



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

HKV
LIJN IN WATER

stowa

DROOGTESTATISTIEK

METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET WATERBEHEER: DEELRAPPORT 3



RAPPORT

2023

36

DROOGTESTATISTIEK

METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET WATERBEHEER:
DEELRAPPORT 3

RAPPORT

2023

36

ISBN 978.94.6479.027.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Michiel Pezij, HKV Lijn in Water
Dorien Lugt, HKV Lijn in Water

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Michelle Talsma, STOWA
Frank van der Bolt, Waterschap Aa en Maas
Matthijs van den Brink, Rijkswaterstaat
Jochem Fritz, HH Delfland
Joost Heijkers, HH de Stichtse Rijnlanden
Jeroen Hermans HH Noorderkwartier
Helena Pavelkova, Waterschaplimburg
Jannes Schenkel, Waterschap Noorderzijlvest.nl
Rudolph Versteeg, Waterschap Zuiderzeeland.nl
Frank Weerts, Waterschap Rivierenland

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2023-36
ISBN 978.94.6479.027.5

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

SAMENVATTING

Dit rapport is Deelrapport 3 van het STOWA project ‘Meteo-onderzoek ten behoeve van het waterbeheer,’ en betreft de afleiding van droogtestatistiek. Het project bestaat in totaal uit 5 deelrapporten, te weten:

- Deelrapport 1: Beoordeling neerslagstatistiek
- Deelrapport 2: Buienselectie stedelijk gebied
- Deelrapport 3: Droogtestatistiek
- Deelrapport 4: Weersverwachtingen
- Deelrapport 5: Seizoensverwachtingen

ACHTERGROND EN DOEL

Dit deelrapport beschrijft het onderzoek naar ruimtelijk verdeelde droogtestatistiek dat STOWA, HKV en KNMI in nauwe samenspraak met de waterschappen hebben uitgevoerd. Er waren geen lange historische ruimtelijk verdeelde neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens beschikbaar die het huidige klimaat representeren. Ook is beoordeeld in hoeverre alternatieve droogte-indicatoren extra inzicht bieden in droogte, naast de traditioneel gebruikte indicator, het cumulatief neerslagtekort. Het doel van dit onderzoek was driedelig:

- Het beschikbaar stellen van ruimtelijk verdeelde langetermijngegevens van neerslag, referentiegewasverdamping en potentieel neerslagtekort aan waterbeheerders voor de periode 1910-2022;
- De ontwikkeling van een methodiek om statistiek van het jaarlijks optredend maximaal potentiële neerslagtekort af te leiden voor door gebruikers geselecteerd ruimtelijk gebied,.
- Het onderzoeken van alternatieve droogte-indicatoren en de statistiek daarvan.

BESCHIKBAAR STELLEN RUIMTELIJK VERDEELDE GEGEVENS

Op basis van homogene meetreeksen van KNMI-stations met betrekking tot neerslag- en referentiegewasverdamping zijn vlakdekkende gegevens voor Nederland ontwikkeld voor de periode 1910-2022.

Bij deze omzetting is een trendanalyse en -correctie uitgevoerd. Uit deze analyse blijkt dat over de periode 1910-2022 een positieve trend waarneembaar is in de dagneerslag en dagelijkse referentiegewasverdamping. De trend in de dagneerslag laat een ruimtelijk sterk variërend beeld zien. De trend in de dagelijkse referentiegewasverdamping heeft geen ruimtelijk variërend beeld.

Door het beschouwen van 112 jaar aan neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens is het nu mogelijk om de meteorologische droogte van bijvoorbeeld 2018-2020 in perspectief te plaatsen. De neerslag- en referentiegewasverdampingsreeksen zijn daarvoor omgezet in vlakdekkende rasters voor Nederland.

RUIMTELIJKE VERDELING STATISTIEK JAARLIJKS OPTREDEND MAXIMAAL POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT

De ontwikkelde vlakdekkende rasters kunnen vervolgens gebruikt worden om inzicht te bieden in statistiek van het potentieel neerslagtekort. Hiervoor zijn op basis van plotposities de herhalingstijden van het jaarlijks maximaal optredend cumulatief neerslagtekort geschat.

De statistiek van het maximaal potentieel neerslagtekort varieert sterk over Nederland. Het zuiden van het land kent sterkere neerslagtekorten dan het noordoosten van het land. De ruimtelijke verdeling van de statistiek verschilt voor extreme en minder extreme jaren.

Als ingezoomd wordt op stationsniveau komen de statistieken goed overeen met eerdere analyses van bijvoorbeeld het KNMI en STOWA (2015). Wel heeft de detrending een effect op de meer historische jaren. Voor deze jaren wordt het maximaal cumulatief neerslagtekort extremer door detrending naar het zichtjaar 2022.

Deze informatie kunnen waterschap nu meteorologische droogte statistisch duiden op regionale en lokale ruimtelijke schalen. Het stelt hen in staat om te beoordelen hoe vaak de actuele meteorologische droogte statistisch gezien plaatsvindt voor hun (deel van het) beheergebied.

TOEPASBAARHEID VAN ALTERNATIEVE METEOROLOGISCHE DROOGTE-INDICATOREN

Tot slot is beoordeeld in hoeverre alternatieve meteorologische droogte-indicatoren inzicht bieden in droogteproblematiek. De statistiek van de volgende meteorologische droogte-indicatoren zijn geanalyseerd:

- Cumulatief potentieel neerslagtekort tussen 1 maart en 1 oktober (1 maand eerder dan traditioneel neerslagtekort);
- Aantal droge dagen per jaar;
- Dag van het jaar waarop het maximaal cumulatief neerslagtekort optreedt;
- Maximale lengte droge run (aantal opeenvolgende dagen zonder neerslag);
- Aantal droge runs per jaar.

Een analyse van alternatieve droogte-indicatoren toont aan dat meteorologische droogte niet eenduidig te beoordelen is.

Gelet op verschillende droogte-indicatoren worden verschillende jaren als de meest droge geduid. De keuze voor een droogte-indicatoren zal met name moeten afhangen van de toepassing waarvoor de analyse wordt gedaan.

Voor de dag waarop het maximaal neerslagtekort plaatsvindt, de maximale lengte van droge runs, het gemiddeld aantal dagen per droge run, het aantal droge runs zijn geen duidelijke trends te ontdekken. Wel constateren we dat de jaren 2018, 2020 en 2022 historisch gezien lange droge runs hadden en daarmee ook een laag aantal droge runs. Statistiek voor het neerslagtekort beginnend op 1 maart verschilt nauwelijks van deze beginnend op 1 april.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' — de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft — om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

DROOGTESTATISTIEK

METEO-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET WATERBEHEER: DEELRAPPORT 3

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doelstelling	2
1.4	Producten	2
2	METHODIEK	3
2.1	Stappenplan	3
2.2	Selectie van stationsgegevens	3
2.2.1	Neerslag	3
2.2.2	Referentiegewasverdamping	4
2.2.3	Potentieel neerslagtekort	4
2.2.4	Overzicht gebruikte gegevens	5
2.3	Detrending	5
2.4	Ruimtelijke interpolatie	6
2.4.1	Neerslag: ordinary kriging	6
2.4.2	Referentiegewasverdamping: thin plate spline	7
2.5	Bepalen herhalingstijden	7

3	RESULTATEN	8
3.1	Trendanalyse van neerslag- en verdampingsreeksen	8
3.2	Trendcorrectie	12
3.3	Vlakdekkende neerslag-, verdamping- en neerslagtekortgegevens	12
3.4	Inzicht in cumulatief potentieel neerslagtekort	12
3.5	Droogtestatistiek: meteorologische droogte	13
3.5.1	Ruimtelijk beeld Nederland	13
3.5.2	Gemiddeld voor Nederland	15
3.5.3	Waterschappen	15
4	ALTERNATIEVE DROOGTE-INDICATOREN	18
4.1	Motivatie	18
4.2	Cumulatief potentieel neerslagtekort tussen 1 maart en 1 oktober	18
4.3	Aantal droge dagen per jaar	20
4.4	Dag van het jaar waarop maximaal cumulatief neerslagtekort optreedt	21
4.5	Maximale lengte droge run per jaar	21
4.6	Aantal droge runs	22
4.7	Synthese	23
5	CONCLUSIES	24
6	DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	26
7	REFERENTIES	27
BIJLAGE A	BESCHIKBAARHEID METINGEN AUTOMATISCHE WEERSTATIONS KNMI	28

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

In de afgelopen jaren hebben STOWA, HKV en KNMI in nauwe samenspraak met de waterschappen gewerkt aan het ontwikkelen en ontsluiten van informatie over het weer in Nederland ten behoeve van het waterbeheer. Deze samenwerking heeft geresulteerd in een reeks producten die middels rapportages en het webportaal www.meteobase.nl hun weg naar de Nederlandse waterbeheerders hebben gevonden. Kennisontwikkeling op het gebied van meteorologie in het waterbeheer verdient blijvende aandacht. Het is immers de meteorologie die aan de basis staat van de waterhuishoudkundige inrichting van Nederland. Ook is het klimaat aan veranderingen onderhevig.

Onder impuls van het Deltaprogramma Zoetwater en aangewakkerd door de droge zomers van 2018, 2019 en 2020 is zoetwaterbeschikbaarheid een actueel thema. Het is belangrijk voor beleids- en uiteindelijke investeringsbesluiten om het risico van droogte goed inzichtelijk te hebben. Het is dus van belang voor zowel waterschappen als drinkwaterbedrijven om de statistieken van droogte goed te kennen. STOWA heeft daarom dit onderzoek uitgevoerd voor het verdiepen van de kennis over meteorologische droogte. Meteorologische droogte wordt in het Nederlandse waterbeheer gedefinieerd aan de hand van het dagelijkse potentiële neerslagtekort. Het dagelijkse potentiële neerslagtekort is gedefinieerd als het verschil tussen de dagelijkse neerslagsom en dagelijks opgetreden referentiegwasverdamping (Makkink).

Deze deelrapportage bevat de bevindingen van dit onderzoek naar meteorologische droogte. We bespreken statistieken van de cumulatie van het dagelijkse potentieel neerslagtekort als maat voor meteorologische droogte en alternatieve droogtestatistieken.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Om statistiek ruimtelijk te bepalen zijn lange historische ruimtelijke verdeelde neerslag- en referentiegwasverdampingsgegevens nodig. Er zijn momenteel geen gegevens beschikbaar over de periode 1910-2022 waarmee een dergelijke analyse uitgevoerd kan worden. Dit heeft meerdere redenen:

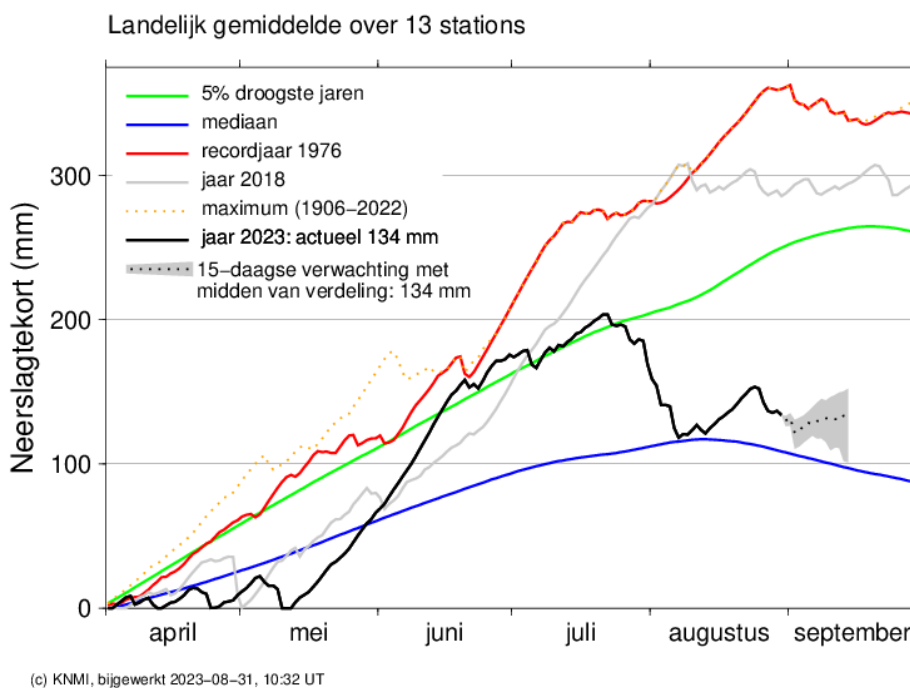
- Historische lange meetreeksen zijn niet representatief voor de huidige situatie, omdat reeds klimaatverandering heeft plaatsgevonden waardoor neerslag- en verdampingsdynamiek verandert;
- Meetstations zijn verplaatst, waardoor inhomogene meetreeksen ontstaan.

