatstations vanwege data voor neerslag en referentiegewasverdamping, die gebruikt worden als modelinvoer. Figuur 2 geeft een overzicht van deze punten en stroomgebieden. Omdat Waterschap De Dommel geen voorkeurslocaties heeft doorgegeven, hebben we deze in overleg met hen zelf geselecteerd.



Figuur 2 Overzicht van selectie van afvoermeeptunten en bijbehorende stroomgebieden aangeleverd door de waterschappen.

In totaal zijn 65 afvoermeeptunten geselecteerd waarvoor is getoetst of er een plausible SSI-tijdreeks kan worden afgeleid. Deze zijn ook weergegeven in Bijlage A.

3 Methode

3.1 Data

In dit project is uitsluitend gebruik gemaakt van gemeten tijdreeksen die zijn aangesloten op het droogteportaal.nl. Dit is noodzakelijk om de data en methodiek generiek te houden, ook inzake de andere bestaande droogte-indexen, en omdat de data real-time moet binnenkomen om elke dag nieuwe indexen uit te kunnen rekenen in een operationele setting. Daarnaast is gebruik gemaakt van de aanvullende kennis en informatie van de betrokken waterschappen: Brabantse Delta, De Dommel, Limburg, Rijn en IJssel en Vallei en Veluwe. Zij hebben, voor zover mogelijk, een selectie van afvoermeetpunten aangedragen waarvoor ze graag een droogte index voor beekafvoer berekend en gevisualiseerd zien hebben. Daarvoor hebben ze ook de bovenstroomse stroomgebieden aangeleverd als GIS-polygonen. Deze zijn gebruikt voor de selectie van klimaatstations (neerslag en Makkink ETref) en de conversie van afvoeren in m^3/s naar mm/d .

De data bepalen in grote mate of een SSI berekend kan worden en bepaalt de kwaliteit en betrouwbaarheid van de berekende index-waarde. De lengte van de gemeten afvoertijdreeks is bijvoorbeeld bepalend voor de betrouwbaarheid van de hydrologische modelsimulaties. Zo zijn er locaties (zie Tabel 2) waarvoor maar een paar jaar aan afvoermetingen beschikbaar zijn (bijvoorbeeld "ID 13350 – SLo00348_Modderbeek Jaagpad – Vallei en Veluwe"), en locaties waarvoor langjarige tijdreeksen van gemeten afvoer beschikbaar zijn (bijvoorbeeld "ID 116 – Stuw De Pol Oude IJssel – Rijn en IJssel"). Het hydrologische model WALRUS dat is ingezet in deze studie, wordt gevoed door tijdreeksen van dagsommen neerslag en Makkink ETref (beide van KNMI-stations). Als er geen KNMI-stations binnen de stroomgebiedsgrenzen vallen, dan worden KNMI-stations in de nabije omgeving gebruikt voor de modelinvoer. KNMI-stations die verder van het stroomgebied afliggen zullen minder representatief zijn voor dat stroomgebied, waardoor de afvoersimulaties minder goed overeen zullen komen met de gemeten afvoeren. Het beste voorbeeld hiervan is afvoermeetpunt "ID 1102 – Roer, Stah – Waterschap Limburg". Dit is het grote grensoverschrijdende stroomgebied in Figuur 2 ten zuidoosten van Limburg. Het overgrote deel van dit stroomgebied ligt buiten onze landsgrenzen in Duitsland, wat betekent dat hiervoor geen KNMI-stations beschikbaar zijn. Voor dit gebied maakt het model dan gebruik van het dichtstbijzijnde KNMI-station binnen de landsgrenzen.

Tot slot kan de wijze waarop de afvoer op een locatie bepaald wordt invloed hebben op de resultaten. De afvoer kan bijvoorbeeld berekend zijn op basis van een gemeten waterhoogte bij een stuw, m.a.w. de $Q(h)$ -relatie, of de afvoer kan berekend zijn uit een gemeten stroomsnelheid (ADCP) en nat profiel/dwarsdoorsnede van de watergang ter plekke.

3.2 Berekening en visualisatie van SSI

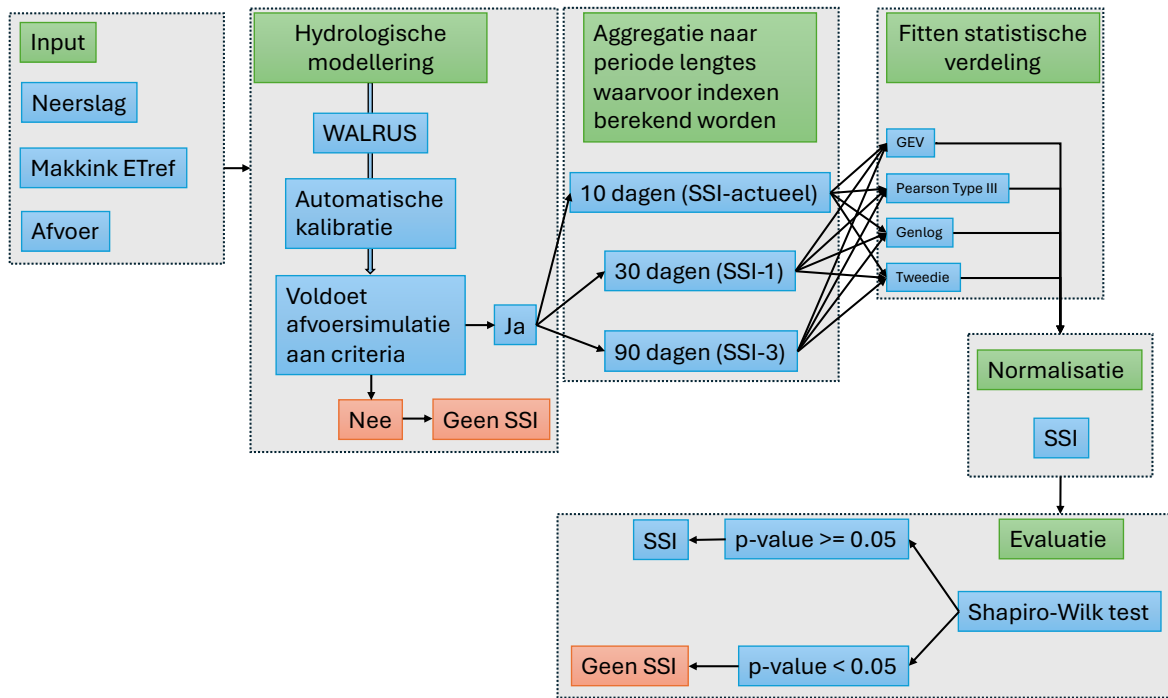
In het tweede kwartaal van 2024 is een methodiek voor de berekening van de SSI getest op het stroomgebied van de Hupselse Beek (Altayeb et al., 2024). In die studie is het hydrologische model WALRUS (Brauer et al., 2014) ingezet om een afvoerreeks voor het stroomgebied van de Hupselse Beek te simuleren, die vrij is van gaten en voldoende lang (≥ 27 jaar) is om vervolgens voor elke dag in het jaar een SSI-waarde uit te kunnen rekenen. Het Hupselse Beek stroomgebied kan gezien worden als een 'ideaal' stroomgebied omdat het goed bemeten is (neerslag, Makkink ETref, en afvoer), duidelijke stroomgebiedsgrenzen heeft (geen onbekende uitwisseling van water met aangrenzende gebieden), en vrij afwaterend is ('free drainage'). Het WALRUS model is expliciet ontwikkeld voor vrij afwaterende stroomgebieden.

Het huidige project bouwt hierop voort door de methodiek te toetsen op de geselecteerde 65 afvoerlocaties die verschillen in databeschikbaarheid en hydrologische eigenschappen (bodem, vrij-afwaterend, gestuwd, etc.).

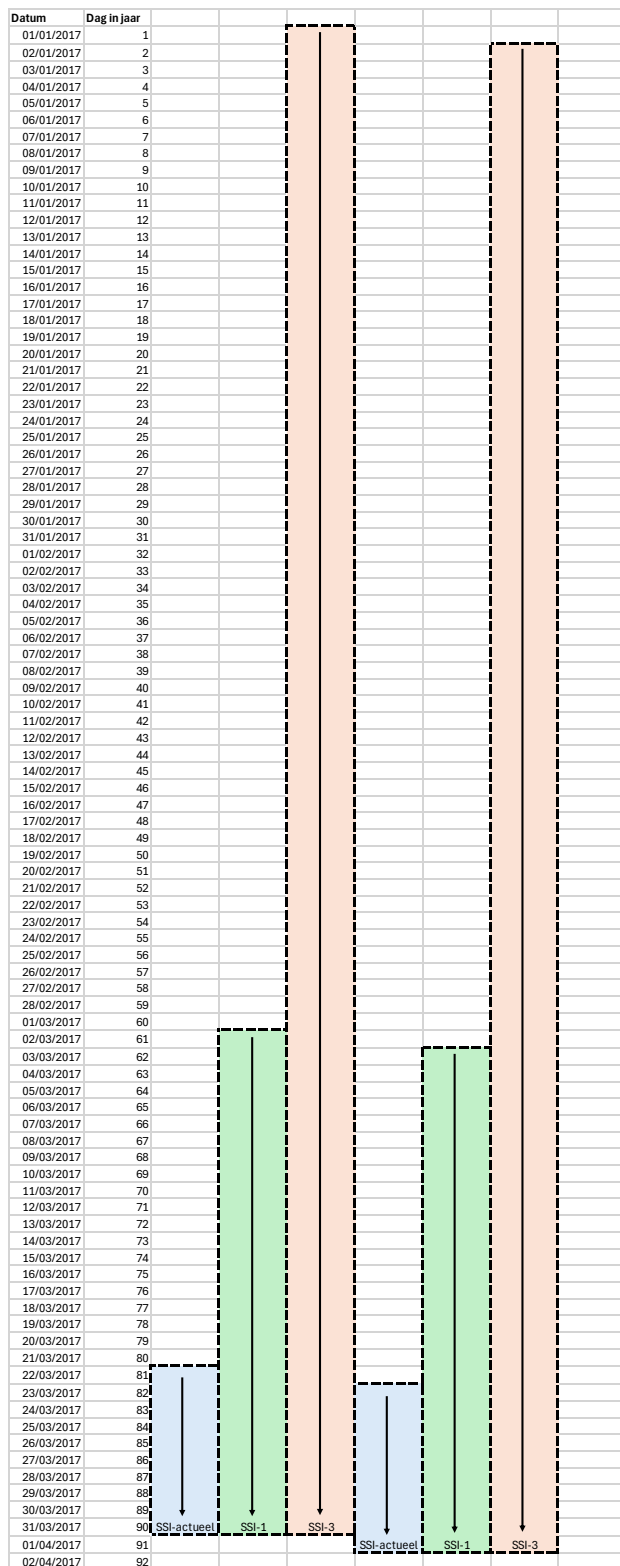
3.2.1 Werkwijze

De toegepaste werkwijze van dit project is weergegeven in het stroomschema van Figuur 3. Dit is in onderstaande stappen toegelicht. In de operationele setting worden deze stappen elke dag herhaald:

1. Het droogteportaal.nl haalt automatisch voor alle afvoerlocaties met hun afwaterende stroomgebieden de benodigde tijdreeksen van metingen binnen. Dit zijn metingen van afvoer, neerslag en Makkink ETref. Als een stroomgebiedsgrens bekend is, dan worden klimaatstations geselecteerd die binnen deze grenzen liggen om een stroomgebiedsgemiddelde uit te rekenen. Als er geen grens is of als er geen stations binnen deze grens liggen, dan wordt het KNMI-klimaatstation geselecteerd dat het dichtst bij het afvoermeeptpunt ligt.
2. WALRUS (Brauer et al., 2014) wordt gebruikt om met de meteorologische invoer een afvoertijdreeks te simuleren van 27 jaar lang. Indien WALRUS nog niet is gekalibreerd, dan wordt het model eerst automatisch gekalibreerd op de gemeten afvoerreeks. De kalibratie wordt geschikt bevonden zodra zowel de Pearson r (correlatie) (Pearson, 1895) als de Spearman r (rangcorrelatie) (Spearman, 1904) groter of gelijk zijn aan 0,80. Als het model hieraan niet voldoet dan wordt geen lange modelsimulatie van 27 jaar uitgevoerd en wordt de SSI niet uitgerekend en gevisualiseerd. Na elke 30 dagen wordt het model opnieuw gekalibreerd met de meest recente data. Het kan dus zo zijn dat een oude modelkalibratie niet voldeed, maar dat met recente aanvullende data de modelkalibratie wel voldoet, en de locatie vervolgens wel in aanmerking komt voor een SSI-berekening. De beoordeling van de afvoersimulaties is beschreven in Secties 3.2.2 en 4.1.
3. De gesimuleerde tijdreeksen van 27 jaar worden geaggregeerd naar periodes van 10-, 30-, en 90 dagen. Dit zijn de periodes waarop respectievelijk de SSI-actueel, SSI-1, en SSI-3 uiteindelijk worden berekend. Dit is geïllustreerd in Figuur 4.
4. Voor elke dag in het jaar (op basis van de geaggregeerde afvoer) wordt een statistische verdeling gefit. Omdat de gesimuleerde tijdreeks altijd 27 jaar lang is, bevat voor elke dag in het jaar elke verdeling 27 datapunten.
5. De verdeling wordt genormaliseerd. De genormaliseerde waarden zijn de SSI-indexwaarden. Het criterium voor een betrouwbare SSI-index is dat de waarden normaal verdeeld zijn. De Shapiro-Wilk test (zie Sectie 3.2.3 en Sectie 4.2) toetst hierop. De SSI wordt alleen gevisualiseerd als deze aan de test voldoet.



Figuur 3 Stroomschema methodiek berekening en visualisatie SSI.



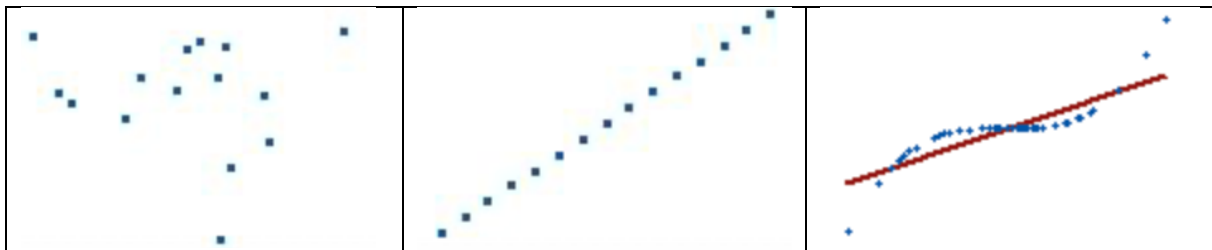
Figuur 4 Illustratie van aggregatieperiodes die gebruikt worden per SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen) om de desbetreffende SSI uit te kunnen rekenen voor elke dag in het jaar. In dit voorbeeld: voor 31 maart 2017 en 1 april 2017.

3.2.2 Toetsing kwaliteit afvoersimulaties

De SSI wordt uiteindelijk berekend aan de hand van gesimuleerde afvoeren. Dit is noodzakelijk omdat de gemeten afvoerreeksen vaak te kort zijn (korter dan 27 jaar) en/of periodes zonder metingen hebben. Door voor alle locaties gebruik te maken van gesimuleerde reeksen is dit ook

generiek en zijn indexen van locaties in het droogteportaal.nl onderling beter met elkaar te vergelijken.

Om een betrouwbare SSI uit te kunnen rekenen hoeft de gesimuleerde afvoer niet gelijk te zijn aan de gemeten afvoer. Het gaat er bij de SSI om wat de kans is op een bepaalde afvoer binnen een bepaalde periode (10, 30, 90 dagen). Het model kan bijvoorbeeld continu de afvoer met 50% onderschatten, maar als de kans op een bepaalde afvoer binnen een periode van bijvoorbeeld 30 dagen gelijk is voor de gemeten- en gesimuleerde afvoer, dan is mijn simulatie een 'perfect' uitgangspunt voor het berekenen van de SSI. Het gaat dus meer om het goed kunnen simuleren van de variabiliteit van de afvoer binnen een bepaalde periode, dan het simuleren van de absolute waarden ervan.



Figuur 5 Voorbeelden van Pearson r en Spearman r coëfficiënten. Links: Pearson r en Spearman r hebben beide een waarde van -0,09. Midden: Pearson r en Spearman r hebben beide een waarde van 1. Rechts: Pearson r heeft een waarde van 0,85, en Spearman r heeft een waarde van 1.

We hebben de gesimuleerde afvoeren daarom getoetst op twee correlatiecoëfficiënten: Pearson r (correlatie) (Pearson, 1895) en Spearman r (rangcorrelatie) (Spearman, 1904). Details over deze statistieken zijn terug te vinden in de genoemde referenties. Simpel gezegd toetst de Pearson r op lineariteit: $Q_{sim} = a \times Q_{obs}$. Spearman r toetst op ranking (rang), oftewel de kans op een bepaalde afvoer. De verschillen tussen beide coëfficiënten zijn geïllustreerd in Figuur 5. Hoe dichter de waarde bij 1,0 ligt, des te hoger de mate van lineariteit voor Pearson r, en des te hoger de overeenkomsten in ranking voor Spearman r. Als toets criterium hebben we de toetswaarde van 0,80 ingevoerd. M.a.w., als de correlatie tussen de gemeten en gesimuleerde afvoer een Pearson $r \geq 0,80$ heeft EN een Spearman $r \geq 0,80$ heeft, dan is de afvoersimulatie geschikt bevonden om mee te nemen voor de berekening van de SSI.

3.2.3 Toetsing kwaliteit SSI (normalisatie toets)

De tweede toets die plaatsvindt is het toetsen op 'normaliteit'. Dit gebeurt nadat de goed bevonden gesimuleerde afvoerreeksen zijn geaggregeerd voor de desbetreffende periodes, en nadat hierop vervolgens een statistische verdeling is gefit. Er zijn vier statistische verdelingen getoetst in dit project: Generalized Extreme Value (GEV) (Jenkinson, 1955), Pearson Type III (Koutrouvelis and Canavos, 1999), Genlogistic (Johnson et al., 1995), en Tweedie (Tweedie, 1984). De gefitte statistische verdeling wordt vervolgens getransformeerd naar een normale verdeling, waarbij de genormaliseerde waarde de SSI is. De toets op normaliteit is nodig omdat de SSI een 'genormaliseerde' index is. Als de getransformeerde statistische verdeling geen normale verdeling volgt, dan is de berekende SSI niet betrouwbaar.

De toets op 'normaliteit' wordt gedaan met de Shapiro-Wilk test (Shapiro and Wilk, 1965). Als de p-waarde kleiner is dan 0,05, kan met 95% zekerheid gezegd worden dat de verdeling geen normale verdeling volgt. De toets wordt uitgevoerd voor i) de vier statistische verdelingen, ii) de drie aggregatieperiodes, en iii) elke dag in het jaar. De statistische verdeling die over het algemeen het beste presteert voor de meeste locaties, dagen in het jaar, en aggregatieperiodes, is uiteindelijk gekozen voor de berekening en visualisatie van de SSI (alleen de locaties die ook voldoen aan de criteria voor afvoersimulaties). Bij de visualisatie wordt voor dagen waarop de p-waarde kleiner dan 0,05 is geen SSI-index weergegeven.

3.3 Kartering van beek droogval

Begin 2024 heeft KnowH2O de 'crowdsourcing' webapplicatie <https://droogvaldetectie.nl> ontwikkeld, waarmee het mogelijk wordt gemaakt om in het veld een waarneming van een al dan niet drooggevallen beek te uploaden. Deze applicatie maakt gebruik van de GPS-locatie van de gebruiker. Een deel van het invulscherm van deze applicatie is weergegeven in Figuur 6. Tijdens elke upload worden de x- en y-coördinaten en de datum/ tijd van de waarneming verstuurd naar een database. Als de gebruiker een foto heeft gemaakt wordt deze ook ge-upload. Zowel waarnemingen van niet drooggevallen beken als drooggevallen beken zijn nuttig voor het analyseren van ruimtelijke en temporele patronen, helemaal op locatie waar geen afvoermetingen plaatsvinden.

Droogval detectie - veldwaarnemingen

KnowH2O
Adres, Innovatie en Verbinding in Water

Info

Droogval van beeksystemen in Nederland lijkt de laatste jaren vaker en langduriger voor te komen. Om de ontwikkeling hiervan beter te kunnen volgen heeft KnowH2O deze app ontwikkeld. Met behulp van deze app hopen we voor heel Nederland inzichtelijk te krijgen waar en wanneer een beek droogvalt.

Wilt u hieraan meewerken? Doorloop dan de stappen/vragen hieronder.

Datum: 01 November 2024

1. Bepaal je locatie ⓘ

Locatie nauwkeurigheid is 35 m

2. Markeer maximaal 1 locatie op de kaart voor waarneming ⓘ

3. Beantwoord de volgende vragen

Naam beek/watergang (indien bekend)? ⓘ

Is er een stuw aanwezig?

Is er sprake van droogval? ⓘ

Stroomt het water?

Figuur 6 Invulscherm <https://droogvaldetectie.nl> voor de kartering en visualisatie van beek droogval.

De waarnemingen worden weergegeven in het droogteportaal, zie Figuur 7. In het portaal wordt er onderscheid gemaakt tussen drie waarnemingen: droogval, geen droogval maar ook geen stroming, en geen droogval met stroming. Deze drie typen worden weergegeven met verschillende pictogrammen. Daarnaast kan de gebruiker op de locaties klikken om zo de overige informatie en de foto te bekijken.



Figuur 7 Weergave waarnemingen droogval in het droogteportaal.nl.

