

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM



Vlaanderen
is wetenschap

00_162_3-1
WL rapporten

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 3-1 - Huidig klimaat

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 3-1 – Waterbeschikbaarheid, Huidige klimaat

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/2021/3241/130

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 3-1 – Waterbeschikbaarheid, Huidige klimaat. **Versie 2.0.** WL Rapporten, 00_162_3-1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Vlaamse Overheid - Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2021R00_162_3-1
Trefwoorden (3-5):	Waterbeschikbaarheid, waterallocatie, Schelde, modellering		
Kennisdomeinen	Waterbeheer > Waterkwantiteit > Waterbalans - Waterbeschikbaarheid> Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	126	Bijlagen (p.):	2
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Nossent, J.	Getekend door: Jiri Nossent (Signature) Getekend op: 2021-07-08 10:38:30 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed 
Projectleider:	Pereira, F.	Getekend door: Fernando Pereira (Signature) Getekend op: 2021-07-01 17:12:00 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed 

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2021-07-01 17:52:42 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed 
-----------------	--------------	---



Abstract

Het huidige watergebruik langs de bevaarbare waterlopen in het Scheldestroomgebied werd gemodelleerd na uitbreiding en actualisatie van het regionaal waterallocatiemodel. Gezien de complexiteit van het watersysteem en de interactie met aanpalende bekkens in Wallonië en Noord-Frankrijk, het model werd verbeterd om de kanalen die het Scheldestroomgebied met aanpalende stroomgebieden verbinden en een aantal rivieren uit deze aanpalende bekkens alsook te modelleren. Het gemodelleerde gebied beslaat zo bijna 49 500 km².

De vroegere versie van het waterbalansmodel gebruikte gemeten debietrijdreeksen voor de Samber, de Maas, het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart. Bijgevolg waren de hydrologie en interactie van het Scheldestroomgebied met het Maasbekken niet gemodelleerd. De nieuwe versie van het waterallocatiemodel in MIKE HYDRO Basin modelleert het hydrologische wateraanbod van het Maasbekken en de verdeling van de Maas te Monsin waarvan het Albertkanaal en de Kempische kanalen profiteren.

Rekening houdend met de regionale schaal van het model, de onzekerheid van sommige invoerinformatie, de betrouwbaarheid van de metingen bij lage afvoeren en het belang van de droge periodes kan gesteld worden dat het model er behoorlijk goed in slaagt de huidige situatie te simuleren. Het geactualiseerde waterbalansmodel is gedetailleerder en modelleert de situatie in Noord Frankrijk en in het Maas bekken (en zijn interactie met de Schelde) correct. Met dit model kunnen langdurige simulaties worden uitgevoerd en de resultaten daarvan kunnen worden geanalyseerd met behulp van een op maat ontwikkelde post processing tool. Er kan geconcludeerd worden dat dit model geschikt is voor het evalueren van analyses van de huidige toestand op regionale schaal en om de impact van klimaatveranderingen op de waterbalans van het Scheldebekken te begroten.

Uit de analyse van de simulatie tussen 1967 tot en met 2013 (op basis van de huidige watervraag) blijkt dat er voor nagenoeg alle gebruikers aan de waterbehoefte voldaan kan worden. Deze resultaten bevestigen de resultaten van het eerste waterbalansmodel (bestek WL-12-032). Langs enkele waterwegen komen er wel tekorten voor, waaronder ook een aantal economisch belangrijke (Kanaal Gent-Terneuzen, Albertkanaal, Kanaal Schelde-Duinkerke). Gedurende een maand blijven deze tekorten echter, op een paar uitzonderingen na, maximum enkele opeenvolgende dagen. Deze duiden niettemin aan de knelpunten in het watersysteem.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	IX
Lijst van de figuren	X
1 Inleiding	1
1.1 De opdracht	1
1.2 Doelstellingen	2
2 Terminologie.....	4
3 Methodologie	5
3.1 Actualisatie van het model	5
3.1.1 Noord-Frankrijk	5
3.1.2 Modellering van de Maas	7
3.1.3 Onbevaarbare waterlopen	7
3.1.4 Grondwater	7
3.1.5 De Watergroep: WPC's Blankaart en Kluizen	8
3.1.6 VBA macro	9
3.1.7 Softwareproblemen.....	16
3.2 Watervraag	17
3.3 Simulatie	18
3.4 Python Post Processing tool	18
3.4.1 Analyse van het watergebruik per pand/sector met opschalen tot bekkenniveau en het studiegebied	18
3.4.2 Omzetting van dagelijks tot wekelijks, maandelijks en jaarlijkse reeksen	19
3.4.3 Onafhankelijke watertekortperiodes	19
3.4.4 Plot van debiet en watervraag	20
4 Validatie.....	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Meetpunten.....	22
4.2.1 Keiem	22
4.2.2 Varsenare.....	23
4.2.3 Zomergem	24
4.2.4 Menen	25