1.3 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is daarom driedelig:

- Het beschikbaar stellen van ruimtelijk verdeelde langetermijngegevens van neerslag, referentiegewasverdamping en potentieel neerslagtekort aan waterbeheerders voor de periode 1910-2022;
- De ontwikkeling van een methodiek om statistiek van het jaarlijks optredend maximaal potentiële neerslagtekort af te leiden. Deze methodiek is, in combinatie met de resultaten van het eerste doel, bruikbaar om droogtestatistiek af te leiden voor elk gewenst ruimtelijk schaalniveau. Daarmee kan regionaal een goed beeld gevormd worden van de extremititeit van een opgetreden of optredende droogte. Tot op heden was alleen het landelijk gemiddelde dat het KNMI publiceert op basis van 13 stations beschikbaar, zoals weergegeven in Figuur 1. In dit rapport bepalen we per waterschap en op nationale schaal de herhalingsjaren van het jaarlijks optredend maximaal potentiële neerslagtekort. Tevens worden gegevens beschikbaar gesteld om voor ieder gewenst gebied deze statistiek te bepalen;
- Het onderzoeken van alternatieve droogte-indicatoren en de statistiek daarvan.

FIGUUR 1 ACTUEEL OVERZICHT NEERSLAGTEKORT IN NEDERLAND AUGUSTUS 2023 (BRON: KNMI.NL)



1.4 PRODUCTEN

Op basis van deze studie is een aantal producten opgeleverd:

- Vlakdekkende dagelijkse rasters voor Nederland over de periode 1910-2022 van:
 - Dagelijkse neerslagsom;
 - Dagelijkse referentiegewasverdamping (Makkink);
 - Dagelijks neerslagtekort.
- Een Jupyter notebook waarmee droogtestatistiek afgeleid kan worden voor elk gewenst aggregatieniveau op basis van bovengenoemde rasters.

2

METHODIEK

2.1 STAPPENPLAN

De volgende stappen zijn doorlopen om tot de gedefinieerde doelen te komen:

1. Verkrijgen ruimtelijk verdeelde langetermijngegevens van neerslag, referentie-gewasverdamping en potentieel neerslagtekort (Hoofdstuk 3)
 - a. Selecteren van stationsgegevens
 - b. Detrenden stationsgegevens naar zichtjaar 2022
 - c. Ruimtelijke interpolatie neerslag- en referentie-gewasverdamping naar vlakdekkende rasters
 - d. Bepalen rasters neerslagtekort
2. Ontwikkeling methodiek om statistiek van het jaarlijks optredend maximaal potentiële neerslagtekort af te leiden voor ieder gewenst gebied (Hoofdstuk 3)
 - a. Bepalen cumulatieve neerslagtekort voor te specificeren ruimtelijk gebied
 - b. Schatting van herhalingstijden voor maximaal jaarlijks cumulatief neerslagtekort
3. Beoordelen van alternatieve droogte-indicatoren (Hoofdstuk 4)

2.2 SELECTIE VAN STATIONSgegevens

Er zijn geen homogene vlakdekkende gegevens van neerslag- en referentie-gewasverdamping beschikbaar in Nederland voor de periode 1910-2022. We maken daarom gebruik van stationsobservaties die wel beschikbaar zijn voor een lange periode. Deze stationsobservaties worden in een vervolgstap geïnterpoleerd naar een vlakdekkend beeld voor Nederland. De selectie van deze stations wordt toegelicht in de volgende paragrafen.

2.2.1 NEERSLAG

Neerslag wordt in Nederland gemeten via de automatische weerstations en het vrijwilligersnetwerk van het KNMI. De beschikbaarheid van neerslagobservaties bij de automatische weerstations is beperkt tot ongeveer de afgelopen 30 jaar, zie bijlage A. De observaties van het vrijwilligers-netwerk zijn voor een langere periode beschikbaar. Echter verschilt deze periode per station van het netwerk, waardoor een correctie nodig is. Het KNMI stelt een gecorrigeerde dataset beschikbaar voor 102 neerslagstations in Nederland¹. Deze set is gebaseerd op de observaties van het vrijwilligersnetwerk en bevat dagelijkse neerslagsommen voor de gehele periode 1910 tot en met 2022. Figuur 2 geeft een overzicht van de ruimtelijke verspreiding van deze stations. We gebruiken de gecorrigeerde dataset van 102 neerslagstations (dagelijkse neerslagsom) in deze studie.

¹ Verkrijgbaar via: <http://climexp.knmi.nl/getdutchstations.cgi?id=someone@somewhere&TYPE=preciphom1910>

2.2.2 REFERENTIEGEWASVERDAMPING

Het KNMI berekent en publiceert sinds 1987 de referentiegewasverdamping volgens Makkink (De Bruijn, 1987). Het KNMI meet momenteel op 25 locaties in Nederland de inkomende globale straling en temperatuur waarmee de referentiegewasverdamping berekend wordt. De observaties van deze locaties zijn echter niet zonder meer te gebruiken in een langjarige analyse, omdat

- a. de referentiegewasverdamping slechts sinds medio 1980 berekend wordt bij deze stations;
- b. het aantal stations toeneemt in de afgelopen +/- 30 jaar, zie bijlage A. De databeschikbaarheid op deze locaties is dus variabel, waardoor een inhomogeen ruimtelijk beeld zou kunnen ontstaan bij de trendanalyse.

In de periode voor 1980 zijn geen observaties beschikbaar om de Makkink referentiegewasverdamping te berekenen. Wel zijn er voor de periode 1910-1980 historische gegevens beschikbaar waar de referentiegewasverdamping is afgeleid op basis van de zonnenschijnduur voor vijf stations in Nederland. Het KNMI heeft voor deze stations een relatie afgeleid tussen de zonnenschijnduur en de inkomende straling. Aan de hand van deze relatie is de referentiegewasverdamping door het KNMI geschat. De afgeleide relatie tussen zonnenschijnduur en straling is door het KNMI gekalibreerd voor perioden waarin zowel zonnenschijnduur als straling gemeten werd tussen 1957 en 1980 (KNMI, 1982). Het KNMI stelt rasters beschikbaar waarin deze historische gegevens geïnterpoleerd zijn.

We combineren de stationsobservaties vanaf 1980 met de historische rasters tussen 1910-1980 om een dataset voor de periode 1910-2022 af te leiden. Daarmee volgen we een vergelijkbare aanpak als HKV (2021). Vanaf 1980 is de dagelijkse referentiegewasverdamping beschikbaar op 19 stations. Ondanks het feit dat er later meer stations beschikbaar komen, kiezen we ervoor om enkel deze 19 stations te gebruiken om een ruimtelijk homogeen beeld te behouden. We vullen de verdampingsgegevens aan voor de periode 1910-2022 door deze 19 locaties uit de historische rasters te knippen. De locatie van deze 19 stations is weergegeven in Figuur 2.

In het vervolg van deze rapportage refereren we naar de referentiegewasverdamping als verdamping.

2.2.3 POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT

We definiëren het dagelijkse potentieel neerslagtekort als het verschil tussen de dagelijkse referentiegewasverdamping op basis van Makkink en de dagelijkse neerslagsommen. Het cumulatieve potentiële neerslagtekort is een belangrijke maat van meteorologische droogte in Nederland, ook wel bekend als doorlopend neerslagtekort. Het cumulatieve potentiële neerslagtekort is door het KNMI gedefinieerd als de periode tussen 1 april en 1 oktober. Het tekort wordt op nul gezet indien deze negatief wordt in de cumulatieve som.

We gebruiken het maximale jaarlijkse cumulatieve neerslagtekort om droogtestatistiek te bepalen. Deze indicator is een maat voor de extremititeit van meteorologische droogte op jaarbasis.

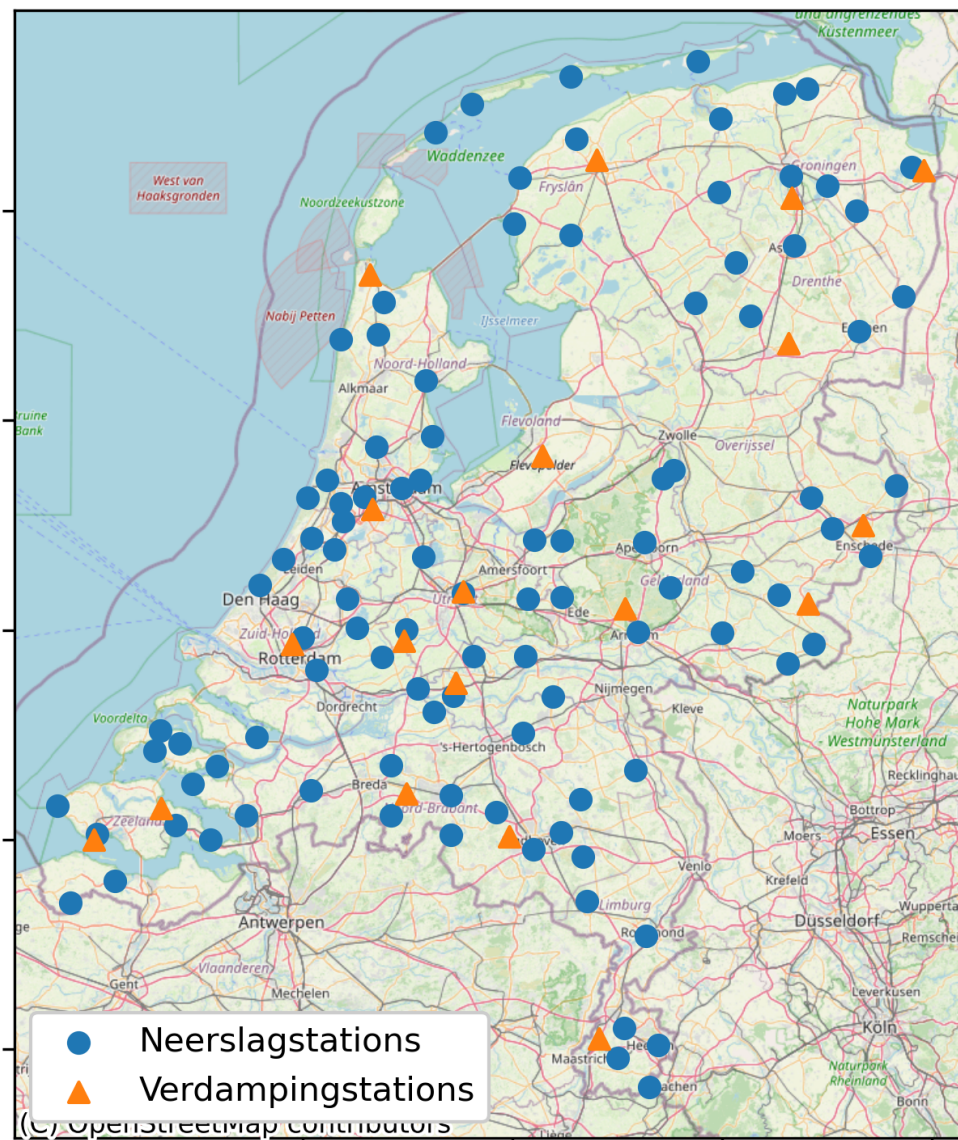
2.2.4 OVERZICHT GEBRUIKTE GEGEVENS

Een overzicht van de gebruikte gegevens is weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1 GEBRUIKTE GEGEVENS

Variabele	Aantal stations	Periode	Link naar gegevens
Dagelijkse neerslagsom	102 stations	1910-nu	https://climexp.knmi.nl/PhomNL.cgi
Referentiegwas-verdamping (op basis van zonnestraling)	5 stations	1910-1980	https://dataplatform.knmi.nl/dataset/ev24h-1
Referentiegwas-verdamping	19 stations	1980-nu	https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens

FIGUUR 2 LOCATIE VAN NEERSLAG- EN REFERENTIEGASVERDAMPINGSTATIONS



2.3 DETRENDING

Om inzicht in de droogtestatistiek van het huidige klimaat te geven is het van belang om over lange neerslag- en verdampingsreeksen te beschikken die representatief zijn voor het huidige klimaat (zichtjaar 2022). We detrenden daarom de neerslag- en verdampingsreeksen per station om de langetermijnveranderingen uit de reeksen te filteren.