3.4 Grenswaarden beekafvoer

De SSI visualiseert de 'droogte-toestand' van een beek op een bepaalde dag in het jaar (gemiddelde van afgelopen 10, 30 en 90 dagen) t.o.v. de gemiddelde 'droogte-toestand' van de afgelopen 27 jaar voor die dag.

Een andere manier om de 'droogte-toestand' van een beek te visualiseren is om te kijken naar grenswaarden voor debiet en/ of stroomsnelheden. Omdat een beek meerdere gebruikersfuncties heeft, zouden per gebruikersfunctie grenswaarden afgeleid kunnen worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan grenswaarden voor onttrekkingsverboden uit oppervlaktewater voor beregeningsdoeleinden, maar ook aan grenswaarden die horen bij ecologische doelstellingen (KRW-maatlatten) (Altenburg et al., 2018). Ook andere maatregelen, zoals schutbeperkingen of toevoer vergroten, kunnen aan grenswaarden worden gekoppeld.

Uit een inventarisatie bij de betrokken waterschappen blijkt dat geen van de waterschappen grenswaarden hanteren die expliciet gekoppeld zijn aan ecologische doelstellingen. Indien bekend, is in Sectie 3.4.2 per waterschap aangegeven of zij grenswaarden hanteren en met welk doel. Sectie 3.4.3 beschrijft op welke wijze we zijn omgegaan met de visualisatie van grenswaarden beekafvoer in dit project.

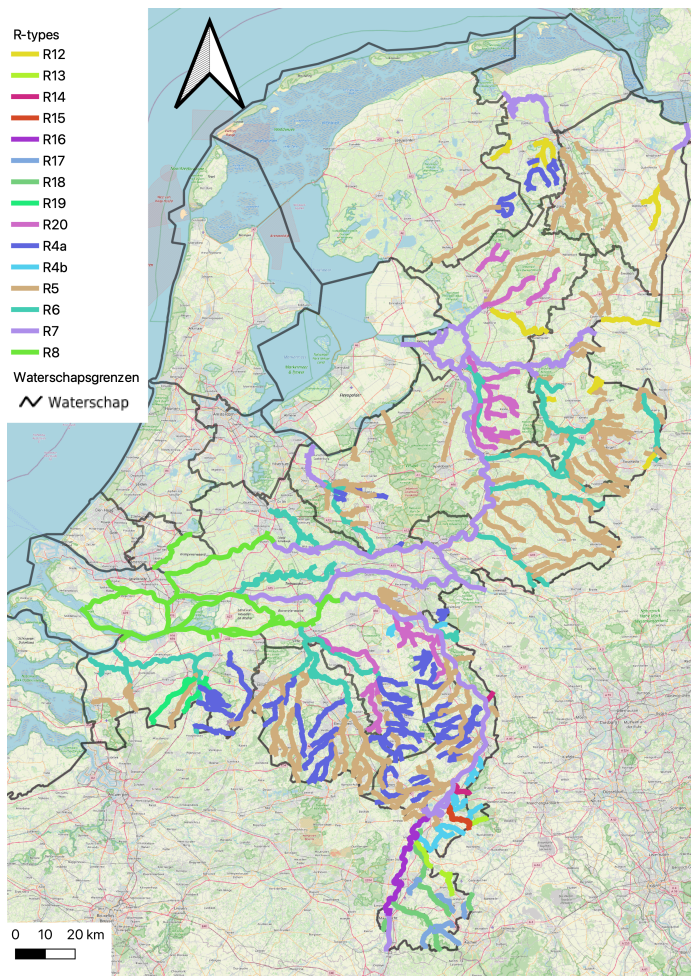
3.4.1 KaderRichtlijn Water (KRW) maatlatten

Watervoerendheid en/of droogval wordt geadresseerd in o.a. de oppervlaktewater-lichamen binnen de KRW. De basis hiervoor wordt gevormd door minimaal gewenste stroomsnelheden (m/s) van water in watergangen. Het hangt van het doorstroomde dwarsprofiel ter plekke van meetlocaties af, welke debieten (m^3/s) ter plekke en welke beekafvoeren hierbij horen. Lage debieten kunnen leiden tot het niet halen van KRW-doelen voor watervoerendheid en/of het afkondigen van onttrekkingsverboden voor water uit beken, bedoeld voor beregening.

In het rapport met de titel 'Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027' (Altenburg et al., 2018), zijn de oppervlaktewater-lichamen gecodeerd met 'R-types'. Per R-type zijn vervolgens referentiewaarden toegekend (Tabel 1). Dit zijn hydromorfologische grenswaarden voor stroomsnelheden en afvoeren waaraan een specifiek R-type moet voldoen.

Tabel 1 Referentiewaarden voor de hydromorfologische kwaliteitselementen voor de verschillende R-types (Altenburg et al., 2018). Grenswaarden voor stroomsnelheden en afvoer.

TypeCode	TypeNaam	Stroomsnelheid [m/s]		Afvoer [m ³ /s]	
		Laag	Hoog	Laag	Hoog
R4	Permanent langzaam stromende bovenloop op zand	0,03	0,5	0,00015	1,125
R5	Langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand	0,1	0,5	0,024	3,08
R6	Langzaam stromende rivier op zand/klei	0,2	0,5	0,4	7,4
R7	Langzaam stromende rivier / nevengeul op zand/klei	0,4	1,3	562	8000
R8	Zoet getijdenwater (uitlopers rivier) op zand/klei	0,01	1,5	600	5341
R12	Langzaam stromende middenloop/benedenloop op veenbodem	0,1	0,5	0,024	3,08
R13	Snelstromende bovenloop op zand	0,5	0,75	0,0001	1,22
R14	Snelstromende middenloop/benedenloop op zand	0,5	1	0,04	5,15
R15	Snelstromende rivier op kiezelhoudende bodem	0,5	0,8	0,23	19,6
R16	Snelstromende rivier/nevengeul op zandbodem of grind	0,5	2,9	32	3305
R17	Snelstromende bovenloop op kalkhoudende bodem	0,5	1,2	0,01	2,23
R18	Snelstromende middenloop/benedenloop op kalkhoudende bodem	0,5	1	0,048	5,36
R19	Doorstroommoeras	0	20	0	1.125
R20	Moerasbeek	0	20	0,024	3,08



Figuur 8 Overzicht ligging R-types in Nederland.

3.4.2 Wat hanteren de betrokken waterschappen momenteel?

Waterschap De Dommel

Waterschap De Dommel hanteert niet expliciet grenswaarden die een relatie hebben met de ecologische doelstellingen van de KRW. Zij gebruiken grenswaarden gebaseerd op percentielen van gemeten afvoeren van de laatste 10 jaar. Deze worden gebruikt voor onttrekkingsverboden uit oppervlaktewater. Hiervoor worden de volgende 5 percentiel klassen gehanteerd: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, en 80-100. Zodra de afvoer in de eerste percentielklasse van 0-20% valt, gaat een onttrekkingsverbod in.

Waterschap Rijn en IJssel

Waterschap Rijn en IJssel hanteert niet expliciet grenswaarden die een relatie hebben met de ecologische doelstellingen van de KRW. Op dit moment hebben zij voor specifieke locaties drempelwaarden gekoppeld aan debieten. Voor stuw Doesburg (Oude IJssel) wordt er bijvoorbeeld gekeken naar de grensdebieten 1,0 en 0,5 en 0 m³/s om inlaten te sluiten of schutbepalingen af te kondigen (Figuur 9). Hierbij moet vermeld worden dat dit een 'probeerzet' is van Waterschap Rijn en IJssel (email Gert van den Houten) en dit daarom geen officiële status heeft.

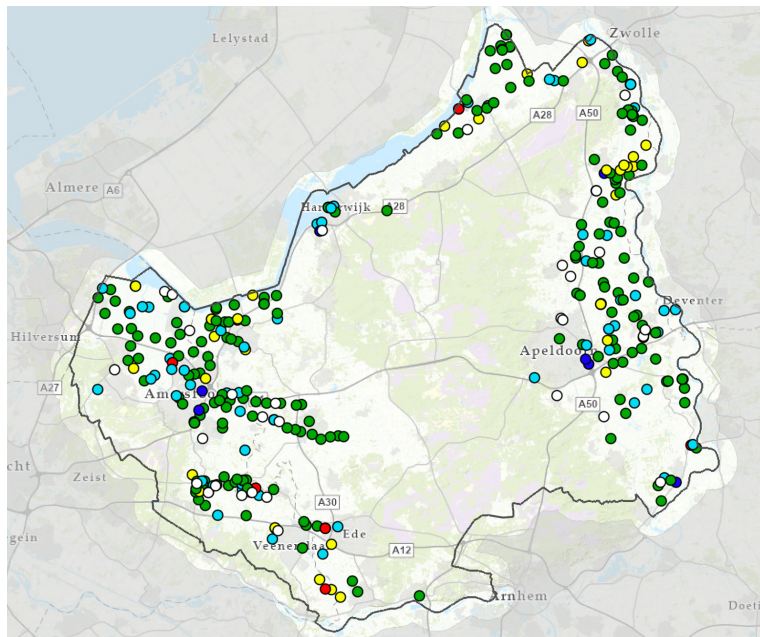
Situatie	Criterium	Handelingsperspectief	Mandaat
Normaal: Er is voldoende afvoer om alle functies van water te voorzien en het peil van de Oude IJssel op 10 m+ NAP te houden.	De daggemiddelde afvoer bij stuw Doesburg is groter dan 2 m ³ /sec.	<ul style="list-style-type: none"> In de periode februari-juni is de vispassage in werking (indien mogelijk ook buiten deze periode). Er is continue inlaat naar de grachten Doesburg. Er is geen beperkingen bij de bediening van sluis en schutten. 	PAT
Beginnende droogte: Er is voldoende afvoer om het peil van de Oude IJssel op 10 m+ NAP te houden.	De daggemiddelde afvoer bij stuw Doesburg is kleiner dan 2 m ³ /sec, maar groter dan 1 m ³ /sec.	<ul style="list-style-type: none"> In de periode februari-juni is de vispassage in werking (in andere maanden gesloten) Er is continue inlaat naar de grachten Doesburg. Er is geen beperkingen bij de bediening van sluis en schutten. 	PAT
Beginnende droogte 2: De afvoer is nog (net voldoende), maar we nemen maatregelen om beginnende problemen te voorkomen.	De daggemiddelde afvoer bij stuw Doesburg is kleiner dan 1 m ³ /sec, maar groter dan 0,5 m ³ /sec.	<ul style="list-style-type: none"> Opzetten peil naar 10.05 m+ NAP In de periode februari-juni overwegen om de vispassage te sluiten. Er is continue inlaat naar de grachten Doesburg. Er is geen beperkingen bij de bediening van sluis en schutten. 	PAT
Droogte: De afvoer is niet langer voldoende om alle functies van voldoende water te voorzien of om de Oude IJssel op peil te houden.	De daggemiddelde afvoer bij stuw Doesburg is kleiner dan 0,5 m ³ /sec, maar groter dan 0 m ³ /sec.	<ul style="list-style-type: none"> Opzetten peil naar 10.05 m+ NAP. De vispassage is gesloten. Continue inlaat naar grachten Doesburg. Overwegen schutbeperking bij bedienen sluis en schutten. 	PAT
Ernstige droogte: Er is geen afvoer meer op de Oude IJssel.	De daggemiddelde afvoer bij stuw Doesburg is kleiner dan 0 m ³ /sec.	<ul style="list-style-type: none"> De vispassage is gesloten. Beperken inlaat naar grachten Doesburg. Schutbeperking afkondigen. Beregeningsverbod. Overwegen oppompen water uit Gelderse IJssel als compensatie schutverlies. 	PAT

Figuur 9 Voorbeeld grenswaarden Rijn en IJssel voor beheer stuw Doesburg m.b.t. sluiten inlaat en afkondiging schutbeperkingen (bron: https://waterdata.wrij.nl/maatregelen_droogte.html). Dit is een concept en heeft geen officiële status.

Waterschap Vallei en Veluwe

Waterschap Vallei en Veluwe hanteert niet expliciet grenswaarden die een relatie hebben met de ecologische doelstellingen van de KRW. Dit waterschap visualiseert de huidige 'droogte-situatie' online in de omgeving 'Actueel Waterbeeld'¹. Hierin worden de actuele (niet ouder dan 6 uur) waterstanden bij stuwen en gemalen weergegeven. De kleuren geven aan of waterstanden normaal of relatief hoog of laag staan. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 10.

¹ <https://storymaps.arcgis.com/collections/7603225aec644ebab4790cfc8b01cedb?item=1>

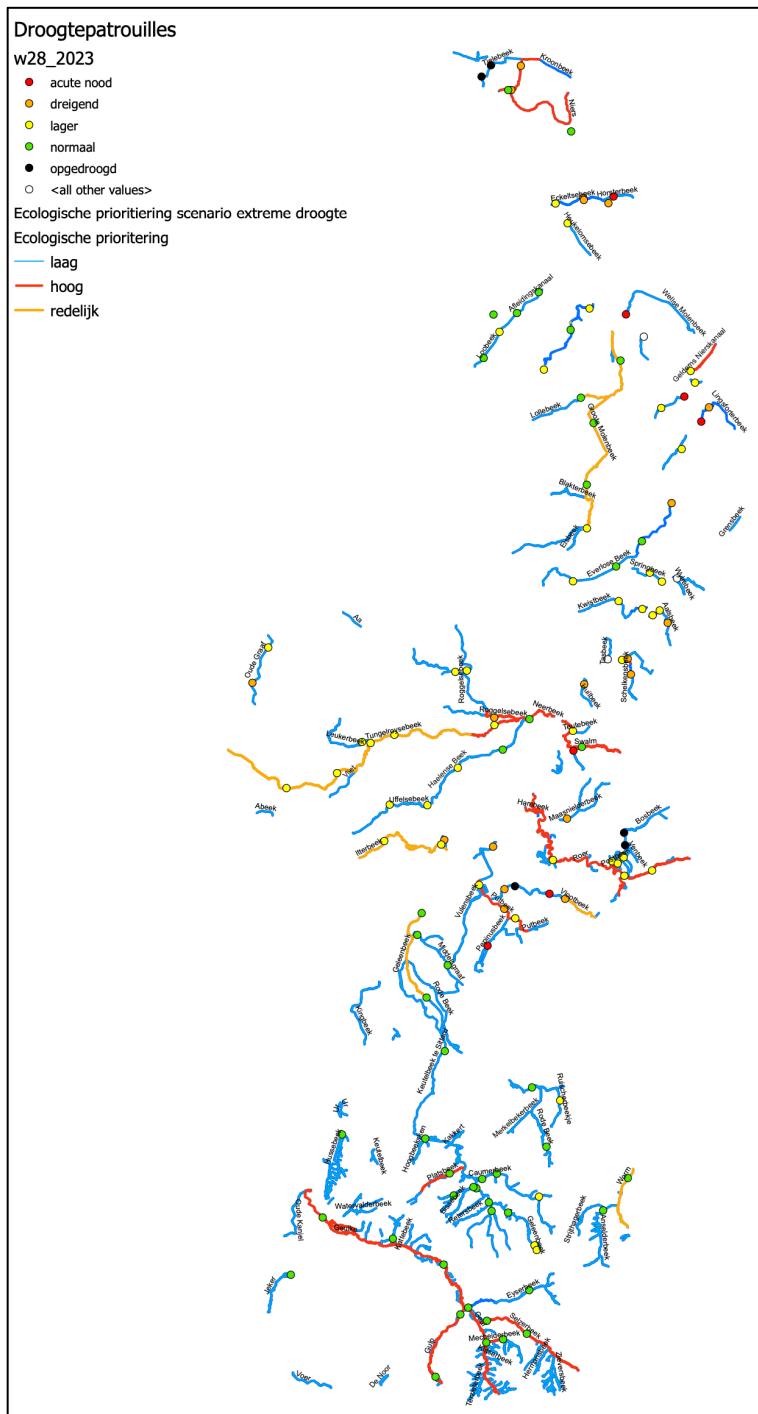


Figuur 10 'Actueel Waterbeeld' omgeving van Waterschap Vallei en Veluwe met daarin de actuele relatieve waterstanden. Momentopname 18 oktober 2024.

Waterschap Limburg

Waterschap Limburg hanteert niet expliciet grenswaarden die een relatie hebben met de ecologische doelstellingen van de KRW. Wel voeren zij 'droogtepatrouilles' uit (zie voorbeeld voor 2023 in Figuur 10). De selectie van beken wordt gedaan op basis van hoeveel procent van de beken onder de basisafvoer zitten. De ecologen bepalen dan op basis van hun 'expert judgement' wanneer ze iets gaan opstarten. Het aantal en de locatie van de meetpunten is afhankelijk van afvoer, stroomsnelheid, peil, kwetsbare/beschermde soorten, maatregelen (bijv. inzet infuuspomp), bekende locaties vissterfte, bereikbaarheid, etc.

Figuur 10 geeft de 'droogtepatrouille' weer voor 2023. Hierin is met rode lijnen aangegeven welke beken een hoge ecologische prioritering hebben voor extreme droogte. De cirkels geven vervolgens aan hoe de droogte situatie in 2023 was. We zien bijvoorbeeld dat voor de Tungalroyse Beek, een beek met een redelijke ecologische prioritering, dat de droogte situatie in 2013 als 'lager' is geclassificeerd. De Gulp en Selzerbeek in het zuiden, beide beken met een hoge ecologische prioritering, zijn in 2023 geclassificeerd als 'normaal'.



Figuur 11 Droogtepatrouilles uitgevoerd door Waterschap Limburg in 2023.

3.4.3 Opties voor visualisatie grenswaarden droogteportaal.nl

In de (nabije) toekomst is het technisch mogelijk om afvoergrenswaarden te visualiseren in de afvoergrafiek (metingen) van het droogteportaal. Daardoor kan de gebruiker direct en gemakkelijk zien of de huidige gemeten afvoer onder de betreffende grenswaarde komt. Hiervoor zijn uiteraard wel grenswaarden nodig. In een eerste versie kan er worden gekozen om de grenswaarden af te leiden van KRW R-Types (zie Tabel 1). Zie ook sectie 5.2.

4 Resultaten SSI-berekening

De resultaten in deze sectie zijn beschreven in drie delen:

- De kwaliteit van de afvoersimulaties, rekening houdend met het doel waarvoor de afvoersimulaties ingezet worden.
- Shapiro-Wilk test: toetsen of, en in welke mate de genormaliseerde gesimuleerde afvoerreksen voldoen aan een normale verdeling.
- Visuele analyse van de berekende SSI-tijdreeksen.

4.1 Afvoersimulaties

In totaal zijn er 65 afvoermeetpunten in het droogteportaal geselecteerd waarvoor een automatische WALRUS modelkalibratie is uitgevoerd. Vanzelfsprekend verschillen de meetreeksen van deze locaties in lengte, en zitten er gaten in de data. De modelkalibratieperiode kan hierdoor per locatie verschillen.

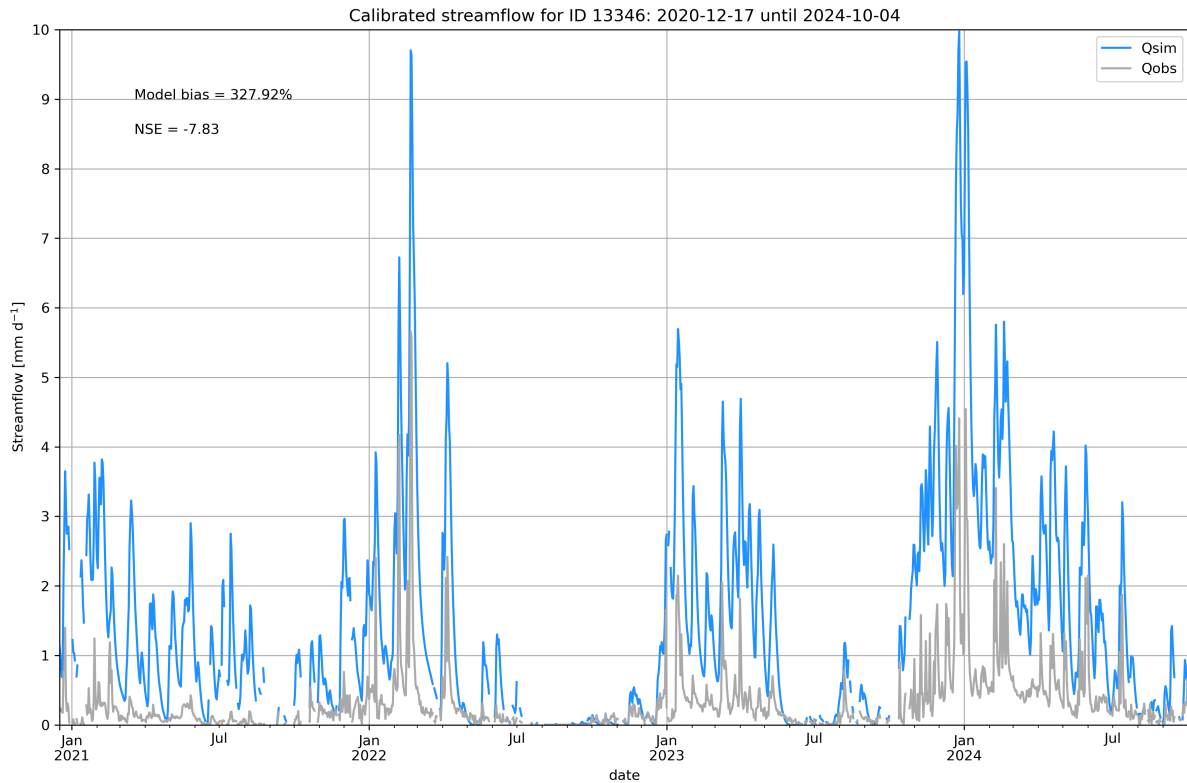
Tabel 2 laat voor de geselecteerde 65 afvoermeetpunten de modelkalibratieresultaten zien. Zoals eerder beschreven in Sectie 3.2.2, worden afvoersimulaties “goed” bevonden wanneer zowel de Pearson r (correlatie) als de Spearman r (rangcorrelatie) $\geq 0,80$. De locaties in Tabel 2 zijn van hoog naar laag gesorteerd op de Pearson r en Spearman r. Daarnaast geeft de kleurgradatie van blauw naar rood aan hoe goed (blauw) of slecht (rood) de modelsimulatie presteert m.b.t. de Pearson r en Spearman r. Deze kleurgradatie is ook toegepast op de Nash-Sutcliffe (NS) en model bias “goodness-of-fit” indicatoren. Echter, voor het doel van deze studie wordt hierop niet getoetst. De laatste kolom geeft aan of de locatie wel (1) of niet (0) volstaat om te onderwerpen aan de Shapiro-Wilk test, waaruit moet blijken of voor de desbetreffende locatie een betrouwbare SSI-tijdreeks uitgerekend en gevisualiseerd kan worden.