4.2.5	Bossuit	26
4.2.6	Melle	27
4.2.7	Dendermonde.....	28
4.2.8	Schelle.....	29
4.2.9	Eppegem	30
4.2.10	Duffel Sluis	31
4.2.11	Aarschot.....	32
4.2.12	Sint-Pieter Noord.....	33
4.3	Conclusies en aanbevelingen	34
5	Globale resultaten	35
5.1	Inleiding	35
5.2	Watertekortindicatoren en –grafieken	35
5.2.1	Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m ³ /s)	35
5.2.2	Maximaal gesimuleerde watertekort (m ³ /s)	36
5.2.3	Maximaal relatief watertekort (%)	36
5.2.4	Gemiddeld relatief watertekort (%)	36
5.2.5	Totale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)	37
5.2.6	Percentage tijd met watertekort (%).....	37
5.2.7	Gemiddelde duur van watertekort perioden (dagen)	37
5.2.8	Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode	37
5.2.9	Gemiddeld jaarlijks tijd percentage met watertekort (%).....	38
5.2.10	Gemiddeld jaarlijks aantal watertekortgebeurtenissen.....	38
5.2.11	Frequentie van watertekort langer dan een gegeven aantal dagen (droogte periode)	38
5.2.12	Maximale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)	38
5.3	Globale analyses.....	39
5.3.1	Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m ³ /s)	39
5.3.2	Maximum gesimuleerde watertekort (m ³ /s).....	40
5.3.3	Percentage tijd met watertekort (%).....	41
5.3.4	Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode	42
5.3.5	Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar).....	43
5.3.6	Gemiddelde duur van een periode met watertekort (dagen).....	45
5.3.7	Maximum duur van een periode met watertekort (dagen)	46
5.4	Conclusies en aanbevelingen	47
6	Watergebruik per sector	49
6.1	Inleiding	49
6.2	Sector A – Land-, bosbouw en visserij	49

6.3	Sector B – Winning van delfstoffen	50
6.4	Sector C – Industrie	50
6.5	Sector D – Productie en distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht	51
6.6	Sector E – Distributie van (drink)water, afval- en afvalwaterbeheer en sanering	52
6.7	Sector SCH – Scheepvaart.....	54
6.8	Sector O – Openbaar bestuur en defensie; verplichte sociale verzekeringen	56
6.8.1	Spuien ('Ozout')	58
6.9	Andere sectoren ('Other')	59
6.10	Conclusies en aanbevelingen	60
7	Watergebruik per Bekken.....	62
7.1	Inleiding	62
7.2	Alle Bekkens.....	62
7.2.1	Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m ³ /s)	62
7.2.2	Percentage tijd met watertekort (%).....	63
7.2.3	Maximaal gesimuleerde watertekort (m ³ /s)	64
7.3	IJzerbekken	65
7.4	Bekken van de Brugse Polders.....	66
7.5	Aabekken	67
7.6	Leiebekken.....	68
7.7	Bekken van de Gentse Kanalen	69
7.7.1	Het Kanaal Gent-Terneuzen	69
7.7.2	Groot Pand.....	73
7.8	Bovenscheldebekken	74
7.9	Benedenscheldebekken.....	76
7.10	Denderbekken	78
7.11	Dijle- en Zennebekken	79
7.12	Maasbekken	81
7.13	Demerbekken	84
7.14	Netebekken	86
7.15	Conclusies en aanbevelingen	88
8	Waterbeschikbaarheid per Pand.....	89
8.1	Inleiding	89
8.2	Leie	90
8.2.1	Wielsbeke	90
8.2.2	Kanaal Roeselare-Leie.....	91
8.3	Bovenschelde.....	93

