

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM



Vlaanderen
is wetenschap

00_162_3-2
WL rapporten

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 3-2
Waterbeschikbaarheid, effect van klimaatverandering

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 3-2 – Waterbeschikbaarheid, effect van klimaatverandering

Crespo del Granado, P.; Maroy, E.; Rocabado, I.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2021
D/2021/3241/131

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Crespo del Granado, P.; Maroy, E.; Rocabado, I.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 3-2 – Waterbeschikbaarheid, effect van klimaatverandering. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_162_3-2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Vlaamse Overheid - Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2021R00_162_3-2
Trefwoorden (3-5):	Waterbeschikbaarheid, waterallocatie, Schelde, modellering		
Kennisdomeinen	Waterbeheer > Waterkwantiteit > Waterbalans - Waterbeschikbaarheid> Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	53	Bijlagen (p.):	1
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Crespo del Granado, P.; Maroy, E.; Rocabado, I.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Nossent, J.	Getekend door: Jiri Nossent (Signature) Getekend op: 2021-07-08 10:31:41 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jiri Nossent</i>
Projectleider:	Pereira, F.	Getekend door: Fernando Pereira (Signature) Getekend op: 2021-07-01 17:16:35 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Fernando Pereira</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2021-07-01 17:44:23 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Het waterallocatiemodel van het Schelde-stroomgebied wordt gebruikt om de beschikbaarheid van water langs de bevaarbare waterlopen te simuleren op basis van het watergebruik van het jaar 2013 voor de periode tussen 2027 en 2073 onder toekomstige klimaat scenario's. Deze simulatie wordt uitgevoerd met een dagelijkse tijdstap om de waterbeschikbaarheid of -tekort van huidige watergebruikers in een klimaatveranderingsscenario te kunnen beoordelen.

De analyse van klimaatverandering in deze studie focust enkel op impact van verandering in neerslag en evapotranspiratie (ET_o) op het watersysteem. Zodoende blijft het watergebruik ongewijzigd ten opzichte van de simulatie van de huidige toestand. De *Climate Perturbation Tool* ontwikkeld door een multidisciplinair team bij de Hydraulica afdeling van de Katholieke Universiteit Leuven en het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) werd gebruikt om toekomstige klimaat scenario's op te stellen. De hydrologische invoer van elk bekken werd dan gemodelleerd met verschillende hydrologische modellen: NAM, PDM en VHM. Zes simulaties werden uitgevoerd om een omvangrijk analyse van klimaatveranderingsscenario's te kunnen uitvoeren: één simulatie van huidige toestand per hydrologisch model en één overeenkomstige simulatie gewijzigd tot een toekomstige scenario. De Python Post Processing tool werd uitgebreid om de verandering van resultante watertekortindicatoren te kunnen berekenen en dit verschil in beeld te kunnen brengen op kaart.

De resultaten tonen aan een patroon van terugkerende knelpunten en bevestigen daardoor de resultaten van Deelopdracht 3-1. De grote meerderheid van geïnventariseerde watergebruikers in Vlaanderen zal onder de veronderstelde klimaatveranderingsscenario's desgelijks geen watertekort ervaren zolang het watergebruik niet drastisch verandert. Het Albertkanaal blijft een knelpunt in het studiegebied voornamelijk voor scheepvaart. Deze hinder zal waarschijnlijk opgevangen zijn door de installatie van pompgemalen bij sluizencomplexen langsheen deze waterweg. Het Kanaal Gent Terneuzen daarentegen toont zorgwekkende stijgingen in watertekortindicatoren en vormt zo een belangrijke knelpunt in de toekomst van het waterbeheer in bevaarbare waterlopen in het Schelde-stroomgebied.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 De opdracht	1
1.2 Doelstellingen	1
2 Terminologie.....	3
3 Methodologie	4
3.1 Inleiding	4
3.2 Climate Perturbation Tool	4
3.3 Hydrologische wateraanbod	5
3.4 Simulatie	5
3.5 Python Post-Processing Tool	5
4 Resultaten.....	7
4.1 Inleiding	7
4.2 Watertekortindicatoren en –grafieken	7
4.2.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)	7
4.2.2 Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)	8
4.2.3 Percentage tijd met watertekort (%).....	8
4.2.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode	8
4.2.5 Frequentie van watertekort langer dan een gegeven aantal dagen (droogte periode)	8
4.2.6 Gemiddelde duur van watertekort perioden (dagen)	8
4.2.7 Maximale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)	8
4.3 Gesimuleerde watertekorten met NAM	9
4.3.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)	9
4.3.2 Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)	11
4.3.3 Percentage tijd met watertekort (%).....	13
4.3.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode	15
4.3.5 Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar).....	17
4.3.6 Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)	18

4.4	Gesimuleerde watertekorten met PDM	20
4.4.1	Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)	20
4.4.2	Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)	22
4.4.3	Percentage tijd met watertekort (%).....	24
4.4.4	Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode	26
4.4.5	Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar).....	28
4.4.6	Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)	29
4.5	Gesimuleerde watertekorten met VHM.....	31
4.5.1	Gemiddelde gesimuleerde watertekort (m^3/s)	31
4.5.2	Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s)	34
4.5.3	Percentage tijd met watertekort (%).....	36
4.5.4	Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode	38
4.5.5	Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar).....	40
4.5.6	Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)	41
5	Samenvatting.....	43
5.1	Samenvatting.....	43
5.2	Globale resultaten	43
5.3	Bekken van de Gentse Kanalen	48
6	Conclusies	51
7	Aanbevelingen	52
8	Referentielijst	53
	Bijlage	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Tien hoogste stijgingen van gemiddelde gesimuleerde watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	44
Tabel 2 – Tien hoogste stijgingen van maximaal gesimuleerd watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden...	44
Tabel 3 – Tien hoogste stijgingen van percentage tijd met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden...	45
Tabel 4 – Tien hoogste stijgingen van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	45
Tabel 5 – Tien hoogste stijgingen van frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen per jaar gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	46
Tabel 6 – Tien hoogste stijgingen van frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen per jaar gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	46
Tabel 7 – Tien hoogste stijgingen van gemiddelde duur van een periode met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	47
Tabel 8 – Tien hoogste stijgingen van maximale duur van een periode met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden	47

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Het studiegebied van het waterallocatiemodel op regionaal niveau	2
Figuur 2 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort, dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	9
Figuur 3 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen	10
Figuur 4 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort, dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	11
Figuur 5 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen	12
Figuur 6 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%) na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	13
Figuur 7 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen	14
Figuur 8 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	15
Figuur 9 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen	16
Figuur 10 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	17
Figuur 11 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	18
Figuur 12 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	19
Figuur 13 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	19
Figuur 14 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	20
Figuur 15 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen.....	21
Figuur 16 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	22
Figuur 17 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen.....	23
Figuur 18 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%) na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	24
Figuur 19 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen.....	25

Figuur 20 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	26
Figuur 21 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen	27
Figuur 22 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	28
Figuur 23 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	29
Figuur 24 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	30
Figuur 25 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	30
Figuur 26 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	32
Figuur 27 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen	33
Figuur 28 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	34
Figuur 29 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen	35
Figuur 30 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%) na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	36
Figuur 31 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen	37
Figuur 32 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar.....	38
Figuur 33 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen.....	39
Figuur 34 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	40
Figuur 35 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	41
Figuur 36 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	42
Figuur 37 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar	42
Figuur 38 – Gemiddeld en maximaal aantal dagen met spuitekort per maand.....	48
Figuur 39 – Histogram van het aantal spuitekort.....	49
Figuur 40 – Aantal dagen per jaar dat er zich een spuitekort voordoet	50

1 Inleiding

1.1 De opdracht

Tussen 2010 en 2012 werd in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium een waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied en aangrenzende kanalen ontwikkeld. De resultaten van deze studie waren voorgesteld aan een brede publiek van deskundigen die direct betrokken zijn bij de problematiek van waterbeschikbaarheid, droogte en watertekorten in Vlaanderen.

De opmerkingen en kritiek die op die workshop zijn geformuleerd, vormen samen met de reeds geformuleerde aanbevelingen de basis van het huidige project "Waterbeschikbaarheid en waterallocatie strategieën in het Schelde-stroomgebied" (bestek WL-12-032). Het project bestaat uit de volgende deelopdrachten:

- Deelopdracht 1: Verbetering van het modelinstrumentarium
- Deelopdracht 2: Ontwikkelen van een methodologie voor het actualiseren van het watergebruik
- Deelopdracht 3: Modellering van de huidige en toekomstige klimaat toestanden op regionaal niveau
- Deelopdracht 4: Analyse van het effect van klimaatverandering
- Deelopdracht 5: Scenario-analyses en bijkomende opdrachten

Het waterallocatiemodel van het Schelde-stroomgebied werd in Deelopdracht 1 uitgebreid om het Maasbekken toe te voegen en zijn voeding naar de Kempense Kanalen te modelleren. Het watergebruik werd geactualiseerd in Deelopdracht 2 en de huidige toestand (1967-2013) gemodelleerd in Deelopdracht 3-1.

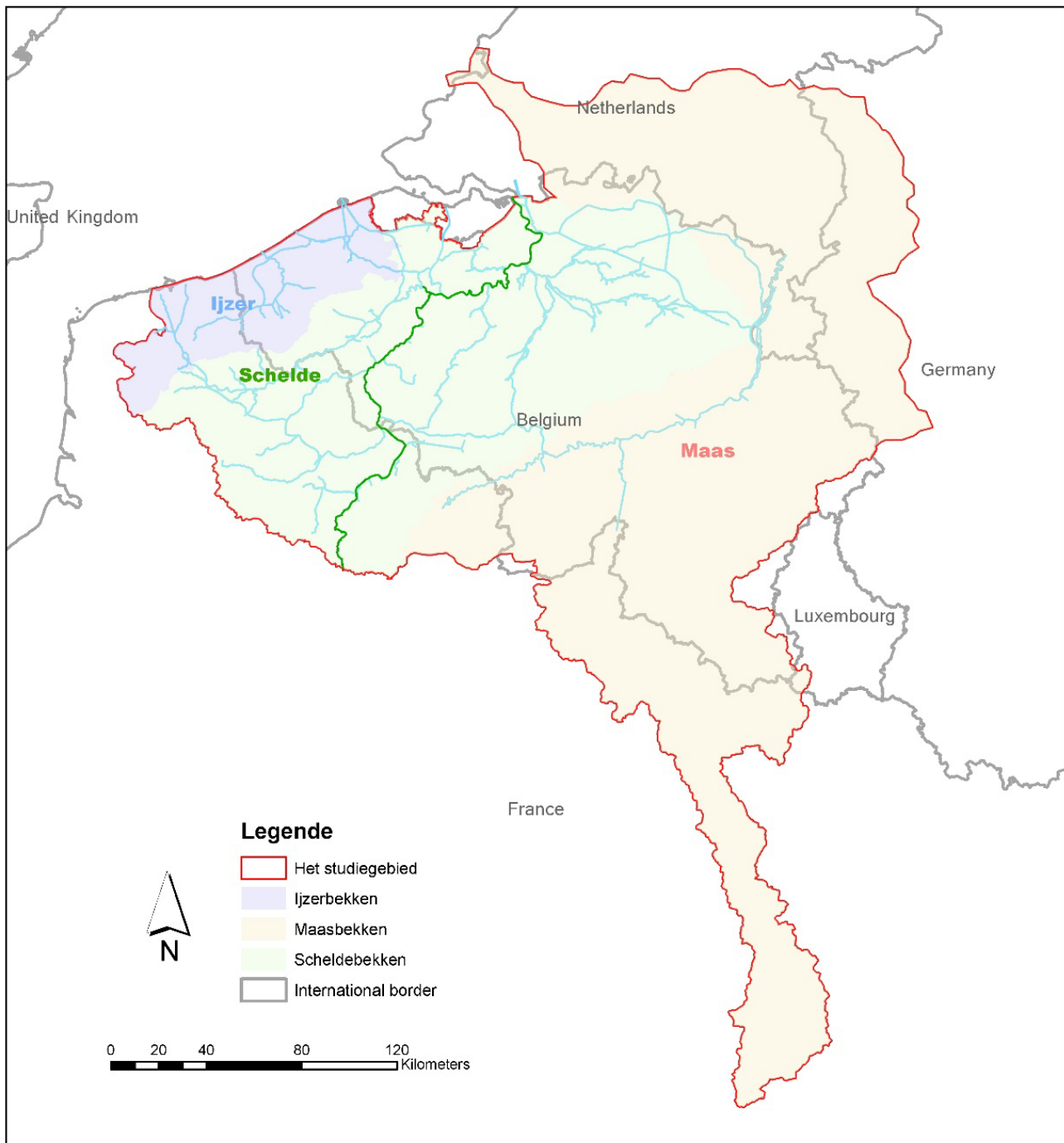
Dit rapport presenteert het tweede deel van Deelopdracht 3. Het waterallocatiemodel wordt gebruikt in de huidige Deelopdracht 3-2 om de waterbeschikbaarheid langs de bevaarbare waterlopen te simuleren op basis van het watergebruik van het jaar 2013 voor de periode tussen 2027 en 2073 in toekomstige klimaatscenario's. De simulaties worden uitgevoerd met een dagelijkse tijdstap om watertekorten van huidige watergebruikers in een klimaatveranderingsscenario te kunnen beoordelen.

Hoofdstuk 2 van dit rapport omschrijft de terminologie gehanteerd in deze studie en Hoofdstuk 3 beschrijft de methodologie om toekomstige klimaatscenario's op te stellen. Vervolgens worden in Hoofdstuk 4 de resultaten van de simulaties van klimaatverandering voorgesteld en vergeleken met de resultaten opgeleverd door de simulatie van de huidige toestand met NAM, PDM en VHM. Hoofdstuk 5 bevat een samenvatting van deze resultaten en de relevante conclusies worden gepresenteerd in Hoofdstuk 6. Aanbevelingen worden geformuleerd in Hoofdstuk 7.

1.2 Doelstellingen

Op basis van de verbetering van het modelinstrumentarium in Deelopdracht 1 en de actualisatie van de watervraaggegevens in Deelopdracht 2 werd een nieuwe versie van het waterbalansmodel op regionaal niveau opgesteld in MIKE HYDRO Basin in Deelopdracht 3-1. Het studiegebied wordt afgebeeld in Figuur 1 hoewel blijft de focus van deze studie binnen het Scheldestroomgebied. Het doel van deze studie is om de impact van klimaatverandering op de huidige watervraag in het Vlaamse bevaarbare waterlopendsysteem te beoordelen en knelpunten te identificeren.

Figuur 1 – Het studiegebied van het waterallocatiemodel op regionaal niveau



2 Terminologie

Tijdens discussies en besprekingen rond waterallocatie en waterverdeling worden vaak termen gebruikt waarvan de betekenis soms subtiel van elkaar kan verschillen. Bij verkeerdelijk gebruik kan dit eventueel misverstanden veroorzaken. Ter verduidelijking en om te vermijden dat er tussen de verschillende termen verwarring zou ontstaan worden een aantal veelgebruikte termen verduidelijkt in de context van deze opdracht:

- **Watergebruik of -vraag**
Het volume dat nodig is om aan de verschillende waterbehoeften te voldoen.
- **Wateronttrekking of -captatie**
Het al dan niet tijdelijk of permanent ontnemen van water uit het hydrologisch regime. In dit geval het oppervlaktewatersysteem.
- **Wateraanbod of -beschikbaarheid**
Het totale watervolume waarover al de watergebruikers kunnen beschikken.
- **Watertekort**
Het verschil tussen wateraanbod en watergebruik wanneer de eerste lager is dan de tweede.
- **Lozen van water**
Het (terug) in het oppervlaktewatersysteem brengen van water.
- **Waterverbruik of netto-watergebruik**
Het watervolume dat onttrokken is en dat niet meer ter beschikking is voor gebruik. Het is het verschil tussen het volume dat een gebruiker onttrekt en weer loost.
- **Waterallocatie**
Het toekennen van water aan de watergebruikers.

Het dient duidelijk onderstreept te worden dat de water gerelateerde onderwerpen in deze studie, tenzij anders vermeld, enkel het oppervlaktewater van de bevaarbare rivieren en kanalen betreffen.

3 Methodologie

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een inzicht over de toegepaste methodologie om klimaatscenario's op te stellen. De hydrologische invoer werd aangepast vooraleer de modellering van de klimaatveranderingsscenario's op regionale schaal werd opgestart. Zodoende werd elk bekken gemodelleerd met verschillende hydrologische modellen: NAM, PDM en VHM. In totaal zijn er zes simulaties uitgevoerd: één simulatie van huidige toestand per hydrologisch model en één overeenkomstige simulatie gewijzigd tot een toekomstige scenario, wat een omvangrijk analyse van klimaatveranderingsscenario's toelaat. Nieuwe hydrologische debiet tijdreeksen die worden ingevoerd in het MIKE HYDRO Basin model werden berekend gebruikmakend van geperturbeerde neerslag en ETo tijdreeksen. Klimaatverandering trends worden toegepast doormiddel van de *Climate Perturbation Tool* van de KU Leuven (Willems, P. 2015). De Python Post Processing tool werd dan uitgebreid om de verandering van resulterende watertekortindicatoren te kunnen berekenen en dit verschil te kunnen tonen op kaart.

3.2 Climate Perturbation Tool

De opgestelde klimaatveranderingsscenario's zijn gebaseerd op wijziging in de hydrologische invoer van alle sub-bekkens binnen het studiegebied. Wijzigingen in het watergebruik worden niet meegenomen in deze analyse. Zodoende, neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen gebruikt in de simulatie van de huidige toestand (1967-2013) worden geperturbeerd om klimaatveranderingstrends toe te passen. De *Climate Perturbation Tool* (Willems, P. 2015), ontwikkeld door een multidisciplinair team bij de Hydraulica afdeling van de Katholieke Universiteit Leuven en het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), werd gebruikt. Neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen van alle sub-bekkens in de 47 jaar periode werden aangepast naar een toekomstige scenario. Deze aanpassing gebeurde gebruikmakend van de laatste versie van de tool (2015), geprogrammeerd in R.

De tool perturbeert de tijdreeksen van neerslag, evapotranspiratie, temperatuur en windsnelheid. In het geval van neerslag, de perturbatie bevat wijzigingen in de natte en droge dagen zowel als frequenties en bewerkingen in de precipitatie-intensiteit. De veranderingen in precipitatie-intensiteit zijn kwantiel gebaseerd om rekening te houden met het feit dat de veranderingen kunnen afhangen van de grootte of terugkeerperiode van een evenement. Tijdreeksen van evapotranspiratie, temperatuur en windsnelheid worden geperturbeerd door maandelijkse gemiddelde wijzigingen toe te passen (Willems, P. 2015).

Voor België wordt de perturbatie voor elk klimaatmodel afzonderlijk berekend. De op maat gemaakte klimaatscenario's voor hydrologische impactanalyse inclusief extremen worden toegepast. Deze zijn gebaseerd op de gecombineerde veranderingen en effecten van neerslag, temperatuur en evapotranspiratie, en bestaan uit de volgende vier scenario's: "hoog winter-scenario", "hoog summer-scenario", "gemiddeld scenario" en "laag scenario" (Ntegeka et al. , 2011). Het "hoog winter-scenario" schetst jaren met natte winters en droge zomers, terwijl het "hoog summer-scenario" het tegenovergestelde.

Het "hoog winter-scenario" werd toegepast in deze studie. Dit komt voornamelijk door het feit dat dit scenario in het algemeen droger is dan het "laag scenario". In feite is de evapotranspiratie (voor het "hoog winter-scenario") het hele jaar door hoger, vooral in de winter, wat de hoeveelheid van geaccumuleerd water sterk beïnvloedt. Bovendien presenteert dit scenario de droogste zomer en daardoor lagere waarden van de percentielen Q_{90} en Q_{50} . Deze parameters bevinden zich over het algemeen in een lager bereik wanneer vergeleken met het "laag scenario".

De wijzigingen op neerslag in de tool waren gebaseerd op tijdreeksen van klimaatmodellen voor een periode van ongeveer 30 jaar. Tijdreeksen langer dan 30 jaar kunnen worden geperturbeerd, maar deze perturbaties zijn niet nauwkeuriger dan voor tijdreeksen van 30 jaar of minder (Willems, P. 2015). De output bestaat uit tijdreeksen van dezelfde lengte als elke tijdreeks die door de tool wordt geperturbeerd.

3.3 Hydrologische wateraanbod

Het hydrologische wateraanbod van alle sub-bekken in het studiegebied wordt berekend vooraleer de simulatie van het bevaarbare waterlopensysteem in MIKE HYDRO Basin kan worden opgestart. Er wordt gebruik gemaakt van drie verschillende hydrologische modellen voor deze berekening (NAM, PDM en VHM). Zodoende zijn er zes input sets van hydrologische wateraanbod nodig. Voor elk hydrologisch model worden één input set van huidige toestand en één van klimaatverandering opgesteld.

De hydrologische modellering met NAM wordt in detail toegelicht in Deelrapport 4-1 en Deelrapport 4-2. Deelrapport 4-3 beschrijft de hydrologische modellering met PDM en Deelrapport 4-4 met VHM.

3.4 Simulatie

De simulatie van de periode 2027-2073 met het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel wordt opgestart vanaf de VBA macro waarin begin- en eindtijd van de simulatie zowel als de dagelijkse tijdstap zijn gespecificeerd.

De simulatie van 2027-2073 (47 jaar) veronderstelt het watergebruik zoals gemodelleerd voor de huidige toestand (1967-2013). 2013 is het referentie jaar van het watergebruik en wordt herhaald in de 47 jaar simulatie in de jaren waarin data over watergebruik ontbreekt. In de simulatie van klimaatverandering scenario's wordt aldus watergebruik van het jaar 2013 gekoppeld aan het jaar 2073 en dat van 1967 aan het jaar 2027. Het watergebruik gedurende de 47 jaar simulatie van klimaatveranderingsscenario's wordt daardoor niet gewijzigd ten opzichte van de modellering van huidige toestand.

Zodoende werd enkel het hydrologisch wateraanbod in het model gewijzigd. Het hydrologisch wateraanbod van het MIKE HYDRO Basin model simulatie voor klimaatverandering gebruikt geperturbeerde (zie vorige paragraaf §3.3) neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen van de periode 1967 tot 2013.

Aannames onder de allocatieregels in de modellering van huidige toestand blijven geldig in de modellering van klimaatverandering. Zo zijn onttrekkingen van een gebruiker stopgezet wanneer het peil in een pand meer dan 1 meter zakt. Voor de scheepvaart is dat 0,3 meter. Met de uitzondering van scheepvaart langs het Kanaal Gent-Terneuzen, is er geen gefaseerde afbouw van de onttrekking bij een dalend peil. Het is met andere woorden alles of niets.

3.5 Python Post-Processing Tool

De ingebouwde resultatenkijker van MIKE HYDRO Basin in Mike Zero is beperkt wanneer veel data wordt geproduceerd. De gebruiker moet een modelobject kiezen (*Water User, Reservoir, River Node of Branch*) vanuit een ongeorganiseerde lijst met alle objecten in het model zonder een zoekfunctie om dan de tijdreeks van een bepaalde variabele te kunnen aanvragen. Door de grootte van het model, het aantal objecten en het gebrek aan de visualisatie van de resultaten op kaart werd er noodzakelijk om een post processing-tool te ontwikkelen.

Het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel op regionaal niveau produceert een *dfs0*-bestand met alle resultaten van de simulatie voor de 47 periode. Het wordt aldus gebruik gemaakt van dezelfde Python Post-Processing tool als dat van de modellering van de huidige toestand. In eerste instantie wordt het resultaten *dfs0*-bestand omgezet naar tekst, die op zijn beurt wordt omgezet naar een .csv tabel wat leesbaar is met

bijvoorbeeld MS Excel. Alle analyses maken gebruik van deze tabel. Niettemin zijn er meerdere tabellen nodig om kaarten te kunnen opstellen. Er is onder andere een tabel nodig met de coördinaten-gegevens van alle watergebruikers, de sector waartoe ze behoren en het bekken waar ze zich bevinden. Toepassingen van de Python Post-Processing tool, zoals beschreven in het rapport van Deelopdracht 3-1, worden hieronder opgelijst:

- Analyse van het watergebruik per pand/sector met opschalen tot bekkenniveau en het studiegebied
- Omzetting van dagelijks tot wekelijks, maandelijks en jaarlijkse reeksen
- Identificatie van afzonderlijke watertekortperiodes doormiddel van: Voortschrijdend gemiddelde (MA), Tussen–evenementen tijd (IT) of Tussen–evenementen tijd en volume criteria (IC)
- Plot van debiet en watervraag per pand of knooppunt in het model

De Python Post-Processing tool werd nog uitgebreid om resultaten uit de modellering van de huidige toestand met verschillend hydrologisch wateraanbod (NAM, PDM en VHM) te kunnen vergelijken. Op deze manier worden huidige toestand resultaten van elk hydrologisch model vergeleken met een overeenkomstig klimaatveranderingsscenario. Kaarten met verschillen tussen de resultante watertekortindicatoren van de huidige toestand en het overeenkomstig klimaatveranderingsscenario worden alsook geproduceerd.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat de bevindingen geleverd door watertekortindicatoren van huidige toestand en toekomstige klimaatveranderingsscenario's met drie verschillende hydrologische modellen. De resultaten worden geproduceerd gebruikmakend van MIKE HYDRO Basin en een zelf ontwikkelde Post-Processing tool. Watertekortindicatoren worden berekend voor alle watergebruikers in het studiegebied en op kaart aangetoond. Dit laat de lezer knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied makkelijk identificeren.