Op basis van de Pearson r en Spearman r selectiecriteria zijn 40 van de 65 meetlocaties geschikt bevonden om te onderwerpen aan de Shapiro-Wilk test. Van deze 40 geselecteerde locaties laten we hieronder één voorbeeld zien waarvoor de “goodness-of-fit” indicatoren (bias en NS), die normaliter gebruikt worden bij de beoordeling van een hydrologische modelsimulatie, slecht presteren. Dit heeft als doel om te laten zien waarom dit soort locaties i) wel geselecteerd zijn voor de Shapiro-Wilk test en ii) daarnaast mogelijk resulteren in een betrouwbare SSI-tijdreeks (dit project), maar bijvoorbeeld niet zouden voldoen voor operationele hoge-afvoer voorspellingen omdat het daarbij om de absolute getallen gaat. Bijlage B geeft hier nog twee voorbeelden van.

Tabel 2 laat zien dat er locaties zijn waarvoor ook de model bias en NS goed presteren. Hiervan zijn vier voorbeelden weergegeven in Bijlage C.

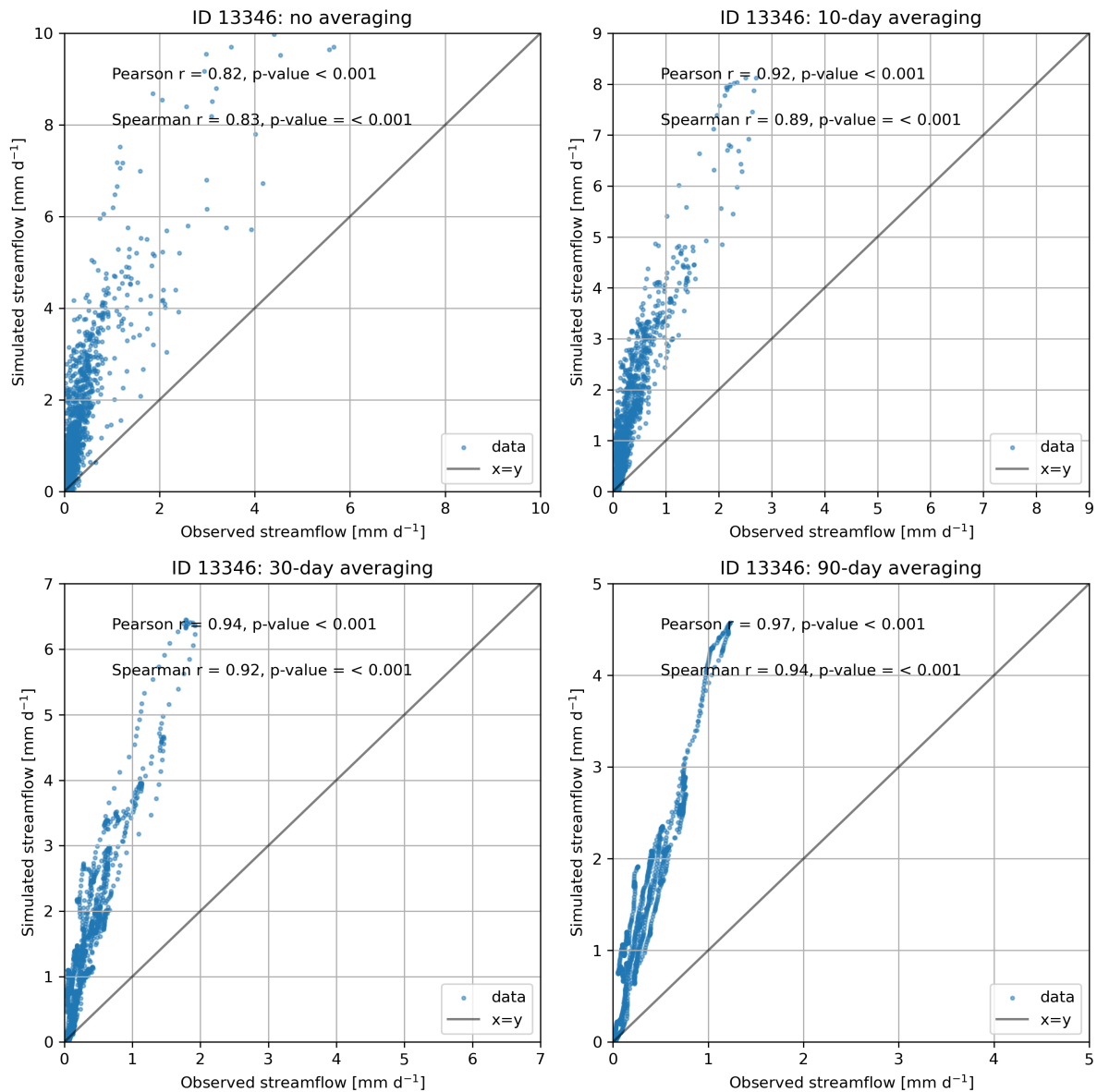
ID 13346 – SLo00344_Rijksweg – Waterschap Vallei en Veluwe

Tabel 2 laat voor deze locatie een model bias zien van 327,92%, wat betekent dat de afvoer voor deze locatie flink overschat wordt. Met een NS van -7,83 is het gemiddelde van de gemeten afvoer een betere voorspeller dan de gesimuleerde afvoer. De slechte model bias en NS zijn dan ook zichtbaar in Figuur 12.



Figuur 12 Gesimuleerde (Qsim) en gemeten (Qobs) afvoer voor SLo00344_Rijksweg (ID 13346).

Echter, omdat voor de berekening van de SSI de afvoerwaarden genormaliseerd worden, en het daarbij gaat om de kans op een bepaalde afvoer, is de correlatie tussen observaties en simulaties hetgeen waarop getoetst moet worden. Met een Pearson r van 0,82 en een Spearman r van 0,83 voldoet SLo00344_Rijksweg (ID 13346) aan dit criterium (Figuur 13). De relatie tussen gemeten- en gesimuleerde afvoer wordt (logischerwijs) beter naarmate deze berekend worden over een langere aggregatieperiode: 10 dagen, 30 dagen, 90 dagen. Dit zijn dezelfde periodes waarover respectievelijk de SSI-actueel, SSI-1 en SSI-3 berekend worden.



Figuur 13 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor SLo00344_Rijksstraatweg (ID 13346) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

4.2 Shapiro-Wilk test

De resultaten van de Shapiro-Wilk test zijn per locatie en statistische verdeling weergegeven in Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5, voor respectievelijk de 10-daagse, 30-daagse, en 90-daagse aggregatieperiode. De getallen in de kolommen 'genextreme' (GEV), 'genlogistic', 'pearson3' (Pearson Type III), en 'tweedie', is het percentage dagen in het jaar dat de statistische verdeling geen normale verdeling volgt. Hoe lager dit percentage, des te beter de statistische verdeling volstaat om een betrouwbare SSI-tijdreeks te laten zien. Omdat gemiddeld gezien de 'genextreme' het beste presteert, zijn de locaties van laag naar hoog gesorteerd op basis van de resultaten voor deze statistische verdeling. De kleurgradatie geeft aan hoe goed (groen) of slecht (rood) de statistische verdeling een normale verdeling volgt.

Tabel 3 Aantal dagen (%) in het jaar dat de statistische verdeling niet voldoet aan de Shapiro-Wilk test normalisatie criteria. Dit is weergegeven per gesimuleerde afvoerlocatie en voor de statistische verdelingen 'genextreme', 'genlogistic', 'pearson3', en 'tweedie'. De laatste rij geeft het gemiddelde weer voor alle locaties per verdeling. Dit zijn de resultaten voor de SSI-actueel (10-dagen)

ID	Accumulation	createDate	fmDate	toDate	genextreme	genlogistic	pearson3	tweedie	waterschap	label
13341	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	24.04	19.67	50	Vallei en Veluwe	SL000339_Strandboulevard
1284	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	42.08	58.47	45.9	De Dommel	0096 - ADM Oisterwijk
173	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	19.94	45.63	29.78	Rijn en IJssel	Stuw Rinkelaarstuw
13353	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	39.34	58.74	37.43	Vallei en Veluwe	SL000351_Schuilburgerweg
13352	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	43.17	63.93	41.53	Vallei en Veluwe	SL000350_Esveld
1274	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	18.85	50.27	21.86	De Dommel	0053 - Achelse kluis
175	10	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	1.64	43.99	70.76	39.07	Rijn en IJssel	Stuw Marmelhorst
174	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	41.8	60.66	30.6	Rijn en IJssel	Overlaat Zuidelijk Afwateringskanaal
13354	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	34.97	41.53	45.63	Vallei en Veluwe	SL000352_Koedijkerweg
13343	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	44.81	65.3	40.98	Vallei en Veluwe	SL000341_Bloemkampen
151	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.73	43.72	34.97	55.74	Rijn en IJssel	Stuw Bruinderinkweg
1298	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	3.28	36.88	42.9	54.1	De Dommel	0055 - ADM Poppelse Leij
111	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	4.92	49.45	65.57	29.24	Rijn en IJssel	Overlaat Broekheurnerweg
16109	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	5.46	40.44	59.29	13.66	Brabantse Delta	7133/7133_TDB
16062	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	5.46	30.33	44.81	28.69	Brabantse Delta	4275/4275_TDB
13350	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	6.28	41.8	79.24	18.58	Vallei en Veluwe	SL000348_Modderbeek Jaagpad
13357	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	8.47	34.15	81.69	7.65	Vallei en Veluwe	SL000355_Zeedijk
1257	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	8.74	37.43	54.64	21.86	De Dommel	0091 - ADM Tongelreep Eindhoven
131	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	9.56	51.64	68.58	23.42	Rijn en IJssel	Overlaat Rekken
13346	10	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	11.2	36.88	64.21	6.83	Vallei en Veluwe	SL000344_Rijksstraatweg
1282	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	11.2	39.62	60.66	25.68	De Dommel	0085 - ADM Keersoppermolen
102	10	2024-10-23	1997-10-20	2024-10-19	12.3	50.27	71.04	22.4	Rijn en IJssel	Overlaat Berenschotbrug
194	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	15.57	53.28	80.6	9.84	Rijn en IJssel	Stuw Spijk
1120	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	16.12	46.18	57.1	21.58	Limburg	Groote Molenbeek, Hoekerhof
16101	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	17.21	42.62	59.56	9.84	Brabantse Delta	7500/7500_TDB
16145	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	17.76	45.63	59.02	9.56	Brabantse Delta	7512/7512_TDB
150	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	18.31	45.9	63.39	3	Rijn en IJssel	Stuw Bedelbrug
155	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	19.67	65.03	86.07	27.32	Rijn en IJssel	Meetstuw Hupselse Beek
16023	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	21.86	85.52	95.36	69.4	Brabantse Delta	4251/4251_TDB
169	10	2024-10-23	1997-10-21	2024-10-20	24.32	49.18	57.38	13.93	Rijn en IJssel	Debietmeting Hagenbeekbrug
13356	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	24.32	55.19	59.29	23.14	Vallei en Veluwe	SL000354_De Wieken
13367	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	25.14	43.99	56.56	16.67	Vallei en Veluwe	SL000551_Barneveldsestraat
157	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	25.41	59.29	57.92	10.93	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler van Heeckerenbeek
171	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	26.73	38.32	53.82	14.21	Rijn en IJssel	Stuw Horsterkamp
115	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	28.14	44.26	57.65	15.85	Rijn en IJssel	Debietmeting Grote Waterleiding
16021	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	28.42	56.83	74.59	8.74	Brabantse Delta	4012/4012_TDB
116	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	29.51	44.81	48.91	6.28	Rijn en IJssel	Stuw De Pol Oude IJssel
13355	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	29.51	49.45	64.75	12.57	Vallei en Veluwe	SL000353_Laapeerweg
181	10	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	33.06	52.46	47	7.38	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler Veengoot
188	10	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	42.08	66.12	70.76	7.1	Rijn en IJssel	Stuw Wijde Wetering
mean	nan	nan	nan	nan	13.55	44.75	60.31	24.7	nan	nan

Gemiddeld gezien (over alle locaties) en voor de meeste locaties presteert de 'genextreme' (GEV) het beste voor elke aggregatieperiode. De 'pearson3' (Pearson Type III) presteert gemiddeld gezien het slechtste. De verdelingen volgen meer een normale verdeling naarmate de aggregatieperiode toeneemt. Dit is logisch omdat hierdoor extreme waarden er meer en meer uitgefilterd worden door het 'smoothing' effect. Na de 'genextreme' presteert de 'tweedie' verdeling het beste, behalve voor de 90-daagse aggregatieperiode.

De resultaten van Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 zijn gebaseerd op het aantal dagen in het jaar dat de p-waarde < 0,05 (betekent: significant geen normale verdeling). Deze p-waardes zijn per verdeling en per aggregatieperiode voor elk afvoermeetpunt per dag in het jaar weergegeven (grijze lijnen) in Figuur 14. Het gemiddelde over de stroomgebieden op een bepaalde dag in het jaar is weergegeven

met de blauwe lijn, terwijl de 10%-kwantiel en 90%-kwantiel zijn weergegeven met zwarte stippellijnen. De rode lijn geeft de p-grenswaarde weer van 0,05. Op basis van dit figuur valt af te leiden op welke dagen in het jaar de berekende SSI-waarde betrouwbaar (p-waarde $\geq 0,05$) / minder betrouwbaar (p-waarde $< 0,05$) is.

Dat de blauwe lijn over het algemeen het hoogste ligt bij de 'genextreme' bevestigt wederom dat deze verdeling gemiddeld gezien het beste presteert. Vanaf ca. dag 150 (eind mei) tot dag 270 (eind september) schommelt de gemiddelde lijn voor 'genlogistic' en 'pearson3' rondom de kritieke p-waarde van 0,05. Dit is het groeiseizoen/ de zomerperiode, waarvoor juist het karakteriseren van beek droogval relevant is. Kijken we daarnaast ook naar de 10%-kwantiel voor deze twee verdelingen, dan zien we dat voor 10% van de stroomgebieden gedurende het grootste deel van het jaar geen betrouwbare SSI kan worden berekend: de onderste stippellijn ligt voor een groot deel op $y=0$. Voor de 'genextreme' geldt dat voor 10% van de stroomgebieden de SSI niet betrouwbaar is gedurende ca. dag 170-280. Interessant is dat voor deze periode de 'tweedie' verdeling een betrouwbaardere SSI oplevert voor 10% van de stroomgebieden dan de 'genextreme' verdeling. Ook het gemiddelde van de stroomgebieden en voor 90% van de stroomgebieden presteert 'tweedie' beter dan 'genextreme' gedurende deze periode. Nader onderzoek is aanbevolen om uit te zoeken waardoor dit veroorzaakt wordt.

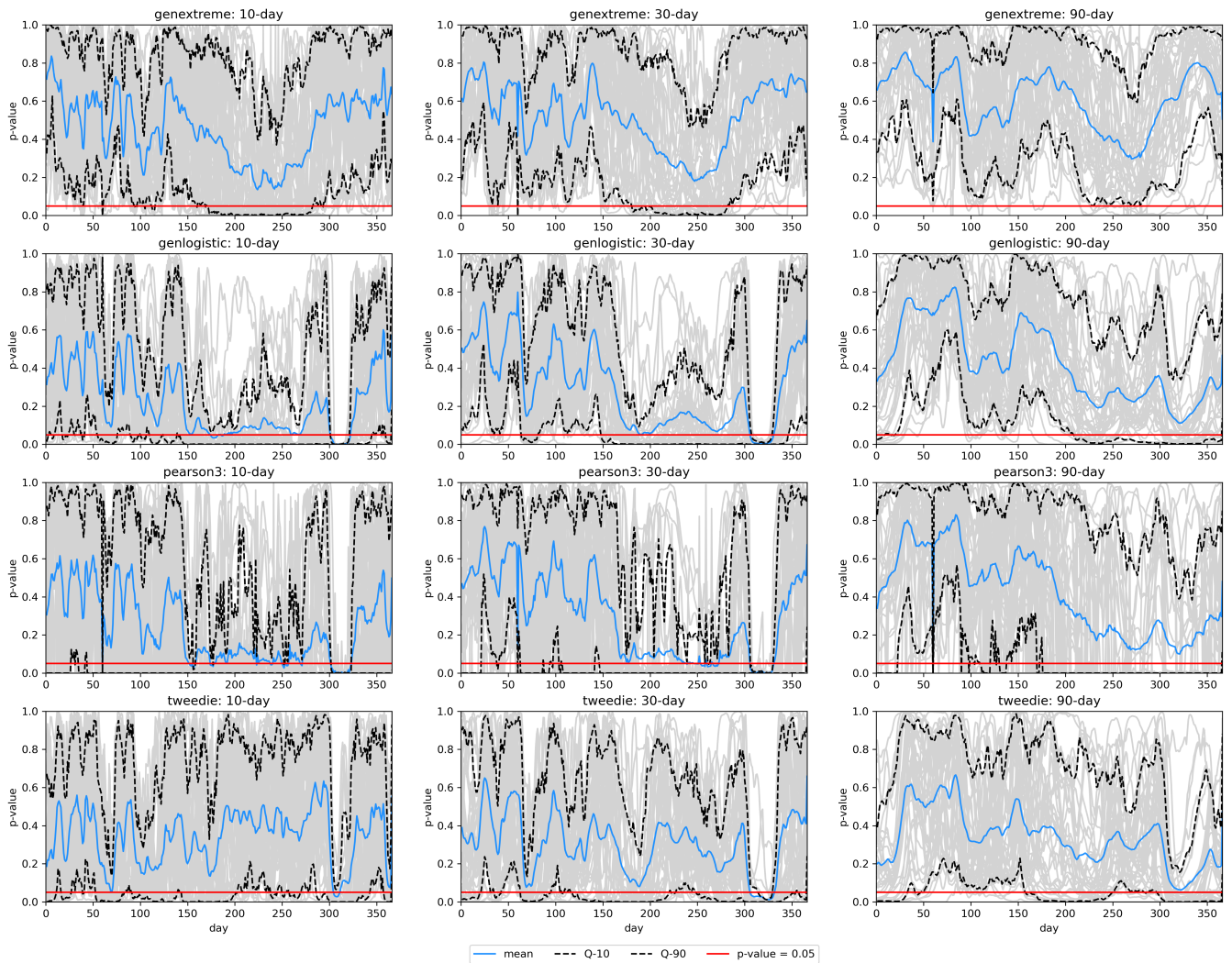
Omdat i) de 'genextreme' gemiddeld gezien het beste presteert voor de meeste dagen in het jaar, ii) het beste presteert voor de meeste stroomgebieden (10%-kwantiel boven p-waarde 0,05) voor de meeste dagen in het jaar, iii) het de voorkeur heeft om eenzelfde verdeling te gebruiken voor alle locaties en dagen in het jaar, is dusver dit de beste verdeling om te gebruiken bij de berekening van de SSI.

Tabel 4 Aantal dagen (%) in het jaar dat de statistische verdeling niet voldoet aan de Shapiro-Wilk test normalisatie criteria. Dit is weergegeven per gesimuleerde afvoerlocatie en voor de statistische verdelingen 'genextreme', 'genlogistic', 'pearson3', en 'tweedie'. De laatste rij geeft het gemiddelde weer voor alle locaties per verdeling. Dit zijn de resultaten voor de SSI-1 (30-dagen).