8.3.1	Denain.....	93
8.3.2	Doornik (Tournai)	95
8.3.3	Kluisbergen	96
8.3.4	Canal du Centre	97
8.3.5	Bossuit	98
8.3.6	Pont Malin	100
8.4	Benedenschelde	102
8.4.1	Schoten	102
8.4.2	Wintam	102
8.4.3	Haven van Antwerpen	104
8.5	Gentse Kanalen.....	107
8.5.1	Kanaal Gent-Terneuzen	107
8.5.2	Groot Pand (Gent)	108
8.6	Brugse Polders	110
8.6.1	Kanaal Gent-Oostende / Kanaal Plassendale-Nieuwpoort.....	110
8.7	IJzer	111
8.8	Dijle en Zenne	111
8.8.1	Tildonk	111
8.8.2	Iltre	114
8.9	Demer	116
8.9.1	Genk.....	116
8.10	Nete	119
8.10.1	Olen	119
8.11	Conclusies en aanbevelingen	121
9	Samenvatting en Conclusies	123
10	Aanbevelingen	125
11	Referentielijst	126
	Bijlage 1: Geprogrammeerde Pompinstallaties.....	B1
	Bijlage 2: nace-bel codering	B2

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Pompinstallaties wiens regeling wordt via een subroutine geprogrammeerd	10
Tabel 2 – Watervedelingsregels voor het Nederlandse en Vlaamse Watergebruik op basis van het Maasverdrag.....	13
Tabel 3 – Bronnen van watervraag in het studiegebied (Vlaanderen en Nederland).....	17
Tabel 4 – Meetpunten en overeenkomende rivierknopen in het MIKE HYDRO Basin model	21
Tabel 5 – Samenvatting van de resultaten uit de globale analyse tijdens de simulatie periode 1967-2013..	48
Tabel 6 – Andere sectoren inbegrepen in het waterallocatiemodel.....	59
Tabel 7 – Samenvatting van de analyse van watergebruik per sector met tekorten eigenschappen van vooraanstaande sectoren voor de simulatie periode 1967-2013	61
Tabel 8 – Samenvatting van de resultaten uit de analyse per bekken voor de simulatie periode 1967-2013	88
Tabel 9 – Samenvatting van resultaten uit de analyse van waterbeschikbaarheid per pand in de simulatieperiode 1967-2013	122

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Het studiegebied van het waterallocatiemodel op regionaal niveau	3
Figuur 2 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk. Jaardebiten voor de periode 2000-2012	6
Figuur 3 – Terreinbezoek aan de sluis van Fontinettes in Noord Frankrijk (verval van 13 meter) in het kader van de verbetering van het modelinstrumentarium.....	6
Figuur 4 – De Watergroep WPC Blankaart en zijn gesimplificeerde opstelling in het MIKE HYDRO Basin model	9
Figuur 5 – Schema van het Kanaal Bossuit-Kortrijk dat wordt gevoed door pompinstallaties om waterpeilen langs de sluizen te beheren	10
Figuur 6 – Overzicht kanalenstelsel Albertkanaal en Kempische Kanalen	13
Figuur 7 – Schema verdelingsknoop Luik-Maastricht.....	15
Figuur 8 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de IJzer te Keiem en overeenkomend modelknooppunt N57	22
Figuur 9 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de IJzer te Keiem	22
Figuur 10 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Varsenare en overeenkomend modelknooppunt N451	23
Figuur 11 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Varsenare in het Kanaal Gent-Oostende	23
Figuur 12 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Zomergem en overeenkomend modelknooppunt N453	24
Figuur 13 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Zomergem in het Afleidingskanaal van de Leie.....	24
Figuur 14 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Leie te Menen en overeenkomend modelknooppunt N271	25
Figuur 15 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Leie te Menen.....	25
Figuur 16 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt langs de Schelde in Bossuit en overeenkomend modelknooppunt N61	26
Figuur 17 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Schelde te Bossuit	26
Figuur 18 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Zeeschelde te Melle en overeenkomend modelknooppunt N89	27
Figuur 19 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Zeeschelde te Melle	27
Figuur 20 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Dender te Dendermonde en overeenkomend modelknooppunt N696	28
Figuur 21 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Dender te Dendermonde	28
Figuur 22 – Afvoerduurlijn voor debiet berekening van de Zeeschelde te Schelle en overeenkomend modelknooppunt N127	29
Figuur 23 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Schelde te Schelle.....	29