Watertekortindicatoren en de resulterende grafieken geproduceerd door de Post-Processing tool worden in de volgende paragraaf toegelicht. Vervolgens in dit hoofdstuk worden de resultaten verdeeld in drie stukken volgens het gebruikte hydrologisch model: NAM, PDM en VHM. Vergelijkingskaarten tonen het verschil tussen de waarden van watertekortindicatoren in de simulatie van de huidige toestand en de simulatie met geperturbeerd hydrologisch wateraanbod.

4.2 Watertekortindicatoren en –grafieken

Een watertekort wordt vastgesteld als het wateraanbod kleiner is dan de watervraag van een watergebruiker. Het watertekort wordt dan het verschil tussen wateraanbod en watervraag. De Post-Processing tool in Python laat verschillende watertekortindicatoren berekenen op basis van de resulterend *dfs0* tabel van MIKE HYDRO Basin. Watertekortindicatoren worden op kaart gebracht om de analyse vanuit een beheer perspectief te bevorderen. Deze worden berekend voor alle watergebruikers zowel als per NACE-BEL sector en per bekken. De watertekortindicatoren kunnen worden geaggregeerd van dagelijks tot wekelijks, maandelijks of jaarlijks.

Watertekortindicatoren worden op kaart getoond op de locatie van het watergebruikersknooppunt of per bekken. Watergebruikers krijgen een kleur in het spectrum van rood tot groen waar rood duidt een hoge waarde aan en groen nul. Om watertekortindicatoren per bekken te tonen worden bekkens gedefinieerd door een polygoon *.shp* bestand die overeenkomstig is met deelbekkens in het studiegebied. Zodoende bekkens op kaart krijgen een kleur in het spectrum van rood tot groen waar rood duidt een hoge waarde aan en groen nul.

De Python Post-Processing tool laat de gebruiker toe om onder andere de volgende watertekortindicatoren te berekenen en tonen op kaart:

4.2.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)

Watertekorten gesimuleerd in de periode van 47 jaar worden uitgehaald met de Post Processing tool vanuit de resultaten *dfs0* tabel van MIKE HYDRO Basin. De Post Processing tool berekent de gemiddelde van het watertekort uit alle tijdstappen in de simulatie per watergebruiker. Nul waarden worden in rekening mee gehouden.

4.2.2 Maximaal gesimuleerde watertekort (m³/s)

Watertekorten gesimuleerd in de periode van 47 jaar worden uitgehaald met de Post Processing tool vanuit de resultaten *dfs0* tabel van MIKE HYDRO Basin. Wanneer een kaart van deze watertekortindicator voor watergebruikers wordt gevraagd aan de Post Processing tool, neemt de tool het maximaal watertekort van elke watergebruiker op en wijst dit toe aan de overeenkomstig knooppunt op kaart.

4.2.3 Percentage tijd met watertekort (%)

De Post Processing tool neemt het totaal aantal tijdstappen met een watertekort en deelt het door het totaal aantal tijdstappen. Dit is het percentage tijd met watertekort en wordt op kaart getoond per watergebruiker.

$$P_T = \frac{n}{N} * 100$$

Waar: P_T : Percentage tijd met watertekort
 n : Aantal tijdstappen (dagen) met watertekort
 N : Totaal aantal tijdstappen (dagen) in de simulatieperiode

4.2.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode

De Post Processing tool berekent het aantal periodes met watertekort en produceert een kaart voor knooppunten van watergebruikers. Watertekortgebeurtenissen worden geteld op basis van toegepaste pooling om afzonderlijke watertekortperiodes te identificeren.

4.2.5 Frequentie van watertekort langer dan een gegeven aantal dagen (droogte periode)

De Post Processing tool haalt het aantal watertekort gebeurtenissen op basis van de toegepaste pooling om afzonderlijke watertekortperiodes te identificeren van 1 tot x dagen na elkaar in de simulatieperiode. Daarna worden alle watertekortevenementen langer dan een bepaald aantal dagen geteld (x = 3 of 7). Het aantal getelde watertekort gebeurtenissen zijn dan gedeeld door het aantal jaren in de simulatie.

4.2.6 Gemiddelde duur van watertekort perioden (dagen)

De Post Processing tool berekent het gemiddeld aantal dagen na elkaar met een watertekort en produceert een kaart voor watergebruikers. De resultaten hiervan zijn sterk afhankelijk van de pooling methode (of het gebrek aan) om afzonderlijke watertekort gebeurtenissen te berekenen. De pooling methode wordt omschreven in “Deelrapport 3-1 – Modellering van de waterbeschikbaarheid onder het huidige klimaat” (Crespo del Granado, 2021).

4.2.7 Maximale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)

De Post Processing tool berekent het maximaal aantal dagen na elkaar met een watertekort hoger dan nul en maakt een kaart voor knooppunten van watergebruikers. De resultaten hiervan zijn sterk afhankelijk van de pooling methode (of het gebrek ervan) om afzonderlijke watertekort gebeurtenissen te berekenen.

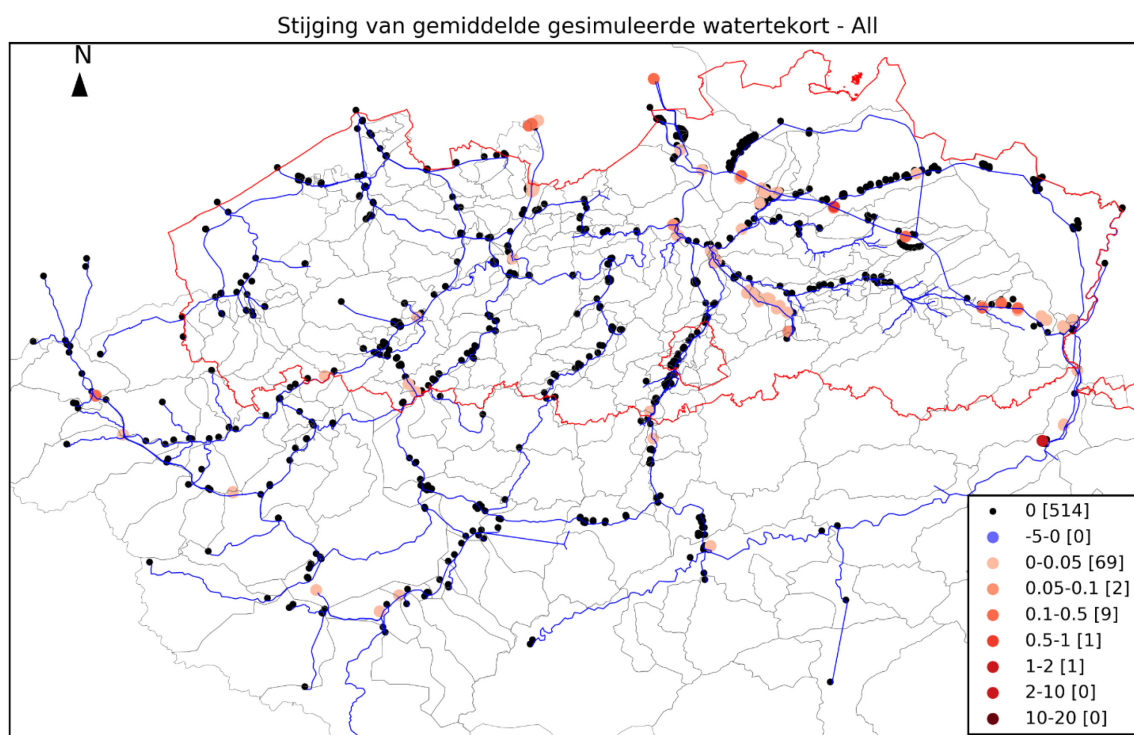
4.3 Gesimuleerde watertekorten met NAM

4.3.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)

De gemiddelde gesimuleerde watertekort geeft een behoorlijk idee van hoe groot en ernstig watertekorten zijn voor alle gemodelleerde watergebruikers in het studiegebied. De kaart met deze watertekortindicator vormt het meest overzichtelijk eindresultaat van deze studie. Figuur 2 hieronder toont de stijging in gemiddelde dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in NAM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

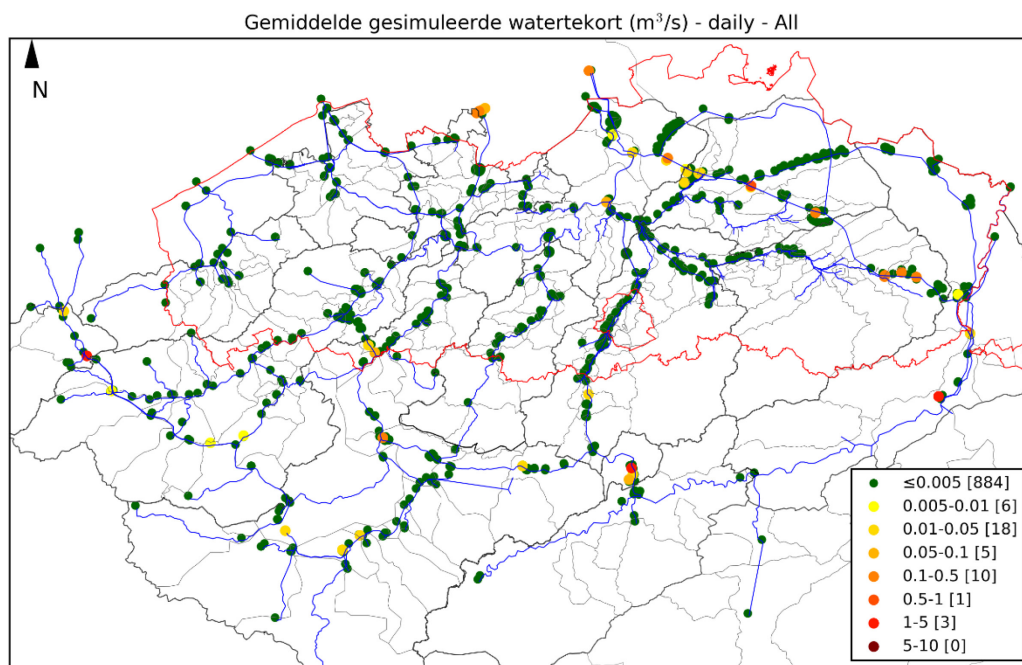
Eén opmerkelijke stijging wordt opgenomen bij de voeding van het Albertkanaal uit de Maas te Monsin. De watervraag van deze watergebruiker in het model wordt in elke tijdstap berekend op basis van de watervraag en waterpeilen langs alle panden in het Albertkanaal. Een gemiddelde stijging van $1,09 \text{ m}^3/\text{s}$ in het watertekort voor deze watergebruiker toont dat het Albertkanaal blijft een vooraanstaande knelpunt in het watersysteem. Stijgingen van watertekorten bij watergebruikers in het bereik van $0,1$ tot $1 \text{ m}^3/\text{s}$ langsheen het Albertkanaal bevestigen deze uitkomst. Watergebruikers van het Kanaal Gent Terneuzen tonen ook een stijging van deze watertekortindicator. De watergebruiker verantwoordelijk voor de zoutverdringing verplichtingen van het verdrag tussen België en Nederland simuleert $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ meer gemiddeld gesimuleerde watertekort ten opzichte van de huidige toestand en de sluis Terneuzen West $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ meer.

Figuur 6 toont een vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met NAM. Overall wordt een stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een gemiddeld gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ (groen) in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 884 naar 877, terwijl het aantal watergebruikers met gemiddelde gesimuleerde watertekorten hoger dan $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 19 naar 28.

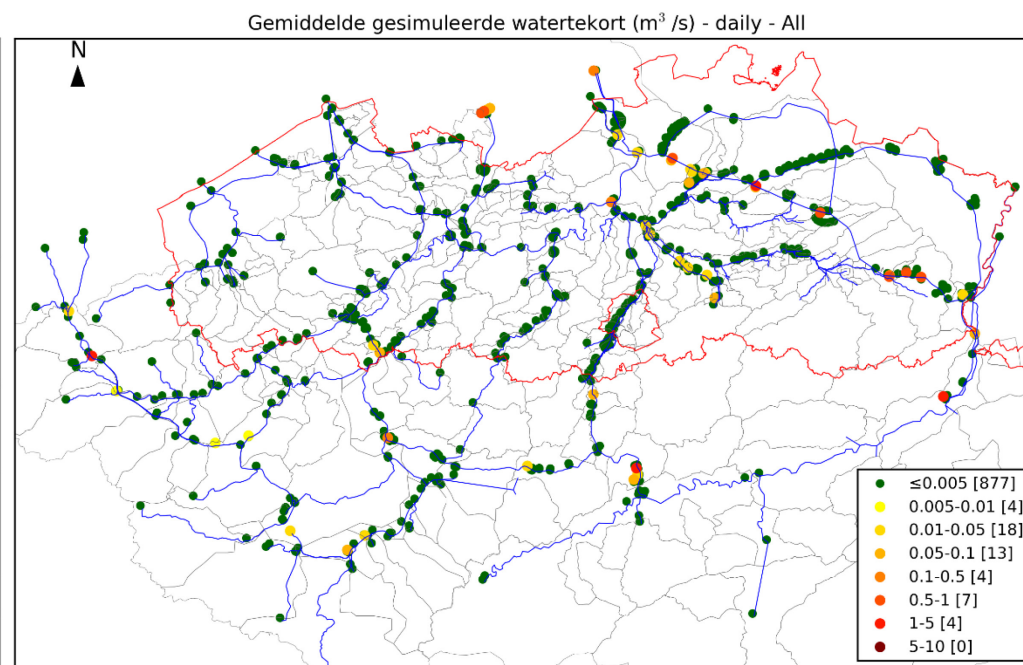


Figuur 2 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort, dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

Huidige toestand



Klimaatverandering



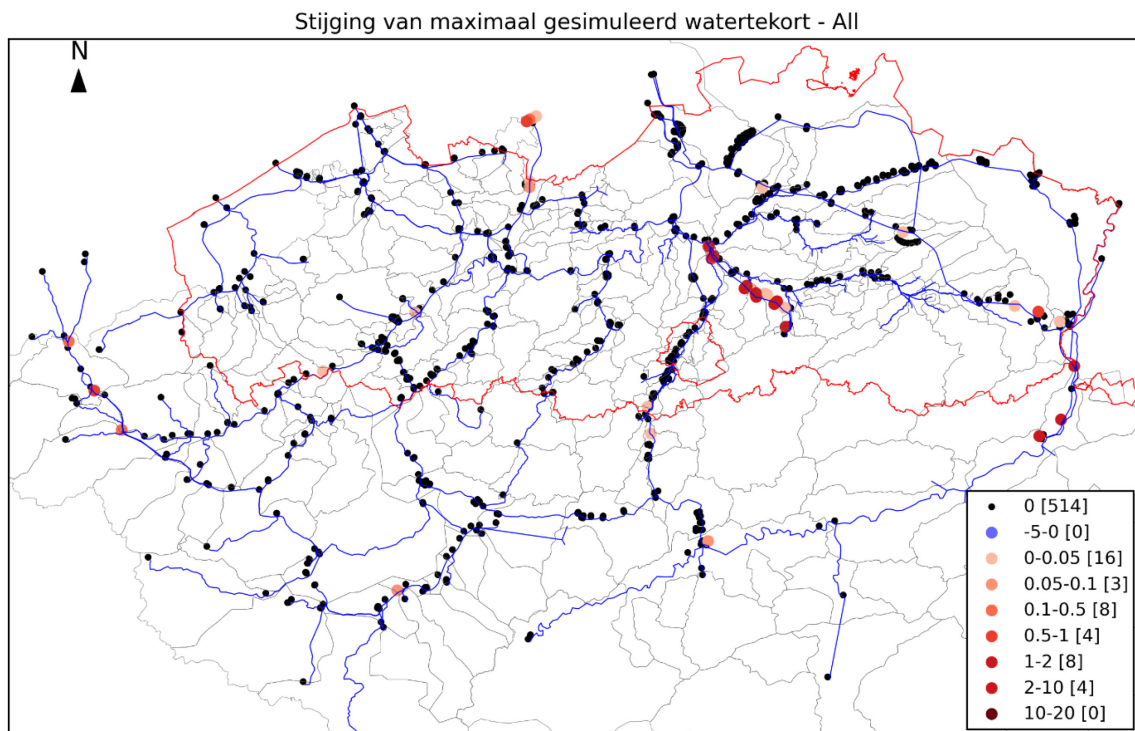
Figuur 3 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen

4.3.2 Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)

Maximale gesimuleerde watertekorten tonen het hoogste watertekort per watergebruiker in de simulatie periode van 47 jaar. Deze watertekortindicator geeft een maat van hoe extreem watertekortperiodes kunnen zijn. Om een juiste onderscheid te maken tussen gemiddelde en maximale gesimuleerde watertekorten is het belangrijk om het bereik in de legende goed te noteren. Figuur 4 hieronder toont de stijgingen in maximale dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in NAM modellen in een simulatie periode van 47 jaar.

De meest opmerkelijke stijgingen van deze watertekortindicator bevinden zich langs het Kanaal Leuven-Dijle, het Albertkanaal en het Kanaal Gent-Terneuzen. Alle watergebruikers betrokken tot het Kanaal Leuven Dijle tonen een stijging van het maximaal watertekort van tenminste $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. De voeding van het Kanaal Leuven Dijle simuleert een maximale stijging van $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Langs het Albertkanaal worden de hoogste stijgingen opgenomen bij de voeding van het kanaal te Monsin met $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$. De voeding van deze waterweg ervaart een stijging boven de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ drempel en simuleert het hoogste watertekort in het watersysteem dat stijgt van $47 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $49 \text{ m}^3/\text{s}$. De sluis van Lanaye toont als gevolg de hoogste stijging van een maximaal gesimuleerde watertekort ($9,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Stijgingen langsheen het kanaal blijven beperkt. In het Kanaal Gent-Terneuzen zijn stijgingen van deze watertekortindicator verspreid over alle aangesloten watergebruikers met de hoogste stijging bij de watergebruiker verantwoordelijk om het verdrag tussen België en Nederland omtrent het minimum debiet langs deze waterweg na te leven. Maximale gesimuleerde watertekorten bij gebruikers langs het Kanaal Gent-Terneuzen stijgen echter niet hoger dan $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

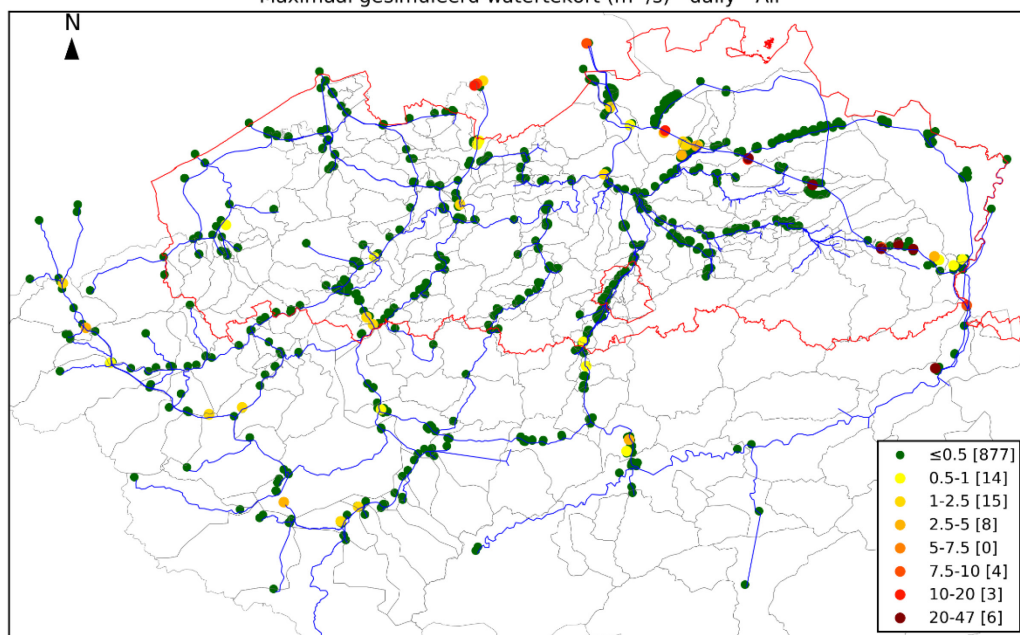
Figuur 5 toont een vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met NAM. Overal wordt een stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een maximale gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 877 naar 865, terwijl het aantal watergebruikers met maximale gesimuleerde watertekorten hoger dan $1 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 36 naar 46.



Figuur 4 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort, dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

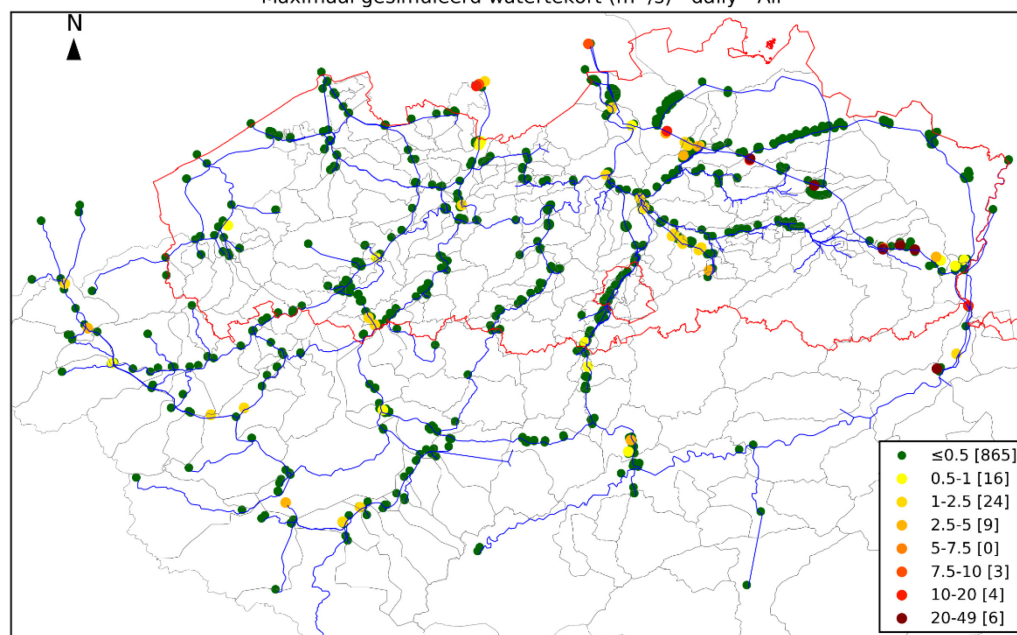
Huidige toestand

Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) - daily - All



Klimaatverandering

Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) - daily - All



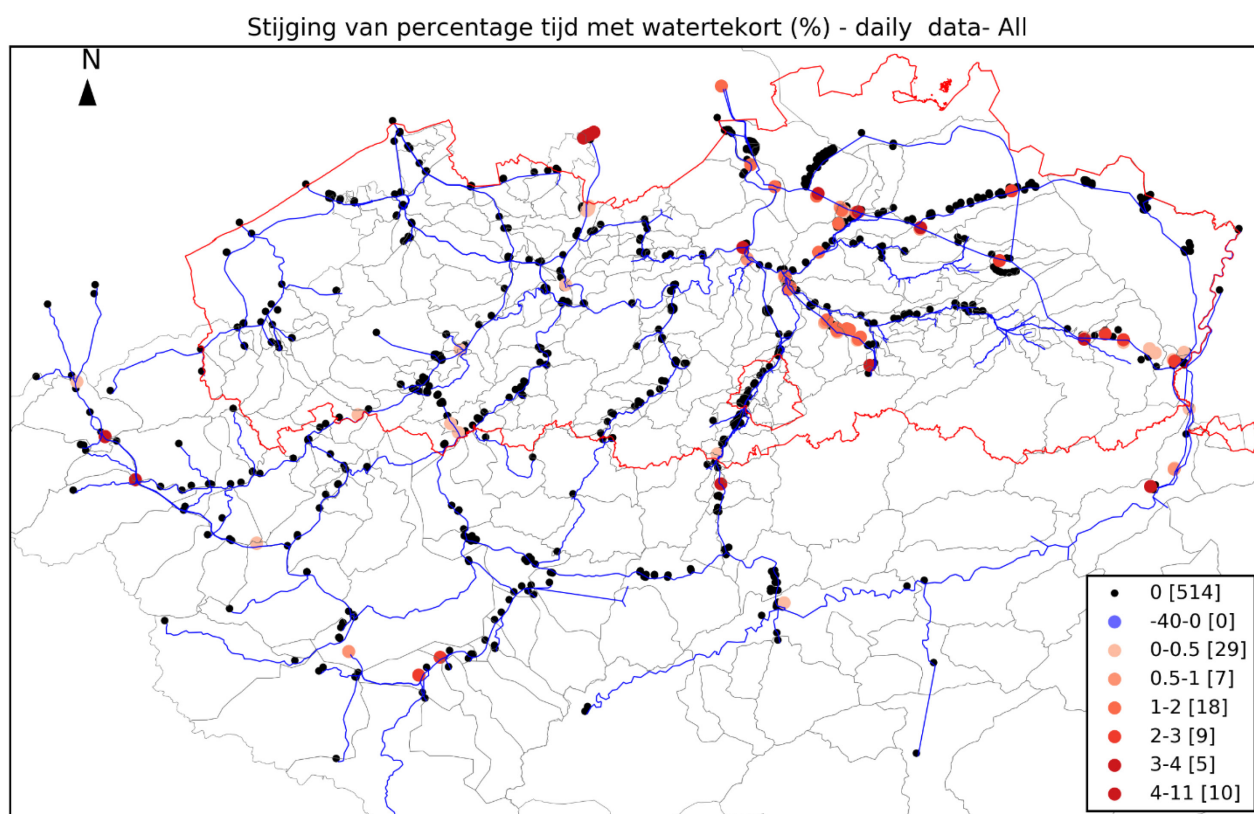
Figuur 5 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen

4.3.3 Percentage tijd met watertekort (%)

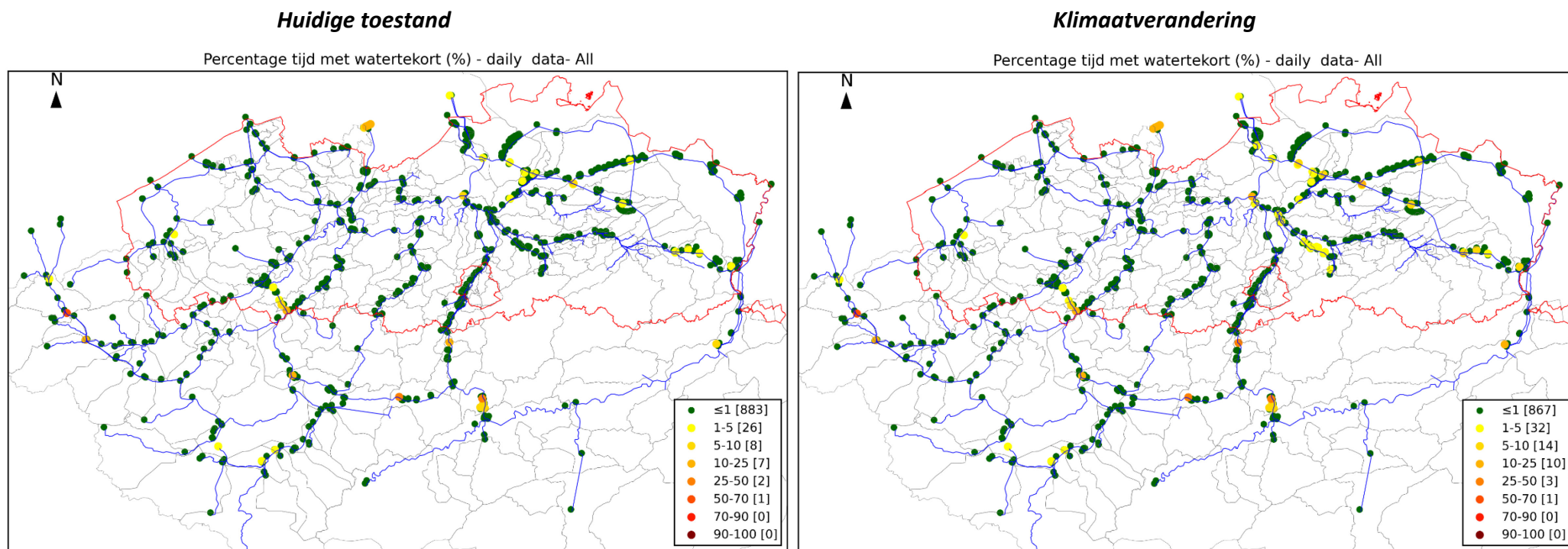
Het totaal aantal dagen in de simulatie is 17 167. Het percentage tijd met watertekort geeft een idee over de tijdsduur en regelmatigheid van watertekorten. Onderstaande Figuur 6 toont de stijging in het percentage dagen dat elke watergebruiker (van alle NACE-BEL sectoren) geconfronteerd wordt met een watertekort na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in NAM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

Stijgingen worden opgemerkt langs dezelfde watergebruikers en waterwegen als voorgaande watertekortindicatoren, wat ook logisch is. Hoogste stijgingen, tussen 4 en 11 percentuele punten, worden opgenomen in scheepvaart en zoutverdringing verplichtingen van watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren. Vlaamse watergebruikers in het Kanaal Gent Terneuzen ervaren echter een beperkte stijging in de tijdsduur van watertekort in de simulatie periode van 47 jaar. Langs het Albertkanaal stijgt de tijdsduur van watergebruikers voor scheepvaart en waterbeheer langsheen op. Dit is ook het geval bij het Kanaal Leuven Dijle hoewel op mindere mate.