ID	Accumulation	createDate	fmDate	toDate	genextreme	genlogistic	pearson3	tweedie	waterschap	label
111	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	40.44	54.92	29.51	Rijn en IJssel	Overlaat Broekheumerweg
16062	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	28.96	43.72	30.87	Brabantse Delta	4275/4275_TDB
13341	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	13.12	16.67	56.28	Vallei en Veluwe	SL000339_Strandboulevard
1284	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	35.79	59.84	49.73	De Dommel	0096 - ADM Oisterwijk
173	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	19.4	39.07	32.24	Rijn en IJssel	Stuw Rinkelaarstuw
13353	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	28.69	43.17	44.26	Vallei en Veluwe	SL000351_Schuilenburgerweg
13346	30	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	0.27	17.49	42.62	13.66	Vallei en Veluwe	SL000344_Rijksstraatweg
13352	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	35.25	48.09	49.45	Vallei en Veluwe	SL000350_Esveld
13350	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	12.3	43.72	12.02	Vallei en Veluwe	SL000348_Modderbeek Jaagpad
16109	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.55	18.58	39.62	17.49	Brabantse Delta	7133/7133_TDB
13357	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.55	9.56	25.14	14.75	Vallei en Veluwe	SL000355_Zeedijk
175	30	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	0.82	33.06	61.48	33.88	Rijn en IJssel	Stuw Marmelhorst
13343	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.82	37.7	56.56	43.72	Vallei en Veluwe	SL000341_Bloemkampen
13354	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	1.09	26.78	32.51	43.72	Vallei en Veluwe	SL000352_Koedijkerweg
174	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	1.37	40.16	54.92	40.71	Rijn en IJssel	Overlaat Zuidelijk Afwateringskanaal
16145	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	31.97	50	30.6	Brabantse Delta	7512/7512_TDB
1257	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	19.4	56.56	43.17	De Dommel	0091 - ADM Tongelreep Eindhoven
1274	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.19	11.75	49.18	31.42	De Dommel	0053 - Achelse kluis
131	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	3	36.61	53	25.68	Rijn en IJssel	Overlaat Rekken
16101	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	3	28.96	48.36	17.49	Brabantse Delta	7500/7500_TDB
151	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	5.74	33.61	31.42	51.64	Rijn en IJssel	Stuw Bruinderinkweg
150	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	6.28	33.61	59.29	18.03	Rijn en IJssel	Stuw Bedelbrug
1282	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	6.83	37.7	57.1	41.26	De Dommel	0085 - ADM Keersoppemolen
16023	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	7.65	68.58	75.96	77.87	Brabantse Delta	4251/4251_TDB
1298	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	7.65	39.07	43.63	57.38	De Dommel	0055 - ADM Poppelse Leij
194	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	8.47	22.95	62.57	24.59	Rijn en IJssel	Stuw Spijk
102	30	2024-10-23	1997-10-20	2024-10-19	13.39	31.69	58.74	18.85	Rijn en IJssel	Overlaat Berenschotbrug
1120	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	16.12	37.98	55.46	33.33	Limburg	Groote Molenbeek, Hoekerhof
13367	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	18.03	39.07	47	15.57	Vallei en Veluwe	SL000551_Barneveldsestraat
13356	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	18.31	52.19	59.02	31.69	Vallei en Veluwe	SL000354_De Wieken
16021	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	18.85	45.63	54.92	8.2	Brabantse Delta	4012/4012_TDB
155	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	19.4	37.43	65.3	18.58	Rijn en IJssel	Meetstuw Hupselse Beek
157	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	20.22	50.27	63.39	9.02	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler van Heeckerenbeek
13355	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	20.76	37.7	50	12.02	Vallei en Veluwe	SL000353_Laapeerseweg
181	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	21.58	48.63	57.38	10.66	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler Veengoot
171	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	21.86	33.61	50.55	12.02	Rijn en IJssel	Stuw Horsterkamp
169	30	2024-10-23	1997-10-21	2024-10-20	23.77	43.72	56.28	18.85	Rijn en IJssel	Debietmeting Hagenbeekbrug
115	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	24.59	36.07	56.83	22.13	Rijn en IJssel	Debietmeting Grote Waterleiding
116	30	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	27.87	43.17	54.92	15.3	Rijn en IJssel	Stuw De Pol Oude IJssel
188	30	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	33.61	47	72.4	4.37	Rijn en IJssel	Stuw Wijde Wetering
mean	nan	nan	nan	nan	9	33.64	51.33	29.05	nan	nan

Tabel 5 Aantal dagen (%) in het jaar dat de statistische verdeling niet voldoet aan de Shapiro-Wilk test normalisatie criteria. Dit is weergegeven per gesimuleerde afvoerlocatie en voor de statistische verdelingen 'genextreme', 'genlogistic', 'pearson3', en 'tweedie'. De laatste rij geeft het gemiddelde weer voor alle locaties per verdeling. Dit zijn de resultaten voor de SSI-3 (90-dagen).

ID	Accumulation	createDate	fmDate	toDate	genextreme	genlogistic	pearson3	tweedie	waterschap	label
155	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	5.74	54.1	9.29	Rijn en IJssel	Meetstuw Hupselse Beek
115	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	16.39	45.9	18.85	Rijn en IJssel	Debietmeting Grote Waterleiding
171	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	3.82	40.98	3.82	Rijn en IJssel	Stuw Horsterkamp
111	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	1.91	47.81	2.73	Rijn en IJssel	Overlaat Broekheurnerweg
131	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0.82	51.64	2.19	Rijn en IJssel	Overlaat Rekken
174	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	12.57	56.28	23.77	Rijn en IJssel	Overlaat Zuidelijk Afwateringskanaal
150	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	10.93	40.44	11.48	Rijn en IJssel	Stuw Bedelbrug
151	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	25.68	24.59	32.51	Rijn en IJssel	Stuw Bruinderinkweg
175	90	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	0	12.84	50	18.58	Rijn en IJssel	Stuw Marmelhorst
16109	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0	4.1	14.75	Brabantse Delta	7133/7133_TDB
16062	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	4.64	10.38	22.13	Brabantse Delta	4275/4275_TDB
16145	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	2.19	21.58	18.31	Brabantse Delta	7512/7512_TDB
13355	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	2.19	37.43	0	Vallei en Veluwe	SL000353_Laapeerweg
13354	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0.82	4.64	28.42	Vallei en Veluwe	SL000352_Koedijkerweg
13353	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0.82	9.29	18.03	Vallei en Veluwe	SL000351_Schuilburgerweg
13346	90	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	0	3	80.33	6.56	Vallei en Veluwe	SL000344_Rijksstraatweg
13352	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0.82	24.86	23.22	Vallei en Veluwe	SL000350_Esveld
13350	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0	11.75	0	Vallei en Veluwe	SL000348_Modderbeek Jaagpad
13341	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	0	0.82	34.15	Vallei en Veluwe	SL000339_Strandboulevard
1257	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	18.58	36.07	40.44	De Dommel	0091 - ADM Tongelreep Eindhoven
1284	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	24.86	33.88	42.62	De Dommel	0096 - ADM Oisterwijk
1298	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0	23.5	25.14	56.28	De Dommel	0055 - ADM Poppelse Leij
102	90	2024-10-23	1997-10-20	2024-10-19	0.27	1.09	44.81	8.47	Rijn en IJssel	Overlaat Berenschotbrug
16101	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	0	15.3	11.2	Brabantse Delta	7500/7500_TDB
13367	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.27	8.74	32.79	4.37	Vallei en Veluwe	SL000551_Barneveldsestraat
116	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.55	11.75	43.17	4.92	Rijn en IJssel	Stuw De Pol Oude IJssel
13357	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.55	0	1.91	0	Vallei en Veluwe	SL000355_Zeedijk
1282	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	0.55	21.86	51.64	52.73	De Dommel	0085 - ADM Keersoppemolen
1274	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	1.09	3.28	15.85	22.95	De Dommel	0053 - Achelse kluis
13343	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	1.64	12.3	36.88	27.05	Vallei en Veluwe	SL000341_Bloemkampen
1120	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.46	6.83	48.91	17.21	Limburg	Groote Molenbeek, Hoekerhof
194	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	2.73	12.84	28.96	28.42	Rijn en IJssel	Stuw Spijk
173	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	3.82	14.48	21.86	29.24	Rijn en IJssel	Stuw Rinkelaarstuw
157	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	6.56	37.98	48.91	14.75	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler van Heeckerenbeek
16021	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	7.1	29.51	41.26	19.94	Brabantse Delta	4012/4012_TDB
181	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	7.92	39.62	54.64	16.94	Rijn en IJssel	Stuw Sikkeler Veengoot
16023	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	7.92	50.27	63.39	60.66	Brabantse Delta	4251/4251_TDB
169	90	2024-10-23	1997-10-21	2024-10-20	9.84	24.32	56.83	15.3	Rijn en IJssel	Debietmeting Hagenbeekbrug
188	90	2024-10-23	1997-10-05	2024-10-04	18.03	26.5	49.18	13.39	Rijn en IJssel	Stuw Wijde Wetering
13356	90	2024-10-23	1997-10-22	2024-10-21	18.58	39.62	50	33.61	Vallei en Veluwe	SL000354_De Wieken
mean	nan	nan	nan	nan	2.25	12.83	34.21	20.23	nan	nan



Figuur 14 Resultaten van de Shapiro-Wilk test (p -value) voor alle 40 afvoermepunten (grijze lijnen) per dag in het jaar. Het gemiddelde en de 10%- en 90%-kwantilen van de stroomgebieden zijn weergegeven als respectievelijk een blauwe lijn en twee stippellijnen. De verschillende statistische verdelingen zijn weergegeven van boven naar beneden, terwijl de accumulatie intervallen zijn weergegeven van links naar rechts. De normalisatie-test voldoet niet zodra hij onder de grenswaarde van $p=0,05$ komt.

4.3 Visuele analyse SSI-tijdreeksen

Figuur 15 geeft per statistische verdeling en aggregatieperiode een SSI-tijdreeks weer als gemiddelde van de geselecteerde 40 afvoermepunten (resultaat modelkalibratie), en als 10%- en 90%-kwantiel. De doorgetrokken lijnen zijn representatief voor de gemiddelden, terwijl de stippellijnen de 10%- en 90%-kwantilen vertegenwoordigen.

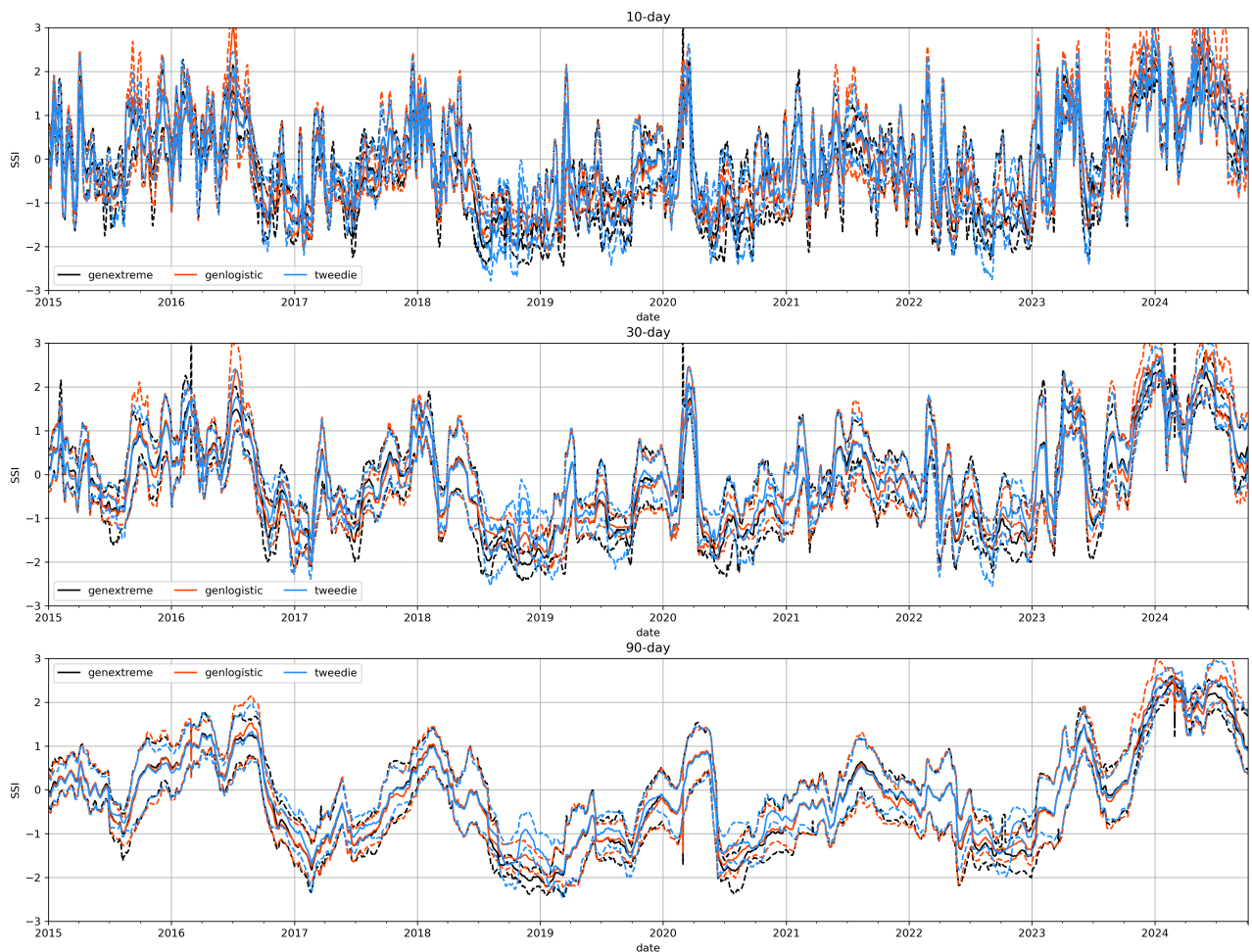
Wat meteen opvalt zijn de 'vreemde' uitschieters van de Pearson Type III verdeling. Dit is in lijn met de resultaten van Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5. De Pearson Type III laat deze negatieve uitschieters zien voor zowel het gemiddelde als de kwantilen. De visuele inspectie bevestigt hiermee dat deze statistische verdeling niet ingezet moet worden voor de berekening en visualisatie van de SSI.

Om de berekende SSI-tijdreeksen van de andere verdelingen beter te kunnen analyseren is de Pearson Type III verdeling verwijderd, en zoomen we in op de range -3 tot +3 (Figuur 16). Zoals verwacht is het verloop van de SSI-tijdreeks vloeiender naarmate de aggregatieperiode toeneemt: van 10 naar 30 naar 90 dagen. De tijdreeksen van de gemiddelde (over de 40 geselecteerde punten) SSI-waarden zijn voor de 'genextreme', 'genlogistic', en 'tweedie', nagenoeg aan elkaar gelijk. Het enige wat visueel opvalt is dat in het vierde kwartaal van 2018 de SSI's van de 'tweedie' verdeling

omhooggaan, terwijl die van de 'genextreme' blijven dalen tot begin 2019. Dit is met name goed te zien bij de SSI-3 (90 dagen), en in mindere mate bij de SSI-1 (30 dagen).



Figuur 15 Het gemiddelde en de 10%- en 90%-kwantielen over de SSI's van alle stroomgebieden per verdeling en accumulatie interval (van boven naar beneden de SSI-actueel (10 dagen), de SSI-1 (30 dagen) en de SSI-3 (90 dagen)).



Figuur 16 Het gemiddelde en de 10%- en 90%-kwantilen over de SSI's van alle stroomgebieden per verdeling en accumulatie interval (van boven naar beneden de SSI-actueel (10 dagen), de SSI-1 (30 dagen) en de SSI-3 (90 dagen). Dit figuur is vergelijkbaar met Figuur 15, alleen dan zonder de Pearson₃ verdeling en ingezoomd op de range tussen -3 en +3.

Om meer inzicht te krijgen in hoe de SSI per verdeling ontwikkelt in de tijd, zijn uit Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 vier afvoerlocaties geselecteerd waarvoor 'genextreme' goed presteert en 'tweedie' minder goed/ slecht presenteert, en omgekeerd.

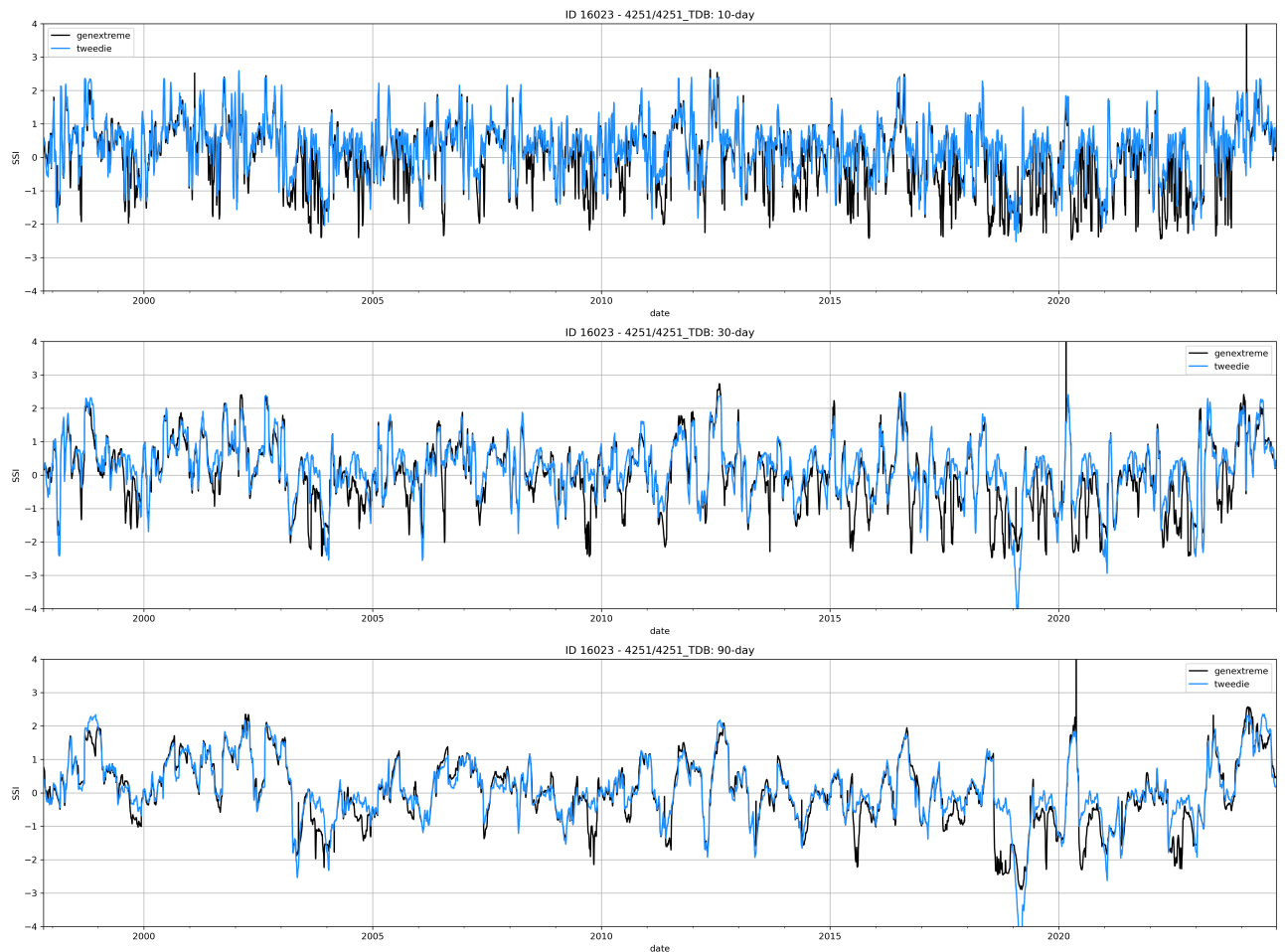
Hiervoor zijn de volgende locaties geselecteerd:

- ID 188 – Stuw Wijde Wetering – Waterschap Rijn en IJssel: 'tweedie' presteert beter dan 'genextreme'
- ID 16023 – 4251/4251_TDB – Waterschap Brabantse Delta: 'genextreme' presteert beter dan 'tweedie'
- ID 1298 – 0055 - ADM Poppelse Leij – Waterschap De Dommel: 'genextreme' presteert beter dan 'tweedie'
- ID 13341 – SLo00339_Strandboulevard – Waterschap Vallei en Veluwe: 'genextreme' presteert beter dan 'tweedie'

Omdat ID 16023 – 4251/4251_TDB van Waterschap Brabantse Delta het slechtste presteert kwa 'normalisatie' (Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5), zijn de SSI-tijdreeksen voor 'genextreme' en 'tweedie' voor deze locatie in Figuur 17 weergegeven voor de drie aggregatieperioden. Voor de andere drie locaties is dit weergegeven in Bijlage D.