De trend wordt geïdentificeerd door het uitvoeren van een LOESS-fit (Cleveland en Devlin, 1988). LOESS staat voor LOcally Estimated Scatterplot Smoothing. LOESS wordt ook door het KNMI ingezet om het representeren van de klimatologische trend, waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat je daarvoor aan het begin en einde van de reeks minder punten hebt (KNMI, 2020). De LOESS-fit kan geïnterpreteerd worden als een *gesmoothe* trendlijn die een langjarige voortschrijdend gemiddelde benadert. De fractie van het totaal aantal jaren dat meegenomen wordt in het langjarig lopend gemiddelde wordt de span genoemd. We maken de keuze voor een relatief grote span. Dat is in overeenstemming met STOWA (2015). We gebruiken een span van 0.8 [-]. Deze span is bepaald op basis van expertoordeel. Kortstondige variabiliteit wordt daardoor niet gefilterd uit de tijdreeks.

De trendanalyses worden per meteorologisch seizoen uitgevoerd. In eerdere studies (STOWA, 2015) zijn er namelijk verschillen in trends geconstateerd tussen de seizoenen voor zowel neerslag als verdamping. Op basis van de LOESS-fit wordt per seizoen van elk jaar per station een trendfactor afgeleid. De trendfactor wordt ruimtelijk *gesmoothed* door ruimtelijke interpolatie² toe te passen, zodat naburige stations een vergelijkbare trendfactor krijgen. Vervolgens wordt die trendfactor toegepast op de neerslag- of verdampingsreeks van het station. De meteorologische seizoenen omvatten de volgende maanden:

- Lente (maart-april-mei)
- Zomer (juni-juli-augustus)
- Herfst (september-oktober-november)
- Winter (december-januari-februari)

2.4 RUIMTELIJKE INTERPOLATIE

De gedetrende stationsgegevens worden vervolgens op dagbasis ruimtelijk geïnterpoleerd om een vlakdekkend beeld voor Nederland te genereren. We gebruiken het neerslagraster dat gebruikt wordt binnen NHI als voorbeeldraster. Dit raster dekt heel Nederland en heeft een ruimtelijke resolutie van 1 km bij 1 km. We passen verschillende interpolatietechnieken toe voor de neerslag- en de verdampingsgegevens.

2.4.1 NEERSLAG: ORDINARY KRIGING

We passen ordinary kriging toe om observaties van neerslagstations te interpoleren tot de vlakdekkende neerslaggegevens. De interpolatie is gebaseerd op gewichten die afhangen van de ruimtelijke correlatie tussen de stationsobservaties. Deze ruimtelijke correlatie wordt beschreven door een variogram. Ordinary kriging is een exacte interpolator. Daardoor is de waarde op de meetpunten exact gelijk aan de gemeten waarde op deze punten.

De stationsobservaties worden eerst vierkantswortel-getransformeerd en na interpolatie terug getransformeerd. Hierdoor wordt voorkomen dat de distributie van de geïnterpoleerde vlakken positief scheef is, wat resulteert in een gemiddelde waarde die hoger is dan de mediane waarde (Schuurmans et al., 2007). Voor elke dag wordt een variogram gefit waarbij de nugget nul is. Het variogrammodel hangt af van de beste fit (exponentieel of sferisch). Ook corrigeren we de geïnterpoleerde vlakken voor stations waar geen neerslag is gevallen op een dag. De aanname is het percentage gridcellen zonder neerslag in het geïnterpoleerde vlak gelijk moet zijn aan het percentage stations waar geen neerslag is gevallen op een dag (Schuurmans et al., 2007).

2 Dit betreft een inexacte ruimtelijke interpolatie, te weten de radiale multikwadratische methode. Dit betekent dat de waarde op de stationslocaties in de interpolatie niet exact de stationswaarde betreft waarop de interpolatie is gebaseerd. Exacte interpolatie zou niet leiden tot een glad vlak.

2.4.2 REFERENTIEGEWASVERDAMPING: THIN PLATE SPLINE

We passen thin plate spline zonder smoothing toe om observaties van referentiegewas-verdampingsstations te interpoleren tot de vlakdekkende gegevens. Immers, KNMI (2011) concludeert dat het gebruik van thin plate spline leidt tot de juiste ruimtelijke patronen en minimale absolute fouten na interpolatie. Thin plate spline zonder smoothing is een exacte interpolatiemethode. Tussen de punten wordt een zo “glad” mogelijk vlak gerealiseerd. Daardoor is deze interpolatiemethodiek uitermate geschikt voor variabelen die geleidelijk veranderen in de ruimte, zoals temperatuur en verdamping, en minder geschikt voor variabelen die zeer variabel zijn in de ruimte, zoals neerslag.

2.5 BEPALEN HERHALINGSTIJDEN

Op basis van de jaarlijkse cumulatief neerslagtekortgegevens bepalen we het jaarlijks maximaal optredend cumulatief neerslagtekort. Deze indicator gebruiken we als maat voor de opgetreden meteorologische droogte.

Vervolgens kunnen we bepalen hoe vaak we dit jaarlijks maximaal optredend cumulatief neerslagtekort kunnen verwachten. De herhalingsstijden van de jaarmaxima zijn bepaald met de plotposities volgens Bernard en Bos-Levenbach (Bernard en Bos-Levenbach, 1953):

$$F_i = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$$

Waarbij F_i staat voor de plotpositie van het jaarmaximum x_i als een kanswaarde, i voor het rangnummer voor de jaarmaxima (gesorteerd van hoog naar laag: het hoogste jaarmaximum heeft rangnummer 1) en N voor het totaal aantal jaren. De inverse van F_i wordt vervolgens gebruikt als schatting van de herhalingsstijd.

3

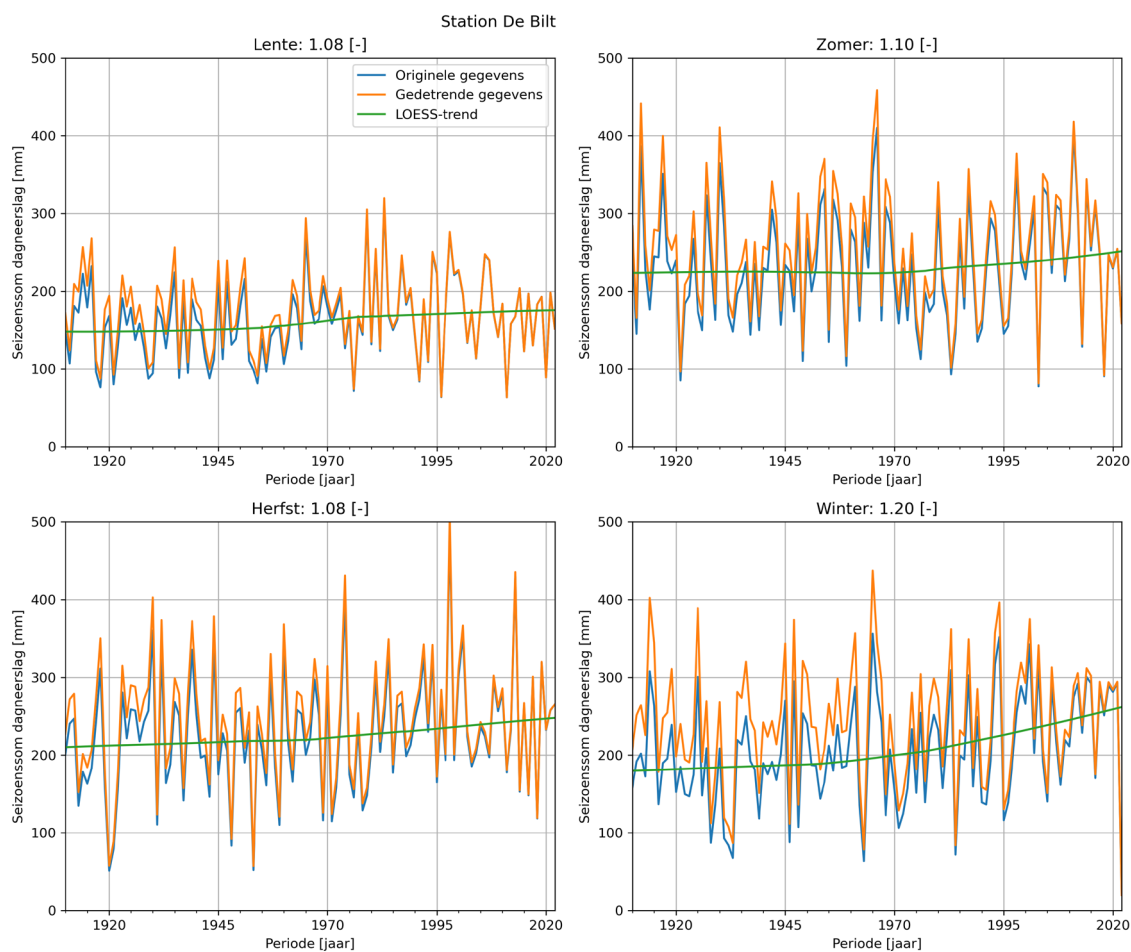
RESULTATEN

3.1 TRENDANALYSE VAN NEERSLAG- EN VERDAMPINGSREEKSEN

De originele en gedetrende neerslagreeksen en de bijbehorende trend van station De Bilt zijn weergegeven in Figuur 3. Voor alle seizoenen is een gemiddeld positieve trend zichtbaar in de periode 1910-2022. Deze trend geldt ook voor alle overige stations. Daarnaast zien we dat voor station De Bilt de gemiddelde trend voor de lente, zomer en herfst vergelijkbaar is. De seizoens-neerslag is in 2022 ongeveer 10% hoger dan in 1910. De seizoensneerslag is in de winter sterker toegenomen met ongeveer 20%. Dit percentage wijkt licht af van de gevonden percentages in STOWA (2015): 20% in de lente, 10% in de zomer, 30% in de herfst, 25% in de winter. Mogelijke oorzaken zijn de langere meetreeksen die belicht zijn, het andere zichtjaar (2022 versus 2014) en de parameters van de LOESS-fit zijn op basis van expertkennis licht aangepast.