Figuur 7 toont een vergelijking van percentage tijd met watertekort voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met NAM. Overal wordt een stijging in de tijdsduur met watertekort opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een stijging in percentage tijd met watertekort kleiner dan 1% in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 883 naar 867, terwijl het aantal watergebruikers met een stijging van percentage tijd met watertekort hoger dan 5% stijgt van 18 naar 28.



Figuur 6 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%)
na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



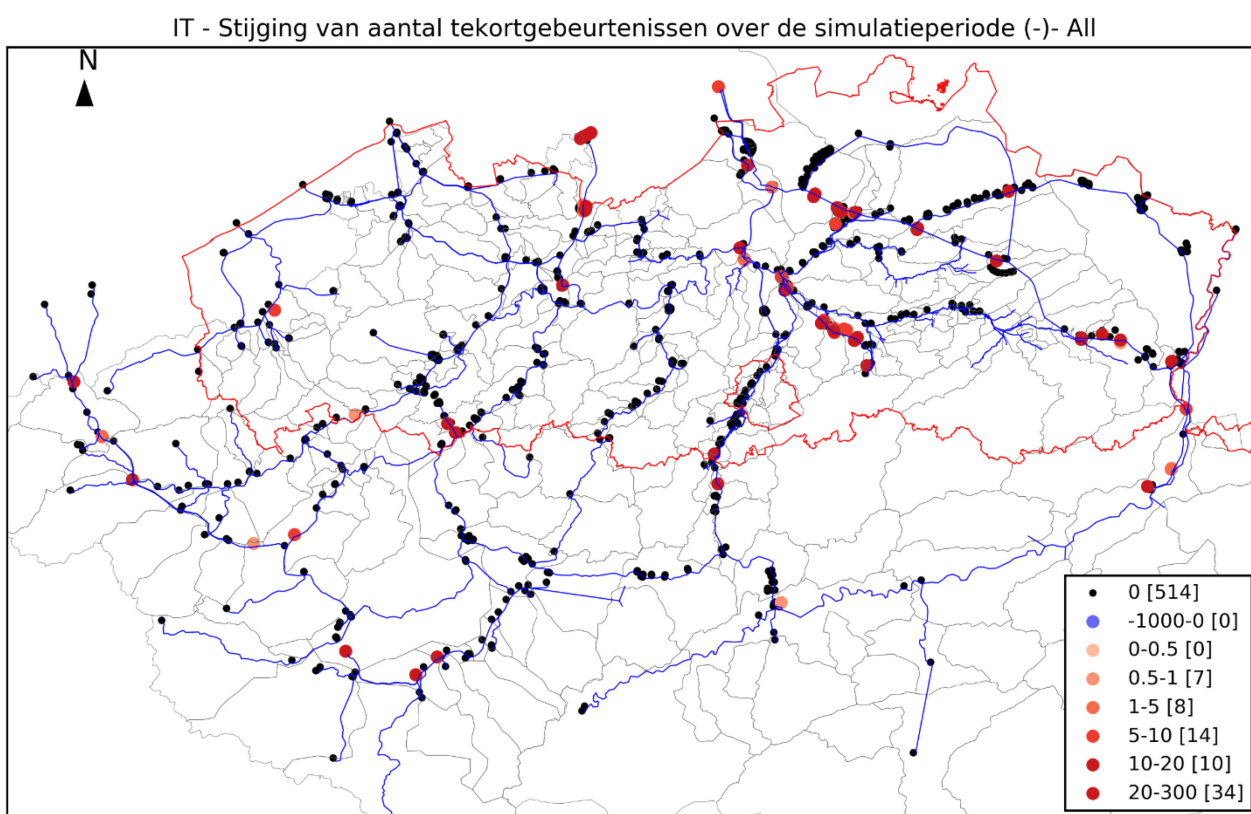
Figuur 7 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen

4.3.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode

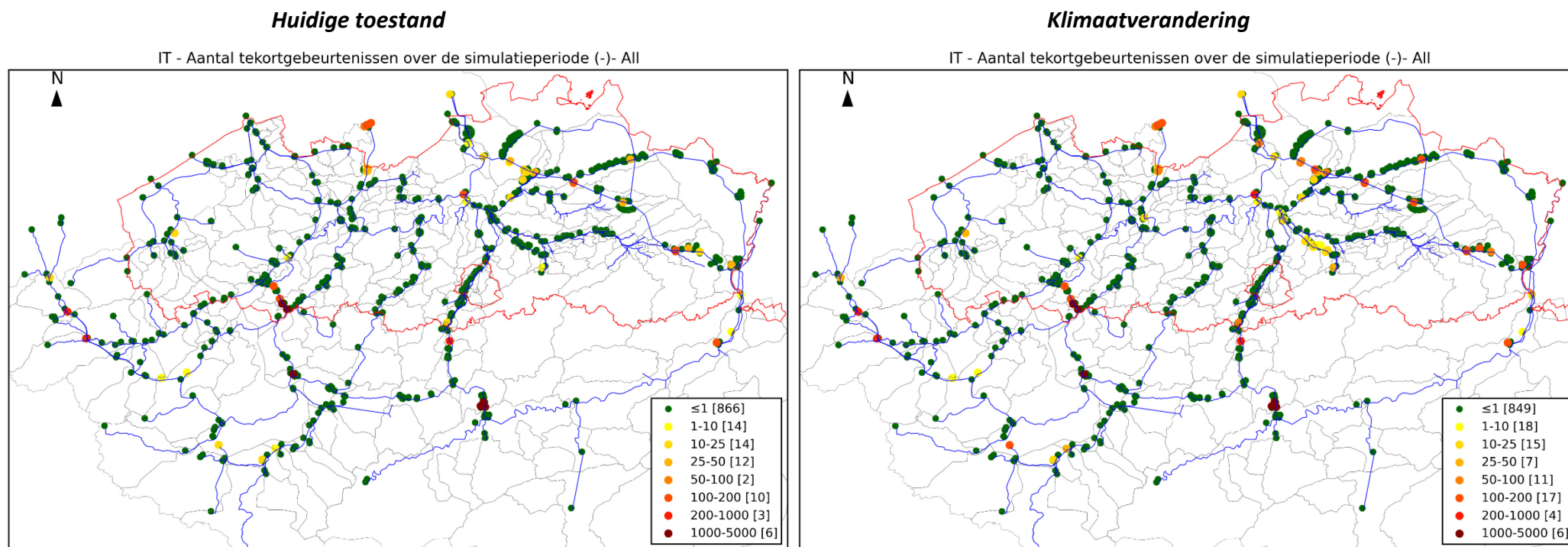
Afzonderlijke watertekort periodes worden geteld door de Post Processing tool zoals beschreven in Deelrapport 3-1. Een afzonderlijke watertekortevenement is één waterschaarste periode waarin één of meerdere dagen een watertekort zich voordoet. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

Onderstaande Figuur 8 toont stijgingen van afzonderlijke watertekort periodes bij watergebruikers verspreid over het Scheldestroomgebied. Naar aanleiding van voorgaande watertekortindicatoren, stijgt ook het aantal watertekortgebeurtenissen voornamelijk langs het Albertkanaal, het Kanaal Gent Terneuzen en het Kanaal Leuven Dijle. Stijgingen in het aantal watertekortgebeurtenissen liggen boven 70 voor scheepvaart en waterbeheer in het Albertkanaal en net onder 70 in het Kanaal Gent Terneuzen. Opmerkelijk is dat het WPC Blankaart aan de IJzer ervaart een stijging in watertekortgebeurtenissen wat niet het geval was bij andere watertekortindicatoren.

Figuur 9 toont een vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met NAM. Overall wordt een stijging in het aantal watertekortgebeurtenissen opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers zonder watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 866 naar 849, terwijl het aantal watergebruikers met watertekortgebeurtenissen hoger dan 25 stijgt van 33 naar 45.



Figuur 8 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



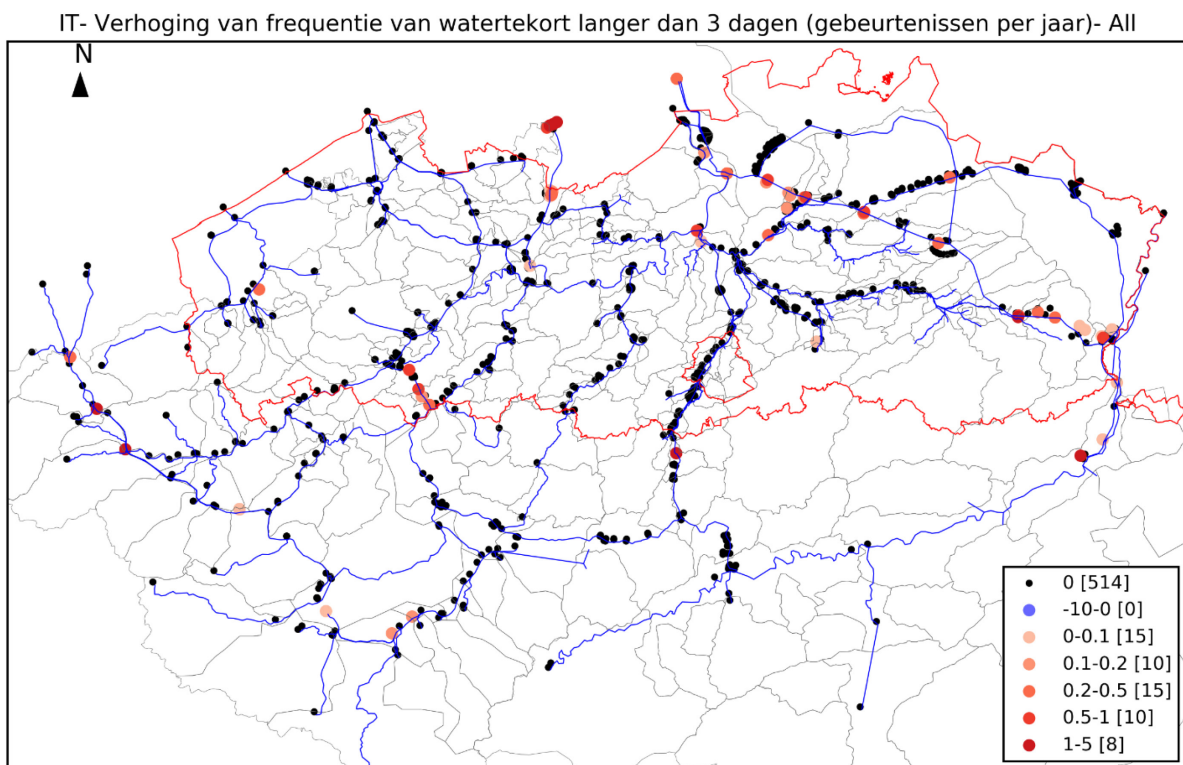
Figuur 9 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van NAM-modellen

4.3.5 Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar)

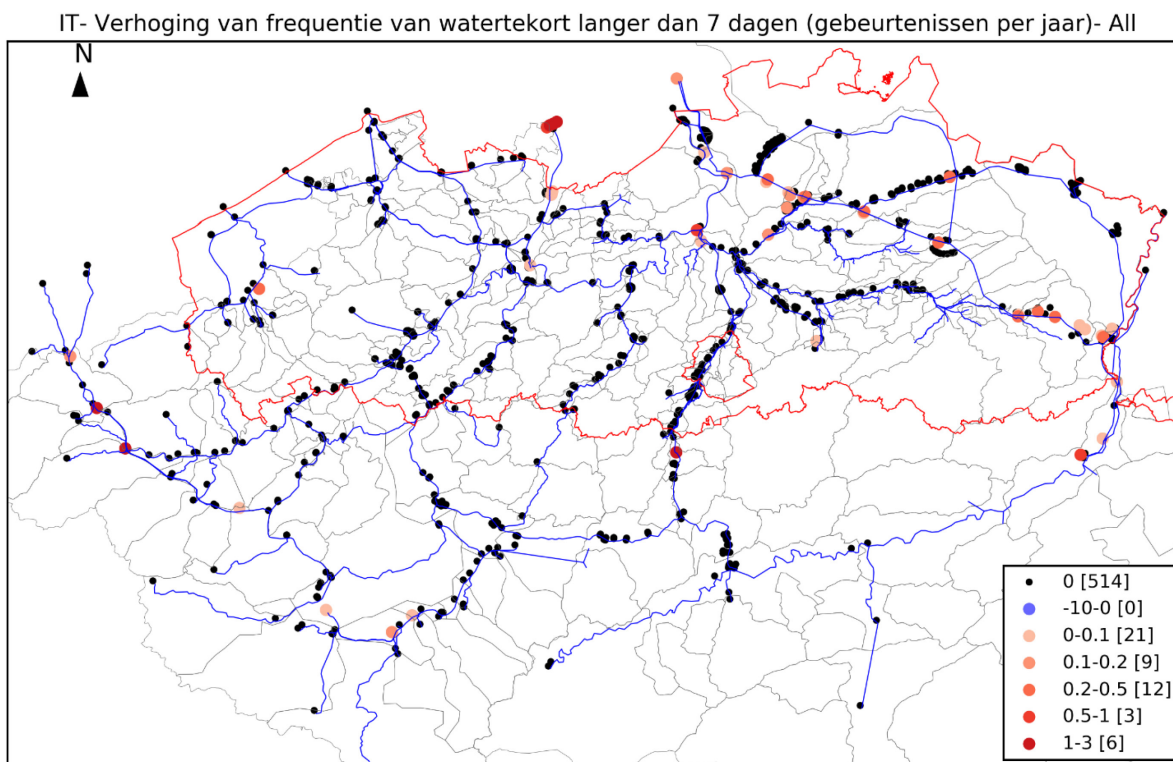
De toename in frequentie van watertekortperiodes (langer dan 3-7 dagen) ten opzichte van de simulatie van huidige toestand wordt in kaart gebracht met behulp van de Python Post Processing tool. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

Figuur 10 en Figuur 11 tonen dat reeds door andere watertekortindicatoren geïdentificeerde knelpunten (behalve het Kanaal Leuven Dijle) ook stijgingen in deze watertekortindicator simuleren. Watertekortperiodes in het Kanaal Leuven Dijle zijn geen terugkerende toestanden. Lage hydrologische afvoer van het Dijle bekken in de eerste jaren van de modellering met klimaatverandering NAM modellen veroorzaakt ernstige maar niet voortdurende watertekorten langs het Kanaal Leuven Dijle. Na een paar jaren in de simulatie wordt de afvoer van de Dijle en het watergebruik langs het Kanaal Leuven Dijle terug stabiel en geen tekorten worden gesimuleerd voor de resterende jaren in de simulatie. Dit is niet het geval in het Kanaal Gent Terneuzen, het Kanaal Bossuit Kortrijk en het Albertkanaal. Deze waterwegen tonen in Figuur 10 een toename in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen. Figuur 11 toont een soortgelijk verhaal in de stijgingen van frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen. Langs het Kanaal Bossuit Kortrijk worden hoewel geen stijgingen opgenomen, wat verklaard wordt door de werking van watergebruikers die als pompstations fungeren (zie Deelrapport 3-1).

Belangrijke stijgingen van deze watertekortindicator langs het Kanaal Gent Terneuzen duiden het aan als het voornaamste knelpunt in het watersysteem. De drie sluizen in Terneuzen (West, Midden en Oost) simuleren een toename van over 2 extra watertekortgebeurtenissen per jaar langer dan 3 dagen en over 1,5 extra watertekortgebeurtenissen per jaar langer dan 3 dagen. Beide stijgen met 1 voor de watergebruiker verantwoordelijk om het verdrag tussen België en Nederland omtrent het minimum debiet langs deze waterweg na te leven.



Figuur 10 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 11 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

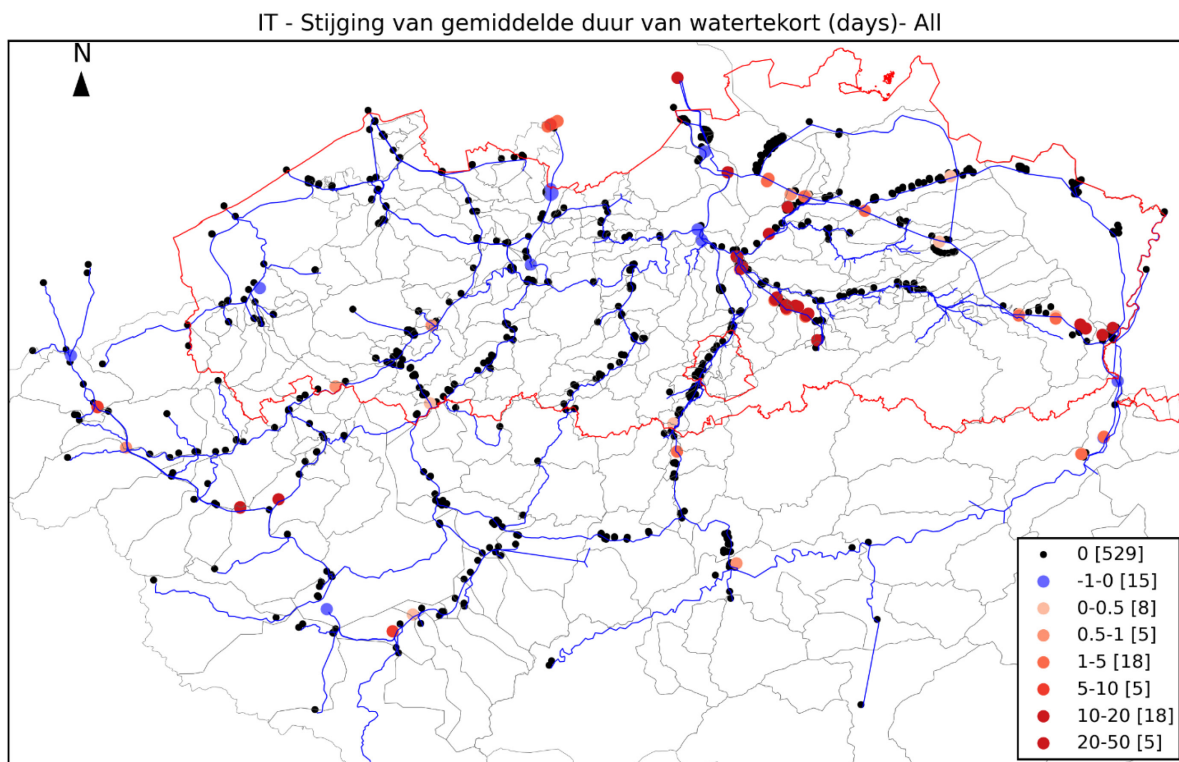
4.3.6 Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)

Onderstaande Figuur 12 en Figuur 13 tonen stijgingen in gemiddelde en maximale duur van watertekorten per watergebruiker in het watersysteem ten opzichte van de resultaten van huidige toestand. De Python Post Processing tool houdt rekening met IT pooling waardoor watertekortevenementen worden geaggregeerd wanneer ze binnen 5 tijdstappen (dagen) na elkaar gebeuren.

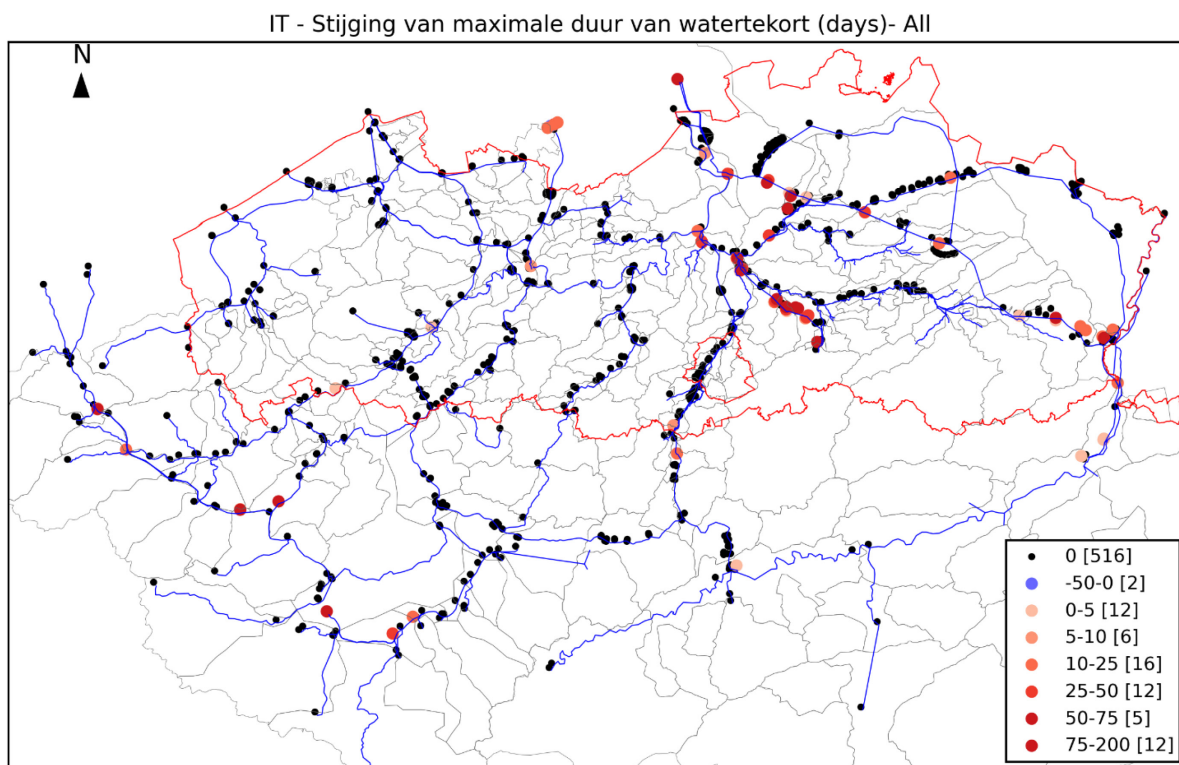
De stijgingen in gemiddelde duur van watertekortperiodes voor de simulatie van klimaatverandering met NAM modellen tonen het Kanaal Leuven Dijle, het Albertkanaal en afvoer naar Terneuzen in het Kanaal Gent Terneuzen als knelpunten in het watersysteem. Stijgingen langs het Kanaal Leuven Dijle worden verklaard door lage hydrologische afvoer in de eerste jaren van de modellering.