Voor ID 16023 – 4251/4251_TDB volgt 'genextreme' het beste een normale verdeling. De SSI-tijdreeksen voor met name de 10- en 30-dagen aggregatieperioden laten dan ook een verschillend patroon zien voor 'genextreme' en 'tweedie'. De 'tweedie' lijkt minder vaak lagere SSI-waardes te

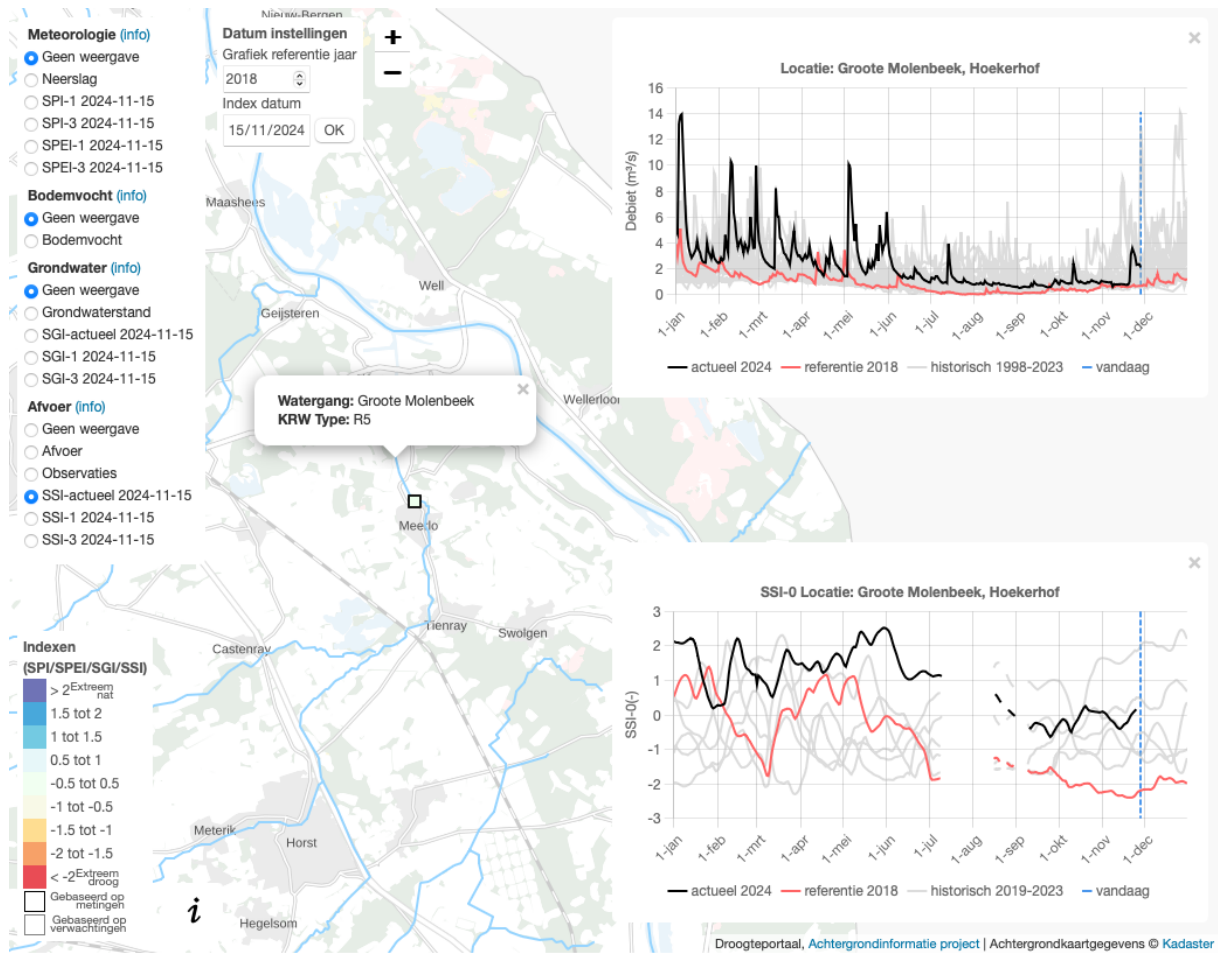
hebben dan voor 'genextreme'. Wat verder opvalt is dat 'tweedie' gedurende het extreem droge jaar 2018 een SSI-waarde heeft van rond de nul. Dit zou een 'normale' hydrologische situatie betekenen, iets wat niet spoort met wat we in 2018 hebben ervaren. Vervolgens laat 'tweedie' eind 2018/ begin 2019 een extreem lage SSI zien. Deze omslag is niet realistisch.



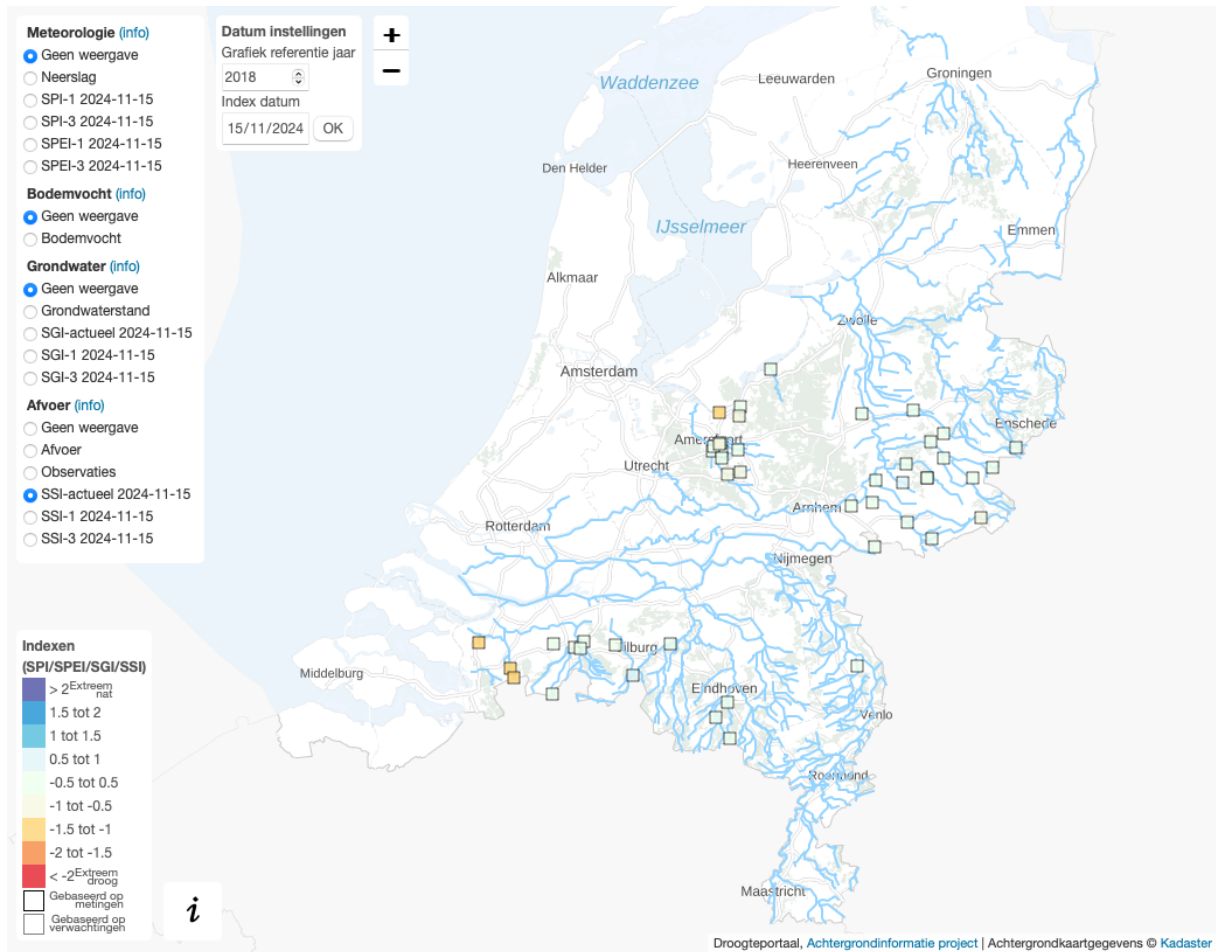
Figuur 17 SSI-tijdreeks voor ID 16023 – 4251/4251_TDB op basis van 'genextreme' en 'tweedie' voor de SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen).

4.4 Implementatie en visualisatie in droogteportaal.nl

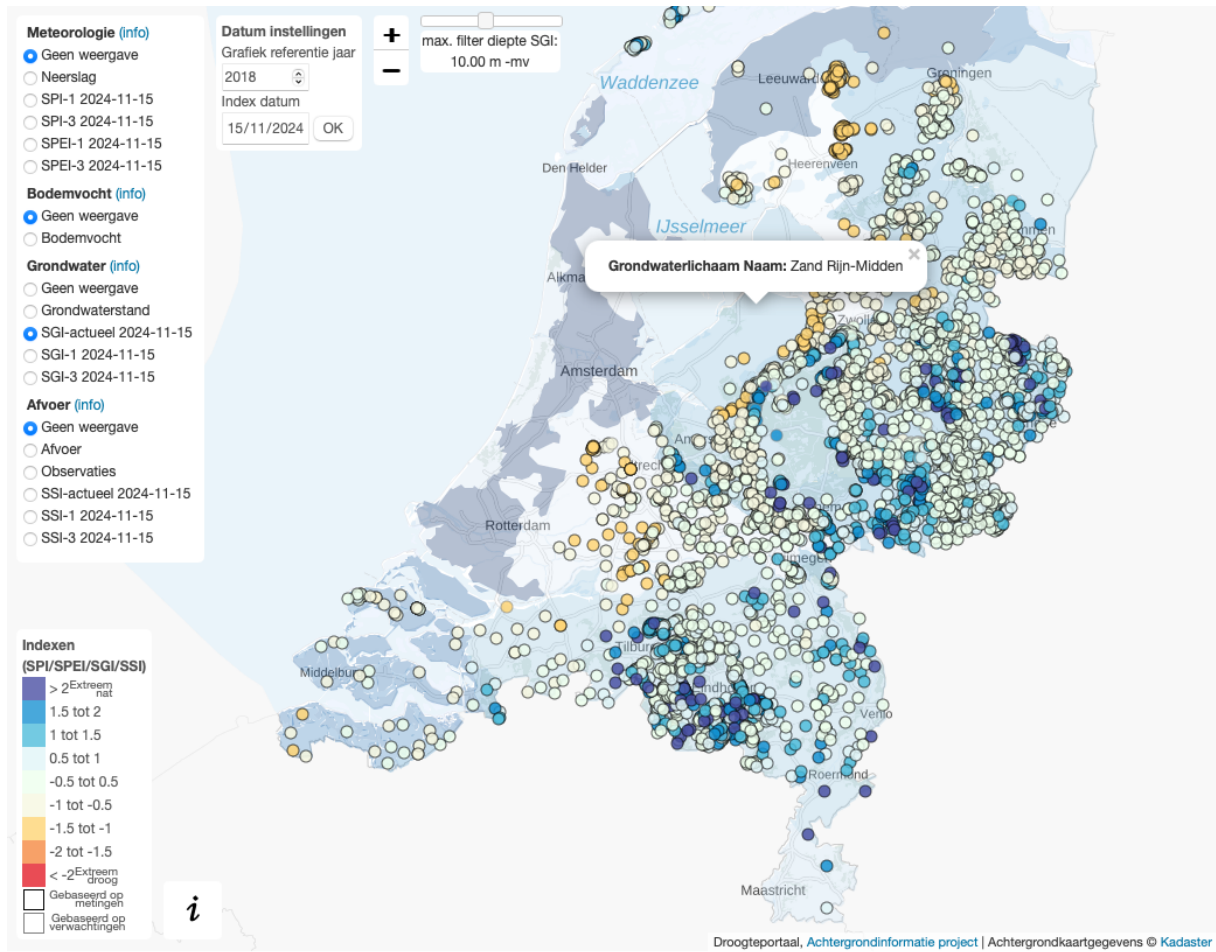
Hieronder is een conceptversie (versie 27-11-2024) te zien van de visualisatie van de SSI in het droogteportaal, zie Figuur 18. In de conceptversie zijn de SSI-actueel, SSI-1 en SSI-3 ruimtelijk en in de tijd te bekijken. Net als de andere indexen kunnen de indexwaarden tot 27 jaar terug worden gevisualiseerd. Daarnaast kan van elk meetpunt de gehele meetreeks met bijbehorende tijdreeks van de index worden bekeken. In de grafieken wordt de historie getoond met daarbij als optie een referentiejaar. Periodes waarvoor de index onbetrouwbaar is (p-waarde > 0,05) worden niet weergegeven. Hierdoor kunnen er gaten ontstaan in de reeks. Als extra achtergrondkaart worden bij de SSI en andere afvoerkaartlagen de KRW-watervangsten toegevoegd. De naam van de watervangst en het KRW-type verschijnen in een pop-up zodra de gebruiker de muis over de watervangst beweegt of erop klikt. Daarnaast is een extra kaartlaag toegevoegd aan de grondwaterkaartlagen. Bij deze kaartlagen worden de bovenste KRW-grondwaterlichamen weergegeven.



Figuur 18 Conceptversie SSI tijdreeksen visualisatie met KRW-watergangen in droogteportaal.nl.



Figuur 19 Landelijk overzicht van SSI-meetlocaties Met KRW-watervengingen in droogteportaal.nl.



Figuur 20 Landelijk overzicht van SGI-meetlocaties met KRW-grondwaterlichamen in droogteportaal.nl.

5 Conclusies, discussie en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De doelen van dit project waren:

1. Het operationeel berekenen en visualiseren van de SSI voor een selectie van afvoermeeptpunten van beeksystemen van tenminste vier waterschappen.
2. Kartering van beek droogval op basis van 'crowdsourcing' (via web app) en visualisatie.
3. Het hanteren van grenswaarden voor beekafvoer: inventarisatie en beschouwing.

De vijf betrokken waterschappen hebben gezamenlijk 65 afvoermeeptlocaties aangeleverd waarvoor ze graag de SSI berekend en gevisualiseerd willen hebben. Van deze 65 locaties zijn de afvoersimulaties van 40 locaties geschikt bevonden om mee te laten doen voor de operationele berekening van de SSI. Het WALRUS model presteert hiermee goed genoeg tot zondermeer goed, zonder dat er veel handwerk aan te pas is gekomen. Voor een betrouwbare SSI is het vereist dat de getransformeerde statistische verdeling, die gefit is op de gesimuleerde afvoeren, een normale verdeling volgt. De SSI is namelijk een genormaliseerde index. Over het algemeen blijkt dat de "Generalized Extreme Value" (GEV) verdeling het beste presteert voor het merendeel van geselecteerde 40 locaties, de meeste dagen in het jaar, en voor de drie indexen SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen). De GEV is daarom gekozen om de SSI voor de 40 locaties uit te rekenen en te visualiseren. Op de dagen in het jaar waarvoor de berekende SSI voor een bepaalde locatie geen normale verdeling volgt, wordt de SSI niet gevisualiseerd. Dit voorkomt dat de gepresenteerde index verkeerd geïnterpreteerd wordt voor management doeleinden. De gevisualiseerde SSI-tijdreeksen zijn zichtbaar op de ontwikkelversie van het droogteportaal.nl.

De toevoeging van de SSI maakt het voor waterbeheerders mogelijk om de propagatie van een meteorologische droogte (SPI en SPEI) naar een hydrologische droogte (SGI en SSI) beter te begrijpen, en indien mogelijk/nodig, daar tijdig op te anticiperen. We sporen gebruikers aan om de komende maanden te bezien wat de meerwaarde is van de toegevoegde SSI. De droogte-index voor bodemvocht (SSMI; Moekestorm, 2024) ontbreekt nog in de reeks van indexen.

Veldwaarnemingen van al dan niet watervoerende en/of drooggevallen beken, die zijn gedaan met de droogvaldetectie web app (<https://droogvaldetectie.nl>), worden nu gevisualiseerd in de ontwikkelversie van het droogteportaal (stand november 2024). Sinds het beschikbaar komen van deze app in voorjaar 2024 is het niet vaak en lang droog geweest in Nederland (tot moment van publicatie van dit rapport). Een komende periode van droog weer zal de kans vergroten op meer waarnemingen vanuit het veld via de app. Daarmee komt er meer informatie in het droogteportaal.nl beschikbaar.

Geen van de in dit project betrokken waterschappen hanteert grenswaarden die expliciet gekoppeld zijn aan de KRW-ecologische doelstellingen voor de hydromorfologie (KRW-maatlatten). Grenswaarden die veelal wél gehanteerd worden zijn gerelateerd aan het instellen van onttrekkingsverboden voor beregening uit oppervlaktewater. In dit project is er daarom voor gekozen om de verschillende R-types van de oppervlaktewaterlichamen, waaraan de KRW hydromorfologische grenswaarden heeft toegekend, te visualiseren als achtergrondkaart in de ontwikkelversie van het droogteportaal.nl. Op deze manier kunnen waterschappen en provincies meer zicht krijgen in waar eventuele problemen zich voordoen, geredeneerd vanuit de KRW-waterdoelen (bijv. 'watervoerendheid gewenst'), en kan hier mogelijk op tijd op geanticipeerd worden.

5.2 Discussie en aanbevelingen

Het WALRUS model presteert voldoende voor 40 van de 65 geselecteerde locaties. Nader onderzoek is aanbevolen om uit te zoeken waarom voor 25 meetlocaties de modelberekeningen van

onvoldoende kwaliteit zijn. Mogelijk leidt een kalibratie waarbij ook de drie bodemparameters gekalibreerd worden tot betere resultaten. In de huidige studie zijn deze namelijk vastgezet op het bodemtype dat het meest in het stroomgebied vertegenwoordigd is. Dit is lemig zand voor het overgrote deel van de gebieden. Een tweede oorzaak kan het gebruik van een 'standaard' stuwformule (met uitzondering van "Meetstuw Hupselse Beek", "Selzerbeek, Partij" en Roer, Stah") zijn. Daarnaast houdt het model geen rekening met water dat wordt ingelaten, of gebieden die bemalen zijn. Tot slot hanteert het WALRUS model in dit project geen variabele stuwpeilen.

Binnen dit project was er onvoldoende tijd beschikbaar om bovengenoemde mogelijke verbeterpunten voor elke locatie afzonderlijk te onderzoeken en te implementeren. Desalniettemin presteert het WALRUS-model goed voor 40 van de 65 locaties, zonder dat daar veel handwerk aan te pas is gekomen. We bevelen daarom aan om de SSI operationeel te maken in het publiek-toegankelijke droogteportaal.nl.

Ook bevelen we aan om nader onderzoek te doen naar verbeteringen inzake basisdata, modelwerk en modelberekeningen. Daarnaast bevelen we aan ook aan de 'natte kant' van de indexwaarde ($SSI > 0$) expliciet aandacht te schenken aan de benodigde berekeningen. Vanaf oktober 2023 is het langdurig nat geweest in Nederland. Gevolg was het optreden van hoge grondwaterstanden, met een openstaande actie ter verbetering van de SGI op een aantal meetlocaties (voorstel aan IHW, d.d. oktober 2024), als ook hoge beekafvoeren.

We bevelen aan om concept-grenswaarden te bepalen voor de debieten op de meetlocaties in het droogteportaal.nl en deze als concept op te nemen in de visualisatie van de metingen. Zo kunnen gebruikers steeds zien of in de actuele toestand een debiet hoger dan wel lager is dan een gewenste grenswaarde. We kunnen om te beginnen per meetlocatie twee grenswaarden aangeven: 1) de voor de KRW-oppervlaktewaterlichamen per R-type bekende waarde uit de maatlat en 2) op aangeven van het betreffende waterschap de grenswaarde waar beneden een onttrekkingsverbod voor oppervlaktewater ingaat. Andere opties zijn grenswaarden voor beheersmaatregelen zoals schutverboden, waterinlaten, bemalen, etc.

Momenteel wordt alleen een selectie (voorkeur van waterschappen) van 65 afvoermeetpunten gebruikt waar ook een stroomgebiedsgrens voor bekend/ aangeleverd is. Echter, er zijn veel meer afvoermeetpunten aangesloten op het portaal waar ook een SSI voor uitgerekend kan worden. We bevelen aan om te onderzoeken of deze locaties ook toegevoegd kunnen worden, ondanks dat hier geen stroomgebied voor aangeleverd is. We bevelen ook aan om afvoer-tijdreeksen van andere waterschappen via droogteportaal.nl te ontsluiten en te koppelen aan droogteportaal.nl.

Een andere aanbeveling is om per stroomgebied met een succesvolle SSI-berekening te gaan bezien in welke mate de berekende SGI's samenhangen met de SSI. We kunnen gebiedsgewijs analyseren hoe afwijkingen van de normaal in grondwater tot uiting komen in die van de beekafvoer, om zo de propagatie van droogte te volgen. Hierbij dient dan waarschijnlijk rekening gehouden te worden met onttrekkingen uit grond- en oppervlaktewater.

De SSI-actueel (10 dagen) wordt dagelijks berekend voor een periode van de afgelopen 10 dagen. Dit is anders dan bij de SGI waarvoor de afgelopen 5 dagen en aankomende 5 dagen (voorspelling) worden gebruikt. Het KNMI levert voor de benodigde modelinvoer alleen *voorspellingen van neerslag*. Voorspellingen van de Makkink referentiegewasverdamping worden voor de SGI uitgerekend op basis van voorspellingen van temperatuur en wolkenbedekking. Om dit voor de SSI ook te implementeren zijn een aantal extra stappen nodig om *voorspellingen van de referentiegewasverdamping* uit te rekenen. Hier was binnen het huidige project en opdracht geen tijd voor. De betrokken waterschappen hebben tijdens het startoverleg aangegeven hier de meerwaarde van in te zien.

Een wens is daarnaast om een SSI tenminste vier weken vooruit te kunnen voorspellen, zodat tijdig stuwpeilen aangepast kunnen worden. Voorspellingen van het weer voor vier weken vooruit worden niet door het KNMI geleverd. Het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) levert wel voorspellingen van 15 en 42 dagen vooruit voor luchttemperatuur, en 15 dagen vooruit voor wolkenbedekking. Deze voorspellingen worden ook ontsloten in de operationele “Weer Informatie WaterBeheer” (WIWB) database. Het onderzoeken en implementeren van langere termijnvoorspellingen voor de berekening van de droogte-indexen in het droogteportaal is een vervolgstap die we daarom aanbevelen, mede omdat dit ook een wens is van de waterschappen.

Er zijn afvoerlocaties waarvoor sprake is van grensoverschrijdende stroomgebieden (Duitsland, België). De meteorologische invoer voor het grensoverschrijdende deel van deze stroomgebieden ontbreekt. We bevelen aan om te onderzoeken in hoeverre de data van de meteorologische instituten in België (KMI) en Duitsland (DWD) geïntegreerd kunnen worden in het droogteportaal, zodat we voor de grensoverschrijdende stroomgebieden waar nodig de afvoersimulaties kunnen verbeteren.

De reeks van droogte-indexen in het droogteportaal.nl is met de toevoeging van de SSI bijna compleet. De enige droogte-index die nog ontbreekt is die voor bodemvocht (Standardized Soil Moisture Index; SSMI). In het tweede kwartaal van 2024 heeft Moekestorm (2024) een bruikbare en geschikte werkwijze ontwikkeld, die het mogelijk maakt om een gestandaardiseerde droogte-index voor bodemvocht uit te rekenen. We bevelen aan om deze werkwijze verder uit te werken en toe te voegen aan het droogteportaal, om zo de reeks van droogte-indexen compleet te maken met een drietal SSMI.