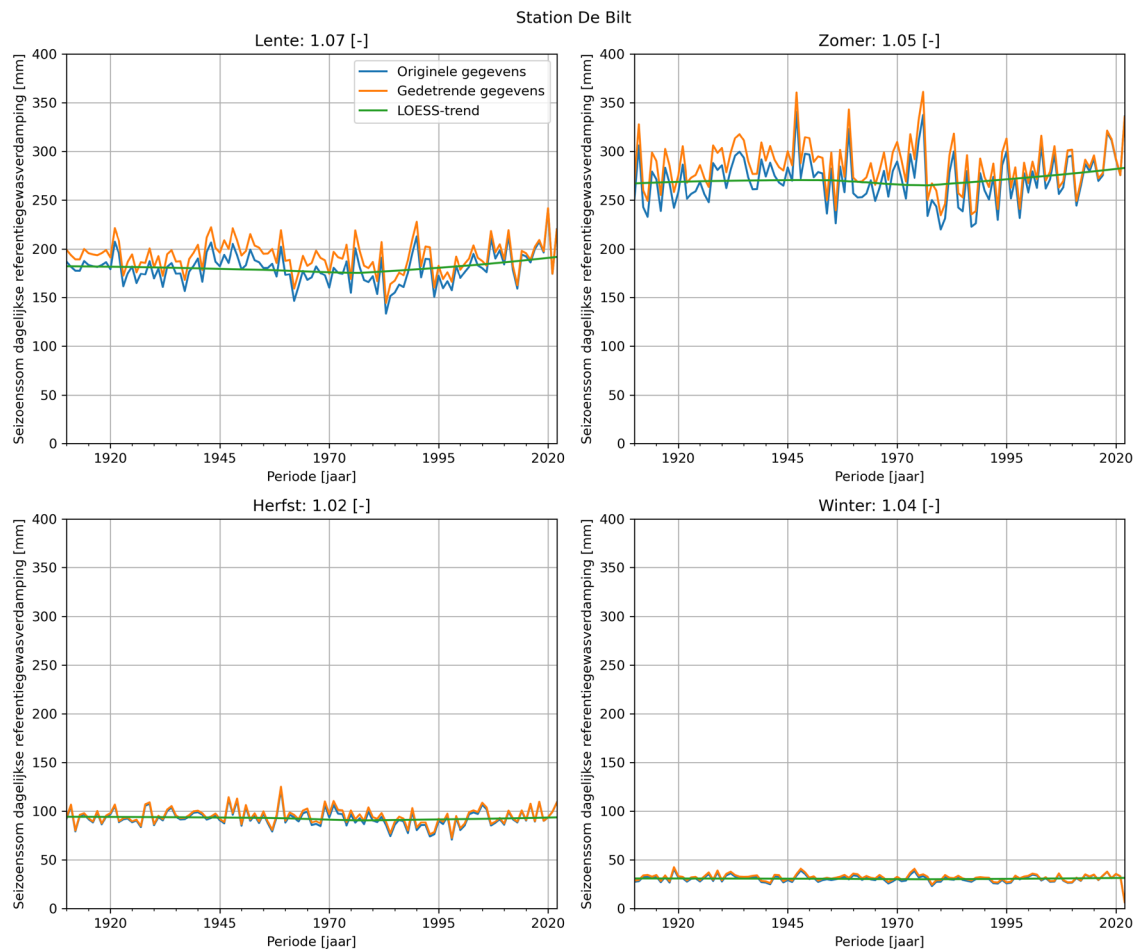
Voor de zomer, herfst en winter heeft de verdampingstrend een dip vanaf 1960 en versnelt vanaf +/- 1980. Dit fenomeen staat bekend als dimming en brightning. Het dimming-effect is ontstaan door een wereldwijde afname in inkomende zonnestraling als gevolg van een verslechtering van de luchtkwaliteit. Deze afname heeft impact gehad op de hydrologische cyclus. Er is in deze periode een afname van de verdamping waargenomen. Daarnaast is de stijging van de temperatuur als gevolg van het broeikaseffect gedempt. Na 1980 zijn wereldwijd strengere milieuregels ingesteld en werd dit proces omgekeerd. Daardoor ontstond het brightning-effect.

FIGUUR 3 TRENDANALYSE OP SEIZOENSSOMMEN VAN DE NEERSLAG PER METEOROLOGISCH SEIZOEN VOOR STATION DE BILT. DE GEMIDDELDE TRENDFACTOR OVER DE GEHELE PERIODE IS IN DE TITEL VAN DE SUBPLOTS WEERGEGEVEN



De originele en gedetrende referentiegrasverdamperreeksen en de bijbehorende trend van station De Bilt zijn weergegeven in Figuur 4. Ook bij de verdamping wordt een positieve langjarige trend waargenomen die met name in de lente, zomer en herfst zichtbaar is. De trend is in de lente en zomer relatief groter dan in de herfst. De verdamping speelt amper een rol in de winterperiode. De trend in het winterseizoen is dus verwaarloosbaar. Ook is het effect van dimming en brightning goed zichtbaar in met name de lente en zomer.

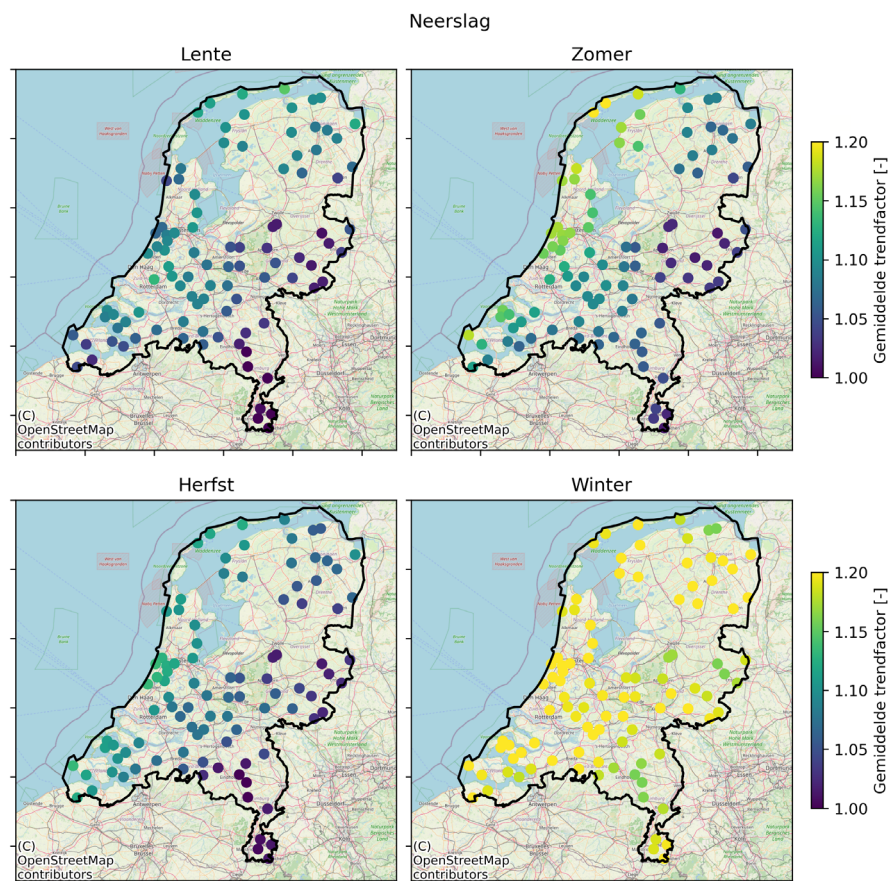
FIGUUR 4 TRENDANALYSE SEIZOENSSOMMEN REFERENTIEGEWASVERDAMPING PER METEOROLOGISCH SEIZOEN VOOR STATION DE BILT. DE GEMIDDELTE TRENDFACTOR OVER DE GEHELE PERIODE IS IN DE TITEL VAN DE SUBPLOTS WEERGEGEVEN



Figuur 5 en Figuur 6 geven de ruimtelijke variatie in de gemiddelde trend tussen 1910 en 2022 per seizoen weer voor neerslag en verdamping. De trend varieert ruimtelijk sterk voor neerslag en per seizoen. Langs de kust is de trend sterker dan in het binnenland, met name in de zomer. Ook is waarneembaar dat de sterke trend in de winter in het gehele land optreedt. De ruimtelijke variatie in de trend van de verdamping laat geen specifieke patronen zien. De trend is relatief laag voor geheel Nederland en verschilt weinig tussen de seizoenen.

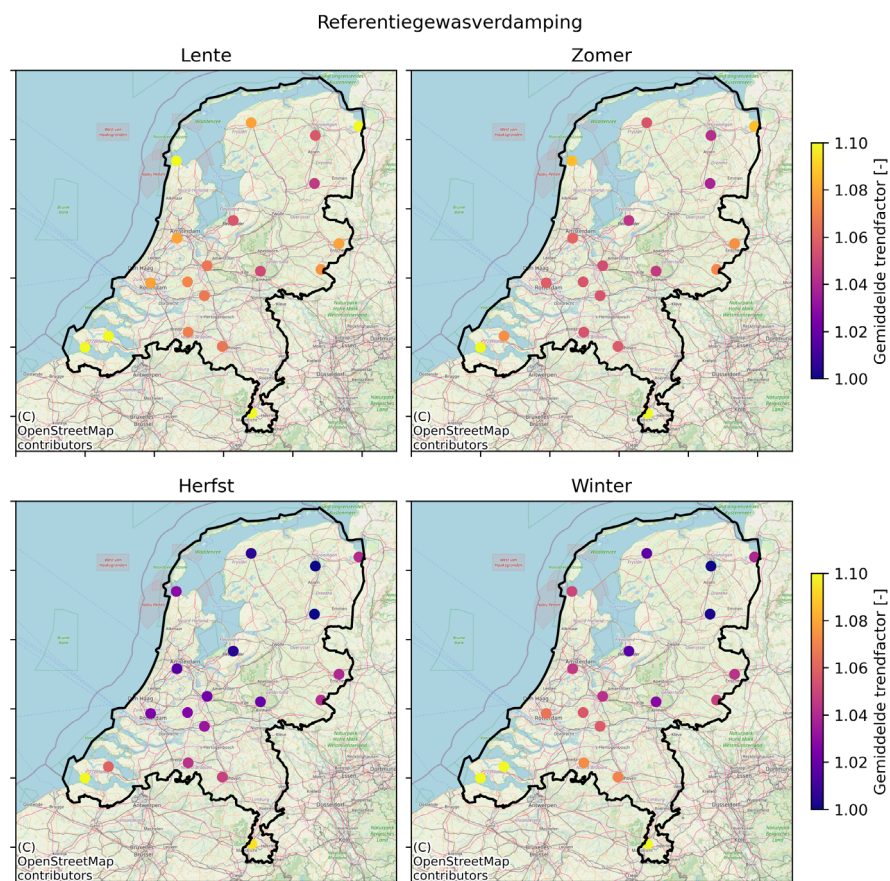
FIGUUR 5

RUIMTELIJKE VARIATIE IN GEMIDDELTE LANGJARIGE TREND PER SEIZOEN VOOR NEERSLAG IN DE PERIODE 1910-2022



FIGUUR 6

RUIMTELIJKE VARIATIE IN GEMIDDELTE LANGJARIGE TREND PER SEIZOEN VOOR VERDAMPING IN DE PERIODE 1910-2022



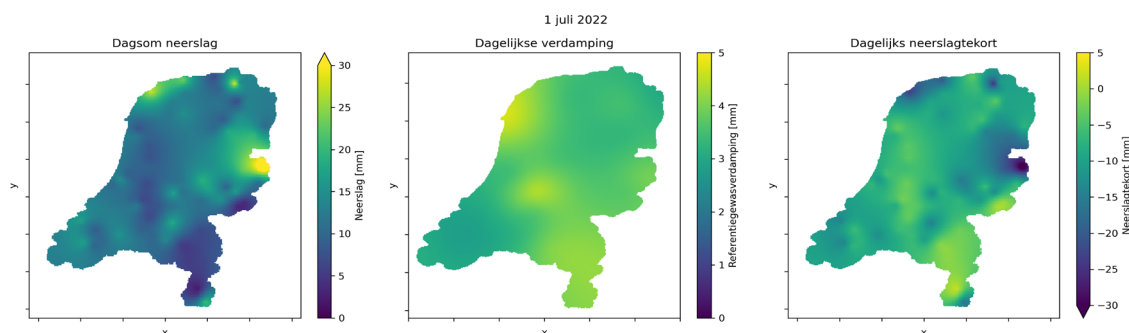
3.2 TRENDCORRECTIE

Voor elk station zijn dus per jaar vier trendfactoren afgeleid voor de periode 1910-2022. De gedetrende stationsreeksen worden op basis van deze tijdsafhankelijke trendfactoren afgeleid. Deze factor is gelijk aan 1 voor het jaar 2022. Dit jaar is immers het zichtjaar van de trendanalyse. Hiermee nemen we de methodiek van STOWA (2015) over, die een vergelijkbare analyse heeft uitgevoerd voor zichtjaar 2014.