Figuur 24 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Zenne te Eppegem en overeenkomend modelknooppunt N314	30
Figuur 25 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Zenne te Eppegem.....	30
Figuur 26 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de sluis van Duffel en overeenkomend modelknooppunt N153	31
Figuur 27 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Netekanaal te Duffel	31
Figuur 28 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt langs de Demer in Aarschot en overeenkomend modelknooppunt N343	32
Figuur 29 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Demer te Aarschot	32
Figuur 30 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Sint Pieter Noord en overeenkomend modelknooppunt N1392	33
Figuur 31 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Sint Pieter Noord in Nederland .	33
Figuur 32 – Gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) van watergebruikers uit alle sectoren	39
Figuur 33 – Maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) van watergebruikers uit alle sectoren.....	40
Figuur 34 – Percentage tijd met watertekort in de simulatieperiode 1967-2013	41
Figuur 35 – Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode (1967-2013) zonder pooling toegepast	42
Figuur 36 – Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode (1967-2013) met IT pooling toegepast	43
Figuur 37 – Frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar	44
Figuur 38 – Frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar	44
Figuur 39 – Gemiddelde duur van een periode met watertekort (1967 – 2013).....	45
Figuur 40 – Maximale duur van een periode met watertekort (1967 – 2013)	46
Figuur 41 – Maximale gesimuleerde watertekorten in de periode 1967-2103 (m^3/s), Sector C	50
Figuur 42 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele gesimuleerde periode (1967-2013), Sector D	51
Figuur 43 – Maximale relatieve watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector E.....	52
Figuur 44 – Watertekorten opgetreden tijdens de simulatie van 1967-2013 in waterproductiecentrums Blankaart (De Watergroep), Kluizen (De Watergroep) en Netekanaal (Waterlink)	53
Figuur 45 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector E.....	53
Figuur 46 – Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) tijdens de periode 1967-2013, Sector SCH	54
Figuur 47 – Watertekorten opgetreden in Sector SCH tijdens de simulatie van 1967-2013 in de sluis te Kwaadmechelen in het Alberkanaal	55
Figuur 48 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector SCH ...	55
Figuur 49 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector O	56
Figuur 50 – Gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector O	57
Figuur 51 – Maximaal gesimuleerd relatief watertekort (m^3/s) tijdens de periode 1967-2013, Sector Ozout	58
Figuur 52 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector Other	59