6 Bibliografie

- Altayeb, M., Terink, W., van den Eertwegh, G., Brauer, C., 2024. Standardized Streamflow Index for Streamflow Drought: Development of New Functionality in the Dutch Drought Portal (MSc internship report). KnowH2O, Wageningen University, Wageningen.
- Altenburg, W., Arts, G., Baretta-Bekker, J.G., van den Berg, M.S., van den Broek, T., Buskens, R., Bijkerk, R., Coops, H.C., van Dam, H., van Ee, G., Evers, C.H.M., Franken, R., Higler, B., Ietswaart, T., Jaarsma, N., de Jong, D.J., Joosten, A.M.T., Klinge, M., Knobben, R.A.E., Kranenburg, J., van Loon, W.M.G.M., Noordhuis, R., Pot, R., Twisk, F., Verdonschot, P.F.M., Vlek, H., Wolfstein, K., 2018. Referenties en matlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027. Amersfoort.
- Brauer, C.C., Teuling, A.J., F. Torfs, P.J.J., Uijlenhoet, R., 2014. The Wageningen Lowland Runoff Simulator (WALRUS): A lumped rainfall-runoff model for catchments with shallow groundwater. *Geosci Model Dev* 7, 2313–2332. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-2313-2014>
- Jenkinson, A.F., 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 81, 158–171. <https://doi.org/10.1002/qj.49708134804>
- Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N., 1995. *Continuous Univariate Distributions*, 2nd ed. Wiley, New York.
- Koutrouvelis, I.A., Canavos, G.C., 1999. Estimation in the Pearson type 3 distribution. *Water Resour Res* 35, 2693–2704. <https://doi.org/10.1029/1999WR900174>
- KRW factsheets, 2023. Factsheet KRW - Behorende bij Stroomgebiedbeheerplannen 2022-2027. Versie 6.
- Moekestorm, B., 2024. Indices for soil moisture drought: new functionalities for the Drought Portal. Wageningen.
- Pearson, K., 1895. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London* 58, 240–242.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52, 591. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Sluijter, R., Plieger, M., van Oldenborgh, G.J., Beersma, J., de Vries, H., 2018. De droogte van 2018. Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort. De Bilt.
- Spearman, C., 1904. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *Am J Psychol* 15, 72. <https://doi.org/10.2307/1412159>
- Terink, W., van Deijl, D., van den Eertwegh, G., 2023. Reusel Bovenstroom – integrale analyse van hydrologie watersysteem en landgebruik: Huidige situatie en effecten van maatregelen op drogestofproductie, natuur en hydrologie stroomgebied. Berg en Dal.
- Tijdeman, E., Stahl, K., Tallaksen, L.M., 2020. Drought Characteristics Derived Based on the Standardized Streamflow Index: A Large Sample Comparison for Parametric and Nonparametric Methods. *Water Resour Res* 56. <https://doi.org/10.1029/2019WR026315>
- Tweedie, M.C.K., 1984. An Index Which Distinguishes between Some Important Exponential Families, in: Ghosh, J.K., Roy, J. (Eds.), *Statistics: Applications and New Directions*. Proceedings of the Indian Statistical Institute Golden Jubilee International Conference, Indian Statistical Institute, Calcutta, pp. 579–604.
- van Dorland, R., Beersma, J., Bessembinder, J., Bloemendaal, N., van den Brink, H., Brotons Blanes, M., Drijfhout, S., Groenland, R., Haarsma, R., Homan, C., Keizer, I., Krikken, F., Le Bars, D., Lenderink, G., van Meijgaard, E., Meirink, J.F., Overbeek, B., Reerink, T., Selten, F., Severijns, C., Siegmund, P., Sterl, A., de Valk, C., van Velthoven, P., de Vries, H., van Weele, M., Wichers Schreur, B., van der Wiel, K., 2023. KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. De Bilt.

Bijlage A: Afvoermeetlocaties geselecteerd door de waterschappen

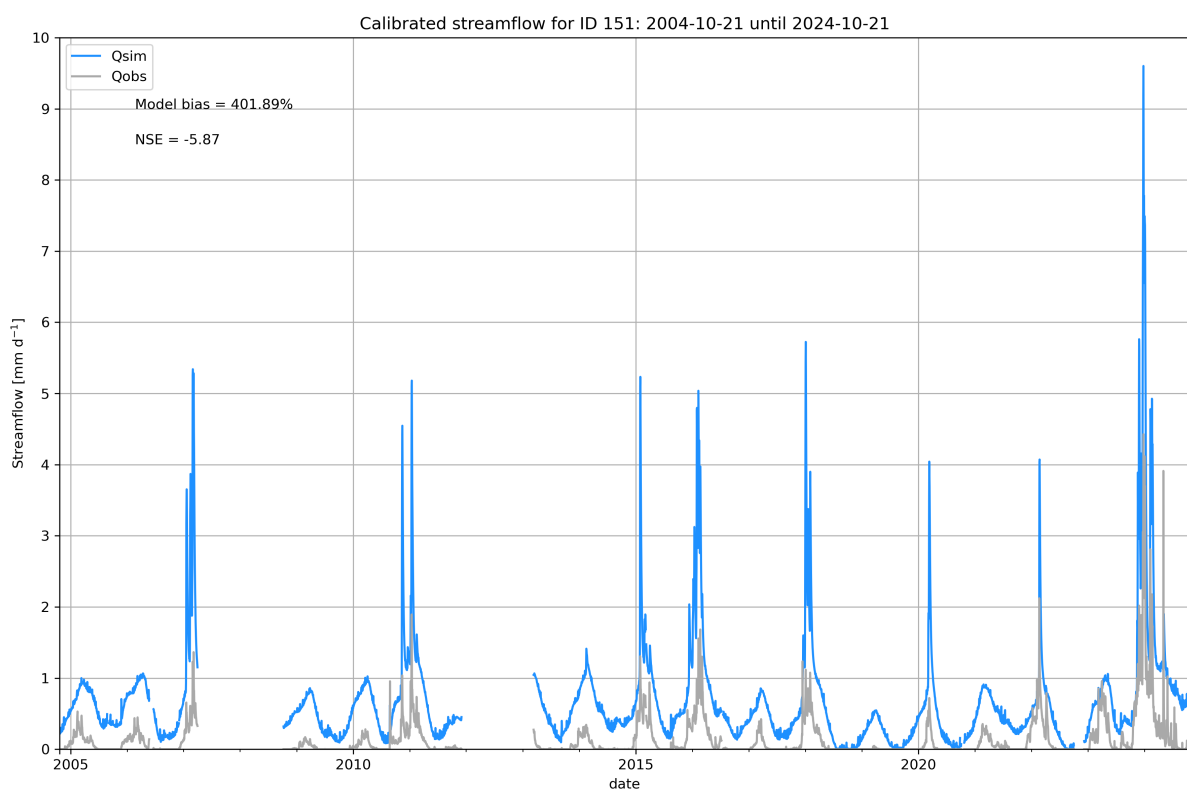
ID	Naam	Waterschap
16021	4012/4012_TDB	Brabantse Delta
16170	7136/7136_TDB	Brabantse Delta
16029	1016/1016_TDB	Brabantse Delta
16073	7117/7117_TDB	Brabantse Delta
16101	7500/7500_TDB	Brabantse Delta
16098	7131/7131_TDB	Brabantse Delta
16109	7133/7133_TDB	Brabantse Delta
16070	5267/5267_TDB	Brabantse Delta
16062	4275/4275_TDB	Brabantse Delta
16023	4251/4251_TDB	Brabantse Delta
16145	7512/7512_TDB	Brabantse Delta
16007	4503/4503_TDB	Brabantse Delta
16158	1368/1368_TDB	Brabantse Delta
1256	0052 - ADM Borkel & Schaft	De Dommel
1257	0091 - ADM Tongelreep Eindhoven	De Dommel
1272	0039 - Nieuwe Leij Goirle(Vloeder)	De Dommel
1274	0053 - Achelse kluis	De Dommel
1275	0054 - ADM Scheepdonkseweg Beerze Boxtel	De Dommel
1282	0085 - ADM Keersoppermolen	De Dommel
1284	0096 - ADM Oisterwijk	De Dommel
1298	0055 - ADM Poppelse Leij	De Dommel
1361	0017 - Regelwerk Kleine Dommel A67	De Dommel
1095	Selzerbeek, Partij	Limburg
1102	Roer, Stah	Limburg
1120	Groote Molenbeek, Hoekerhof	Limburg
155	Meetstuw Hupselse Beek	Rijn en IJssel
115	Debietmeting Grote Waterleiding	Rijn en IJssel
169	Debietmeting Hagenbeekbrug	Rijn en IJssel
171	Stuw Horsterkamp	Rijn en IJssel
102	Overlaat Berenschotbrug	Rijn en IJssel
111	Overlaat Broekheurnerweg	Rijn en IJssel
131	Overlaat Rekken	Rijn en IJssel
174	Overlaat Zuidelijk Afwateringskanaal	Rijn en IJssel
150	Stuw Bedelbrug	Rijn en IJssel
151	Stuw Bruinderinkweg	Rijn en IJssel

116	Stuw De Pol Oude IJssel	Rijn en IJssel
164	Stuw Eldrikseweg Didamse Wetering	Rijn en IJssel
160	Stuw Esweg (Elsbeek)	Rijn en IJssel
175	Stuw Marmelhorst	Rijn en IJssel
173	Stuw Rinkelaarstuw	Rijn en IJssel
157	Stuw Sikkeler van Heeckerenbeek	Rijn en IJssel
181	Stuw Sikkeler Veengoot	Rijn en IJssel
194	Stuw Spijk	Rijn en IJssel
188	Stuw Wijde Wetering	Rijn en IJssel
13359	SL000357_Vrijenbergerspreng	Vallei en Veluwe
13364	SL000410_Laak	Vallei en Veluwe
13368	SL000614_Bussloo	Vallei en Veluwe
13367	SL000551_Barneveldsestraat	Vallei en Veluwe
13358	SL000356_Arkersluisweg	Vallei en Veluwe
13357	SL000355_Zeedijk	Vallei en Veluwe
13356	SL000354_De Wieken	Vallei en Veluwe
13355	SL000353_Laapeerseweg	Vallei en Veluwe
13349	SL000347_Heiligenbergerbeek	Vallei en Veluwe
13354	SL000352_Koedijkerweg	Vallei en Veluwe
13347	SL000345_Voorsterklei 8	Vallei en Veluwe
13353	SL000351_Schuilburgerweg	Vallei en Veluwe
13346	SL000344_Rijksstraatweg	Vallei en Veluwe
13345	SL000343_Kruisvoorderweg	Vallei en Veluwe
14491	SL000795_Zuideinde Scherpenzeel 2	Vallei en Veluwe
13343	SL000341_Bloemkampen	Vallei en Veluwe
13342	SL000340_Tintelersteeg	Vallei en Veluwe
13352	SL000350_Esveld	Vallei en Veluwe
13351	SL000349_Ruitenbeekweg	Vallei en Veluwe
13350	SL000348_Modderbeek Jaagpad	Vallei en Veluwe
13341	SL000339_Strandboulevard	Vallei en Veluwe

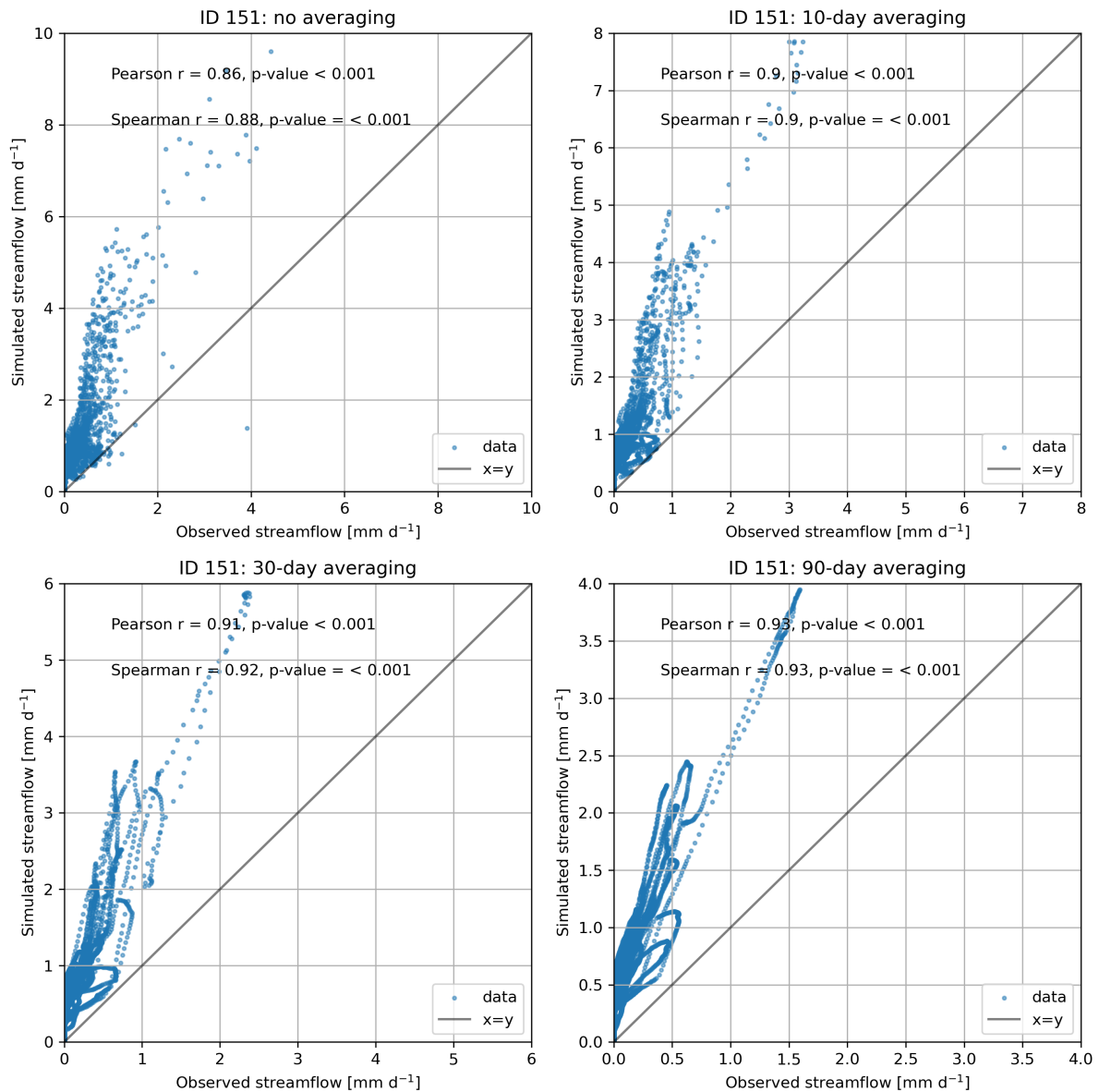
Bijlage B: Voorbeeld modelsimulaties die voldoen aan de Pearson r en Spearman r criteria, maar slecht tot minder goed presteren voor de model bias en NS

ID 151 – Stuw Bruinderinkweg – Waterschap Rijn en IJssel

Voor Stuw Bruinderinkweg (Figuur 21 en Figuur 22) geldt met een model bias van 401,89% en een NS van -5,87 hetzelfde verhaal als voor de locatie SL000344_Rijksstraatweg (Figuur 12 en Figuur 13). Doordat het model de gemeten afvoer behoorlijk overschat liggen de meeste gesimuleerde afvoerwaarden boven de x=y lijn in de scatterplot van Figuur 22. Omdat de Pearson r en Spearman r voldoen aan de minimale waarde van 0,80, is er wel een duidelijke relatie zichtbaar tussen de gesimuleerde- en gemeten afvoer. M.a.w., ze liggen niet op de x=y lijn, maar ze liggen wel in een rechte lijn.



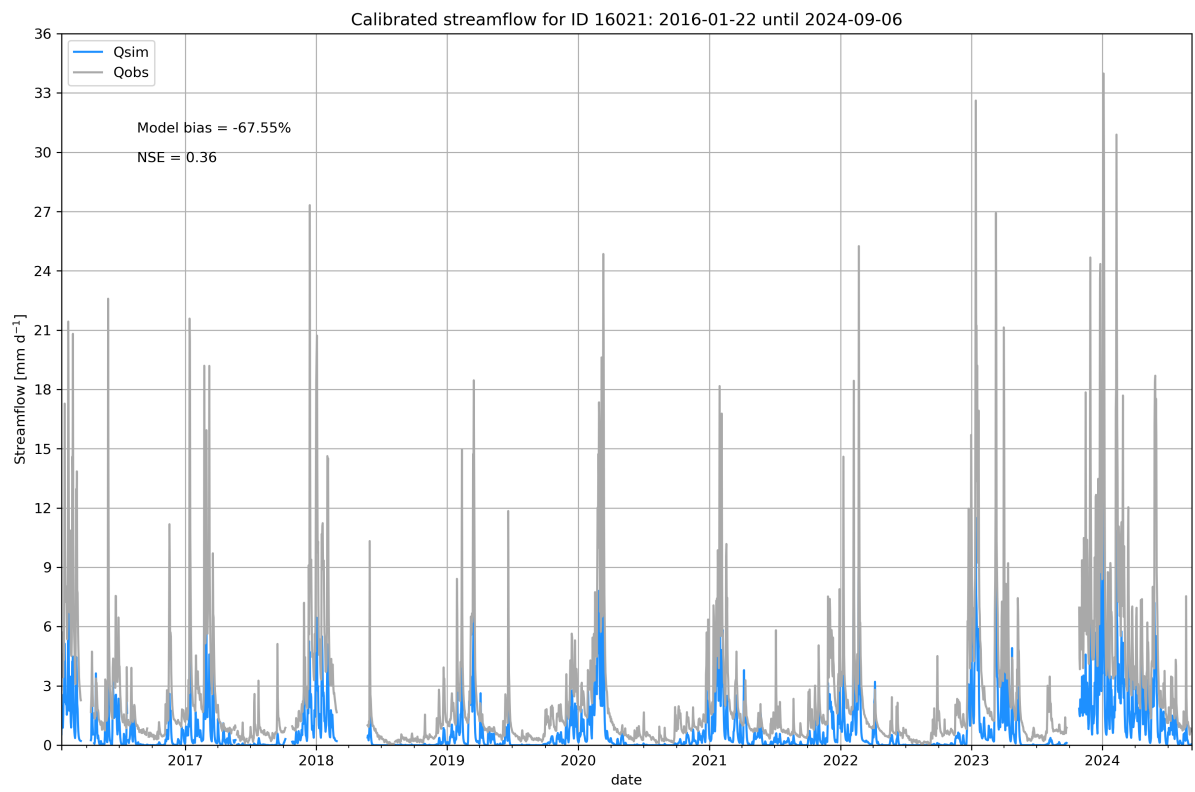
Figuur 21 Gesimuleerde (Qsim) en gemeten (Qobs) afvoer voor Stuw Bruinderinkweg (ID 151).



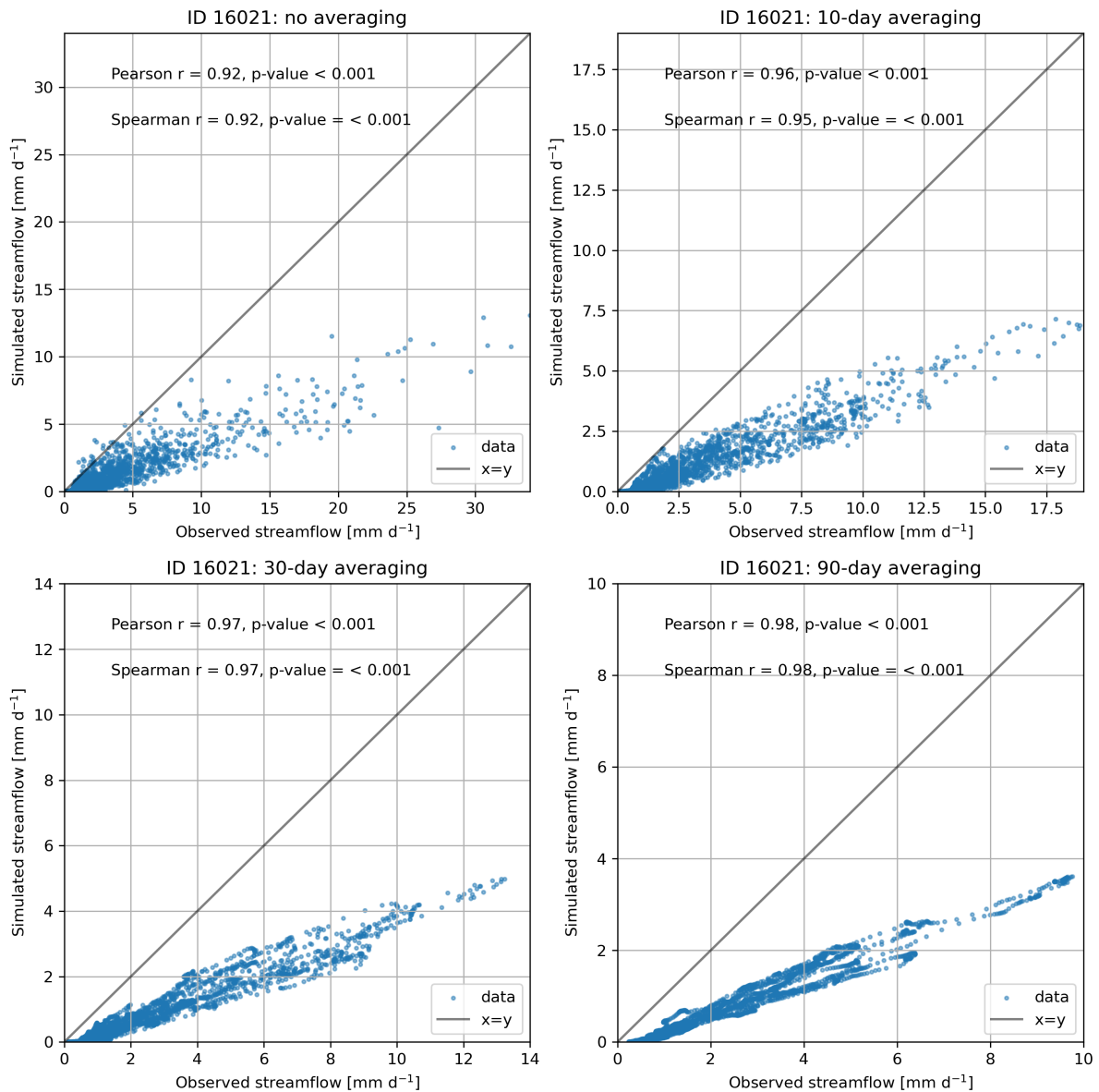
Figuur 22 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor Stuw Bruinderinkweg (ID 151) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

ID 16021 – 4012/4012_TDB – Waterschap Brabantse Delta

De resultaten voor de locatie 4012/4012_TDB van Waterschap Brabantse Delta zijn weergegeven in Figuur 23 en Figuur 24. Voor deze locatie maakt het model een duidelijke onderschatting van de gemeten afvoer. Met een Pearson r van 0,92 en een Spearman r van 0,92 voldoet de locatie aan de criteria om mee te doen voor de selectie van SSI berekeningen.