3.3 VLAKDEKKENDE NEERSLAG-, VERDAMPING- EN NEERSLAGTEKORTGEGEVENS

De interpolatie van de gegevens van de neerslag- en verdampingsstations leidt tot vlakdekkende rasters voor Nederland. Figuur 7 geeft een voorbeeld van deze rasters voor 1 juli 2022, linker- en middenpaneel. Met de neerslag- en verdampingsrasters is vervolgens het dagelijks neerslagtekort berekend, het rechterpaneel van Figuur 7. Het neerslagtekort is negatief als de dagsom van de neerslag hoger is dan de dagelijkse referentiegewasverdamping

FIGUUR 7 VLAKDEKKENDE GEINTERPOLEERDE RASTERS VOOR DAGELIJKSE NEERSLAGSOM, DAGELIJKSE REFERENTIEGEWASVERDAMPING EN HET DAGELIJKS NEERSLAGTEKORT VOOR 1 JULI 2022



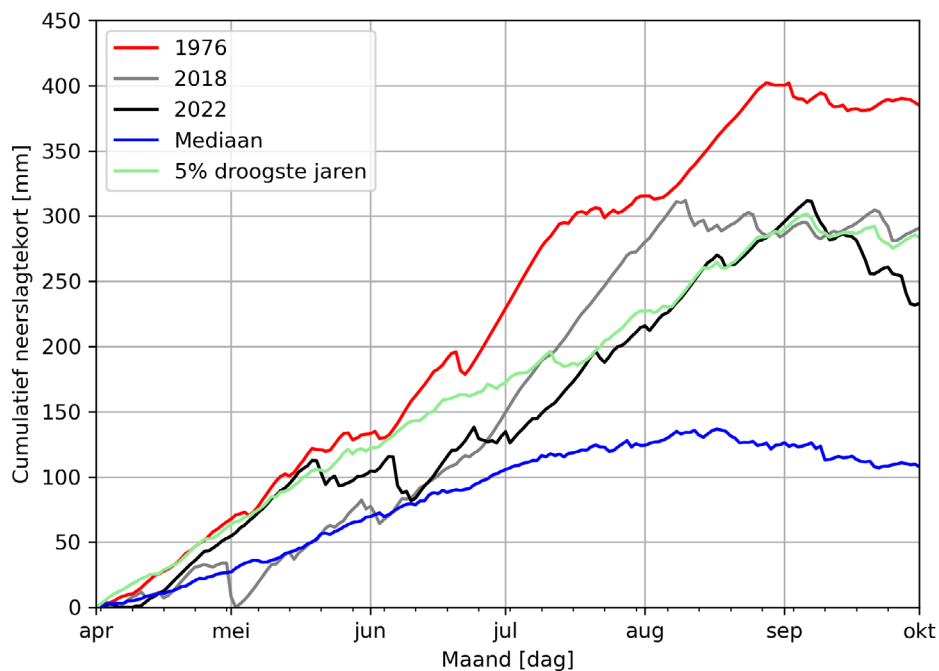
3.4 INZICHT IN CUMULATIEF POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT

Op basis van de dagelijkse neerslagtekortrasters wordt vervolgens het cumulatieve neerslagtekort bepaald. Figuur 8 geeft het jaarlijkse verloop van het cumulatieve neerslagtekort weer voor het vlakdekkende gemiddelde over Nederland voor de periode 1910-2022. Naast de mediaan en het 5e-percentiel droogste jaren is een aantal afzonderlijke droge jaren toegevoegd aan het figuur. De droge jaren 2018 en 2022 hadden een vergelijkbaar maximaal cumulatief neerslagtekort van net boven de 300 mm. Het jaar 1976 is nog steeds het droogste jaar dat is opgetreden in de periode 1910-2022 met een maximaal cumulatief neerslagtekort van meer dan 400 mm.

Ter vergelijking is de figuur toegevoegd zoals gepresenteerd door het KNMI voor het landelijk gemiddelde neerslagtekort over de 13 stations, zie Figuur 9. We merken hierbij op dat deze figuur niet de gehele periode 1910-2022 beslaat. Voor de recente jaren 2018 en 2022 is het beeld vergelijkbaar. Verschillen tussen Figuur 8 en Figuur 9 komen voornamelijk voort uit de detrending die is toegepast. Zo toont het jaar 1976 in Figuur 8 een hoger maximaal cumulatief neerslagtekort dan in Figuur 9. De detrending verklaart ook de verschillen in de 5% droogste jaren en de mediaan. Een tweede verklaring voor het verschil tussen de figuren is de methode waarmee het gemiddelde beeld voor Nederland is bepaald (landsdekkende grids versus 13 stations). We concluderen aan de hand van het verloop van de neerslagtekorten van 2018, 2022 en 1976 dat de P13-stations (Figuur 9) een vergelijkbaar landelijk gemiddeld beeld geven met dat op basis van de vlakdekkende gegevens (Figuur 8).

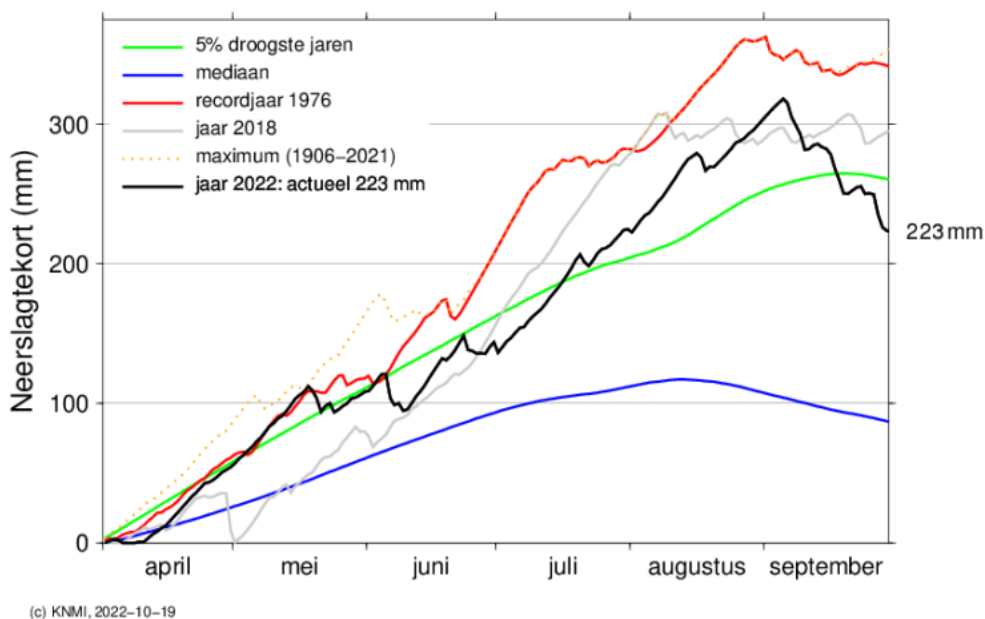
FIGUUR 8

CUMULATIEF POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT VOOR DE PERIODE 1910-2022 (VLAKDEKKEND GEMIDDELTE VOOR NEDERLAND)



FIGUUR 9

CUMULATIEF POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT OP BASIS VAN 13 KNMI-STATIONS



(c) KNMI, 2022-10-19

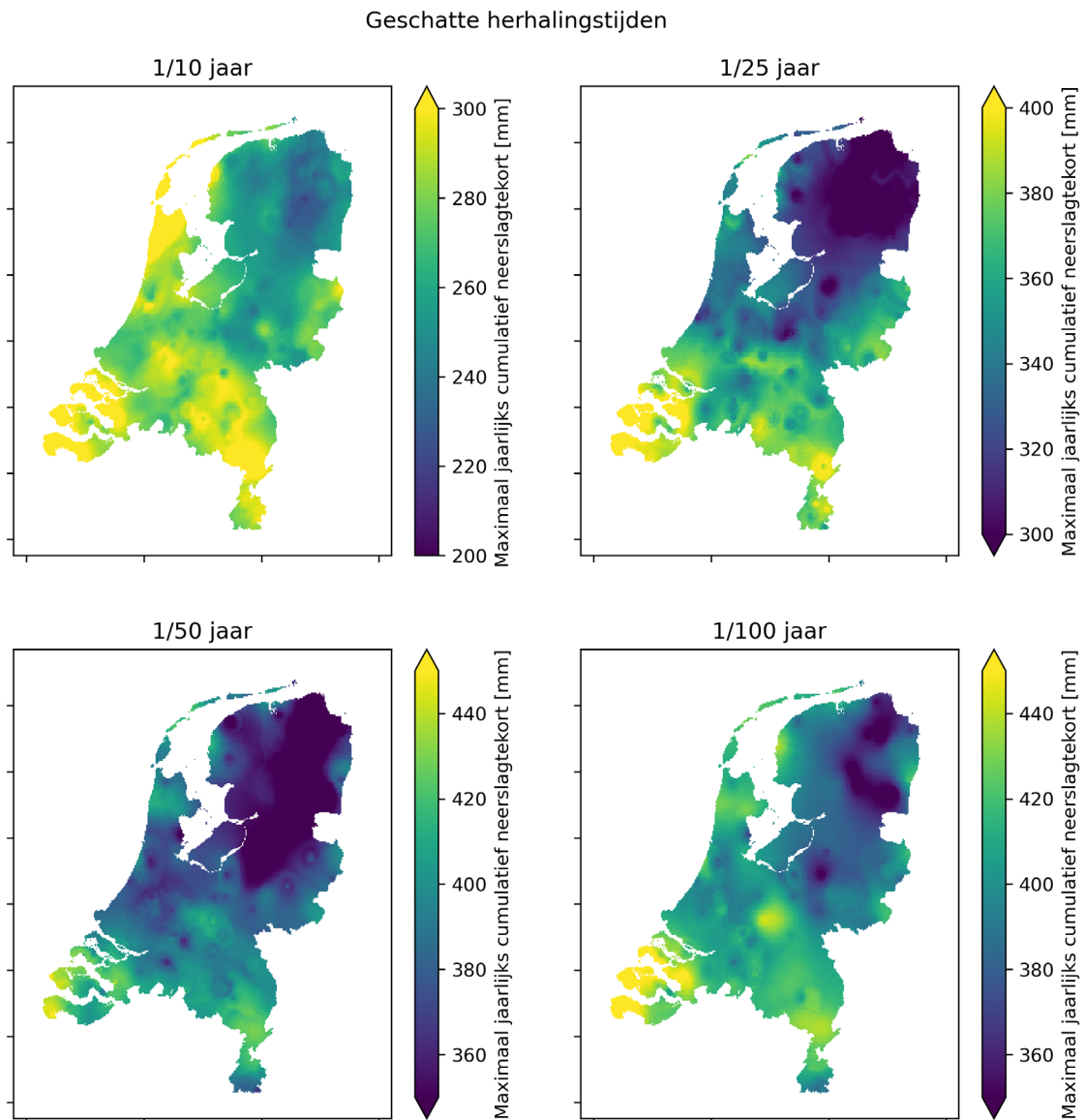
3.5 DROOGTESTATISTIEK: METEOROLOGISCHE DROOGTE

3.5.1 RUIMTELIJK BEELD NEDERLAND

Op basis van de nieuw ontwikkelde vlakdekkende gegevens kan nu inzicht gegeven worden in de ruimtelijke verdeling van droogtestatistiek in Nederland. Figuur 10 geeft voor vier herhalingsstijden het maximaal jaarlijks cumulatief neerslagtekort weer, te weten T10, T25, T50 en T100. Hierbij dient vermeld te worden dat de T100-situatie een grote mate van onzekerheid bevat door de lengte van de reeks, ongeveer 100 jaar. Op basis van de vlakdekkende gegevens en scripts die bij dit project worden opgeleverd, is voor elke gewenste herhalingsstijd de ruimtelijk verdeelde statistiek te bepalen.