Opmerkelijk is dat een daling van gemiddelde duur van watertekortperiodes wordt opgenomen onder andere in de Blankaart, Vlaamse watergebruikers langs het Kanaal Gent Terneuzen, de zeesluis van Wintam, de sluis van Lanaye en de Boudewijns sluis in de Haven van Antwerpen.

In de hoedanigheid van tijdsduur van watertekorten tonen deze watertekortindicatoren nogmaals dat het Kanaal Gent Terneuzen en scheepvaart en waterbeheer langsheen het Albertkanaal de voornaamste knelpunten vormen in het watersysteem.



Figuur 12 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 13 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in NAM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

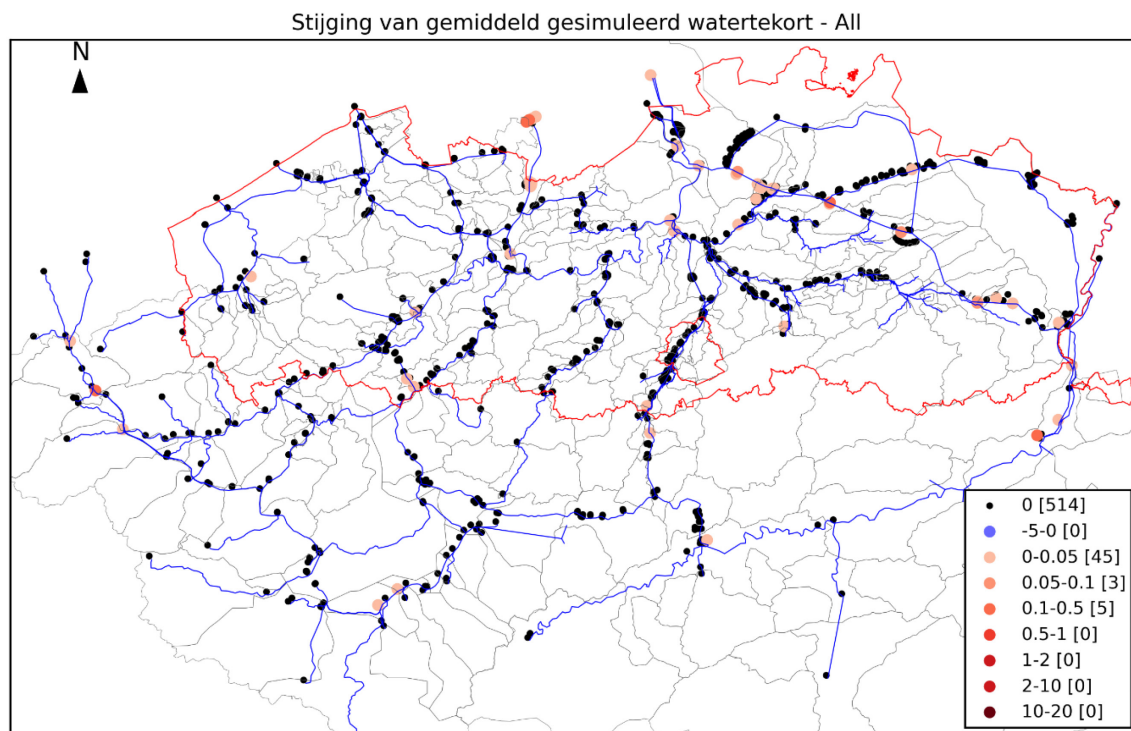
4.4 Gesimuleerde watertekorten met PDM

4.4.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)

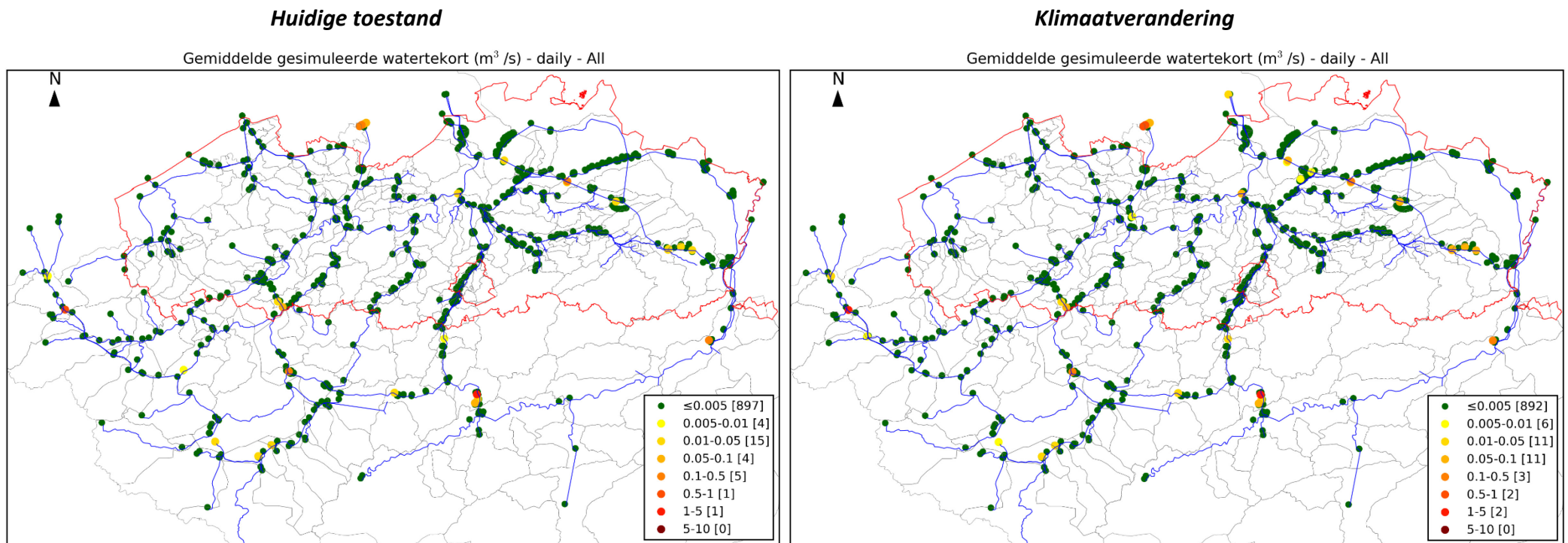
De gemiddelde gesimuleerde watertekort geeft een behoorlijk idee van hoe groot en ernstig watertekorten zijn voor alle gemodelleerde watergebruikers in het studiegebied. De kaart met deze watertekortindicator vormt het meest overzichtelijk eindresultaat van deze studie. Figuur 14 hieronder toont de stijging in gemiddelde dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in PDM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

Stijgingen van deze watertekortindicator worden gesimuleerd bij de voeding van het Albertkanaal uit de Maas te Monsin en langsheen deze waterweg. De watervraag van de voeding te Monsin wordt in elk tijdstap berekend op basis van de watervraag en waterpeilen langs alle panden in het Albertkanaal. Een gemiddelde stijging van $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ in het watertekort voor deze watergebruiker toont dat het Albertkanaal een knelpunt in het watersysteem is. Deze stijging blijft echter opvallend kleiner dan die gesimuleerd met NAM ($1,09 \text{ m}^3/\text{s}$). Het benodigde debiet om het verdrag tussen België en Nederland in het Kanaal Gent Terneuzen na te leven en de sluis Terneuzen West tonen nog hogere stijgingen van gemiddelde watertekort: respectievelijk $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ en $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$. Stijgingen van deze watertekortindicator voor de resterende watergebruikers tonen echter een beperkte invloed van klimaatverandering in het watersysteem met toenames onder de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figuur 15 toont een vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met PDM. Overal wordt een beperkte stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een gemiddeld gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ in den simulatie periode van 47 jaar daalt van 897 naar 895, terwijl het aantal watergebruikers met gemiddelde gesimuleerde watertekorten hoger als $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 11 naar 18.



Figuur 14 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



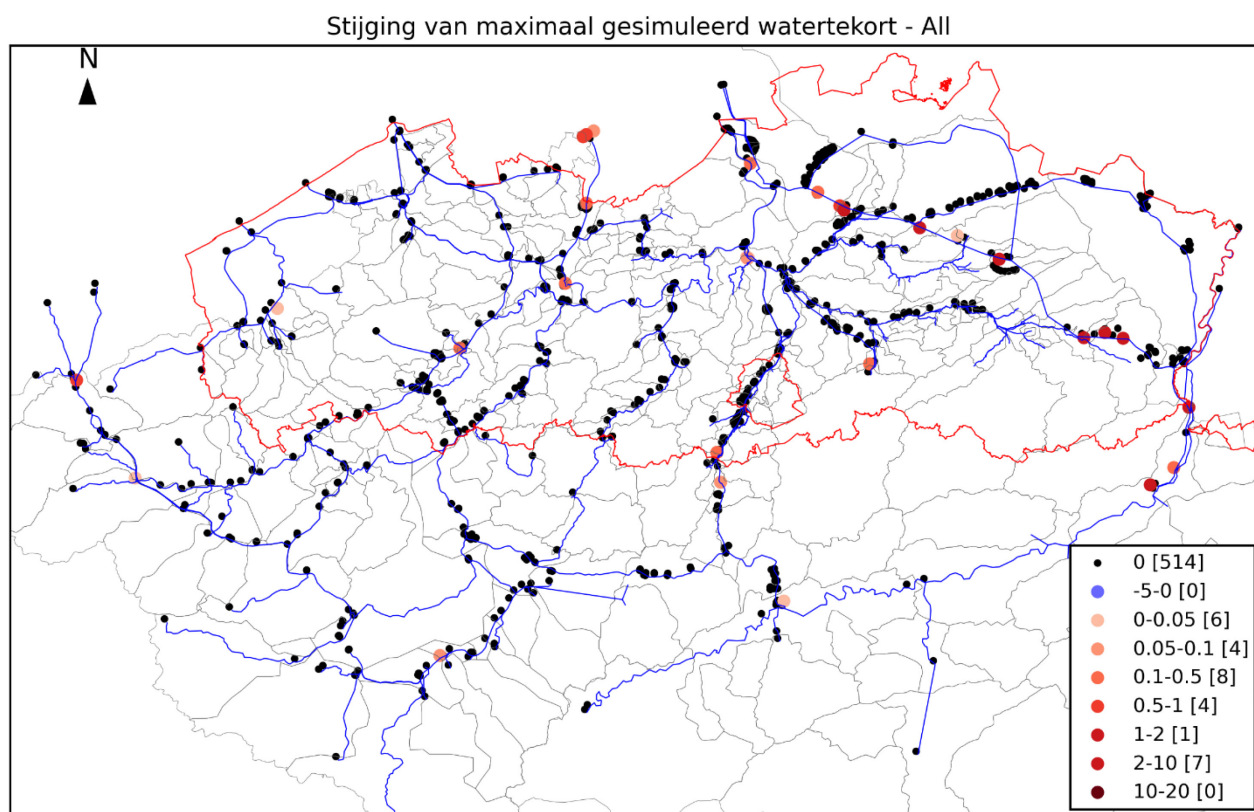
Figuur 15 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen

4.4.2 Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)

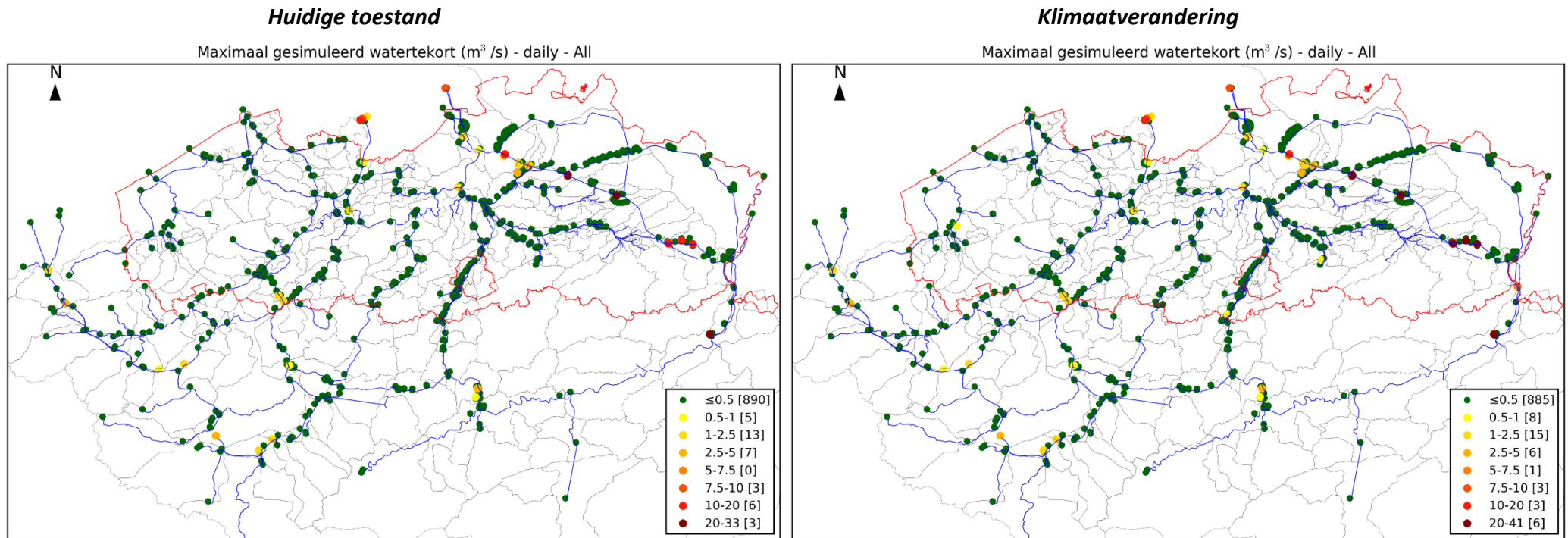
Maximale gesimuleerde watertekorten tonen het hoogste watertekort per watergebruiker in de simulatie periode van 47 jaar. Deze watertekortindicator geeft een maat van hoe extreem watertekortperiodes kunnen zijn. Om een juiste onderscheid te maken tussen gemiddelde en maximale gesimuleerde watertekorten is het belangrijk om het bereik in de legende goed te noteren. Figuur 16 hieronder toont de stijgingen in maximale dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in PDM modellen in een simulatie periode van 47 jaar.

De meest opmerkelijke stijgingen van deze watertekortindicator bevinden zich langs het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen. Langs het Albertkanaal wordt de hoogste gesimuleerde stijging bij de voeding van het kanaal te Monsin ($7,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Deze is eveneens het maximaal gesimuleerde watertekort in het watersysteem en stijgt van $33 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $41 \text{ m}^3/\text{s}$. Daarnaast, de sluizen van Olen, Lanaye, Hasselt, Diepenbeek, Genk, Kwaadmechelen en een WPC van Water-link tonen in deze volgorde de hoogste stijgingen van maximaal gesimuleerde watertekort in het watersysteem. In het Kanaal Gent Terneuzen zijn deze stijgingen verspreid over alle aangesloten watergebruikers met de hoogste stijging bij de watergebruiker verantwoordelijk om het verdrag tussen België en Nederland omtrent het minimum debiet langs deze waterweg na te leven. Deze ervaart een stijging van $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ voor deze watertekortindicator.

Figuur 17 toont een vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met PDM. Overall wordt een beperkte stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een maximaal gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 890 naar 885, terwijl het aantal watergebruikers met maximale gesimuleerde watertekorten hoger dan $1 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 32 naar 34.



Figuur 16 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



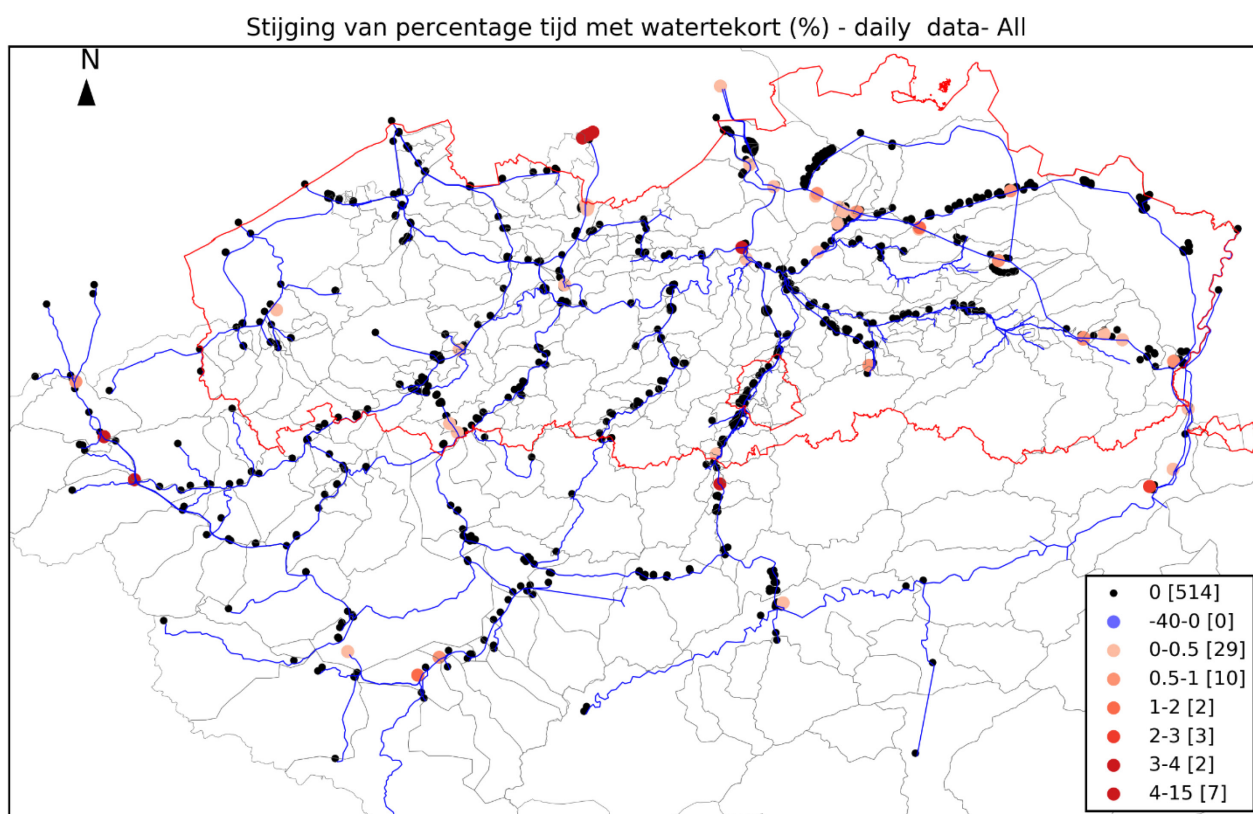
Figuur 17 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen

4.4.3 Percentage tijd met watertekort (%)

Het totaal aantal dagen in de simulatie is 17 167. Het percentage tijd met watertekort geeft een idee over de tijdsduur en regelmatigheid van watertekorten. Onderstaande Figuur 18 toont de stijging in het percentage dagen dat elke watergebruiker (van alle NACE-BEL sectoren) geconfronteerd wordt met een watertekort na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in PDM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

Hoogste stijgingen, tussen 4 en 15 procentuele punten, worden opgenomen in scheepvaart en zoutverdringing verplichtingen van watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren. Niettemin wordt de hoogste stijging bij scheepvaart in Fontinettes gesimuleerd (14%). Watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren tonen stijgingen van deze watertekortindicator in het bereik van 3 % tot 8%. Vlaamse watergebruikers in het Kanaal Gent-Terneuzen ervaren echter een beperkte stijging in de tijdsduur van watertekort in de simulatie periode van 47 jaar. De hoogste stijging in het Albertkanaal gebeurt bij de voeding te Monsin met 2,4 % extra percentage tijd met watertekort.

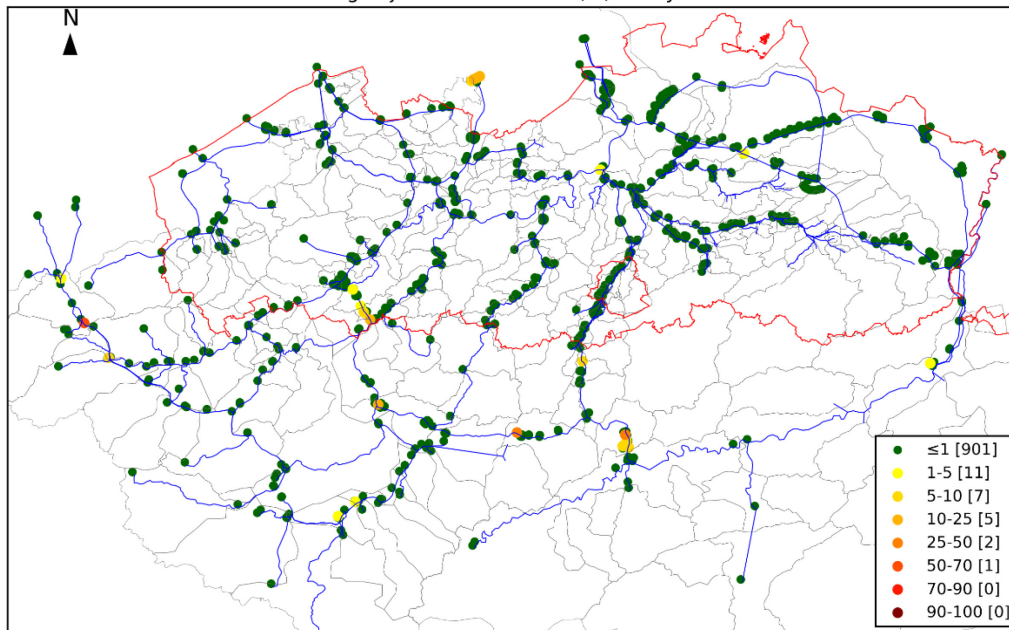
Figuur 19 toont een vergelijking van percentage tijd met watertekort voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met PDM. Overall wordt een beperkte stijging in de tijdsduur met watertekort opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een percentage tijd met watertekort kleiner dan 1% in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 901 naar 896, terwijl het aantal watergebruikers met percentage tijd met watertekort hoger dan 5% stijgt van 15 naar 17.