Figuur 53 – Gemiddelde gesimuleerde watertekort (m^3/s) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013.....	63
Figuur 54 – Percentage tijd met watertekort (%) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013	63
Figuur 55 – Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013	64
Figuur 56 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het IJzerbekken (1967-2013)	65
Figuur 57 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bekken van de Brugse Polders (1967-2013)	66
Figuur 58 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Aabekken (1967-2013)	67
Figuur 59 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Leiebekken (1967-2013)	68
Figuur 60 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bekken van de Gentse Kanalen (1967-2013)	70
Figuur 61 – Beschikbaar debiet voor scheepvaart en spuien naar Terneuzen vanuit Gent ten opzichte van gewenste debiet ($13 \text{ m}^3/\text{s}$) en effectieve afvoer naar de drie sluizen in Terneuzen	70
Figuur 62 – Watertekorten ten opzichte van de aanvulling van het BE-NL verdrag om zoutindringing tegen te gaan in het Kanaal Gent Terneuzen	71
Figuur 63 – Gemiddeld en maximaal aantal dagen met spuitekort per maand.....	72
Figuur 64 – Aantal dagen per jaar dat er zich een spuitekort voordoet	72
Figuur 65 – Histogram van het aantal spuitekort.....	72
Figuur 66 – Waterverdeling [m^3/s] in het ‘Groot Pand’. Gemiddelde debieten voor de simulatie tussen 1969- 2013	73
Figuur 67 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bovenscheldebekken (1967-2013)	75
Figuur 68 – Watertekorten in de Kreekraksluis, Boudewijnsuis en Royerssluis gedurende de simulatie periode (1967-2013)	76
Figuur 69 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Benedenscheldebekken (1967- 2013).....	77
Figuur 70 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Denderbekken (1967-2013)	78
Figuur 71 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Dijle- en Zennebekken (1967-2013)	80
Figuur 72 – Gemeten en gemodelleerde waterpeilen in het meest opwaartse pand (Tildonk) van het Kanaal Leuven-Dijle	80
Figuur 73 – Gemeten en gemodelleerde waterpeilen in het meest afwaartse pand (Battel) van het Kanaal Leuven-Dijle	80
Figuur 74 – Gemeten en gesimuleerde afvoer te Kanne als het Maas verdrag toegepast wordt wanneer het debiet van de Maas te Monsin onder $130 \text{ m}^3/\text{s}$ daalt.	81
Figuur 75 – Gemeten en gesimuleerde afvoer langs Kanne richting het Albertkanaal als het Maas verdrag niet wordt toegepast.	82
Figuur 76 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Maasbekken (1967-2013)	83
Figuur 77 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Demerbekken (1967-2013)	85

Figuur 78 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Netebekken (1967-2013)	87
Figuur 79 – Locatie van alle panden opgenomen in de analyse van waterbeschikbaarheid per pand.....	89
Figuur 80 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Wielsbeke (LEI-p9) in de simulatie periode 1967-2013	90
Figuur 81 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Wielsbeke (LEI-p9) en watervraag drempels	91
Figuur 82 – Watervraag en -beschikbaarheid in het Kanaal Roeselare-Leie (KRL) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	92
Figuur 83 – Afvoerduurlijn voor debiet in het Kanaal Roeselare-Leie (KRL) en watervraag drempels	92
Figuur 84 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Denain voor de simulatie periode 1967-2013	93
Figuur 85 – Wekelijks geaggregeerde watertekorten in de sluis van Denain (1967-2013)	94
Figuur 86 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Denain en watervraag drempels.....	94
Figuur 87 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Kain (BOS-p11) voor de simulatie periode 1967-2013	95
Figuur 88 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Kain (BOS-p11) en watervraag drempels	95
Figuur 89 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis te Berchem (BOS-p13) voor de simulatie periode 1967-2013	96
Figuur 90 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Berchem (BOS-p13) en watervraag drempels	96
Figuur 91 – Watervraag en -beschikbaarheid in het laatste pand van het Canal du Centre getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	97
Figuur 92 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Bossuit (KBK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	98
Figuur 93 – Watertekorten in de sluis van Bossuit (KBK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	99
Figuur 94 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Bossuit (KBK-p1) en watervraag drempels	99
Figuur 95 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Pont Malin (KSD-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	100
Figuur 96 – Watertekorten in de sluis van Pont Malin (KSD-p1) voor de simulatie periode 1967-2013	101
Figuur 97 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Pont Malin (KSD-p1) en watervraag drempels	101
Figuur 98 – Watervraag en waterbeschikbaarheid in de opwaartse sluis van Schoten (KDS-p9) voor de simulatie periode 1967 -2013.....	102
Figuur 99 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Wintam (KBS-p2) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	103
Figuur 100 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Wintam (KBS-p2) en watervraag drempels	104
Figuur 101 – Schematisatie van de Haven van Antwerpen en zijn opstelling in het MIKE HYDRO Basin model	105
Figuur 102 – Watervraag en -beschikbaarheid in de Haven van Antwerpen (HAR) voor de simulatie periode 1967-2013.....	105
Figuur 103 – Watertekorten in de Haven van Antwerpen (HAR) getoond voor de simulatie periode 1967-2013	106
Figuur 104 – Afvoerduurlijn voor debiet in de Haven van Antwerpen (HAR) en watervraag drempels.....	106