FIGUUR 10

HERHALINGSTIJDEN VAN HET MAXIMAAL JAARLIJKS CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT IN NEDERLAND. WE MERKEN HIERBIJ OP DAT TER VERGROTING VAN DE LEESBAARHEID DE KLEURSCHALEN VARIËREN PER PANEEL



De ruimtelijke spreiding toont een aantal aspecten:

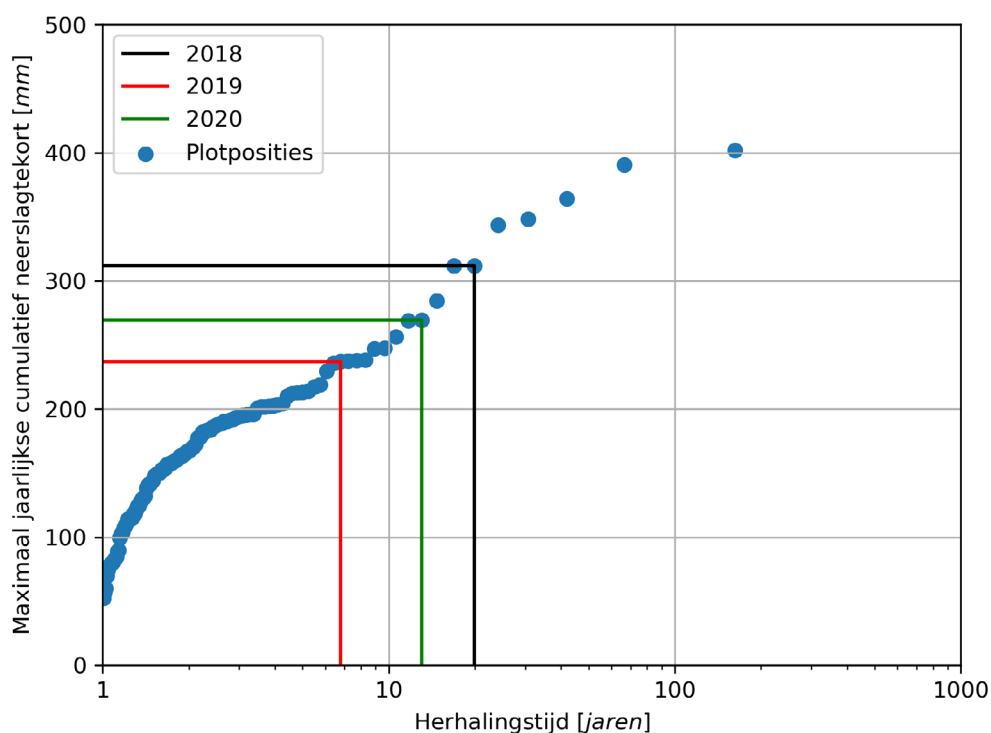
- Het maximaal jaarlijks neerslagtekort varieert sterk over het gehele land en per herhalingstijd. Over het algemeen is het zuiden van het land droger dan het noorden; bij een T25-situatie heeft het zuiden van het land een hoger maximaal jaarlijks neerslagtekort dan het noorden van het land.
- In de T10-situatie is een kusteffect zichtbaar. Dit effect is niet zichtbaar bij hogere herhalingstijden.
- Interessant is het relatief lage neerslagtekort in het noordoosten van het land, met name in de beheergebieden van Waterschappen Noorderzijlvest, Hunze en Aa's en Drents Overijsselse Delta.

3.5.2 GEMIDDELD VOOR NEDERLAND

Voor de periode 1910-2022 zijn vervolgens herhalingstijden geschat en de jaarmaxima uitgezet tegen deze geschatte herhalingstijden, Figuur 11. Dit figuur geeft de droogtestatistiek weer voor het vlakdekkende gemiddelde van Nederland. Ter illustratie zijn de plotposities van de droge jaren 2018, 2019 en 2020 gemarkeerd om een indruk te geven van de bijbehorende herhalingstijden. De droogtestatistiek biedt inzicht in de extremiteit van het jaarlijks maximaal optredend cumulatief neerslagtekort. Zo wordt geschat dat het jaarlijks maximaal optredend cumulatief neerslagtekort van 2018 gemiddeld eens in de 20 jaar optreedt. Met deze informatie is het mogelijk om meteorologische droogte in perspectief te plaatsen. We merken hierbij op dat de betrouwbaarheid afneemt naarmate de herhalingstijd groter wordt. Er zijn immers weinig observaties beschikbaar voor de extremere herhalingstijden.

FIGUUR 11

GESCHATTE HERHALINGSTIJDEN VAN HET MAXIMAAL JAARLIJKS OPTREDEND CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT



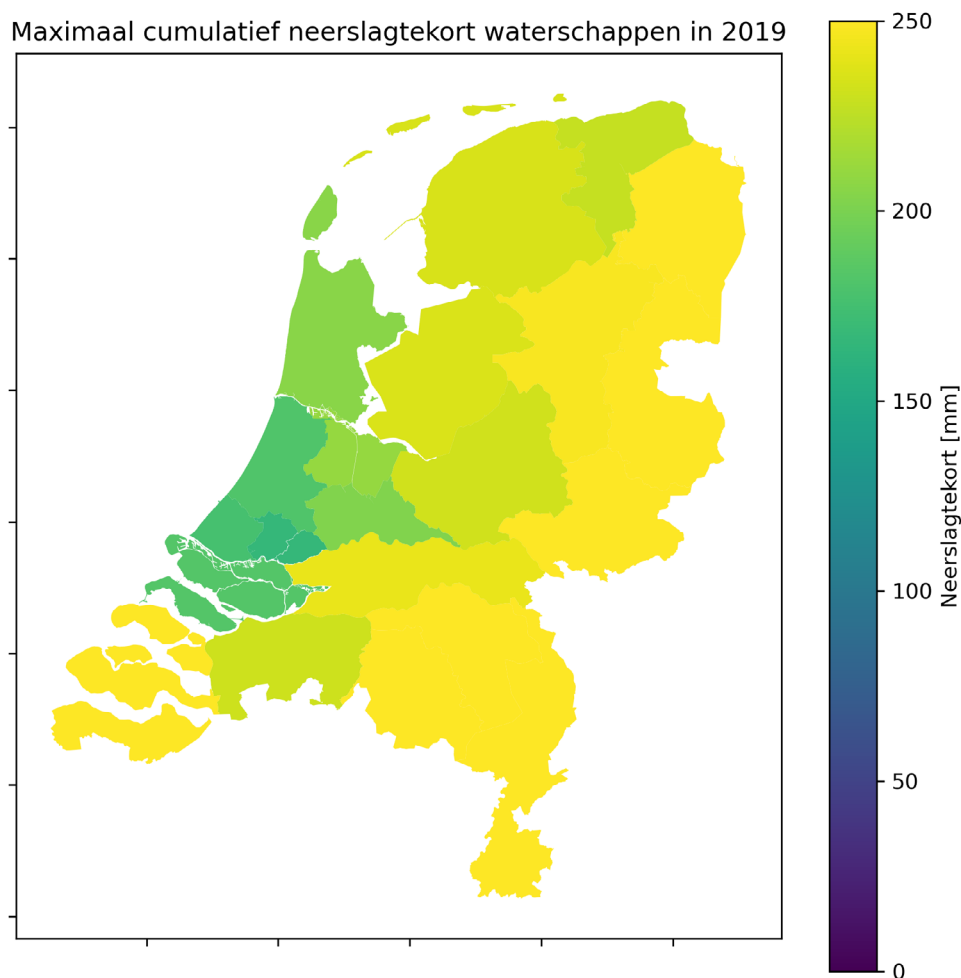
3.5.3 WATERSCHAPPEN

De neerslagtekortrasters zijn beschikbaar op een ruimtelijke resolutie van 1 km bij 1 km. Hierdoor is het mogelijk om op verschillende schaalniveaus de gebiedsgemiddelde droogtestatistiek af te leiden. We leveren die functionaliteit op in de vorm van een Jupyter notebook waarin op basis van de neerslagtekortrasters en geo-informatie, bijvoorbeeld een shapefile, de droogtestatistiek is af te leiden voor ieder gewenst gebied.

Ter illustratie geven we een voorbeeld voor de waterschappen weer. Figuur 12 geeft het maximaal opgetreden cumulatief neerslagtekort in 2019 weer, waarbij dit tekort is gemiddeld per waterschap. Duidelijk wordt dat het droogtebeeld niet vergelijkbaar was in het land. De figuur laat zien dat het neerslagtekort een stuk groter was in het oosten van het land ten opzichte van het westen. Ook in Zeeland was het neerslagtekort relatief hoog.

FIGUUR 12

RUIMTELIJKE VERDELING VAN HET MAXIMAAL OPGETREDEN CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT IN 2019



Vervolgens zijn op waterschapsniveau de herhalingstijden van het maximaal neerslagtekort bepaald. Tabel 2 geeft een overzicht van de geschatte herhalingstijd per waterschap voor een aantal recente droge jaren. Er dient te worden opgemerkt dat de geschatte herhalingstijd meer onzekerheid kent voor de meer extreme droogtes. De herhalingstijd van de droogte varieert sterk per waterschap. Zo is het algemene beeld voor 2018 dat in het gehele land een vrij extreme meteorologische droogte optrad. In 2019 en 2020 varieert dit beeld ruimtelijk meer, zoals reeds geïllustreerd werd door Figuur 12.

TABEL 2 HERHALINGSTIJDEN (TJAREN) VAN HET MAXIMAAL OPGETREDEN CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT IN EEN AANTAL DROGE JAREN

Waterschap	2018	2019	2020
Aa en Maas	T17	T10	T20
Amstel, Gooi en Vecht	T20	T3	T8
Brabantse Delta	T20	T5	T15
Delfland	T17	T2	T6
De Dommel	T17	T9	T20
Fryslân	T24	T7	T10
Hollands Noorderkwartier	T17	T2	T9
Hollandse Delta	T20	T2	T10
Hunze en Aa's	T20	T13	T6
Noorderzijlvest	T20	T10	T5
Rijn en IJssel	T31	T13	T15
Schieland en de Krimpenerwaard	T20	T2	T8
Scheldestromen	T17	T6	T15
De Stichtse Rijnlanden	T20	T3	T11
Limburg	T20	T11	T13
Rivierenland	T20	T8	T17
Zuiderzeeland	T20	T6	T12
Vallei en Veluwe	T24	T6	T15
Vechtstromen	T24	T13	T8
Drents Overijsselse Delta	T20	T9	T11
Gemiddelde over Nederland	T20	T7	T13

4

ALTERNATIEVE DROOGTE-INDICATOREN

4.1 MOTIVATIE

Naast het cumulatief potentieel neerslagtekort kunnen ook andere droogte-indicatoren worden gebruikt. De traditionele berekening van het cumulatieve neerslagtekort tussen 1 april en 1 oktober richt zich primair op de agrarische toepassingen van een meteorologische droogte. Het doel is om inzicht te bieden in hoeverre andere indicatoren, die zich richten op andere aspecten van een meteorologische droogte zoals startmoment, persistentie of variabiliteit, een ander of aanvullend perspectief bieden op droogte. We voeren een verkenning uit met de uitgangspunten van de neerslagtekortbenadering.

We voeren deze analyse uit voor de locatie De Bilt in de vlakdekkende neerslag- en referentie-gewasverdampinggegevens die ontwikkeld zijn in deze studie. De alternatieve droogte-indicatoren zijn geselecteerd in overleg met de begeleidingscommissie van deze studie. De volgende indicatoren worden verkend:

- Cumulatief potentieel neerslagtekort tussen 1 maart en 1 oktober (1 maand eerder);
- Aantal droge dagen per jaar;
- Dag van het jaar waarop maximaal cumulatief neerslagtekort optreedt;
- Maximale lengte droge run (aantal opeenvolgende dagen zonder neerslag);
- Aantal droge runs per jaar.

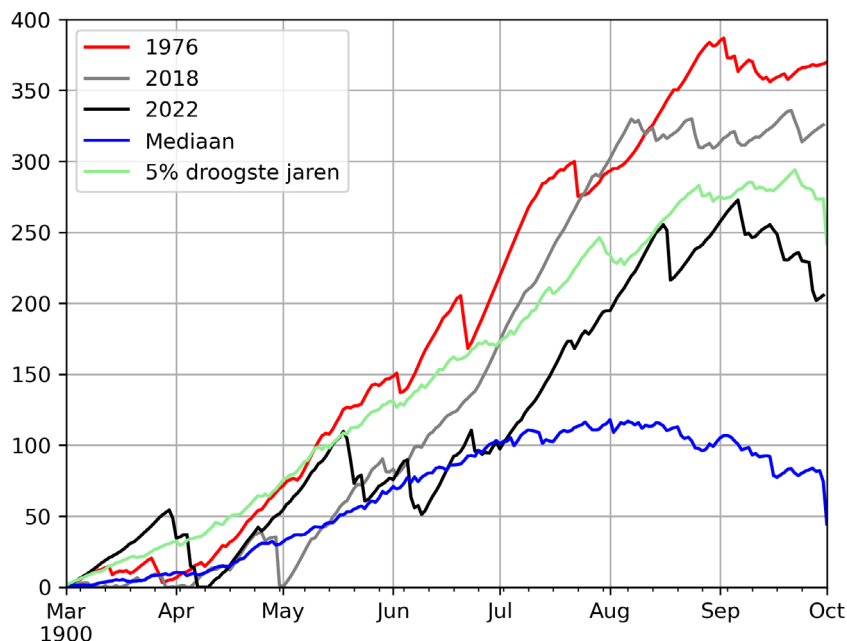
4.2 CUMULATIEF POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT TUSSEN 1 MAART EN 1 OKTOBER

De startdatum voor het cumulatief potentieel neerslagtekort is normaliter 1 april. Deze datum is geselecteerd vanuit landbouwkundig oogpunt. De opslagcapaciteit in de bodem is dan veelal beperkt, afhankelijk van de voorgeschiedenis in verband met mogelijke neerslagoverschotten. Het grasgroeiseizoen start echter rond 15 maart, waarbij dat moment mogelijk in droge jaren en door klimaatverandering verschuift naar eerder in het jaar. We onderzoeken daarom hoe de droogtestatistiek verandert als de berekening van het cumulatief potentieel neerslagtekort jaarlijks gestart wordt op 1 maart.