Figuur 18 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%)
na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

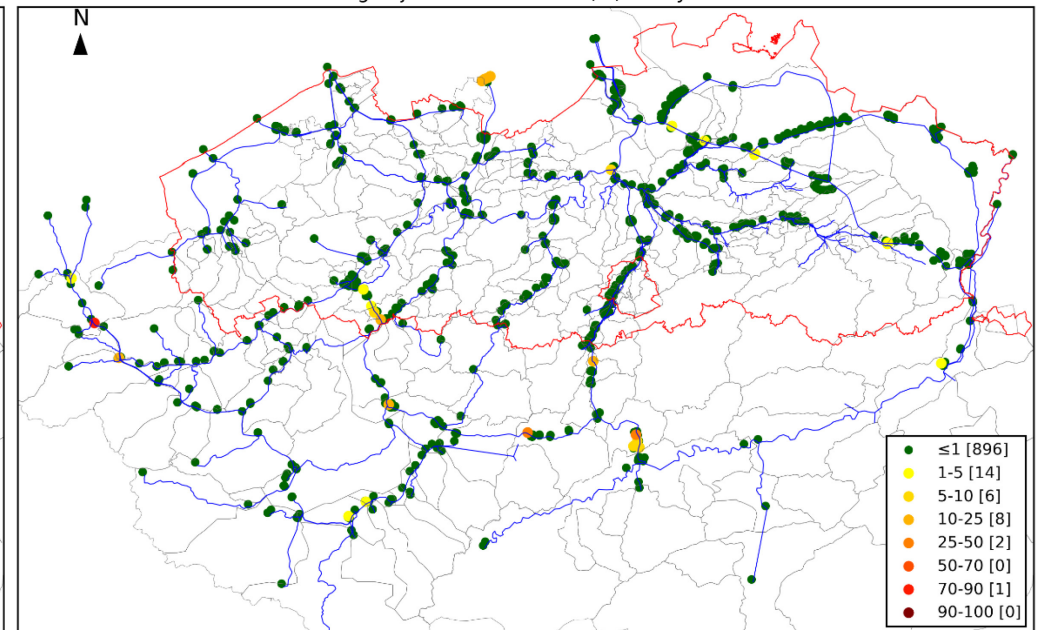
Huidige toestand

Percentage tijd met watertekort (%) - daily data- All



Klimaatverandering

Percentage tijd met watertekort (%) - daily data- All



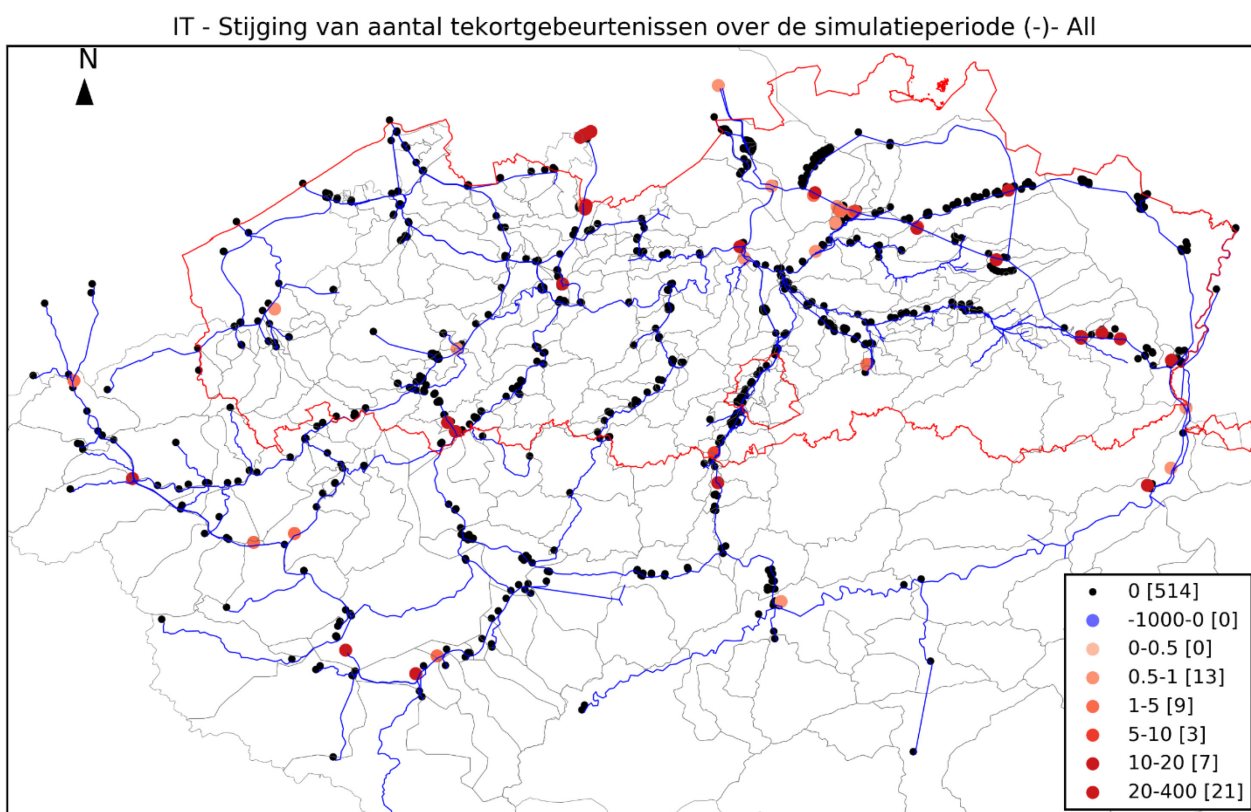
Figuur 19 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen

4.4.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode

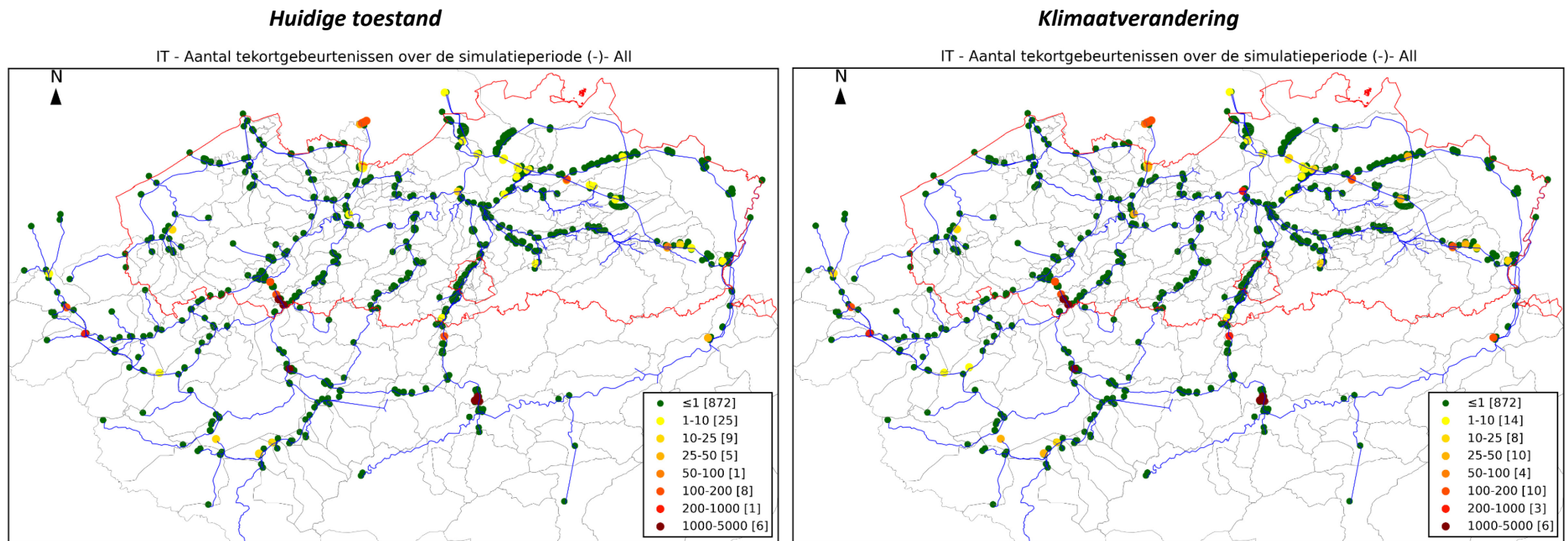
Afzonderlijke watertekort periodes worden geteld door de Post Processing tool zoals beschreven in Deelrapport 3-1. Een afzonderlijke watertekortevenement is één waterschaarste periode waarin één of meerdere dagen een watertekort zich voordoet. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

Onderstaande Figuur 20 toont stijgingen van afzonderlijke watertekort periodes bij watergebruikers verspreid over het Scheldestroomgebied. Naar aanleiding van voorgaande watertekortindicatoren, stijgt ook het aantal watertekortgebeurtenissen voornamelijk langs het Albertkanaal, het Kanaal Gent Terneuzen en het Kanaal Bossuit Kortrijk ter hoogte van de voeding van deze waterweg uit de Schelde te Bossuit. Niettemin simuleert de sluis van Wintam de grootste stijging in aantal watertekortgebeurtenissen (333 in totaal) in het watersysteem. Stijgingen in het aantal watertekortgebeurtenissen liggen boven 20 voor scheepvaart en waterbeheer in het Albertkanaal, het Kanaal Gent Terneuzen en het Kanaal Bossuit Kortrijk, maar blijven ruim onder die drempel bij de resterende watergebruikers in het watersysteem. De voeding van het Albertkanaal is het hardst getroffen met een 77 afzonderlijke watertekortgebeurtenissen meer dan in de huidige toestand. Analooq naar de resultaten met NAM modellen, het WPC De Blankaart aan de IJzer simuleert een stijging in het aantal watertekortgebeurtenissen.

Figuur 21 toont een vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met PDM. Overall wordt een beperkt stijging in het aantal watertekortgebeurtenissen opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers zonder watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode van 47 jaar blijft op 872. Het aantal watergebruikers met watertekortgebeurtenissen talrijker dan 25 stijgt wel van 21 naar 33.



Figuur 20 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 21 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van PDM-modellen

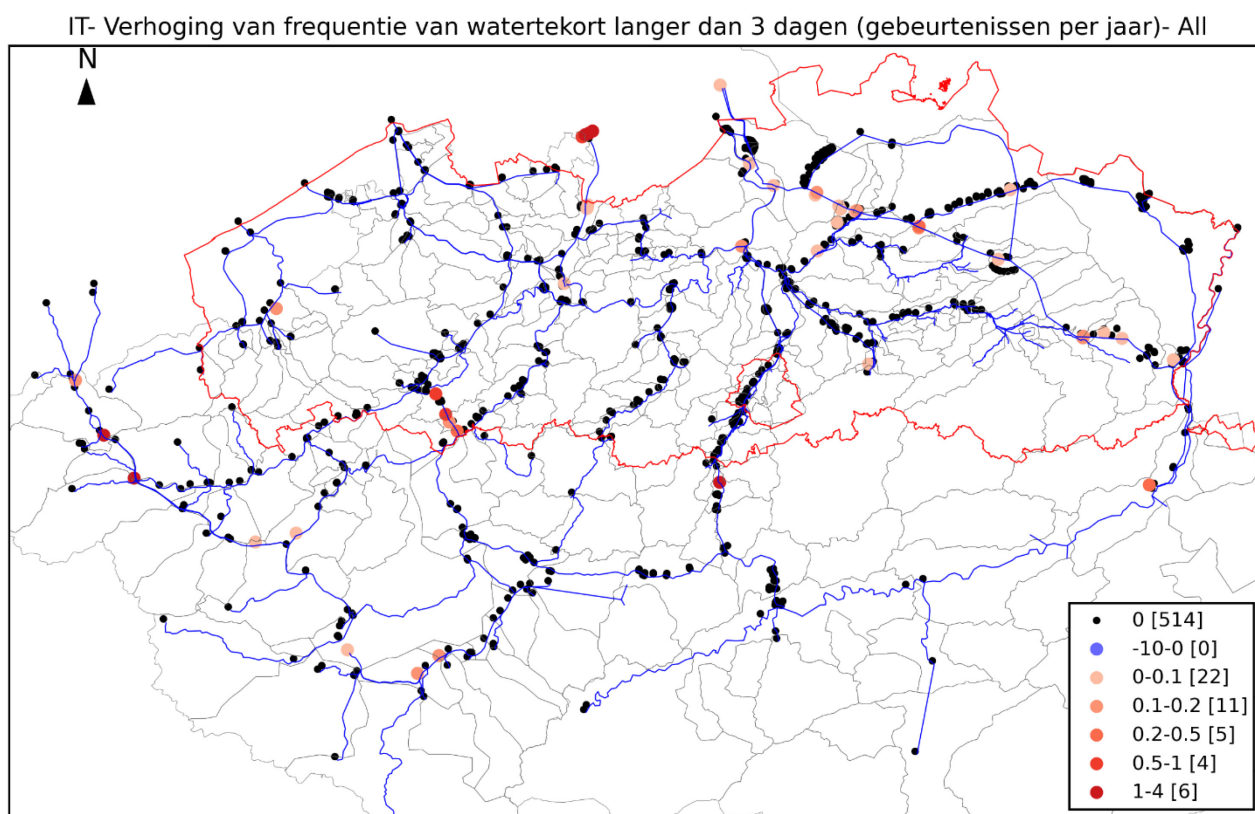
4.4.5 Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar)

De toename in frequentie van watertekortperiodes (langer dan 3-7 dagen) ten opzichte van de simulatie van huidige toestand wordt in kaart gebracht met behulp van de Python Post Processing tool. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

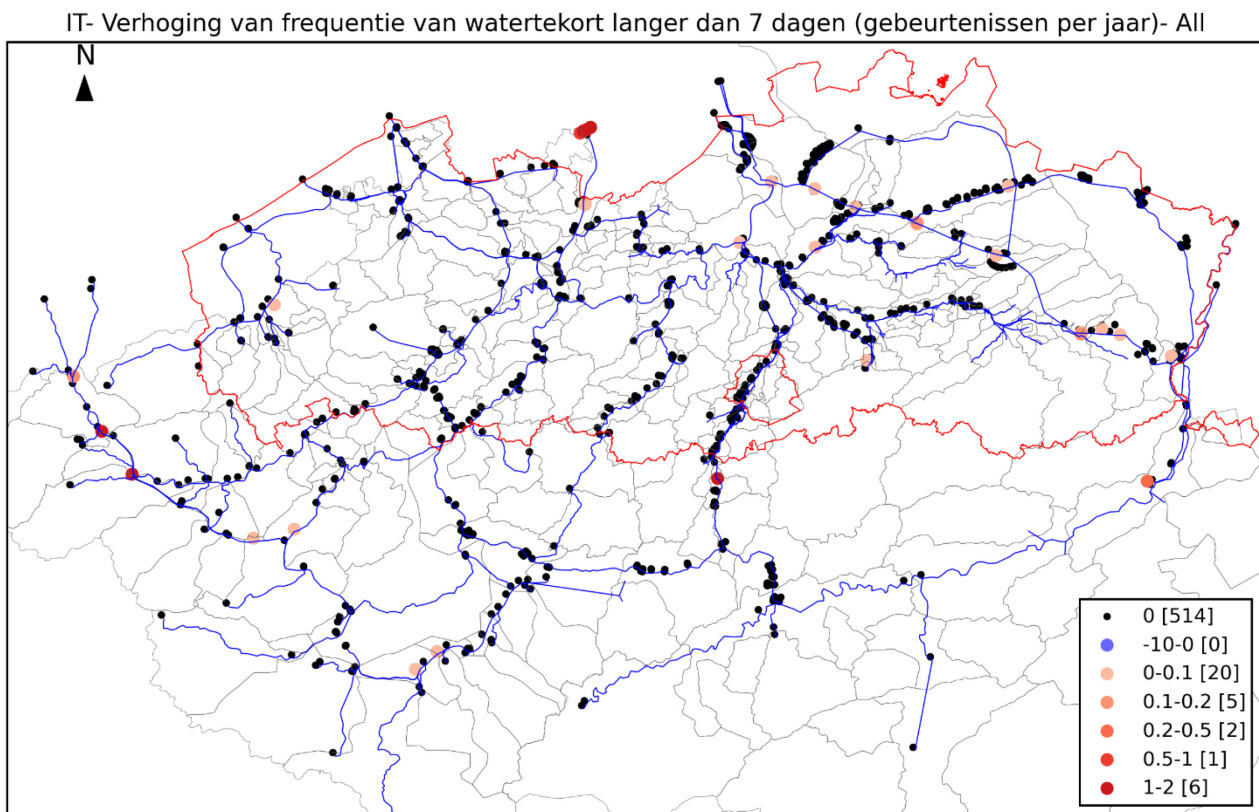
Figuur 22 en Figuur 23 tonen dat reeds door andere watertekortindicatoren geïdentificeerde knelpunten ook stijgingen in deze watertekortindicator simuleren. Dat is het geval in het Kanaal Gent Terneuzen, het Kanaal Bossuit Kortrijk en het Albertkanaal. Deze waterwegen tonen een toename in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen. Alle watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren zowel als scheepvaart en waterbeheer langs het Kanaal Bossuit Kortrijk tonen de voornaamste toenames. Op mindere mate wordt deze verhoging opgenomen langsheen het Albertkanaal.

De stijgingen in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen (Figuur 23) tonen een gelijkaardig beeld met de uitzondering van het Kanaal Bossuit Kortrijk. Langs het Kanaal Bossuit Kortrijk worden echter geen stijgingen gesimuleerd wat verklaard wordt door de werking van watergebruikers die als pompstations fungeren (zie Deelrapport 3-1).

Stijgingen in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes van 7 dagen gebruikmakend van PDM modellen tonen het Kanaal Gent Terneuzen als voornaamste knelpunt in het watersysteem.



Figuur 22 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



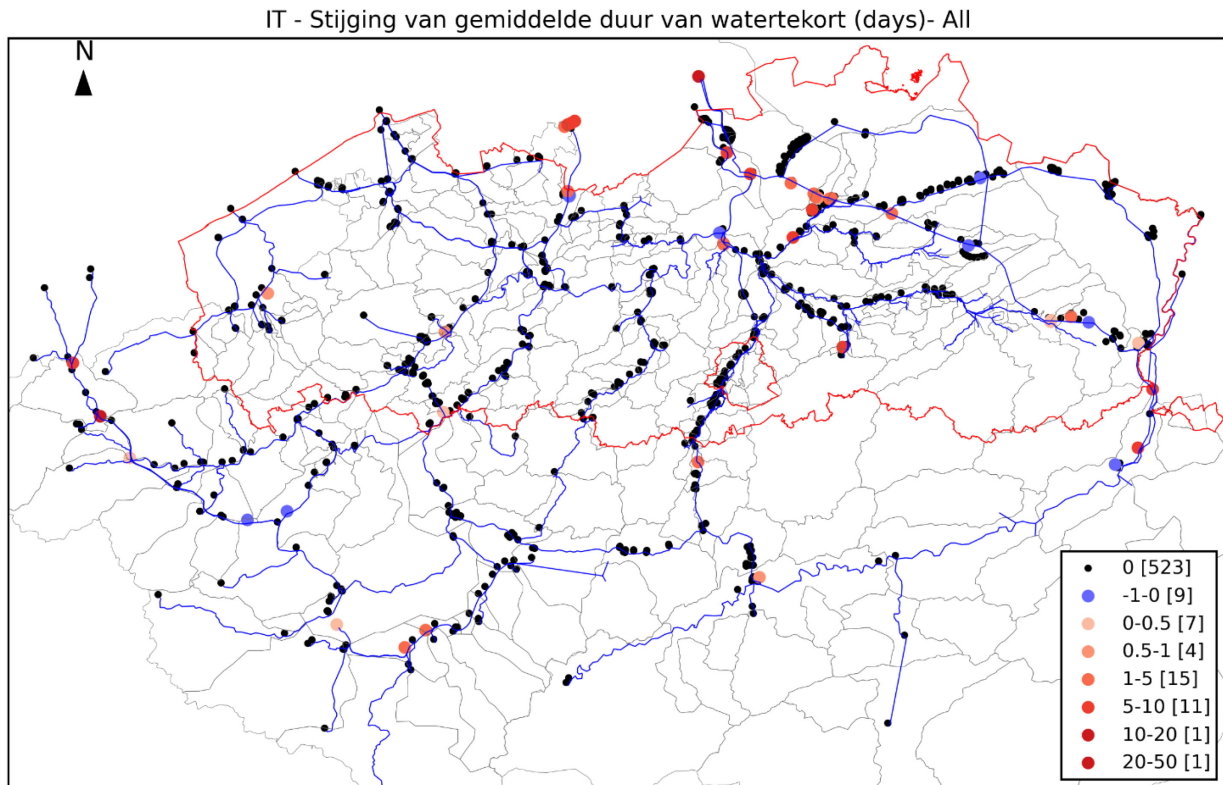
Figuur 23 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

4.4.6 Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)

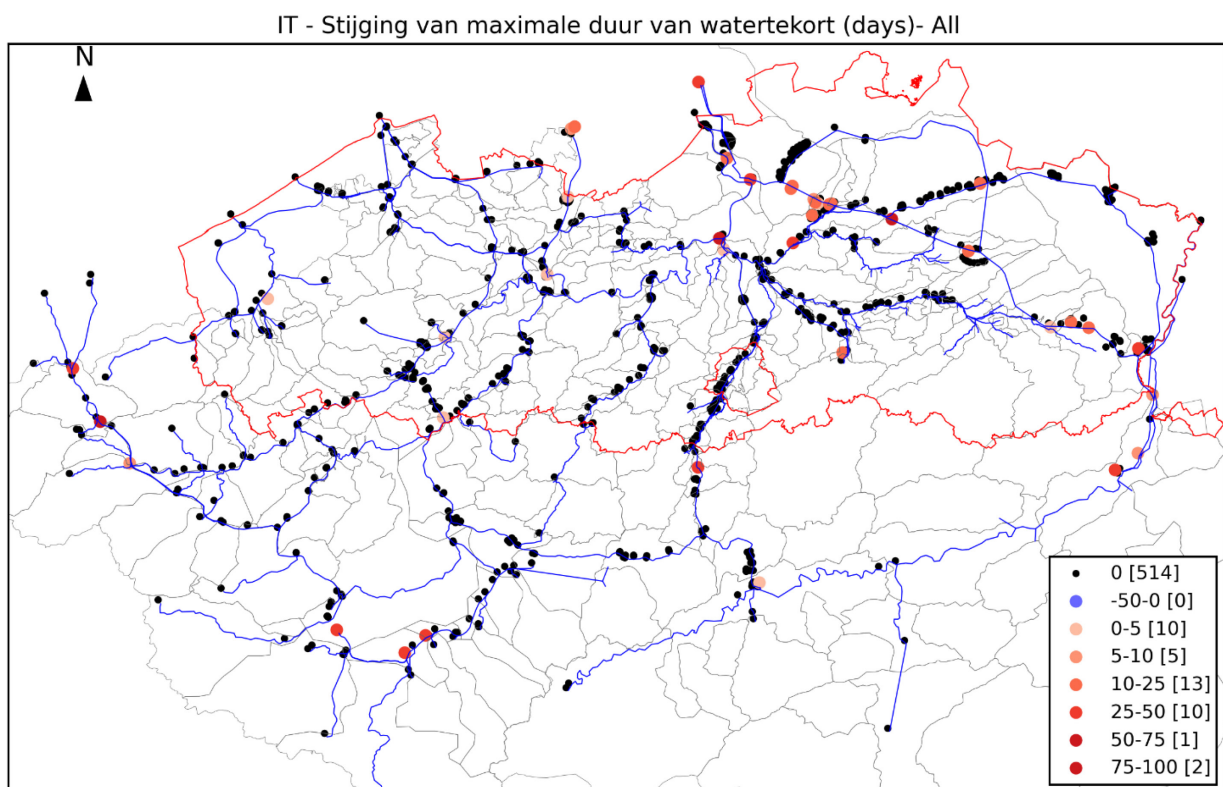
Onderstaande Figuur 24 en Figuur 25 tonen stijgingen in gemiddelde en maximale duur van watertekorten per watergebruiker in het watersysteem ten opzichte van de resultaten van huidige toestand. De Python Post Processing tool houdt rekening met IT pooling waardoor watertekortevenementen worden geaggregeerd wanneer ze binnen 5 tijdstappen (dagen) na elkaar gebeuren.

De stijgingen in gemiddelde duur van watertekortperiodes voor de simulatie van klimaatverandering met PDM modellen tonen het Albertkanaal en afvoer naar Terneuzen in het Kanaal Gent Terneuzen als knelpunten in het watersysteem. Opmerkelijk is dat een daling in de gemiddelde duur van watertekortperiodes wordt gesimuleerd bij Vlaamse watergebruikers in het Kanaal Gent Terneuzen, de zeesluis van Wintam en opwaartse sluizen in het Albertkanaal, inclusief de voeding van dit te Monsin. De maximale duur van watertekortperiodes van deze watergebruikers simuleert wel een stijging. De voeding van het Albertkanaal ervaart een aanzienlijk stijging in deze watertekortindicator (50 dagen) terwijl de sluis van Olen die een daling toont bij de gemiddelde duur van watertekortperiodes, een stijging van 55 dagen telt op de maximale duur van een watertekortperiode in de simulatie periode van 47 jaar.

In de hoedanigheid van tijdsduur van watertekort tonen deze watertekortindicatoren nogmaals dat het Kanaal Gent Terneuzen en scheepvaart en waterbeheer langsheen het Albertkanaal de voornaamste knelpunten vormen in het watersysteem.