Figuur 23 Gesimuleerde (Qsim) en gemeten (Qobs) afvoer voor 4012/4012_TDB (ID 16021).



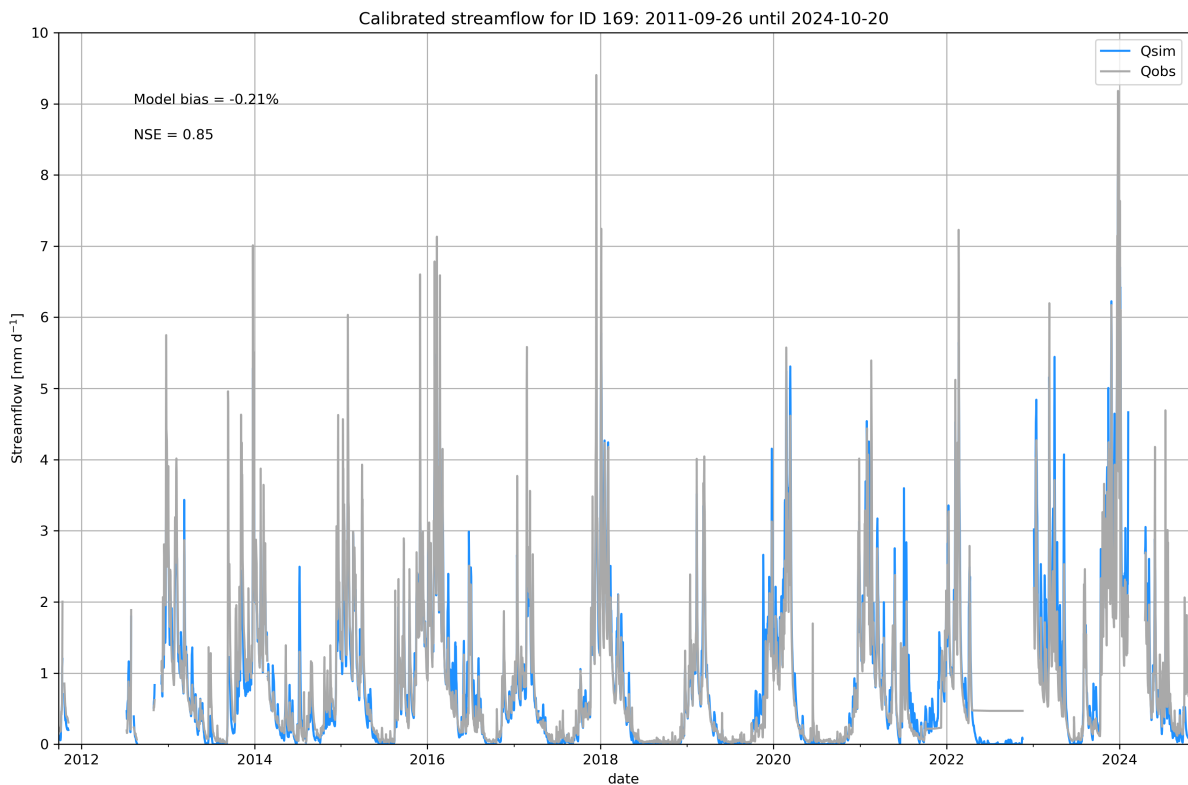
Figuur 24 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor 4012/4012_TDB (ID 16021) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

Bijlage C: Voorbeeld modelsimulaties die ook goed presteren voor de model-bias en Nash-Sutcliffe “goodness-of-fit” criteria

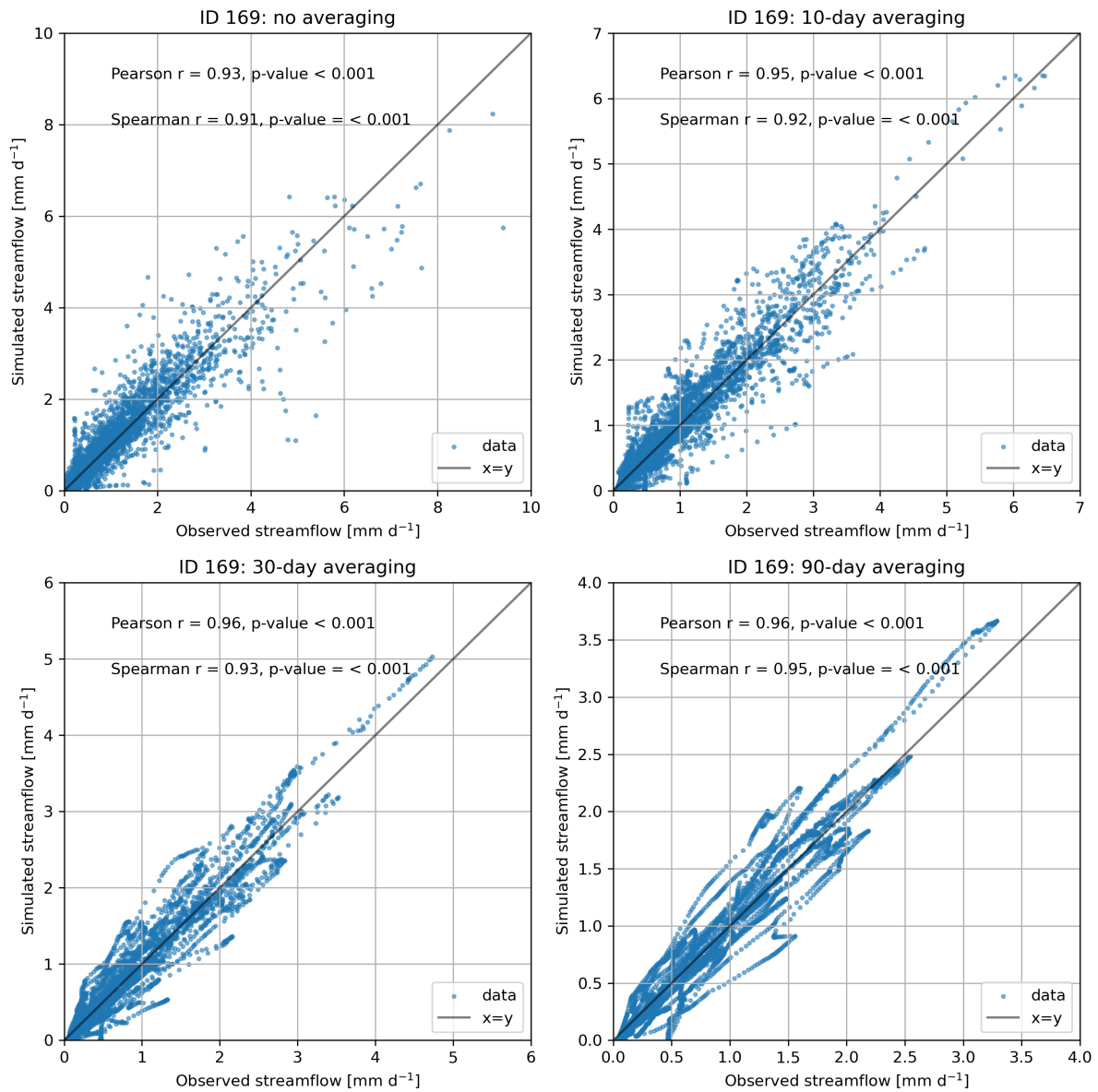
Deze sectie laat een viertal voorbeeldlocaties zien waarbij, naast de Pearson r en de Spearman r , ook de model bias en de NS goed presteren. Omdat de meeste figuren vanzelfsprekend zijn en daardoor geen verdere uitleg behoeven, is alleen voor het eerste voorbeeld (ID 169 – Debietmeting Hagenbeekbrug) wat tekstuitleg gegeven.

ID 169 – Debietmeting Hagenbeekbrug – Waterschap Rijn en IJssel

De gemeten- en gesimuleerde afvoer voor de locatie Debietmeting Hagenbeekbrug zijn weergegeven in Figuur 25 en Figuur 26. Doordat een groot deel van de punten op de $x=y$ lijn ligt (Figuur 26), is voor deze punten de gesimuleerde afvoer in absolute zin (nagenoeg) gelijk aan de gemeten afvoer.

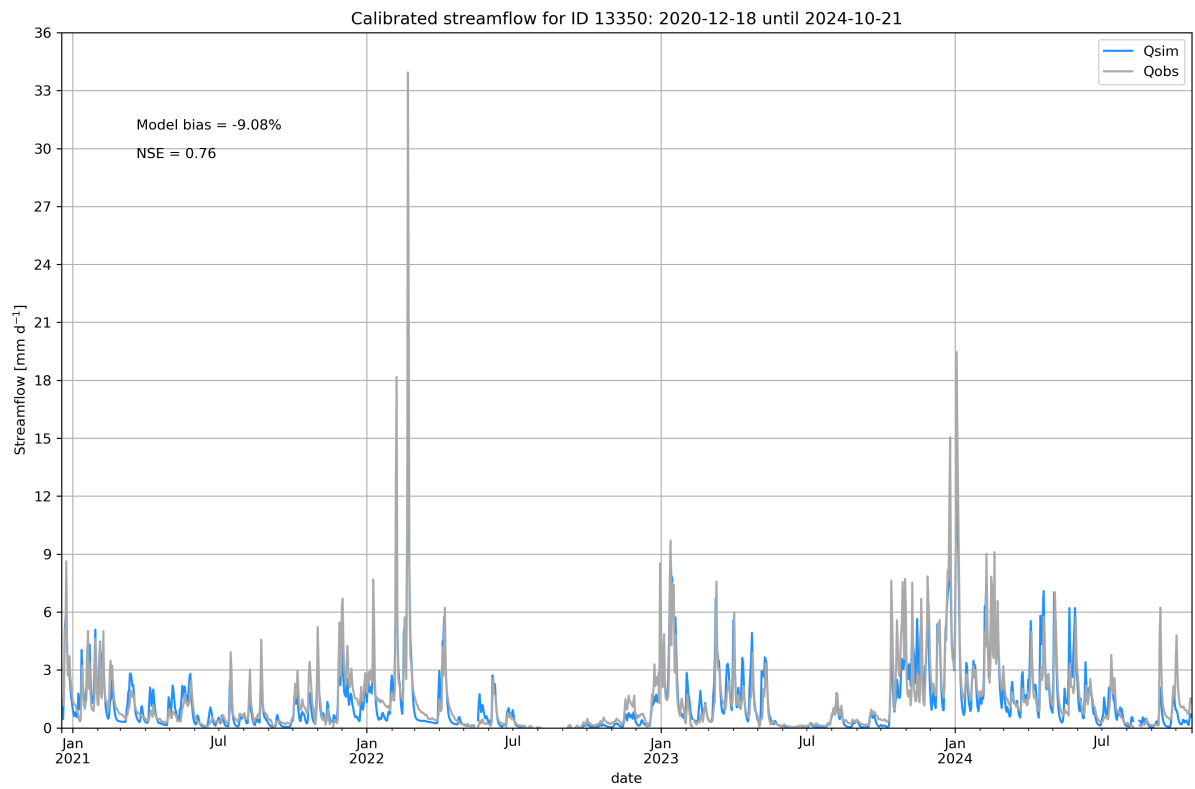


Figuur 25 Gesimuleerde (Q_{sim}) en gemeten (Q_{obs}) afvoer voor Debietmeting Hagenbeekbrug (ID 169).

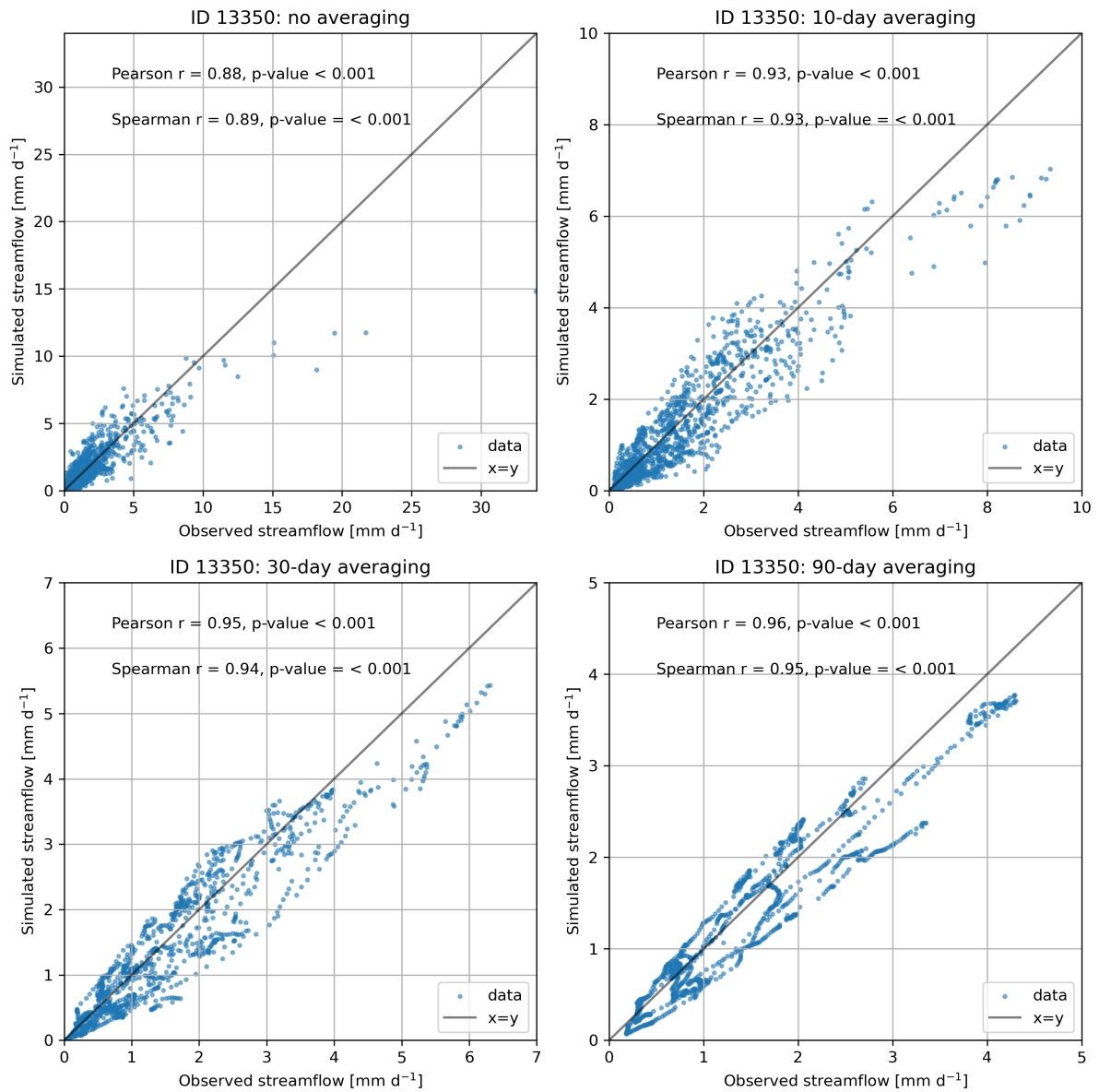


Figuur 26 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor Debietmeting Hagenbeekbrug (ID 169) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

ID 13350 – SLo00348_Modderbeek Jaagpad – Waterschap Vallei en Veluwe

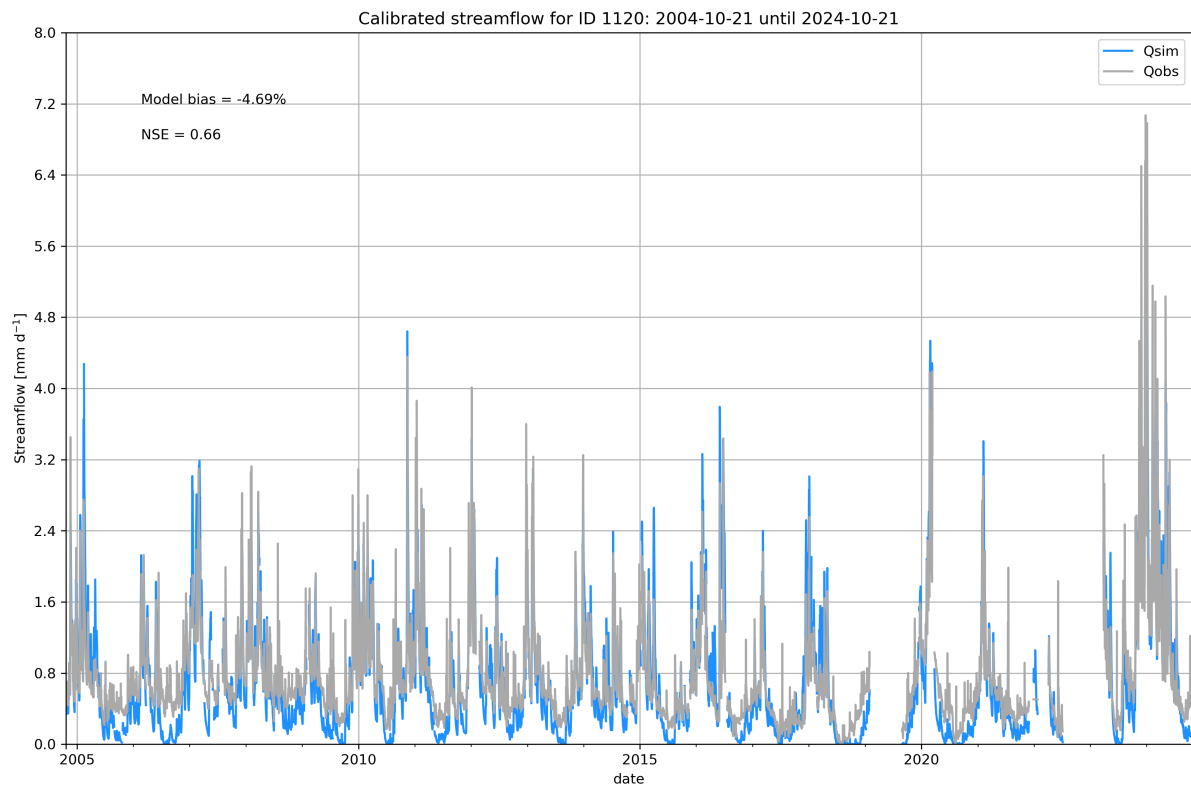


Figuur 27 Gesimuleerde (Qsim) en gemeten (Qobs) afvoer voor SLo00348_Modderbeek Jaagpad (ID 13350).