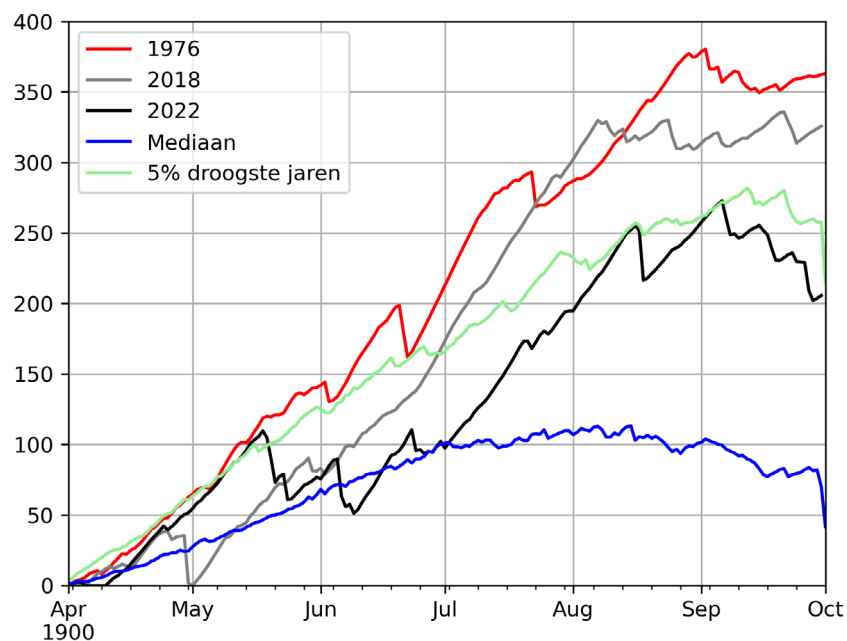
Figuur 13 toont voor locatie De Bilt het verloop van het cumulatief neerslagtekort voor de periode 1910-2022 met maart als startmaand. De verschillen met de traditionele berekening met startmaand april zijn beperkt, zie Figuur 14. Het verschil zit, zoals verwacht, met name in de jaren die in maart al een droge periode kennen, zoals weergegeven wordt door de groene lijn (5% droogste jaren).

Figuur 15 toont de geschatte herhalingstijden van het maximaal cumulatief potentieel neerslagtekort per jaar voor de twee startmaanden. Voor herhalingstijden tot 10 jaar is vrijwel geen verschil zichtbaar in statistiek. Voor herhalingstijden groter dan 10 jaar is er een klein verschil zichtbaar. Hierbij merken we nogmaals op dat extremere herhalingstijden een grotere onzekerheid bevatten dan de minder extreme herhalingstijden voor beide figuren.

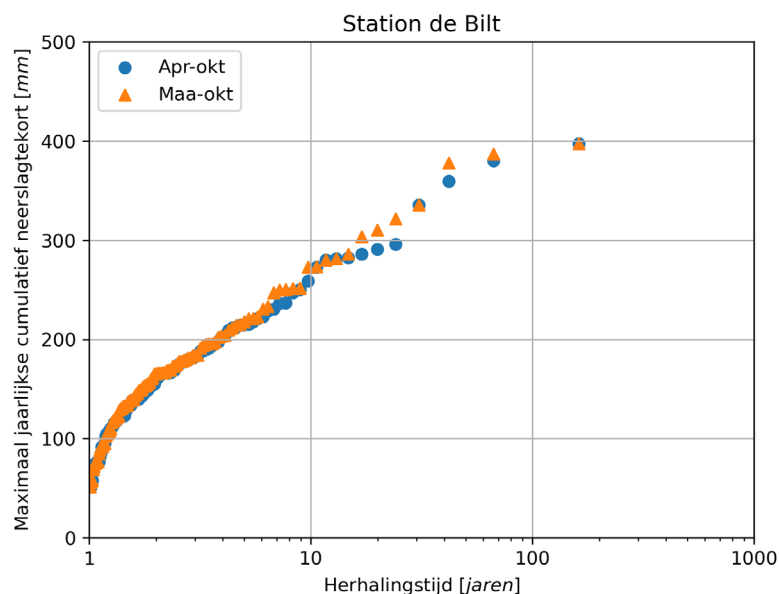
FIGUUR 13 JAARLIJKS VERLOOP VAN HET CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT VOOR DE PERIODE 1910-2022 (STATION DE BILT) MET STARTMAAND MAART IN PLAATS VAN APRIL



FIGUUR 14 JAARLIJKS VERLOOP VAN HET CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT VOOR DE PERIODE 1910-2022 (STATION DE BILT) MET STARTMAAND APRIL



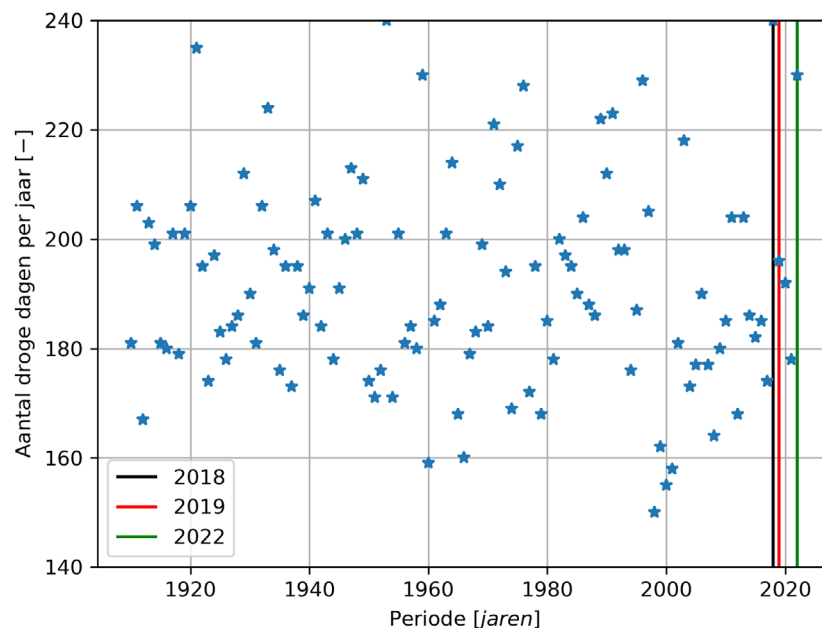
FIGUUR 15 GESCHATTE HERHALINGSTIJDEN VAN HET MAXIMAAL JAARLIJKS OPTREDEND CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT VOOR STATION DE BILT



4.3 AANTAL DROGE DAGEN PER JAAR

Het aantal droge dagen per jaar is een mogelijke maat voor meteorologische droogte. Een droge dag is gedefinieerd als een dag waarop de dagneerslag lager dan 0.3 mm is. Deze grens is gekozen zodat rekening gehouden wordt met de meetonzekerheid van de neerslagstations. We kiezen voor de periode 1 april tot en met 1 oktober als begrenzing in verband met de definitie van het groeiseizoen. Figuur 16 toont het verloop van deze indicator voor station De Bilt over de periode 1910-2022. Er is geen significante trend zichtbaar in de periode 1910-2022. De recente droge jaren 2018, 2019 en 2022 zijn gemarkeerd. Het aantal droge dagen is voor de jaren 2018 en 2022 hoog, maar niet extremer dan historisch opgetreden.

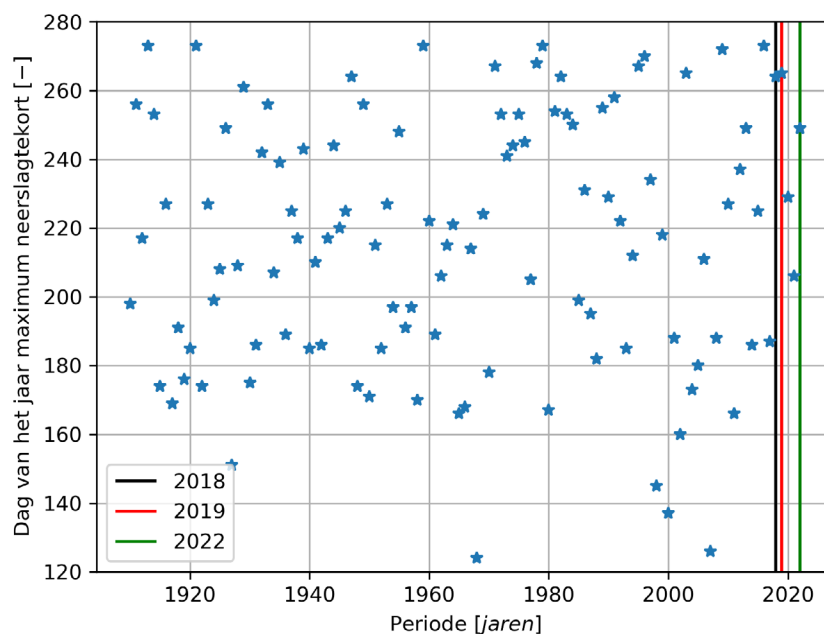
FIGUUR 16 AANTAL DROGE DAGEN PER JAAR VOOR STATION DE BILT OVER DE PERIODE 1910-2022



4.4 DAG VAN HET JAAR WAAROP MAXIMAAL CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT OPTREEDT

De dag van het jaar waarop het maximaal cumulatief neerslagtekort optreedt is een mogelijke additionele indicator om inzicht te krijgen in de gevolgen van klimaatverandering. We kiezen voor de periode 1 april tot en met 1 oktober als begrenzing van het groeiseizoen. Dat betekent dat de maximale waarde van deze indicator is begrensd op dag 273 van het jaar. Figuur 17 toont het verloop van deze indicator voor station De Bilt over de periode 1910-2022. Er is geen significante trend zichtbaar. De recente droge jaren 2018, 2019 en 2022 zijn gemarkeerd.

FIGUUR 17 DAG VAN HET JAAR WAAROP HET MAXIMAAL CUMULATIEF NEERSLAGTEKORT OPTREEDT VOOR STATION DE BILT OVER DE PERIODE 1910-2022

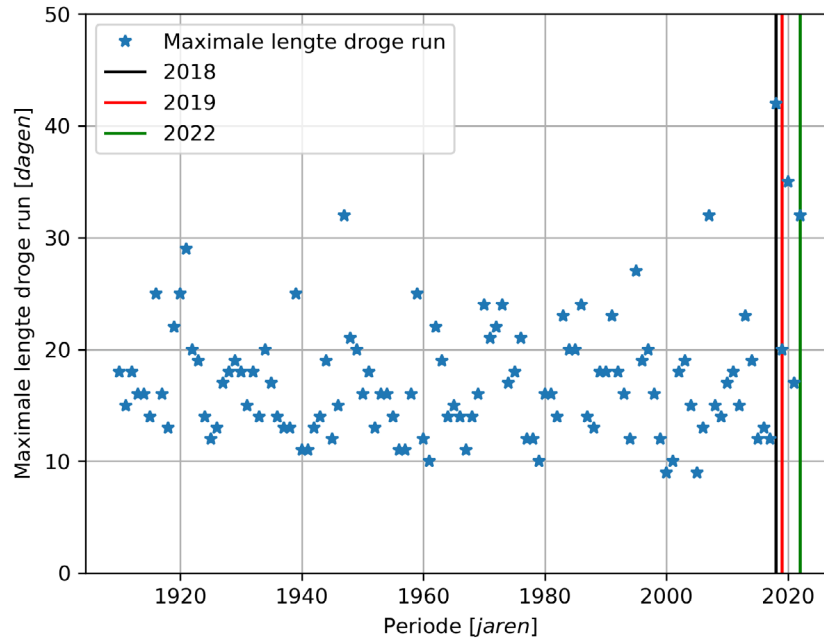


4.5 MAXIMALE LENGTE DROGE RUN PER JAAR

Een aangesloten periode van dagen waarop geen neerslag valt staat ook wel bekend als een droge run. De maximale lengte per jaar van droge runs is een mogelijke maat voor meteorologische droogte. Opnieuw is een droge dag gedefinieerd als een dag waarop de dagneerslag lager is dan 0.3 mm. Figuur 18 toont het verloop van deze indicator voor station De Bilt over de periode 1910-2022. De recente droge jaren 2018, 2019 en 2022 zijn gemarkeerd. De maximale lengte van de droge runs in deze jaren is, zoals verwacht, relatief hoog.