Figuur 24 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 25 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in PDM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

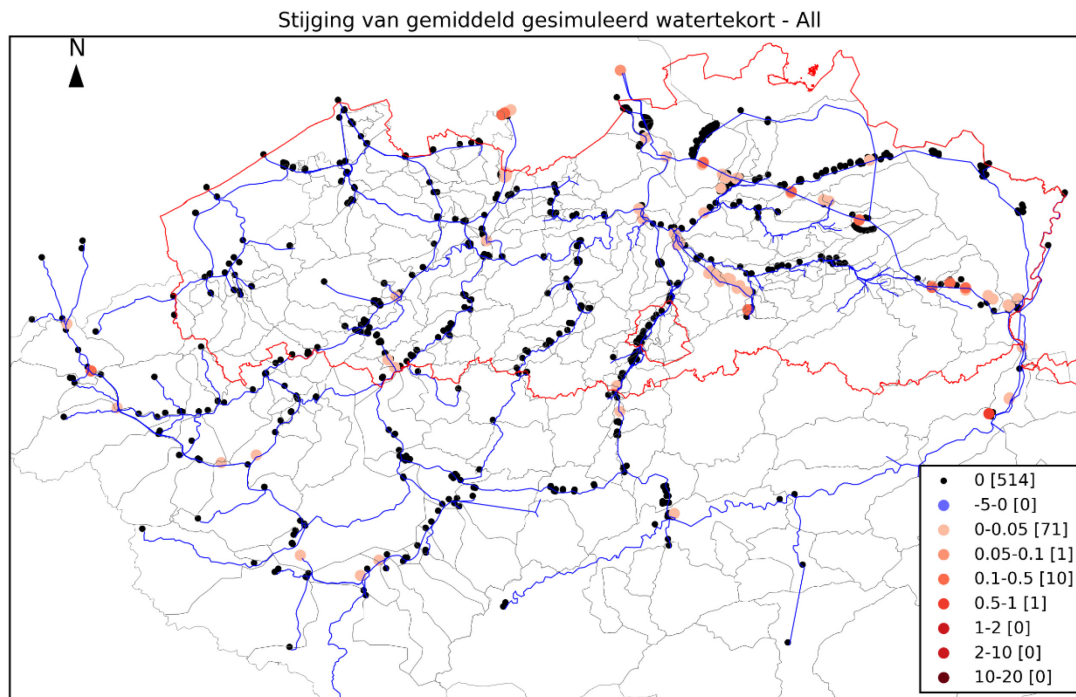
4.5 Gesimuleerde watertekorten met VHM

4.5.1 Gemiddelde gesimuleerde watertekort (m^3/s)

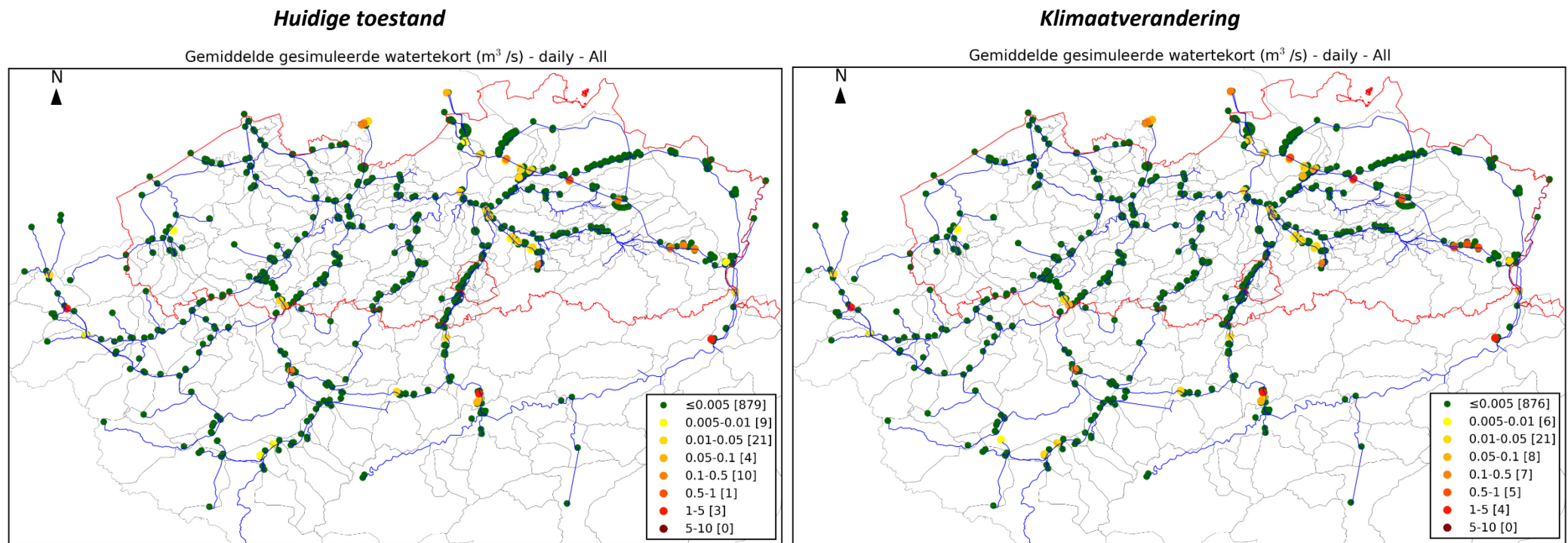
De gemiddelde gesimuleerde watertekort geeft een behoorlijk idee van hoe groot en ernstig watertekorten zijn voor alle gemodelleerde watergebruikers in het studiegebied. De kaart met deze watertekortindicator vormt het meest overzichtelijk eindresultaat van deze studie. Figuur 26 hieronder toont de stijging in gemiddelde dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in VHM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

Stijgingen van deze watertekortindicator worden gesimuleerd bij de voeding van het Albertkanaal uit de Maas te Monsin en langsheen deze waterweg. De watervraag van de voeding te Monsin wordt in elke tijdstap berekend op basis van de watervraag en waterpeilen langs alle panden in het Albertkanaal. Een stijging van $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ in het gemiddeld gesimuleerde watertekort voor deze watergebruiker toont dat het Albertkanaal blijft een vooraanstaande knelpunt in het watersysteem aangezien deze ook de grootste stijging van deze watertekortindicator is. Deze stijging blijft echter kleiner dan die gesimuleerd met NAM ($1,09 \text{ m}^3/\text{s}$) maar niettemin hoger dan dat met PDM ($0,31 \text{ m}^3/\text{s}$). Scheepvaart te Olen en Fontinettes volgen als hoogste stijgingen van gemiddeld gesimuleerde watertekort: respectievelijk $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ en $0,29 \text{ m}^3/\text{s}$ meer dan in de huidige toestand. De hoogste stijging in het Kanaal Gent Terneuzen hoort bij de watergebruiker geregeld door het verdrag tussen België en Nederland omtrent het minimum debiet naar Terneuzen langs deze waterweg ($0,22 \text{ m}^3/\text{s}$). Stijgingen van deze watertekortindicator ergens anders in het watersysteem worden gesimuleerd onder deze drempel en tonen echter een relatief beperkte invloed van klimaatverandering.

Figuur 30 toont een vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met VHM. Overal wordt een beperkte stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een gemiddeld gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 879 naar 876, terwijl het aantal watergebruikers met gemiddelde gesimuleerde watertekorten hoger dan $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 18 naar 24.



Figuur 26 – Stijging van gemiddelde gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s)
na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



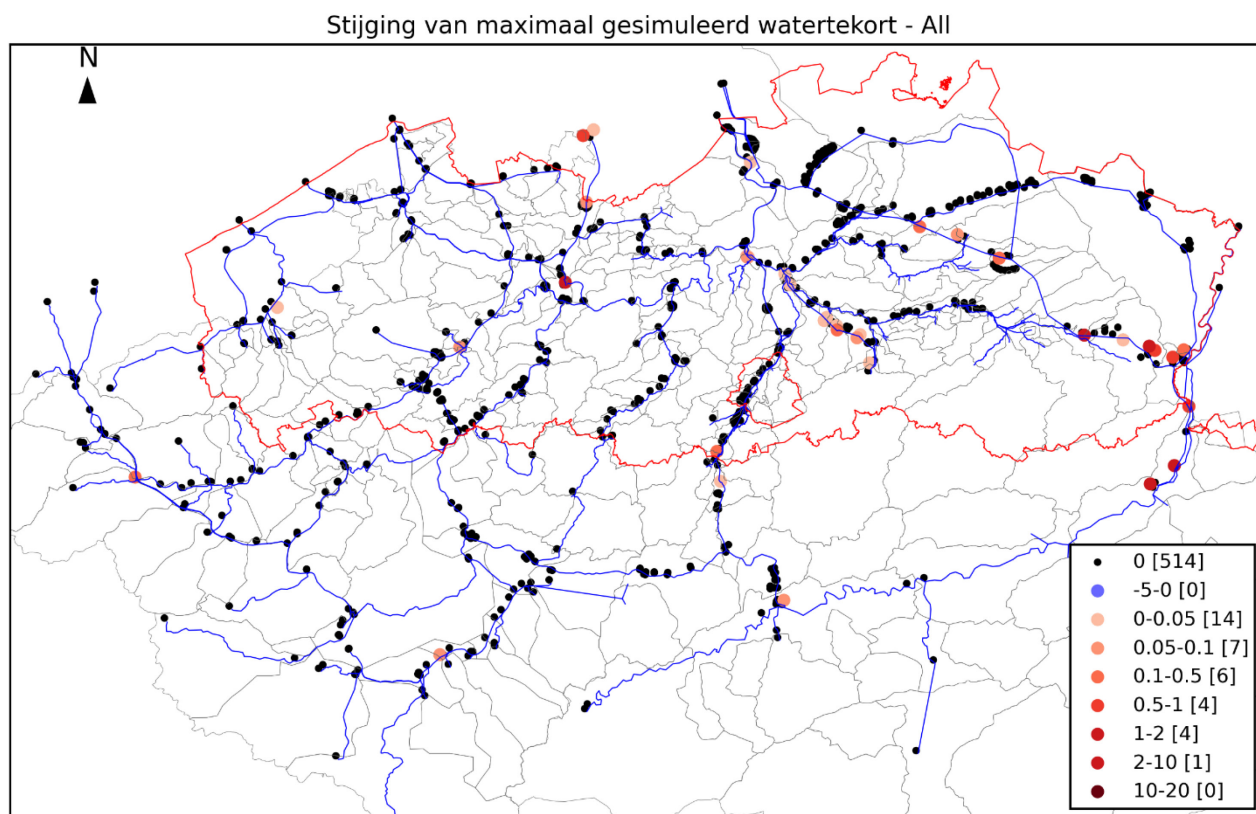
Figuur 27 – Vergelijking van gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen

4.5.2 Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s)

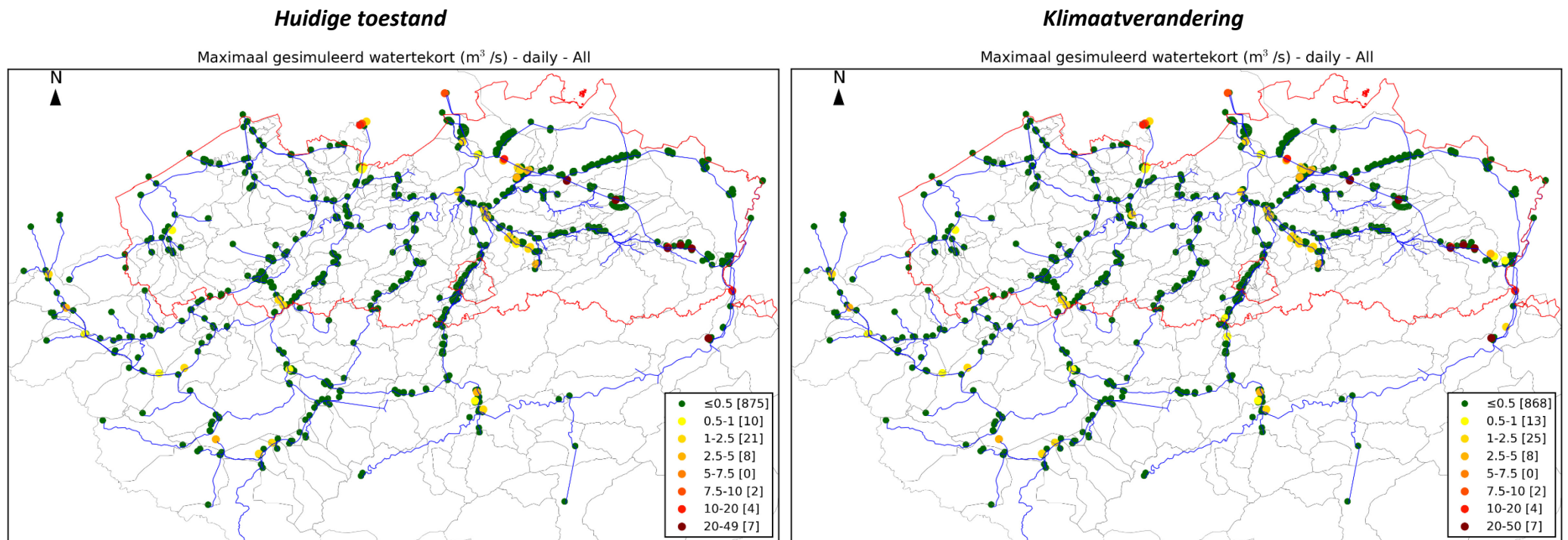
Maximale gesimuleerde watertekorten tonen het hoogste watertekort per watergebruiker in de simulatie periode van 47 jaar. Deze watertekortindicator geeft een maat van hoe extreem watertekortperiodes kunnen zijn. Om een juiste onderscheid te maken tussen gemiddelde en maximale gesimuleerde watertekorten is het belangrijk om het bereik in de legende goed te noteren. Figuur 28 hieronder toont de stijgingen in maximale dagelijks gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor alle NACE-BEL sectoren na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in VHM modellen in een simulatie periode van 47 jaar.

De meest opmerkelijke stijgingen van deze watertekortindicator bevinden zich langs het Albertkanaal en het Kanaal Gent-Terneuzen. Langs het Albertkanaal wordt de hoogste stijging in het watersysteem gesimuleerd bij de meest opwaartse pand van het kanaal. De energiecentrale (Sector D) van Genk toont een stijging van $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Het pompstation dat water oppompt vanuit het Kanaal Gent Terneuzen naar Gentbrugge volgt met een stijging in maximaal gesimuleerde watertekort van $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ten opzichte van de huidige toestand. De hoogste maximaal gesimuleerde watertekort in het watersysteem blijft de voeding van het Albertkanaal te Monsin en wordt derde in de lijst van hoogste stijgingen van deze waterindicator, $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, van $48,1 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $49,2 \text{ m}^3/\text{s}$. In het Kanaal Gent-Terneuzen zijn stijgingen van maximaal gesimuleerde watertekort echter beperkt met de uitzondering van de watergebruiker verantwoordelijk om het verdrag tussen België en Nederland omtrent het minimum debiet langs deze waterweg na te leven. Deze simuleert een stijging van $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ voor deze watertekortindicator.

Figuur 29 toont een vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met VHM. Overal wordt een beperkte stijging in watertekorten opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een maximaal gesimuleerde watertekort kleiner dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 875 naar 868, terwijl het aantal watergebruikers met maximale gesimuleerde watertekorten hoger dan $1 \text{ m}^3/\text{s}$ stijgt van 42 naar 46.



Figuur 28 – Stijging van maximale gesimuleerde watertekort dagelijkse waarden (m^3/s) na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



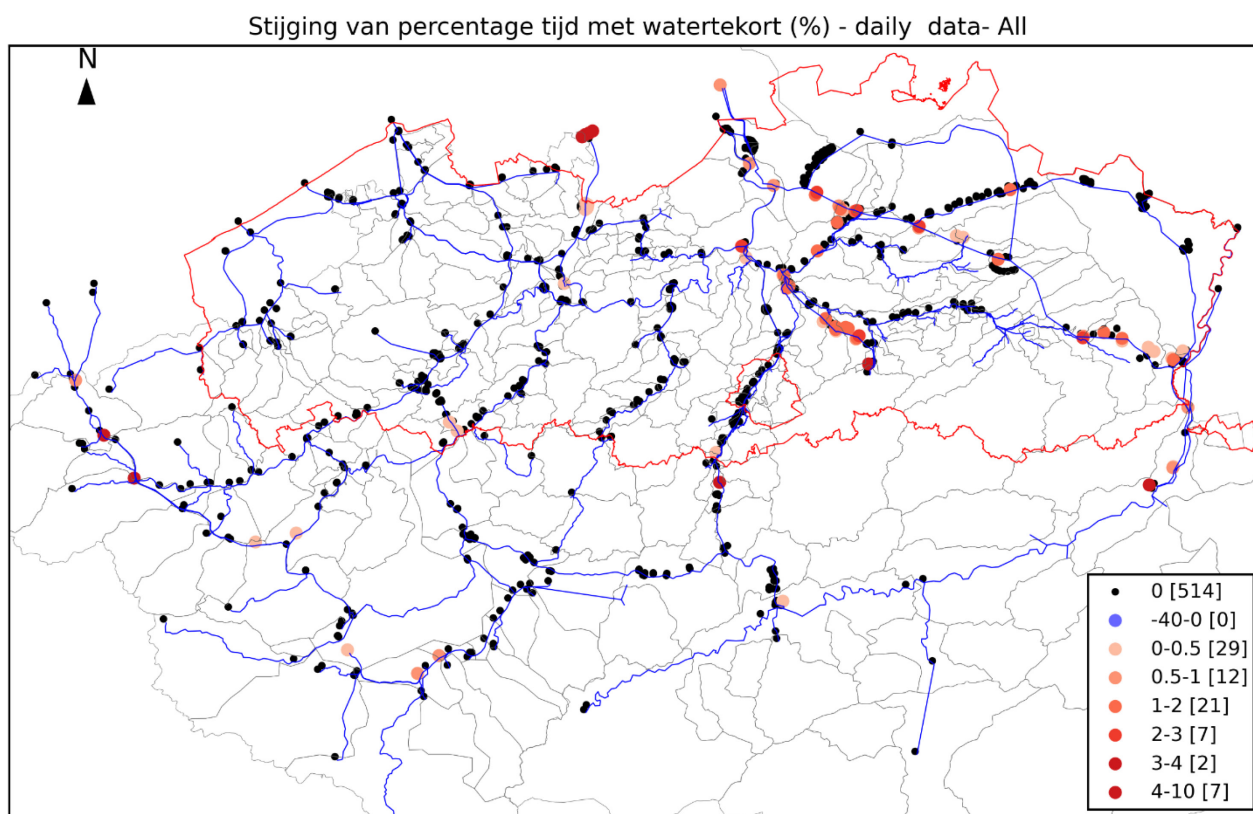
Figuur 29 – Vergelijking van maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen

4.5.3 Percentage tijd met watertekort (%)

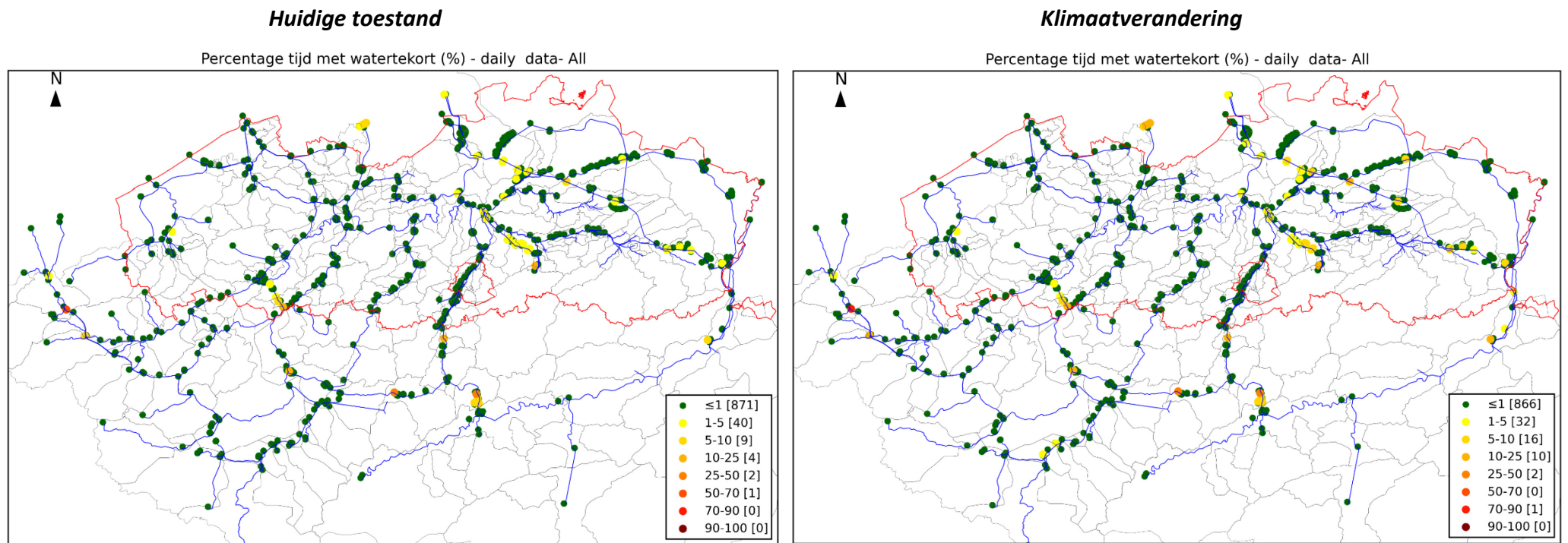
Het totaal aantal dagen in de simulatie is 17 167. Het percentage tijd met watertekort geeft een idee over de tijdsduur en regelmatigheid van watertekorten. Onderstaande Figuur 30 toont de stijging in het percentage dagen dat elke watergebruiker (van alle NACE-BEL sectoren) geconfronteerd wordt met een watertekort na de toepassing van geperturbeerde neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen in PDM modellen in de simulatie periode van 47 jaar.

Stijgingen in het percentage tijd met watertekort worden gesimuleerd langs dezelfde watergebruikers en waterwegen als voorgaande watertekortindicatoren. Hoge stijgingen worden gesimuleerd in waterbeheer en zoutverdringing verplichtingen van watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren. Deze tonen 4% tot bijna 6% meer tijd met watertekort ten opzichte van de huidige toestand. Vlaamse gebruikers in het Kanaal Gent Terneuzen ervaren echter een beperkte stijging in de tijdsduur van watertekorten. De hoogste stijging in het Albertkanaal wordt gesimuleerd bij de voeding te Monsin met 3,4% extra percentage tijd met watertekort. De voeding van het Kanaal Leuven Dijle simuleert een stijging van 4% voor deze watertekortindicator.

Figuur 31 toont een vergelijking van percentage tijd met watertekort voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met VHM. Overal wordt een stijging in de tijdsduur met watertekort opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers met een percentage tijd met watertekort kleiner dan 1% in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 871 naar 866, terwijl het aantal watergebruikers met percentage tijd met watertekort hoger dan 5% stijgt van 16 naar 29.



Figuur 30 – Stijging van percentage tijd met watertekort (%)
na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



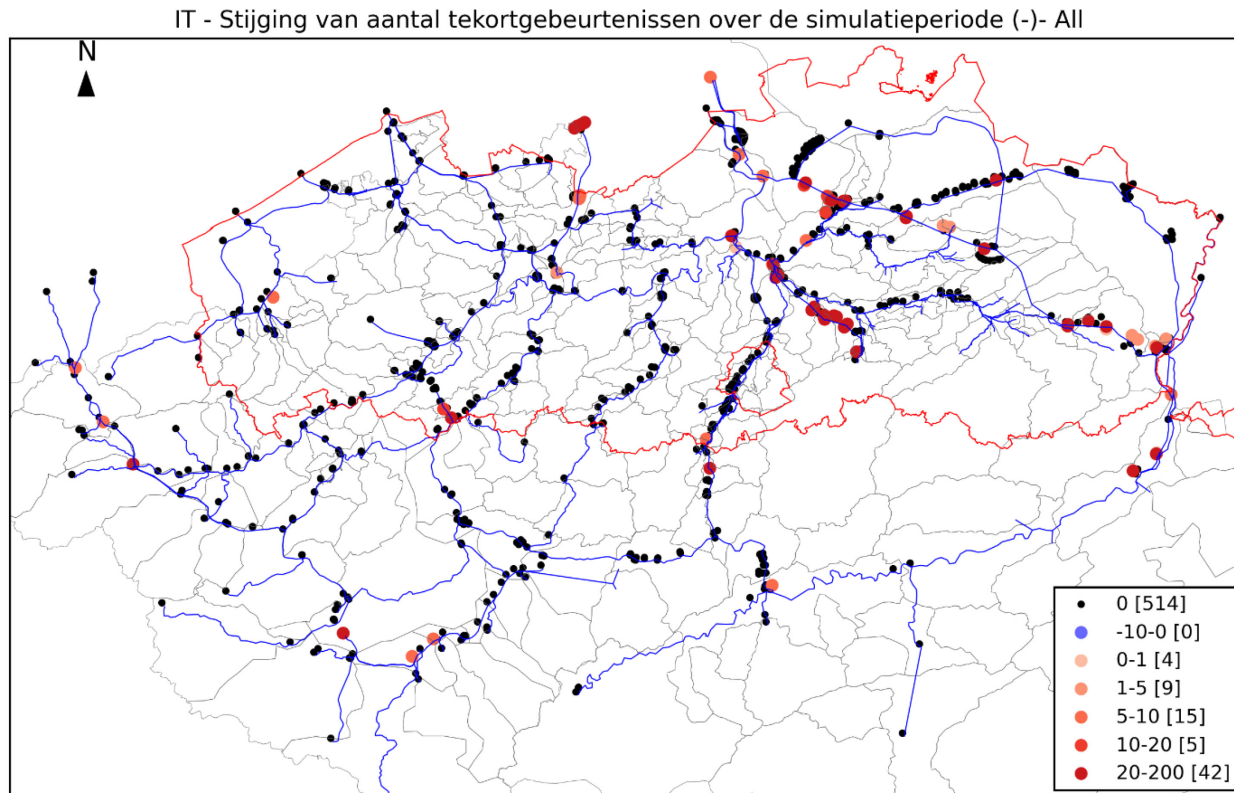
Figuur 31 – Vergelijking van percentage tijd met watertekort (%) voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen

4.5.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode

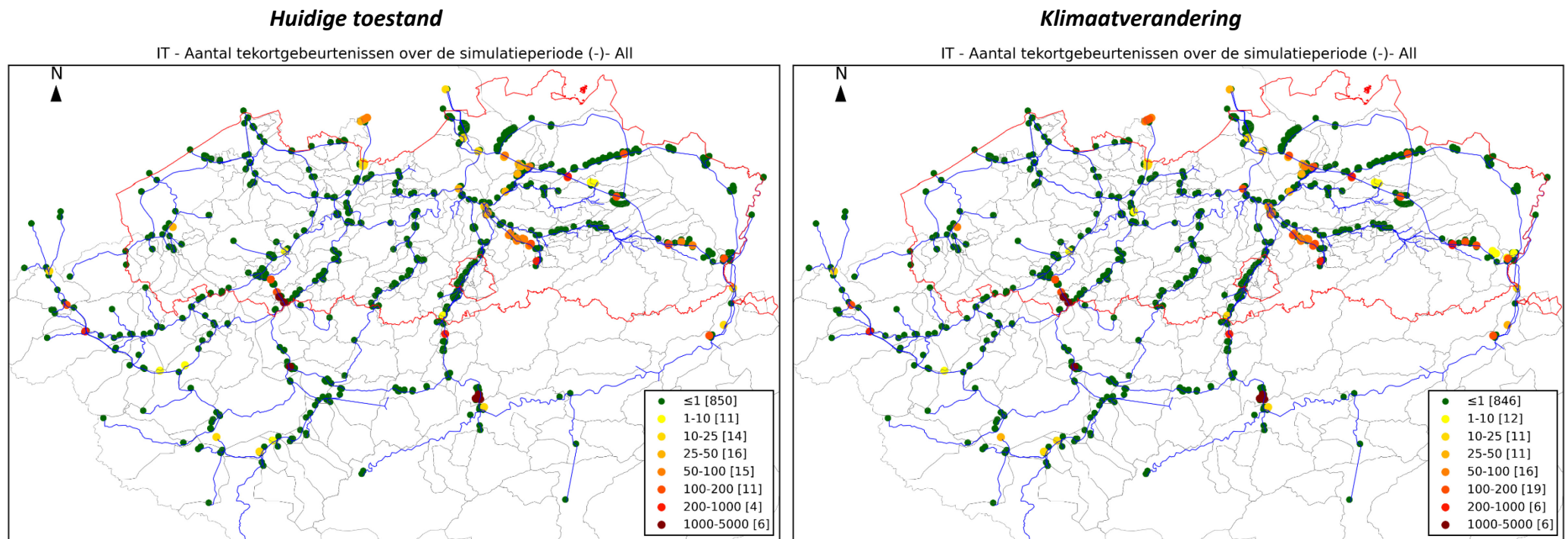
Afzonderlijke watertekort periodes worden geteld door de Post Processing tool zoals beschreven in Deelrapport 3-1. Een afzonderlijke watertekortevenement is één waterschaarste periode waarin één of meerdere dagen een watertekort zich voordoet. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

Onderstaande Figuur 32 toont stijgingen van afzonderlijke watertekort periodes bij watergebruikers verspreid over het Scheldestroomgebied. Naar aanleiding van voorgaande watertekortindicatoren, stijgt ook het aantal watertekortgebeurtenissen voornamelijk langs het Albertkanaal, het Kanaal Gent Terneuzen en het Kanaal Leuven Dijle. Niettemin, de grootse stijging in watertekortgebeurtenissen in het België (130 in totaal) wordt gesimuleerd bij scheepvaart in de sluis van Ittre. Daarop volgen watergebruikers in de sluizen van Terneuzen West en Midden met 93 en 85 meer watertekortgebeurtenissen dan de simulatie van de huidige toestand. Stijgingen in het aantal watertekortgebeurtenissen liggen boven 20 voor scheepvaart en waterbeheer in het Albertkanaal, het Kanaal Gent Terneuzen, het Kanaal Leuven Dijle en het Kanaal Bossuit Kortrijk, maar blijven ruim onder die drempel bij de resterende watergebruikers in het watersysteem. De voeding van het Albertkanaal toont 40 meer afzonderlijke watertekortgebeurtenissen. Analoog naar de resultaten met NAM en PDM modellen, het WPC De Blankaart aan de IJzer simuleert een stijging in watertekortgebeurtenissen met 7 meer watertekortgebeurtenis in de simulatieperiode van 47 jaar.