Figuur 105 – Watervraag en waterbeschikbaarheid in het pand van het Kanaal Gent-Terneuzen voor de simulatie periode 1967 -2013.....	107
Figuur 106 – Afvoerduurlijn voor debiet langs het Kanaal Gent-Terneuzen en watervraag drempels	108
Figuur 107 – Watervraag en -beschikbaarheid in het Groot Pand voor de simulatie periode 1967-2013 ...	109
Figuur 108 – Afvoerduurlijn voor debiet in het Groot Pand en watervraag drempels	109
Figuur 109 – Watervraag en –beschikbaarheid wekelijks geaggregeerd in het Kanaal Gent-Oostende	110
Figuur 110 – Afvoerduurlijn voor debiet en watervraag drempels in het pand van het Kanaal Gent-Oostende	111
Figuur 111 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Tildonk (KLD-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	112
Figuur 112 – Watertekorten in de sluis van Tildonk (KLD-p1) getoond voor de simulatie periode 1967-2013	112
Figuur 113 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Tildonk (KLD-p1) en watervraag drempels.....	113
Figuur 114 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Ittre (KBC-p5) in de simulatie periode 1967-2013	114
Figuur 115 – Watertekorten in de sluis van Ittre (KBC-p5) getoond voor de simulatie periode 1967-2013	115
Figuur 116 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Ittre (KBC-p5) en watervraag drempels	115
Figuur 117 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Genk (ABK-p1) in de simulatie periode 1967-2013 (dagelijks).....	117
Figuur 118 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Genk (ABK-p1) in de simulatie periode 1967-2013 (wekelijks).....	117
Figuur 119 – Watertekorten in de sluis van Genk (ABK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013.....	118
Figuur 120 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Genk (ABK-p1) en watervraag drempels.....	118
Figuur 121 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Olen (ABK-p5) in de simulatie periode 1967-2013.....	119
Figuur 122 – Watertekorten in de sluis van Olen (ABK-p5) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013	120
Figuur 123 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Olen (ABK-p5) en watervraag drempels	120

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 en het watergebruik werd geactualiseerd in Deelopdracht 2.

Dit rapport is het eerste van Deelopdracht 3 waar de waterbeschikbaarheid is gesimuleerd voor de periode 1967-2013 (huidige toestand). Het beschrijft de opstelling van het model, de VBA macro die hieraan werd gekoppeld en de aannames die zijn gemaakt tijdens de ontwikkeling van dit instrument. Voorafgaand aan de rapportering van Deelopdracht 3 wordt een samenvatting gegeven betreffende de resultaten van de eerste twee deelopdrachten, voornamelijk van de verbetering van het modelinstrumentarium. Dit omvat de verfijning van het waterbeheer in het Scheldebekken in Noord-Frankrijk, de modellering van de Maas en het onderzoek naar de impact van expliciete modellering van onbevaarbare waterlopen en grondwater op de resultaten van het waterbalansmodel op regionaal niveau.

In Hoofdstuk 3 worden de actualisaties in het MIKE HYDRO Basin model toegelicht en worden de geprogrammeerde commando's in de VBA macro uitgelegd. Softwareproblemen, de actualisatie van de watervraag en een toelichting over een zelfontwikkelde Post Processing tool voor MIKE HYDRO Basin resultaten worden ook in dit hoofdstuk beschreven.

Hoofdstuk 4 bevat de validatie van de resultaten berekend met het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel op regionaal niveau door de afvoerfrequentie te vergelijken op bepaalde meetpunten. In hoofdstuk 5 wordt een analyse van de globale resultaten voorgesteld. Vervolgens, in hoofdstukken 6, 7 en 8, worden de resultaten respectievelijk geanalyseerd per sector, per bekken en per pand. Tot slot worden in Hoofdstuk 8 een samenvatting en de conclusies voor Deelopdracht 3-1 geformuleerd.