FIGUUR 18

MAXIMALE LENGTE VAN EEN DROGE RUN VOOR STATION DE BILT OVER DE PERIODE 1910-2022

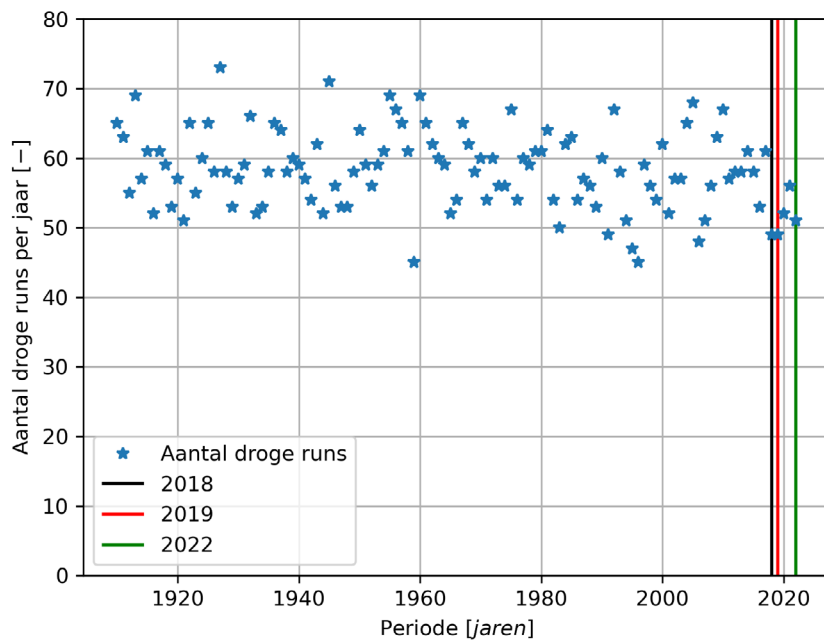


4.6 AANTAL DROGE RUNS

Het totaal aantal droge runs per jaar is een andere mogelijke droogte-indicator. Opnieuw is een droge dag gedefinieerd als een dag waarop de dagneerslag lager is dan 0.3 mm. En een droge run is een aangesloten periode van 2 dagen of meer waarop geen neerslag valt. Het resultaat is gevisualiseerd in Figuur 19. Wat opvalt is dat in recente droge jaren het aantal droge runs laag lijkt, zie als voorbeeld de jaren 2018, 2019 en 2022. Deze jaren waren extreem droog, waardoor een droge run erg lang duurt, maar niet onderbroken wordt door neerslag. Dat verklaart de lage hoeveelheid droge runs in deze jaren.

FIGUUR 19

AANTAL DROGE RUNS PER JAAR



4.7 SYNTHESE

De resultaten tonen aan dat droogte niet eenduidig en simpel te omvatten is, zeker met een blik op de statistieken. De alternatieve droogte-indicatoren kunnen niet direct met de afgeleide droogtestatistiek vergeleken worden. Er zijn geen herhalingstijden bepaald voor het aantal droge dagen per jaar, de maximale lengte van een droge run, het aantal droge runs en de dag van het jaar waarop het maximale cumulatieve neerslagtekort geobserveerd wordt. Wel is per indicator een rangorde gemaakt van de meest extreme jaren. Tabel 3 geeft een overzicht van deze rangorde volgens de alternatieve droogte-indicatoren. De verschillende indicatoren geven een overwegend verschillend beeld. Zo is het jaar 1959 voor vrijwel alle indicatoren het droogst. We merken nogmaals op dat dit de resultaten na detrending zijn.

De indicator *dag van het jaar waarop het maximale cumulatieve neerslagtekort wordt geobserveerd* bevat meerdere jaren die tot rangorde 1 behoren. Het maximale tekort valt voor deze jaren op de laatste dag van september; de bovengrens van deze indicator wordt dus bereikt in deze jaren.

TABEL 3 RANKING METEOROLOGISCHE DROOGTE VOLGENS VERSCHILLENDE DROOGTE-INDICATOREN

Rang-orde	Cum. Neerslag-tekort apr	Cum. Neerslag-tekort maart	Aantal droge dagen per jaar	Dag van jaar maximaal cum. neerslagtekort	Maximale lengte droge run	Totaal aantal dagen droge run per jaar
1	1959	1959	1953	2016, 1959, 1921, 1979, 1913	2018	1927
2	1976	1976	2018	2009	2020	1945
3	1921	1921	1921	1996	2022	1913
4	2018	2018	2022	1978	2007	1955
5	1911	2020	1959	1971	1947	1960

5

CONCLUSIES

Het doel van dit onderzoek was drieledig:

- Het beschikbaar stellen van ruimtelijk verdeelde langetermijngegevens van neerslag, referentiegewasverdamping en potentieel neerslagtekort aan waterbeheerders voor de periode 1910-2022;
- De ontwikkeling van een methodiek om statistiek van het jaarlijks optredend maximaal potentiële neerslagtekort af te leiden.
- Het onderzoeken van alternatieve droogte-indicatoren en de statistiek daarvan.

BESCHIKBAAR STELLEN RUIMTELIJK VERDEELDE GEGEVENS

Door het beschouwen van 112 jaar aan neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens is het nu mogelijk om de meteorologische droogte van bijvoorbeeld 2018-2020 in perspectief te plaatsen. De neerslag- en referentiegewasverdampingsreeksen zijn daarvoor omgezet in vlakdekkende rasters voor Nederland.

Bij deze omzetting is een trendanalyse en -correctie uitgevoerd. Uit deze analyse blijkt dat over de periode 1910-2022 een positieve trend waarneembaar is in de dagneerslag en dagelijkse referentiegewasverdamping. De trend in de dagneerslag laat een ruimtelijk sterk variërend beeld zien. De trend in de dagelijkse referentiegewasverdamping heeft geen ruimtelijk variërend beeld.

RUIMTELIJKE VERDELING STATISTIEK JAARLIJKS OPTREDEND MAXIMAAL POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT

De ruimtelijke verdeling van de statistiek van het maximaal potentieel neerslagtekort varieert sterk over Nederland. Het zuiden van het land kent sterkere neerslagtekorten dan het noordoosten van het land. De ruimtelijke verdeling van de statistiek verschilt voor extreme en minder extreme jaren.

Als ingezoomd wordt op stationsniveau komen de statistieken goed overeen met eerdere analyses van bijvoorbeeld het KNMI en STOWA (2015). Wel heeft de detrending een sterker effect op de meer historische jaren. Binnen de gedetrende reeksen worden de neerslagtekorten in deze jaren hoger.

Deze informatie kunnen waterschap nu meteorologische droogte in perspectief te plaatsen op regionale en lokale ruimtelijke schalen. Het stelt hen in staat om te beoordelen hoe vaak de actuele meteorologische droogte statistisch gezien te verwachten valt voor hun (deel van het) beheergebied.

TOEPASBAARHEID VAN ALTERNATIEVE METEOROLOGISCHE DROOGTE-INDICATOREN

Een analyse van alternatieve droogte-indicatoren toont aan dat meteorologische droogte niet eenduidig te beoordelen is.

Gelet op verschillende droogte-indicatoren worden verschillende jaren als de meest droge geduid. De keuze voor een droogte-indicatoren zal met name moeten afhangen van de toepassing waarvoor de analyse wordt gedaan.

Voor de dag waarop het maximaal neerslagtekort plaatsvindt, de maximale lengte van droge runs, het gemiddeld aantal dagen per droge run, het aantal droge runs zijn geen duidelijke trends te ontdekken. Wel constateren we dat de jaren 2018, 2020 en 2022 historisch gezien lange droge runs hadden en daarmee ook een laag aantal droge runs. Statistiek voor het neerslagtekort beginnend op 1 maart verschilt nauwelijks van deze beginnend op 1 april.

6

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

De trendanalyse toont aan dat de seizoenssommen van zowel neerslag als referentiegewasverdamping een gemiddelde toenemende trend vertonen in de periode 1910-2022. Bij gebruik van de opgeleverde rasters dient rekening te worden gehouden dat deze op basis van gedetrende gegevens zijn gemaakt. De rasters representeren daarmee het huidig klimaat voor zichtjaar 2022, en niet de geobserveerde historische gegevens.

De referentiegewasverdamping wordt berekend op basis van temperatuur en globale straling. Uit STOWA (2015) blijkt dat de langjarige trends van temperatuur en globale straling verschillen. Het direct detrenden van de referentiegewasverdamping zal daarom mogelijk gedempt zijn. In een vervolg verdient het aanbeveling om de trend in temperatuur en globale straling verder uit te lichten.

De statistiek van droogte-extremen in Nederland varieert aanzienlijk. Door de selectie van observaties die gedurende de gehele periode 1910-2022 beschikbaar zijn, is de inschatting van de droogtestatistiek in Flevoland minder zeker. Er zijn voor die periode immers geen neerslagobservaties beschikbaar in Flevoland. In deze studie is niet gekeken in hoeverre de afgeleide statistiek voor Flevoland afwijkt.

Het is aan te bevelen in een vervolg statistiek voor hydrologische droogte af te leiden. Hydrologische droogte richt zich op grondwaterstanden en afvoeren en tekorten daarin. Hydrologische droogte is een gevolg van meteorologische droogte en geeft daarmee inzicht in de effecten van meteorologische droogte.

7

REFERENTIES

- Bernard, A. en Bos-Levenbach, E.C. (1953) The plotting observations on probability paper. *Statistica Neerlandica*. Volume 7, p167-173.
- Cappellari, M., McDermid, R. M., Alatalo, K., Blitz, L., Bois, M., Bournaud, F., . . . Young, L. M. (2013). The ATLAS3D project – XX. Mass – size and mass – σ distributions of early-type galaxies: bulge fraction drives kinematics, mass-to-light ratio, molecular gas fraction and stellar initial mass function. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432(3), 1862-1893. doi:10.1093/mnras/stt64.
- Cleveland, W.S. en Devlin, S.J. (1988) Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*. 83(403), p596-610. doi:10.1080/01621459.1988.10478639
- De Bruijn, H.A.R. (1987) From Penman to Makkink. In Hooghart, J.c. (red). *Evaporation and weather. Verslagen en Mededelingen nr 39. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Den Haag*, p. 5-30.
- HKV (2021) *Vitens statistiek van watervraag en -beschikbaarheid. Eindrapport*. PR4456.10 HKV: Lelystad.
- KNMI (1982) *De relatie tussen de globale straling en de relatieve zonneshijnduur in Nederland*. KNMI WR-82-5. KNMI: De Bilt.
- KNMI (2020) *Standard method for determining a climatological trend*. Technical report TR-389. KNMI: De Bilt.
- KNMI (2011) *Interpolation of Makkink evaporation in the Netherlands*. Technical report TR-327. KNMI: De Bilt.
- Schuurmans, J.M., Bierkens, M.F.P., Pebesma, E.J. en Uijlenhoet, R. (2007) Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar. *Journal of Hydrometeorology* 8, pp 1204-1224. doi:10.1175/2007JHM792.1
- STOWA (2015) *Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015*. STOWA 2015-10. STOWA: Amersfoort.

BIJLAGE A

BESCHIKBAARHEID METINGEN

AUTOMATISCHE WEERSTATIONS KNMI

FIGUUR 20 BESCHIKBAARHEID OBSERVATIES AUTOMATISCHE WEERSTATIONS KNMI (AWS) VOOR DE PERIODE 1910-2022. DE GROENE BALKEN GEVEN DE PERIODEN WEER WAARVOOR OBSERVATIES BESCHIKBAAR ZIJN VOOR HET BETREFFENDE STATION