Figuur 33 toont een vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor alle watergebruikers tussen simulaties van de huidige toestand en klimaatverandering met VHM. Overal wordt een beperkt stijging in het aantal watertekortgebeurtenissen opgemerkt zodanig dat het aantal watergebruikers zonder watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode van 47 jaar daalt van 850 naar 846. Het aantal watergebruikers met watertekortgebeurtenissen talrijker dan 25 stijgt wel van 52 naar 69, een aanzienlijk hoger cijfer dan NAM of PDM.



Figuur 32 – Stijging van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 33 – Vergelijking van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode voor gebruikers van alle sectoren gebruikmakend van VHM-modellen

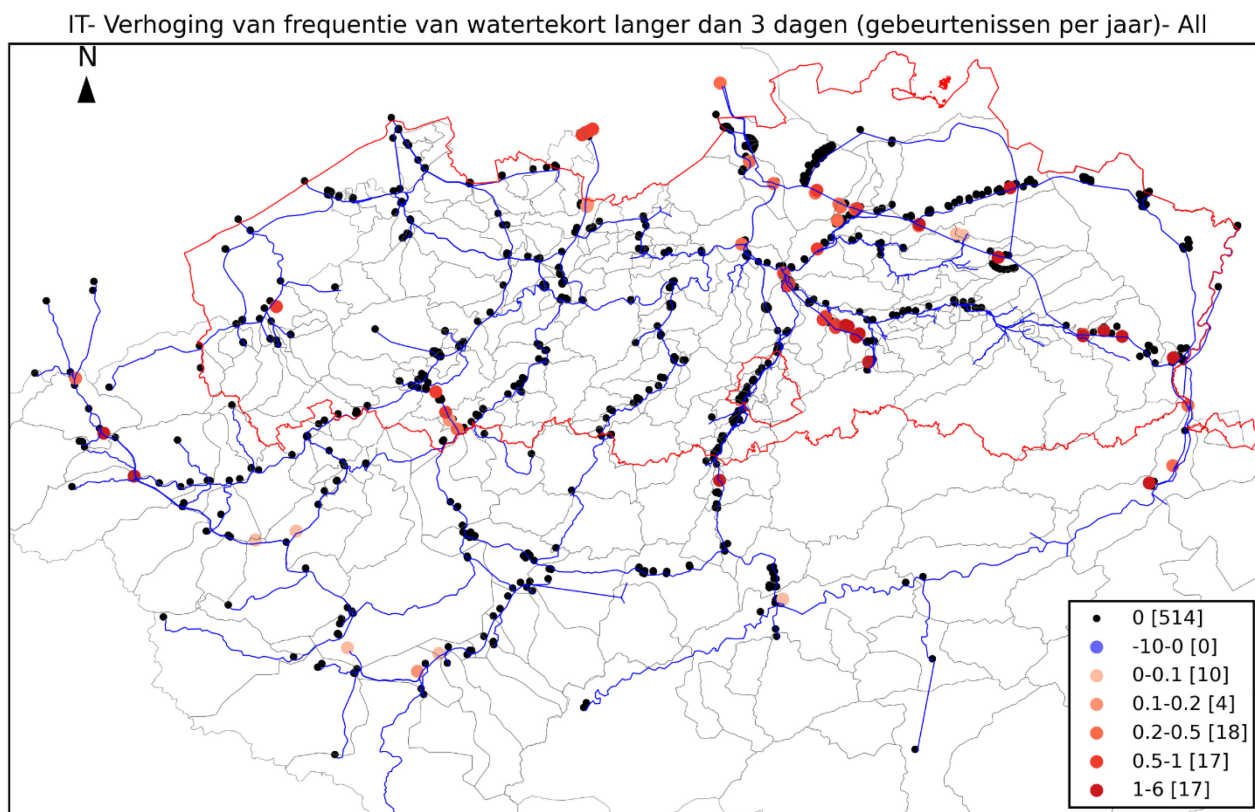
4.5.5 Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar)

De toename in frequentie van watertekortperiodes (langer dan 3-7 dagen) ten opzichte van de simulatie van huidige toestand wordt in kaart gebracht met behulp van de Python Post Processing tool. Rekening houdend met de IT Pooling, verschillende watertekort momenten die gebeuren binnen een periode van 5 dagen worden beschouwd als één event.

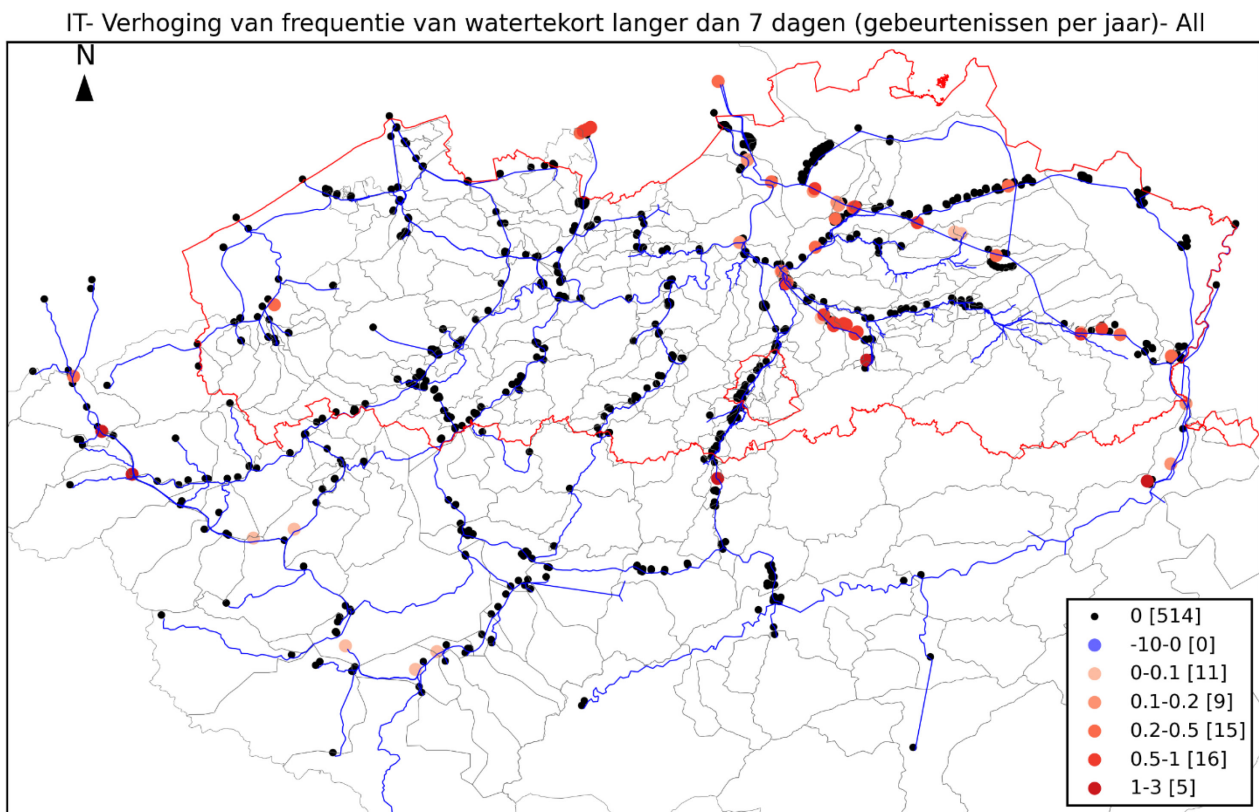
Figuur 34 en Figuur 35 tonen dat reeds door andere watertekortindicatoren geïdentificeerde knelpunten ook stijgingen in deze watertekortindicator simuleren. Dat is het geval in het Kanaal Gent Terneuzen, het Kanaal Bossuit Kortrijk, het Kanaal Leuven Dijle en het Albertkanaal. Deze waterwegen tonen een toename in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen. Alle watergebruikers die water naar Terneuzen afvoeren zowel als scheepvaart en waterbeheer langs het Kanaal Bossuit Kortrijk tonen de voornaamste toenames. WPC De Blankaart wordt ook getroffen door een hogere jaarlijkse frequentie van watertekortgebeurtenissen langer dan 3 dagen en op mindere mate van langer dan 7 dagen.

De stijgingen in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen (Figuur 35) tonen een gelijkaardig beeld met de uitzondering van het Kanaal Bossuit Kortrijk. Langs het Kanaal Bossuit Kortrijk worden echter geen stijgingen gesimuleerd wat verklaard wordt door de werking van watergebruikers die als pompstations fungeren (zie Deelrapport 3-1).

Stijgingen in de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen gebruikmakend van VHM modellen tonen het Kanaal Gent Terneuzen als voornaamste knelpunt in het watersysteem.



Figuur 34 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



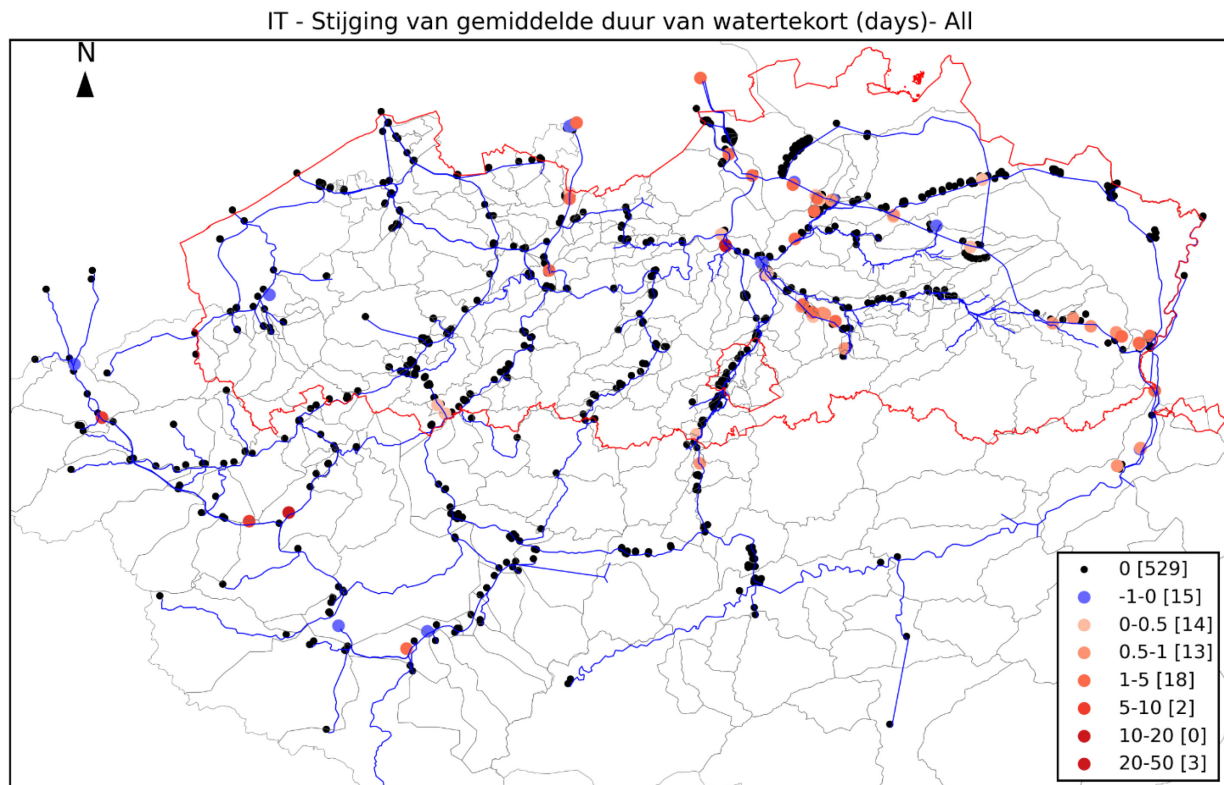
Figuur 35 – Stijging in de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

4.5.6 Gemiddelde en maximale duur van een periode met watertekort (dagen)

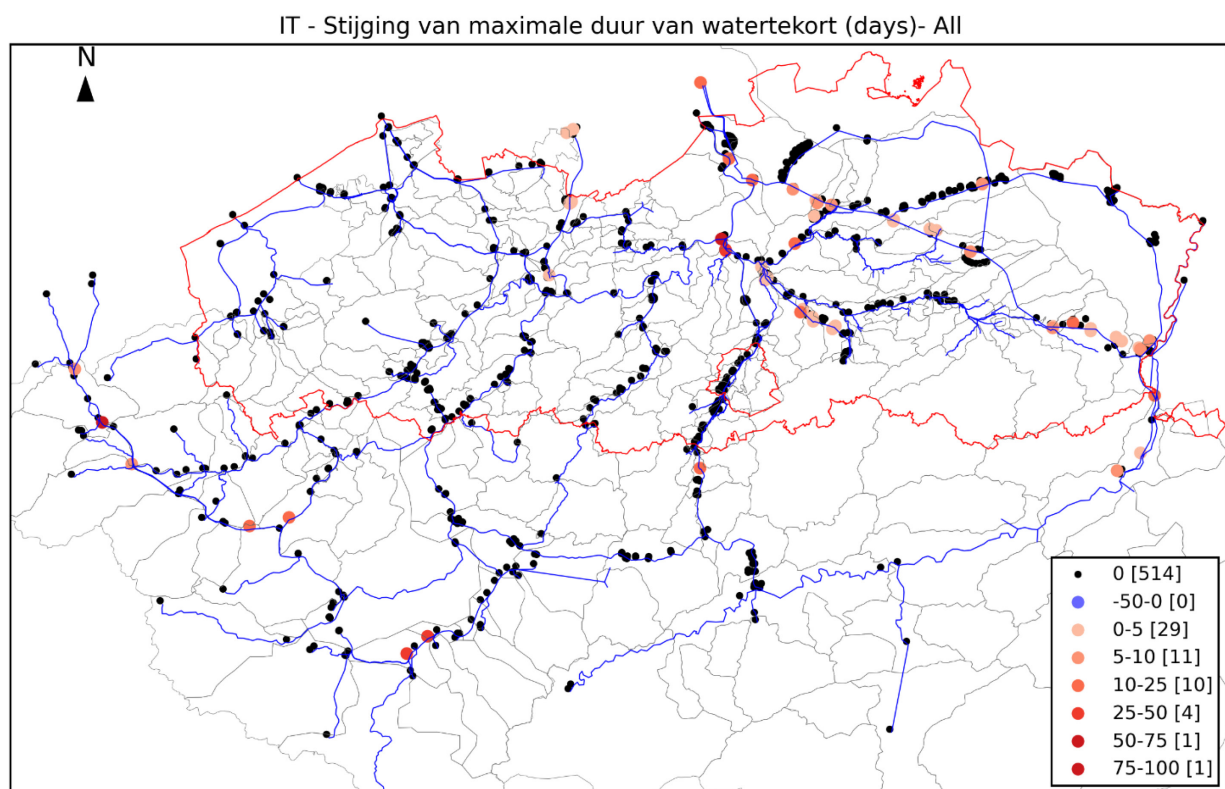
Onderstaande Figuur 36 en Figuur 37 tonen stijgingen in gemiddelde en maximale duur van watertekorten per watergebruiker in het watersysteem ten opzichte van de resultaten van huidige toestand. De Python Post Processing tool houdt rekening met IT pooling waardoor watertekortevenementen worden geaggregeerd wanneer ze binnen 5 tijdstappen (dagen) na elkaar gebeuren.

De stijgingen in gemiddelde duur van watertekortperiodes gebruikmakend van VHM modellen voor klimaatverandering tonen het Albertkanaal en afvoer naar Terneuzen in het Kanaal Gent Terneuzen als knelpunten in het watersysteem. Opmerkelijk is dat een daling in de gemiddelde duur van watertekortperiodes wordt gesimuleerd bij zoutverdringing verplichtingen langs het Kanaal Gent Terneuzen, de sluis van Olen en WPC De Blankaart. Dit is niet het geval met de maximale gesimuleerde duur van watertekortperiodes waar deze watergebruikers ervaren wel een stijging in de maximale duur van een watertekortperiode, behalve WPC De Blankaart. De sluis van Wintam simuleert een belangrijke stijging in deze watertekortindicator (89 dagen).

In de hoedanigheid van tijdsduur van watertekort tonen deze watertekortindicatoren dat afvoer naar Terneuzen langs het Kanaal Gent Terneuzen, scheepvaart en waterbeheer langsheen het Albertkanaal en het Kanaal Leuven Dijle de voornaamste knelpunten vormen in het watersysteem.



Figuur 36 – Stijging van gemiddelde duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar



Figuur 37 – Stijging van maximale duur van een watertekortperiode
na toepassing van geperturbeerde reeksen in VHM modellen voor alle sectoren in een simulatie periode van 47 jaar

5 Samenvatting

5.1 Samenvatting

Een analyse en voorstelling van resultaten van de MIKE HYDRO Basin simulatie periode van 47 jaar voor de huidige toestand werd in Deelrapport 3-1 in detail toegelicht. De modellering is gebaseerd op het watergebruik en het hydrologisch wateraanbod van de periode 1967-2013. 2013 wordt beschouwd als het referentiejaar voor het watergebruik. Het hydrologisch wateraanbod werd bekerend met neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen voor deze periode in Neerslag-Afvoer Modellen (NAM) voor alle sub-bekkens in het studiegebied. Het huidige Deelrapport 3-2 bekijkt de modellering van klimaatveranderingsscenario's.

De analyse van klimaatverandering focust op de impact van verandering in neerslag en evapotranspiratie op het watersysteem zodanig dat het watergebruik ongewijzigd blijft ten opzichte van de huidige toestand. De *Climate Perturbation Tool* ontwikkeld door een multidisciplinair team bij de Hydraulica afdeling van de Katholieke Universiteit Leuven en het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) werd gebruikt om nieuwe klimaatscenario's te formuleren. Neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen van de periode 1967-2013 werden geperturbeerd om een toekomstige simulatie periode 2027-2073 op te stellen. Het hydrologisch wateraanbod werd apart berekend met NAM, PDM en VHM voor alle sub-bekkens in het studiegebied gedurende de simulatieperiode van 47 jaar. Zodoende kunnen de simulaties van drie hydrologische modellen vergeleken worden in huidige toestand en klimaatverandering. Er zijn in totaal 6 simulaties uitgevoerd.

Watertekortindicatoren worden berekend met behulp van een zelf ontwikkelde Python Post Processing tool. Op basis van watertekortindicatoren berekend voor de huidige toestand, de Post Processing Tool werd uitgebreid om de verandering in deze door klimaatverandering op kaart te kunnen aantonen voor alle watergebruikers in het studiegebied. Watertekortindicatoren van watergebruikers die een watertekort simuleren in de huidige toestand stijgen allemaal op ten opzichte van klimaatveranderingsscenario's, met enkele uitzonderingen.

5.2 Globale resultaten

Onderstaande tabellen bevatten de resultaten van de tien voornaamste stijgingen per watertekortindicator opgesteld met drie verschillende hydrologische wateraanbod modellen (NAM, PDM en VHM). Waterwegen en kanalen worden aangeduid met een drie letter code waarvoor een uitleg wordt in Bijlagen toegevoegd.

Het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen komen het vaakst aan bod als knelpunten in het watersysteem. Hierbij is belangrijk om te melden dat er geen rekening is gehouden met de implementatie van de pompsysteem langs de sluizen van het Albertkanaal. Eens dat deze pomp-complexen zullen geïnstalleerd zijn, zullen er een oplossing bieden aan de watertekorten die nu gemodelleerd langs deze waterweg.

De resultaten van het Bekken van de Gentse Kanalen met oog op het Kanaal Gent Terneuzen worden in detail toegelicht in §5.3 . in §6 worden de belangrijkste conclusies getrokken op basis van de analyse van deze resultaten en de wijze van werking van het waterallocatiemodel voor het Scheldestroomgebied in MIKE HYDRO Basin.

Tabel 1 – Tien hoogste stijgingen van gemiddelde gesimuleerde watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Gemiddelde gesimuleerde watertekort								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s	Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s	Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s
W1043	Voeding ABK te Monsin	1,09	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,43	W1043	Voeding ABK te Monsin	0,78
W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	0,63	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	0,37	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	0,42
W543	ABK-Scheepvaart sluis Wijnegem	0,39	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	0,36	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	0,29
W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	0,38	W1043	Voeding ABK te Monsin	0,32	W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	0,25
W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,35	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	0,15	W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	0,25
W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	0,34	W543	ABK-Scheepvaart sluis Wijnegem	0,06	W543	ABK-Scheepvaart sluis Wijnegem	0,23
W508	ABK-Scheepvaart sluis Genk	0,33	W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	0,06	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,23
W513	ABK-Scheepvaart sluis Diepenbeek	0,32	W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	0,05	W508	ABK-Scheepvaart sluis Genk	0,23
W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	0,31	W508	ABK-Scheepvaart sluis Genk	0,04	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	0,22
W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	0,23	W513	ABK-Scheepvaart sluis Diepenbeek	0,04	W513	ABK-Scheepvaart sluis Diepenbeek	0,22

Tabel 2 – Tien hoogste stijgingen van maximaal gesimuleerd watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Maximaal gesimuleerd watertekort								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s	Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s	Knoop ID	Omschrijving	Stijging m ³ /s
W1390	ABK-Scheepvaart sluis Lanaye	9,3	W1043	Voeding ABK te Monsin	7,6	W510	ABK-Energiecentrale Genk	3,4
W658	Voeding KLD	4,5	W536	ABK-Waterbeheer sluis Olen	6,5	W750	KGT-Waterbeheer Gentbrugge	1,9
W1043	Voeding ABK te Monsin	2,6	W1390	ABK-Scheepvaart sluis Lanaye	6,1	W1396	ABK-Waterbeheer sluis Monsin	1,1
W1396	ABK-Waterbeheer sluis Monsin	2,1	W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	3,3	W1043	Voeding ABK te Monsin	1,1
W652	KLD-Sector D Boortmeerbeek	1,7	W513	ABK-Scheepvaart sluis Diepenbeek	2,9	W517	ABK-Waterbeheer sluis Hasselt	1,1
W651	KLD-Sector D Battel	1,7	W508	ABK-Scheepvaart sluis Genk	2,4	W511	ABK-Industrie Genk	1,0
W650	KLD-Sector D Zennegat	1,7	W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	2,2	W1390	ABK-Scheepvaart sluis Lanaye	0,8
W654	KLD-Sector D Tildonk	1,7	W540	ABK-WPC Water-link	1,1	W506	ABK-Waterbeheer sluis Lanaken	0,6
W653	KLD-Sector D Kampenhout	1,7	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,9	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,5
W645	KLD-Waterbeheer sluis Boortmeerbeek	1,4	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	0,8	W576	KBN-Scheepvaart sluis Neerharen	0,4

Tabel 3 – Tien hoogste stijgingen van percentage tijd met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Percentage tijd watertekort								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging %	Knoop ID	Omschrijving	Stijging %	Knoop ID	Omschrijving	Stijging %
W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	10,8	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	14,1	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	9,6
W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	9,9	W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	7,6	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	7,3
W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	7,8	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	7,6	W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	5,5
W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	5,9	W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	7,5	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	5,4
W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	5,8	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	6,9	W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	5,2
W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	5,8	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	5,6	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	4,2
W1043	Voeding ABK te Monsin	4,4	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	5,1	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	4,0
W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	4,4	W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	3,8	W658	Voeding KLD	4,0
W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	4,1	W771	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen West	3,7	W1043	Voeding ABK te Monsin	3,4
W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	4,0	W773	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen Midden	2,5	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	2,9