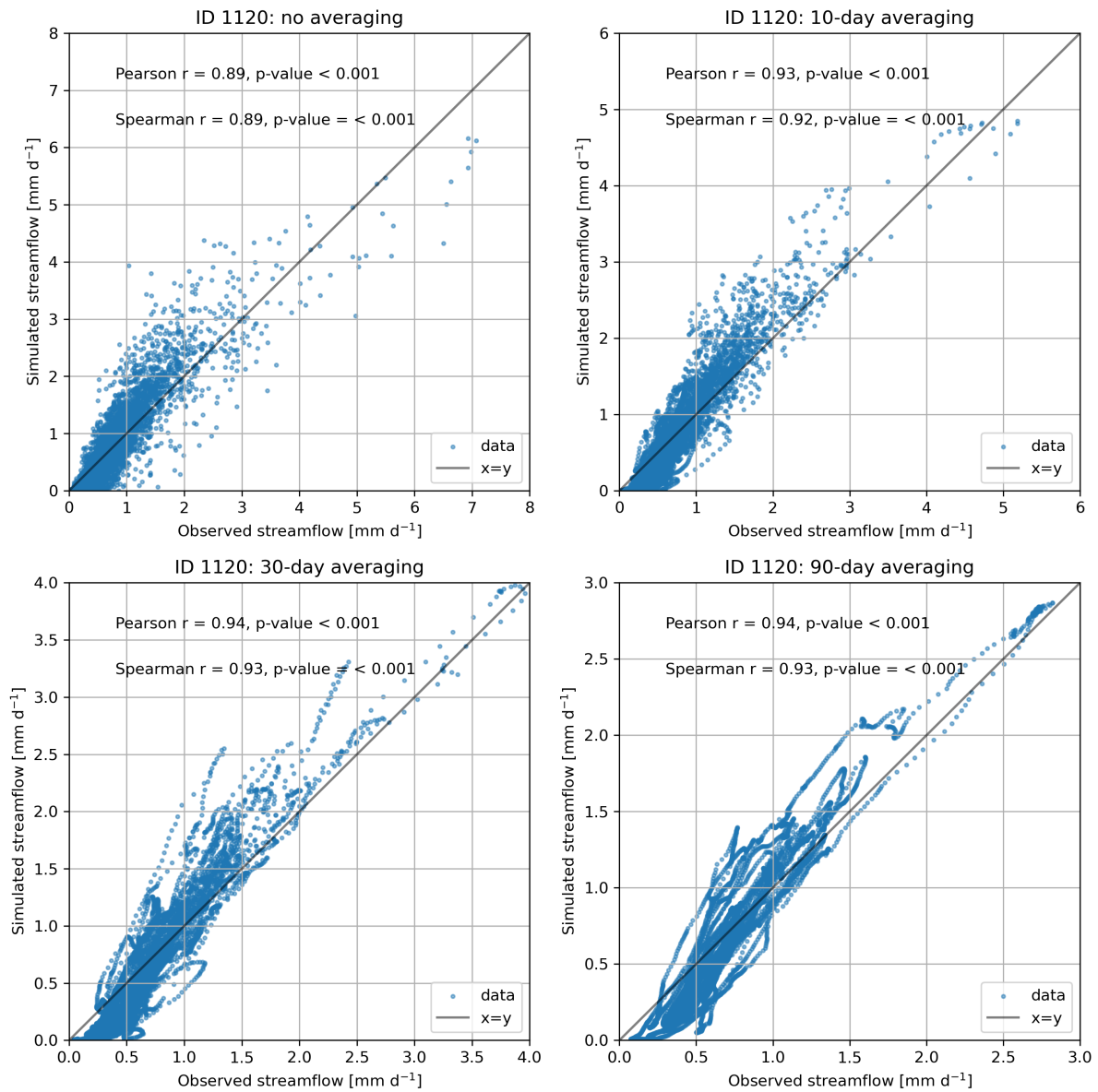


Figuur 28 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor SLo00348_Modderbeek Jaagpad (ID 13350) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

ID 1120 – Grootte Molenbeek, Hoekerhof – Waterschap Limburg

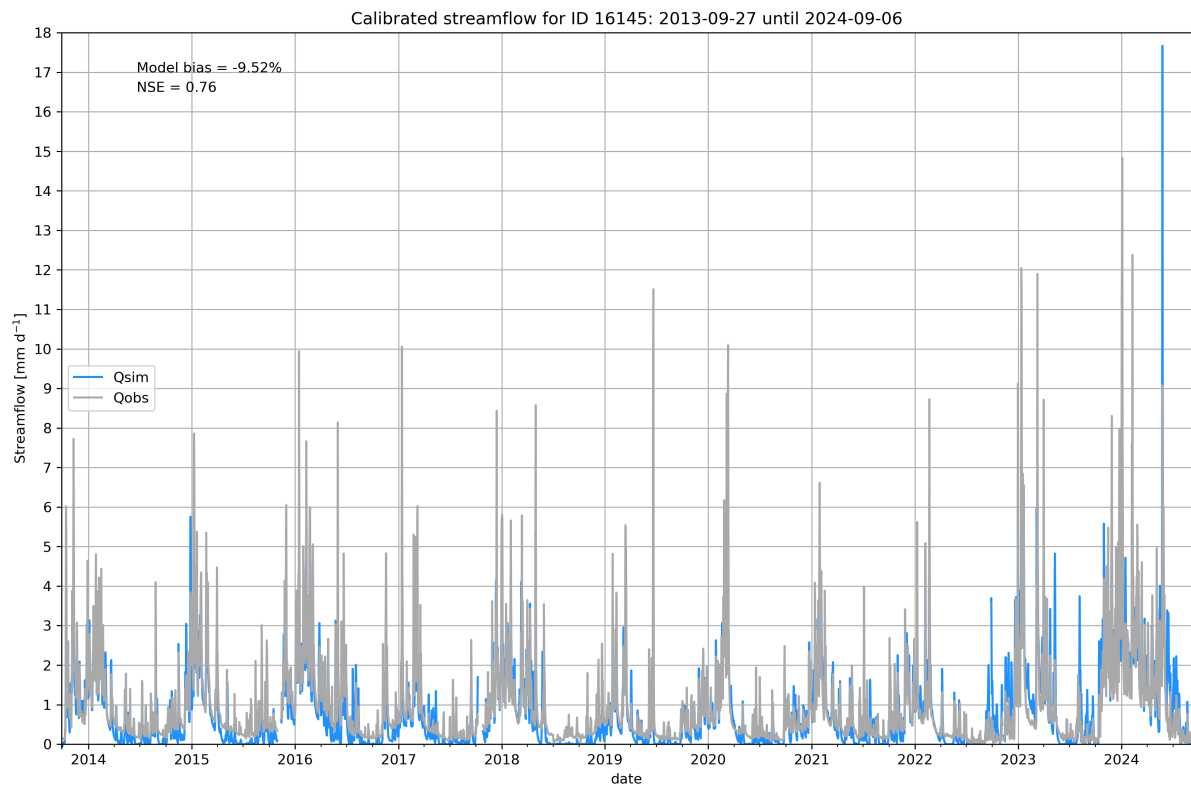


Figuur 29 Gesimuleerde (Q_{sim}) en gemeten (Q_{obs}) afvoer voor Grootte Molenbeek, Hoekerhof (ID 1120).

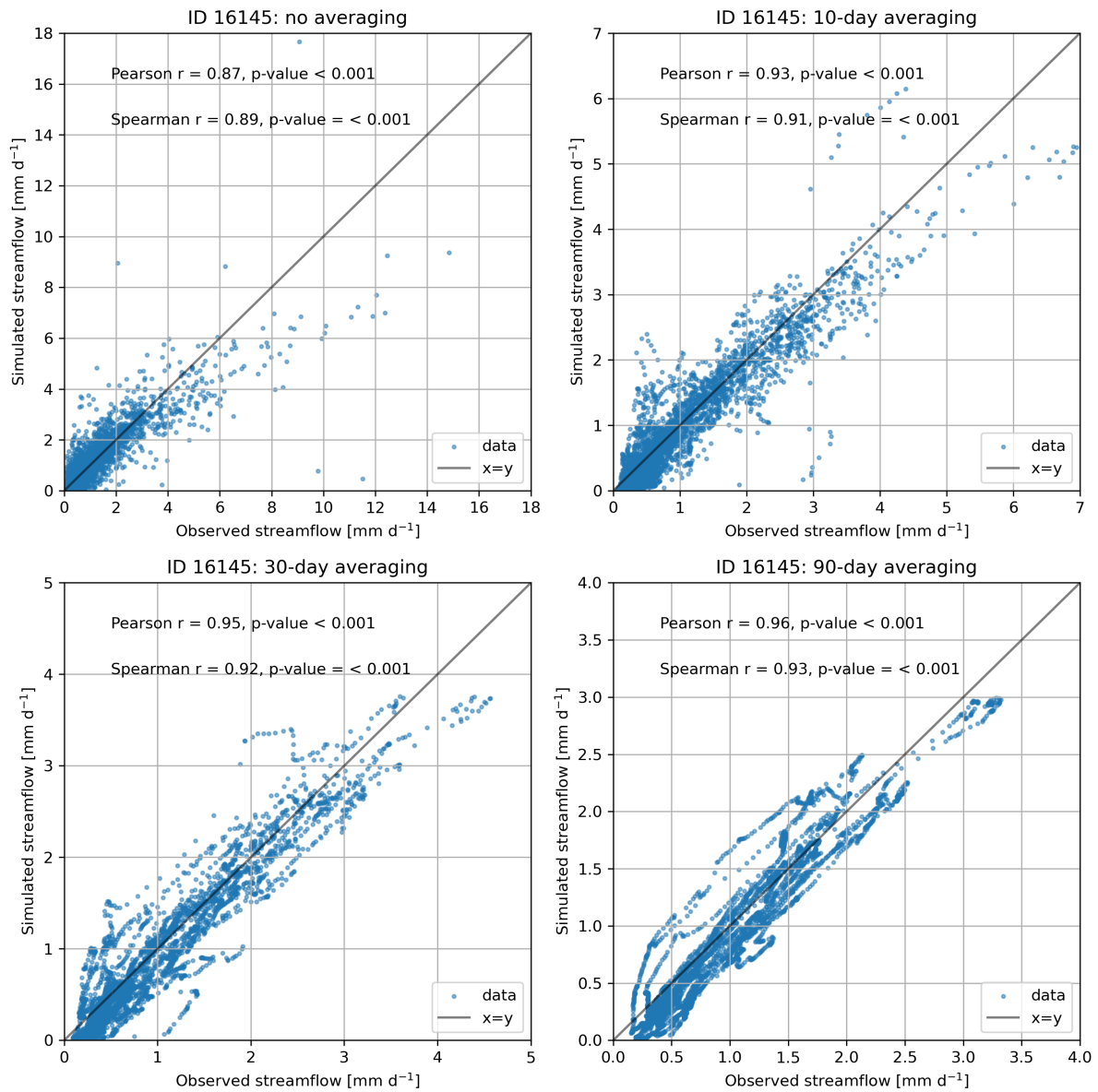


Figuur 30 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor Groote Molenbeek, Hoekerhof (ID 1120) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

ID 16145 – 7512/7512_TDB – Waterschap Brabantse Delta

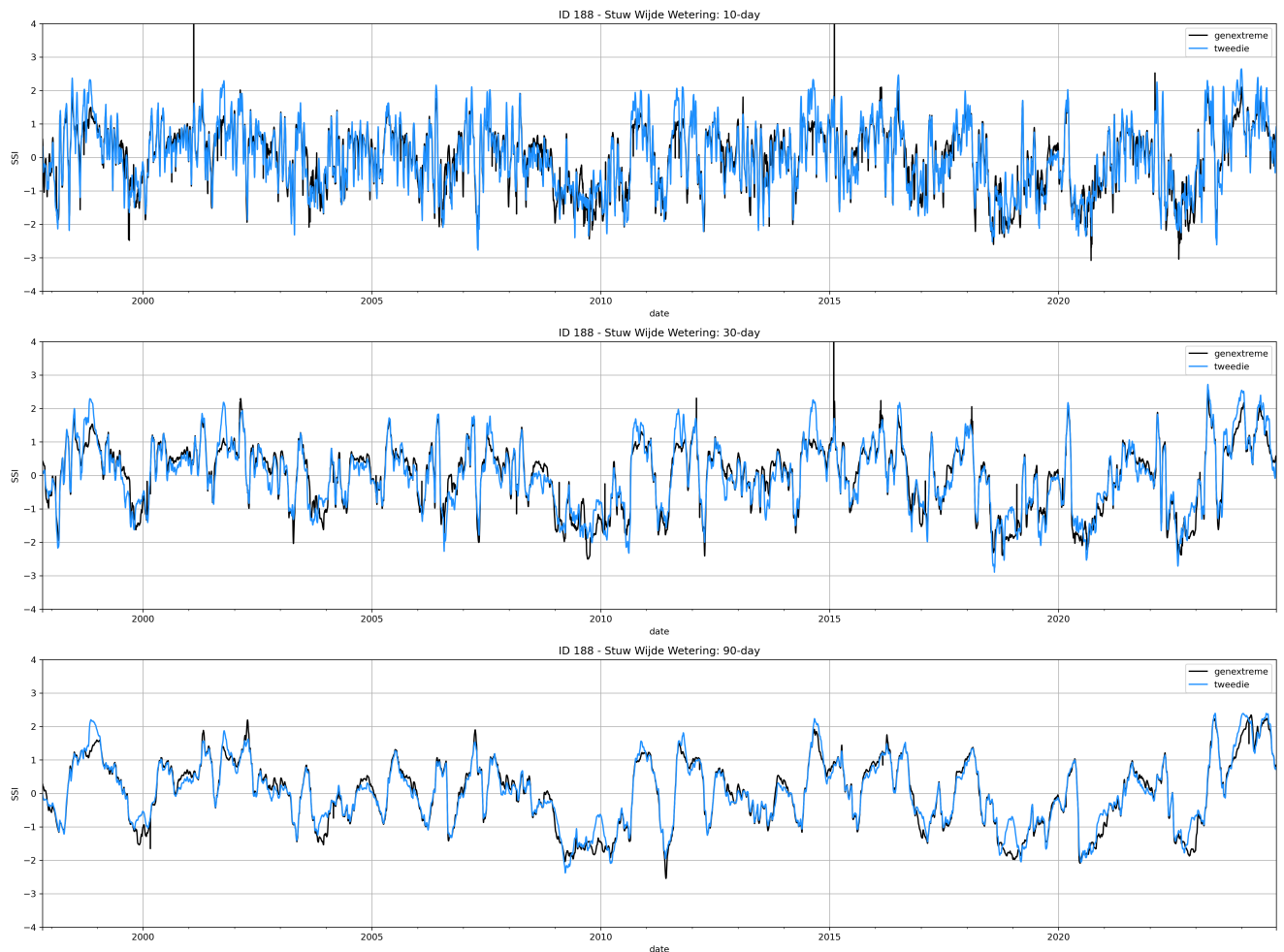


Figuur 31 Gesimuleerde (Qsim) en gemeten (Qobs) afvoer voor 7512/7512_TDB (ID 16145).

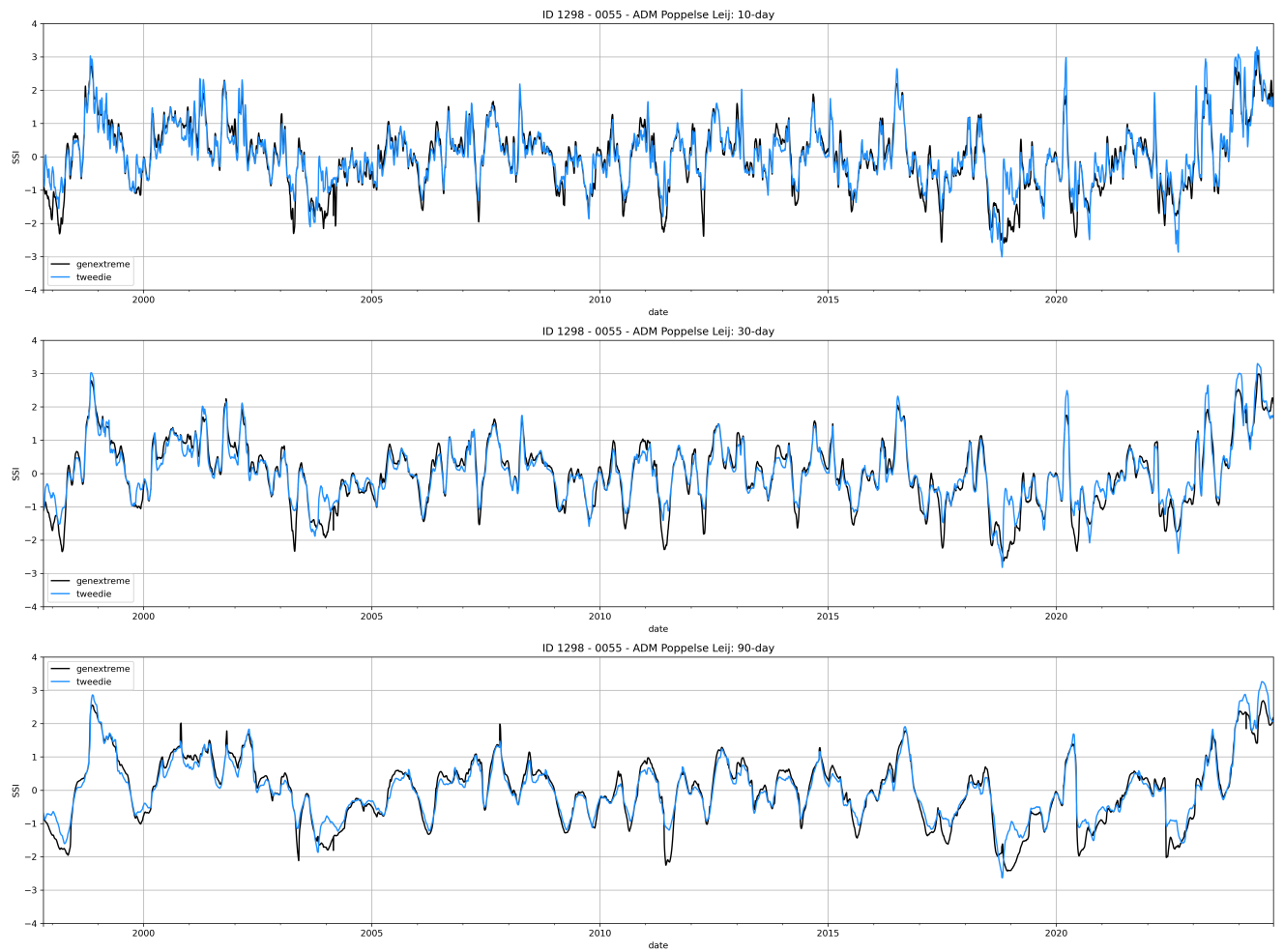


Figuur 32 Correlatie tussen gemeten (x-as) en gesimuleerde afvoer (y-as) voor 7512/7512_TDB (ID 16145) voor de dagelijkse waarden (linksboven), alsmede voor de SSI aggregatie-periodes SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen) en SSI-3 (90 dagen).

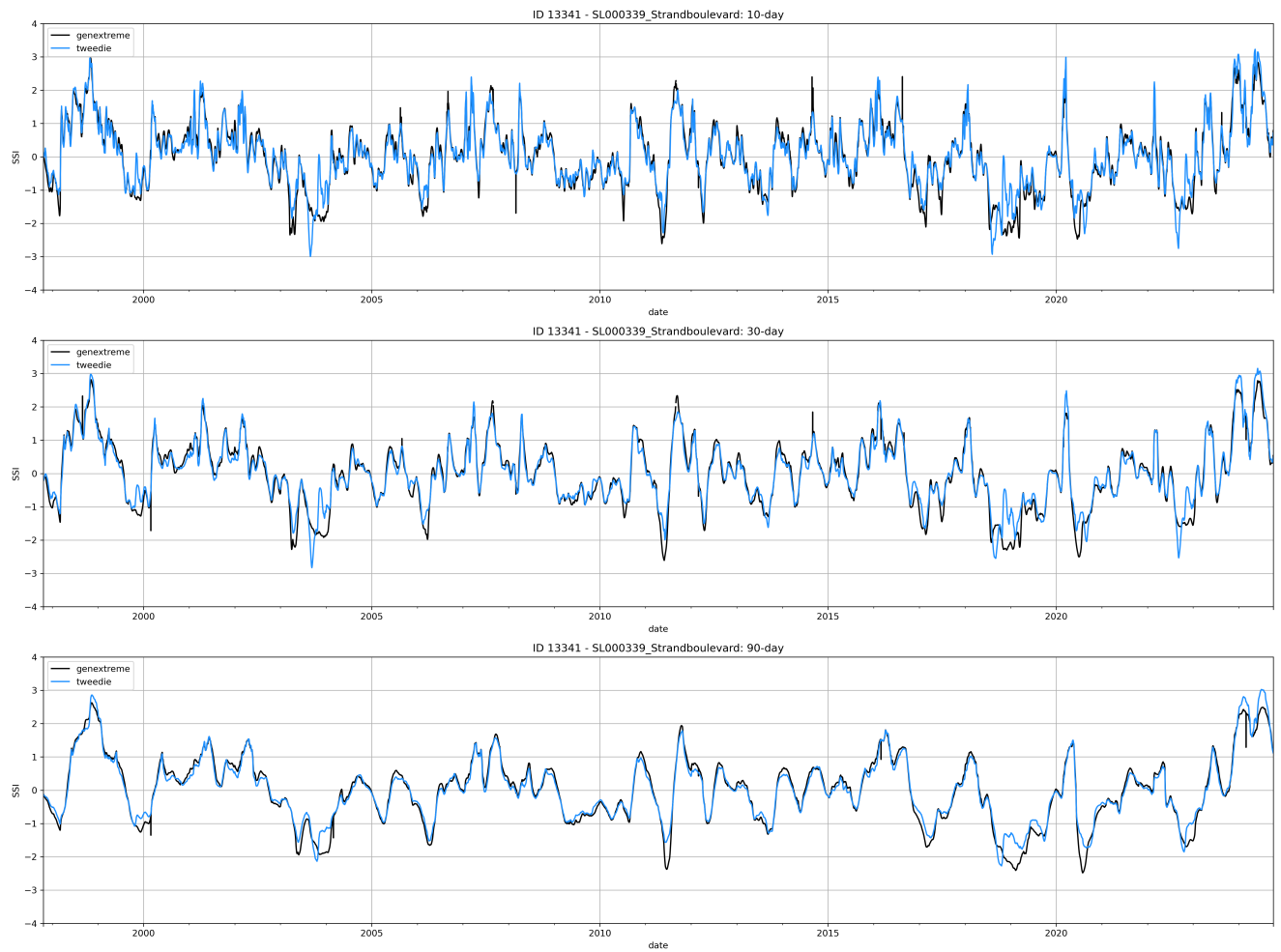
Bijlage D: Voorbeeld SSI-tijdreeksen op basis van de Generalized Extreme Value (GEV) en Tweedie verdeling



Figuur 33 SSI-tijdreeksen voor ID 188 – Stuw Wijde Wetering op basis van 'genextreme' en 'tweedie' voor de SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen).



Figuur 34 SSI-tijdreeks voor ID 1298 – 0055 ADM Poppelse Leij op basis van 'genextreme' en 'tweedie' voor de SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen).



Figuur 35 SSI-tijdreeks voor ID 13341 – SL000339_Strandboulevard op basis van 'genextreme' en 'tweedie' voor de SSI-actueel (10 dagen), SSI-1 (30 dagen), en SSI-3 (90 dagen).



© KnowH2O - 2024