Tabel 4 – Tien hoogste stijgingen van aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging #	Knoop ID	Omschrijving	Stijging #	Knoop ID	Omschrijving	Stijging #
W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	244	W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	333	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	152
W963	KSD-Scheepvaart sluis Goelzin	172	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	106	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	130
W542	ABK-Industrie Wijnegem	91	W1043	Voeding ABK te Monsin	77	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	93
W507	KBN-Scheepvaart sluis Lanaken	85	W771	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen West	66	W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	85
W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	74	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	64	W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	72
W525	KBH-Scheepvaart sluis Dessel	72	W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	44	W508	ABK-Scheepvaart sluis Genk	60
W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	72	W517	ABK-Waterbeheer sluis Hasselt	40	W640	KLD-Scheepvaart sluis Tildonk	55
W536	ABK-Waterbeheer sluis Olen	72	W970	KSD-Scheepvaart sluis Pont-malin	38	W658	Voeding KLD	54
W513	ABK-Scheepvaart sluis Diepenbeek	69	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	36	W543	ABK-Scheepvaart sluis Wijnegem	53
W771	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen West	67	W750	KGT-Waterbeheer Gentbrugge	35	W545	NEK-Scheepvaart sluis Viersel	51

Tabel 5 – Tien hoogste stijgingen van frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen per jaar gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen (gebeurtenissen per jaar)									
NAM		Stijging	PDM		Stijging	VHM		Stijging	
Knoop ID	Omschrijving	#/jaar	Knoop ID	Omschrijving	#/jaar	Knoop ID	Omschrijving	#/jaar	
W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	4,1	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	3,1	W658	Voeding KLD	5,4	
W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	3,4	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	2,5	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	5,0	
W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	3,2	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	2,4	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	2,8	
W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	2,4	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	2,2	W1043	Voeding ABK te Monsin	1,8	
W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	2,3	W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	2,2	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	1,7	
W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	2,2	W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	2,2	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	1,7	
W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	1,2	W861	KBK-Scheepvaart sluis Moen	1,0	W525	KBH-Scheepvaart sluis Dessel	1,6	
W1043	Voeding ABK te Monsin	1,2	W863	KBK-Scheepvaart sluis Zwevegem	1,0	W521	ABK-Scheepvaart sluis Kwaadmechelen	1,6	
W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	1,0	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	1,0	W654	KLD-Sector D Tildonk	1,5	
W861	KBK-Scheepvaart sluis Moen	1,0	W771	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen West	0,6	W516	ABK-Scheepvaart sluis Hasselt	1,5	

Tabel 6 – Tien hoogste stijgingen van frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen per jaar gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen (gebeurtenissen per jaar)										
NAM			Stijging	PDM			Stijging	VHM		Stijging
Knoop ID	Omschrijving	#/jaar	Knoop ID	Omschrijving	#/jaar	Knoop ID	Omschrijving	#/jaar		
W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	2,6	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	1,8	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	2,8		
W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	2,6	W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	1,7	W658	Voeding KLD	2,4		
W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	2,5	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	1,7	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	1,4		
W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	1,7	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	1,6	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	1,3		
W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	1,7	W1458	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Midden	1,5	W1043	Voeding ABK te Monsin	1,3		
W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	1,5	W987	LEI-Waterbeheer Aire-sur-la-Lys	1,5	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	1,0		
W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,9	W1452	KGT-Zoutverdringing verdrag BE-NL	0,8	W654	KLD-Sector D Tildonk	0,8		
W1043	Voeding ABK te Monsin	0,7	W771	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen West	0,3	W662	KLD-Landbouw Kampenhout	0,8		
W678	KBS-Scheepvaart sluis Wintam	0,5	W1043	Voeding ABK te Monsin	0,2	W664	KLD-Sector T Kampenhout	0,8		
W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	0,5	W773	KGT-Scheepvaart sluis Terneuzen Midden	0,1	W640	KLD-Scheepvaart sluis Tildonk	0,7		

Tabel 7 – Tien hoogste stijgingen van gemiddelde duur van een periode met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Gemiddelde duur van een periode met watertekort (dagen)								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen	Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen	Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen
W981	KSD-Scheepvaart sluis Cuinchy	49	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	39	W983	KSD-Scheepvaart sluis Don	33
W662	KLD-Landbouw Kampenhout	27	W573	HAR-Scheepvaart Kreekraksluis	11	W680	KBS-Industrie Willebroek	26
W664	KLD-Sector T Kampenhout	27	W1390	ABK-Scheepvaart sluis Lanaye	10	W681	KBS-Sector G Willebroek	26
W646	KLD-Scheepvaart sluis Battel	25	W1395	ABK-Scheepvaart sluis Monsin	10	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	7
W653	KLD-Sector D Kampenhout	20	W559	HAR-Scheepvaart Boudewijnsuis	10	W981	KSD-Scheepvaart sluis Cuinchy	6
W652	KLD-Sector D Boortmeerbeek	20	W636	NEK-Scheepvaart sluis Duffel	9	W970	KSD-Scheepvaart sluis Pont-malin	4
W576	KBN-Scheepvaart sluis Neerharen	17	W658	Voeding KLD	9	W1459	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen Oost	4
W651	KLD-Energiecentrale Battel	16	W562	HAR-Scheepvaart Royessluis	8	W576	KBN-Scheepvaart sluis Neerharen	4
W650	KLD-Sector D Zennegat	16	W633	NEK-WPC Water-link	8	W750	KGT-Waterbeheer Gentbrugge	3
W511	ABK-Industrie Genk	16	W1457	KGT-Waterbeheer sluis Terneuzen West	7	W1451	KGT-WPC Kluizen	3

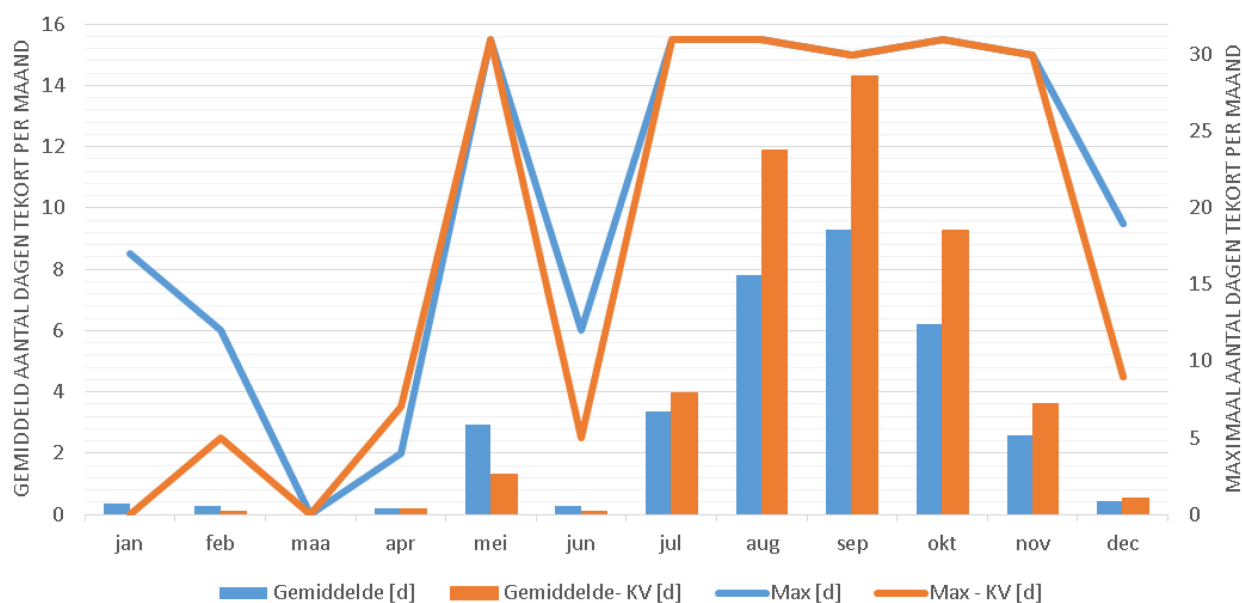
Tabel 8 – Tien hoogste stijgingen van maximale duur van een periode met watertekort gebruikmakend van hydrologische invoer berekend met NAM, PDM en VHM voor huidige en toekomstige klimaatverandering toestanden

Maximale duur van een periode met watertekort (dagen)								
NAM			PDM			VHM		
Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen	Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen	Knoop ID	Omschrijving	Stijging dagen
W658	Voeding KLD	172	W678	KBS-Scheepvaart Wintam	99	W678	KBS-Scheepvaart Wintam	89
W573	HAR-Scheepvaart Kreekraksluis	134	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	92	W989	KSD-Scheepvaart sluis Fontinettes	52
W981	KSD-Scheepvaart sluis Cuinchy	114	W535	ABK-Scheepvaart sluis Olen	55	W970	KSD-Scheepvaart sluis Pont-malin	49
W662	KLD-Landbouw Kampenhout	109	W1043	Voeding ABK te Monsin	50	W1090	BOS-Pomp Pont-malin	27
W664	KLD-Sector T Kampenhout	109	W963	KSD-Scheepvaart sluis Goeulzin	47	W680	KBS-Industrie Willebroek	26
W983	KSD-Scheepvaart sluis Don	92	W970	KSD-Scheepvaart sluis Pont-malin	39	W681	KBS-Sector G Willebroek	26
W633	NEK-WPC Water-link	87	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	38	W921	KBC-Scheepvaart sluis Ittre	21
W507	KBN-Scheepvaart sluis Lanaken	85	W1090	BOS-Pomp Pont-malin	35	W1390	ABK-Scheepvaart sluis Lanaye	20
W646	KLD-Scheepvaart sluis Battel	85	W573	HAR-Scheepvaart Kreekraksluis	30	W573	HAR-Scheepvaart Kreekraksluis	19
W653	KLD-Sector D Kampenhout	84	W507	KBN-Scheepvaart sluis Lanaken	27	W562	HAR-Scheepvaart Royerssluis	19

5.3 Bekken van de Gentse Kanalen

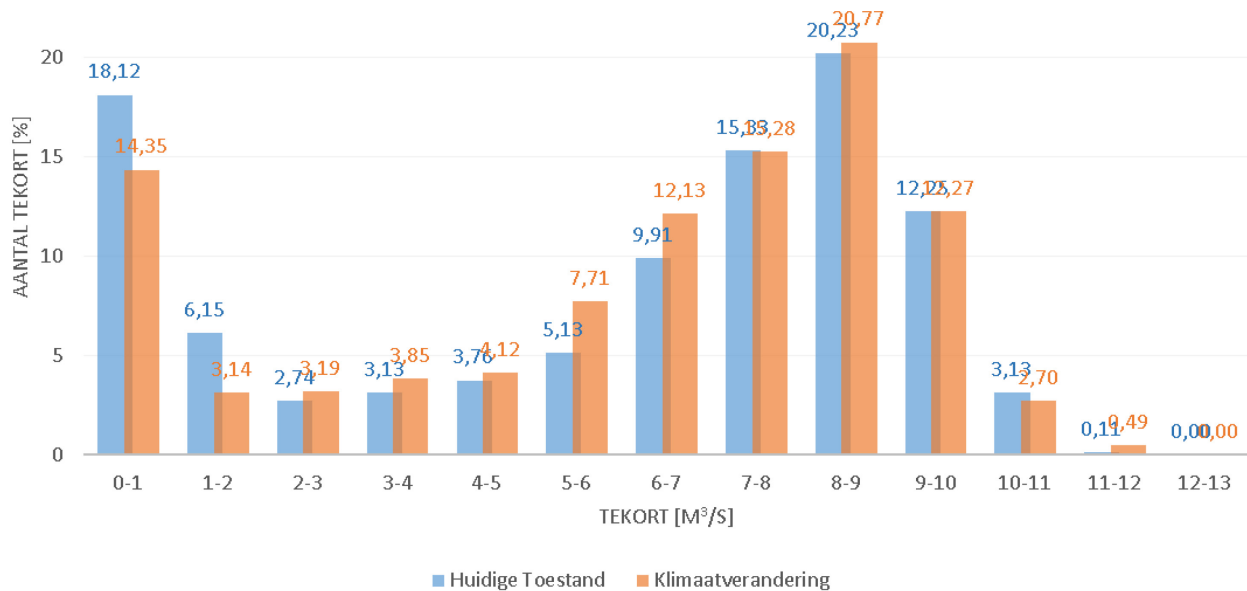
De waterbalans in het bekken van de Gentse kanalen heeft als knelpunt het benodigde debiet om zoutindringing tegen te gaan langs het Kanaal Gent-Terneuzen. Het debiet in het Kanaal Gent-Terneuzen in het verdrag België en Nederland 13 m³/s gemiddeld over twee maanden. Onderstaande figuren maken een vergelijking van de resultaten gesimuleerd met NAM modellen voor de huidige toestand en klimaatverandering.

Figuur 38 toont het gemiddeld en maximaal aantal dagen per maand waarin een spuitekort wordt gesimuleerd. In de periode tussen juli en november, een stijging in het gemiddeld aantal dagen per maand met een spuitekort wordt vastgesteld. Het gemiddelde aantal dagen met spuitekort in september stijgt van 9 tot 14, de hoogste van het jaar. De periode tussen januari en juni simuleert integendeel een daling van het gemiddeld zowel als het maximaal aantal dagen spuitekort per maand. De verklaring hiervan is het gebruik van het “hoog-winter scenario” om neerslag en evapotranspiratie tijdreeksen te perturberen waar nattere winters en drogere zomers worden gesimuleerd.



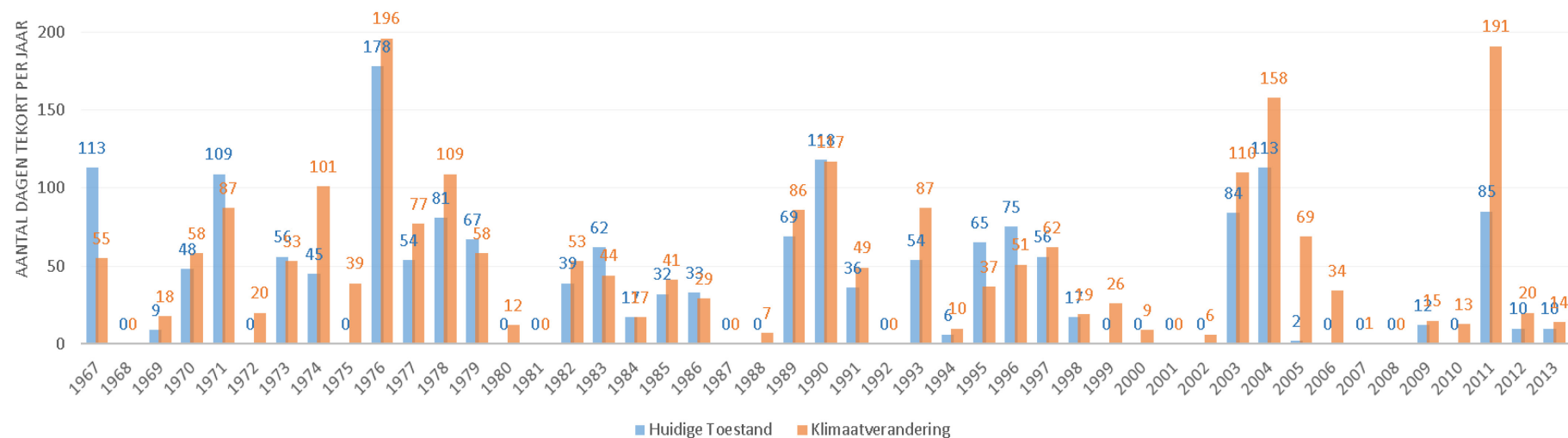
Figuur 38 – Gemiddeld en maximaal aantal dagen met spuitekort per maand

Het histogram van het aantal spuitekort in Figuur 39 toont een verschuiving van kleine watertekorten, onder $2 \text{ m}^3/\text{s}$, naar hogere watertekorten van 5 tot $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Watertekorten van andere grootte blijven zo goed als ongewijzigd.



Figuur 39 – Histogram van het aantal spuitekort

Figuur 40 toont het aantal dagen per jaar in de simulatie van 47 jaar (1967-2013 voor de huidige toestand en 2027-2073 voor klimaatverandering) waar een spuitekort in het Kanaal Gent Terneuzen wordt gesimuleerd. Het droogste jaar in de simulatie was 1976 in de huidige toestand. Zijn analoog jaar, 2036, met meer dan de helft van de dagen (196) getroffen met watertekort, 18 meer dan de simulatie van 1976, is ook het droogste jaar in de simulatie van klimaatverandering. Niettemin het jaar 2071, met het geperturbeerd klimaat van 2011, wordt ineens het tweede droogste jaar van de simulatie met 191 dagen met watertekort, meer dan een verdubbeling vergeleken met de simulatie van de huidige toestand. Ook het jaar 2064 (analoog aan 2004) simuleert een belangrijke stijging in dagen met watertekort tot 158. De volgende jaren 2065 en 2066 simuleren respectievelijk 69 en 34 dagen met spuitekort terwijl in de huidige toestand was dat 2 dagen in 2005 en geen in 2006.



Figuur 40 – Aantal dagen per jaar dat er zich een spuitekort voordoet

6 Conclusies

Terugkerende knelpunten zijn geïdentificeerd in de simulatie van klimaatverandering vergeleken met de huidige toestand. Niettemin bepaalde eigenschappen van het watersysteem, de modellering van deze en de berekening van watertekortindicatoren hebben een impact op de visualisatie en interpretatie van de resultaten. Scheepvaart, bijvoorbeeld, is gevoeliger voor watertekorten gezien dat wanneer het waterpeil in een pand 30 centimeter onder streefpeil daalt wordt het wateraanbod nul. Watertekortindicatoren kunnen evenzo tot misleidende conclusies brengen indien niet zorgvuldig bekeken.

Op basis van de resultaten en vergelijkingen van met NAM, PDM en VHM in de uitgevoerde klimaatverandering simulaties, de volgende conclusies worden getrokken:

- Hoewel stijgingen van watertekortindicatoren worden gemodelleerd in klimaatverandering toestanden, zijn deze beperkt tot watergebruikers die ook gevoeligheid hebben getoond bij de modellering van de huidige toestand. De grote meerderheid van geïnventariseerde watergebruikers in Vlaanderen zal onder de veronderstelde klimaatveranderingsscenario's geen significant problemen van watertekort ondervinden zolang het watergebruik niet drastisch verandert.
- Tabel 1 toont de vooraanstaande stijgingen in de gemiddelde gesimuleerde watertekorten. Dit tabel biedt een goed idee van hoe groot en ernstig watertekorten zijn voor gemodelleerde watergebruikers in het watersysteem. De lijst van 10 voornaamste stijgingen bevat dezelfde 10 watergebruikers voor NAM, PDM en VHM. Hoewel in verschillende orde en omvang vormt deze samenloop een bevestiging van scheepvaart langsheen het Albertkanaal en zoutverdringing langs het Kanaal Gent Terneuzen als de belangrijkste knelpunten in het watersysteem. NAM en VHM simuleren de hoogste stijging van deze watertekortindicator in de voeding van het Albertkanaal te Monsin. PDM simuleert de hoogste stijging bij de watervraag van zoutverdringing in het kader van het verdrag tussen België en Nederlands langs het Kanaal Gent Terneuzen.
- De toename van watertekorten langs het Kanaal Leuven Dijle, wordt minder duidelijk gemodelleerd. Indien NAM en VHM worden als input gebruikt, wordt een stijging vastgesteld, terwijl niet het geval is indien PDM gebruikt wordt. Dit verschil is te wijten aan de onzekerheid van de hydrologische modellen in een complexe stroomgebied zoals de Dijle, niet allen omdat een redelijke groot beken is maar ook door de sterk menselijke invloed.
- Scheepvaart blijft de meest gevoelige sector met stijgingen gemerkt op alle geanalyseerde watertekortindicatoren. Het Albertkanaal is bij deze sector het meest getroffen waar scheepvaart ook de hoogste watervraag voor deze sector in het watersysteem opneemt. De onlangs gebouwd (Olen) en aan het bouwen pompinstallaties (Hasselt, Genk en Diepenbeek) zullen het waterverbruik van scheepvaart in het Albertkanaal drastisch beperken met positieve gevolgen voor andere sectoren getroffen door watertekorten langs deze waterweg, inclusief het WPC van Water-link te Oelegem en de vervulling van het Maasverdrag tussen Nederland en België. Het Maasverdrag wordt in het waterallocatiemodel niet voldaan wat ook in de werkelijkheid gebeurt (Crespo del Granado P., 2021).
- Daling van gemiddelde duur van watertekorten bij enkele watergebruikers maar een stijging van de maximale duur voorspelt een toestand van watertekorten waar er zullen wegens klimaatverandering kortere maar ernstiger watertekortperiodes zich voordoen.
- Algemene stijgingen van watertekortindicatoren langs het Kanaal Gent Terneuzen en bepaalde watergebruikers, zoals de sluis van Wintam, WPC De Blankaart en de sluis van Ittre, suggereren knelpunten in de allocatie van water met het verondersteld toekomstige klimaat. De toename van watertekorten voor zoutverdringing in het Kanaal Gent Terneuzen vanaf juni tot en met november, met een piek in september, toont ongeschiktheid van de huidige allocatie opstelling voor de naleving van het minimum gewenst debiet in het Kanaal Gent Terneuzen.

7 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten en conclusies getrokken worden de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- Gesimuleerde hydrologische afvoer van het Dijlebekken net opwaarts het Kanaal Leuven Dijle moet verfijnd worden. Het deelbekken zou beter verdeeld moeten worden tot kleinere deelbekkens waarvoor nieuwe debietmeetpunten nodig zullen zijn.
- Een nieuwe analyse van het Albertkanaal inclusief nieuwe pompinstallaties wordt aanbevolen om de impact van scheepvaart op waterverbruik en de vervulling van het Maasverdrag beter te kunnen beoordelen.
- Verhoging in de frequentie en omvang van watertekortperiodes bij watergebruikers in het Kanaal Gent Terneuzen duiden een verergering van watertekorten langs deze waterweg. Een uitgebreide aanpak van allocatieregels in het watersysteem opwaarts en/of de opstelling van dit kanaal wordt aanbevolen. Aangezien de grote impact in het watersysteem opwaarts, onder andere de waterverdeling in het Groot Pand in Gent en water gestuurd naar de kustpolders, een omvangrijk studie van het watergebruik en -verbruik wordt aangeraden.
- Rekening houden met de onzekerheid van de hydrologische modellering wordt er aanbevolen om verschillende hydrologische modellen te gebruiken in de modellering van toekomstige klimaatscenario's. Zodoende worden knelpunten en prestatie van het watersysteem beoordeeld met een ruimere perspectief.

8 Referentielijst

Crespo del Granado, P.; Maroy, E.; Rocabado, I.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Waterbeschikbaarheidsmodellering en allocatiestrategieën in het stroomgebied van de Schelde: Deelrapport 3-1 – Modellering van de waterbeschikbaarheid, huidige klimaat. Versie 1.0. WL Rapporten, 00_162_3-1.

DHI. 2009. MIKE 11, A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual. DHI Water & Environment, Horsholm, Denmark.

Dridi, K.; Maroy, E.; Velez, C.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 4-4 – Analyses of hydrological models for climate change modelling – VHM. Version 1.1. FHR Reports, 00_162_4-4. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Halcrow, HR Wallingford and Centre for Ecology & Hydrology, ISIS PDM User Manual, 2000.

Madsen, H. 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives, DHI Water & Environment, Agern Alle ´ 11, DK-2970 Hørsholm, Denmark.

Maroy, E.; Michielsen, S.; Velez, C.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 4-2 – Developing a rainfall-runoff model of the Meuse – NAM Meuse. Version 1.1. FHR Reports, 00_162_4-2. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Maroy, E.; Velez, C.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 4-3 – Analyses of hydrological models for climate change modelling – PDM modelling. Version 1.2. FHR Reports, 00_162_4-3. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Moore, R.J. 2007. The PDM rainfall-runoff model, Hydrology and Earth System Sciences, 11(1), 483-499.

Naranjo, P.; Maroy, E.; Velez, C.; De Boeck K.; Pereira, F.; Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 4-1 – Analyses of hydrological models for climate change modelling – NAM. Version 1.1. FHR Reports, 00_162_4-1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P. & Roulin, E., 2011. Climate Change Impact on Hydrological Extremes Along Rivers and Urban Drainage Systems in Belgium, Brussels, Belgium: The Belgian Science Policy.

Willems, P. 2014 Parsimonious Rainfall-runoff Model Construction Supported by Time Series Processing and Validation of Hydrological Extremes – Part 1: Stepwise Model-Structure Identification and Calibration Approach. J. Hydrol. 510, 578–590p.

Vélez C, Maroy E., Rocabado I, Pereira F, Nossent, J.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 4-6 – Evaluation of 4 hydrological rainfall-runoff models under climate change conditions. Version 1.1. FHR Reports, 00_162_4-6. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Bijlage

Afkorting	Waterweg
<i>ABK</i>	Albertkanaal
<i>AKL</i>	Afleidingskanaal van de Leie
<i>BOS</i>	Bovenschelde
<i>CdC</i>	Canal du Centre
<i>CdN</i>	Canal du Nord
<i>DEM</i>	Demer
<i>DEN</i>	Dender
<i>DIJ</i>	Dijle
<i>HAR</i>	Haven van Antwerpen
<i>IJZ</i>	IJzer
<i>JUK</i>	Julianakanaal
<i>KBC</i>	Kanaal Brussel Charleroi
<i>KBH</i>	Kanaal Bocholt Herentals
<i>KBK</i>	Kanaal Bossuit Kortrijk
<i>KBN</i>	Kanaal Briegden Neerharen
<i>KBS</i>	Kanaal Brussel Schelde
<i>KDS</i>	Kanaal Dessel Schoten
<i>KGO</i>	Kanaal Gent Oostende
<i>KGT</i>	Kanaal Gent Terneuzen
<i>KLD</i>	Kanaal Leuven Dijle
<i>KRL</i>	Kanaal Roeselare Leie
<i>KSD</i>	Kanaal Schelde Duinkerke
<i>LEI</i>	Leie
<i>LOV</i>	Lokanaal
<i>NEK</i>	Netekanaal
<i>ZEN</i>	Zenne
<i>ZWV</i>	Zuid Willemsvaart

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be