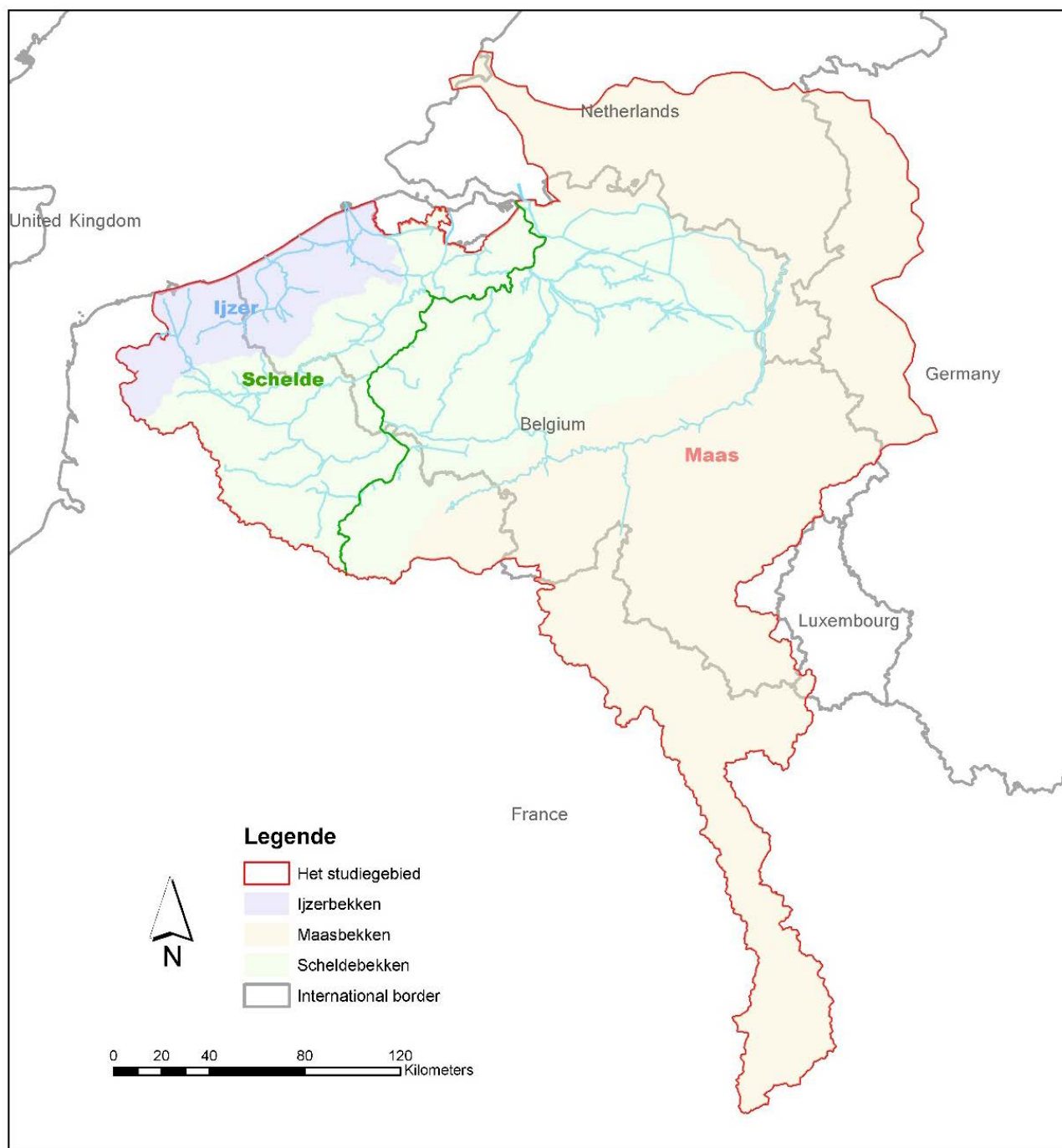
Het tweede deel van Deelopdracht 3 (Deelopdracht 3-2) is de analyse van de huidige watervraag onder klimaatverandering omstandigheden. Deze resultaten worden in een apart rapport gepubliceerd.

1.2 Doelstellingen

Op basis van de verbetering van het modelinstrumentarium in Deelopdracht 1 en de actualisatie van de watervraaggegevens in Deelopdracht 2 wordt een nieuwe versie van het waterbalansmodel op regionaal niveau opgesteld in MIKE HYDRO Basin. Het studiegebied wordt eveneens uitgebreid om het Maasbekken toe te voegen. In onderstaande Figuur 1 wordt het nieuwe studiegebied voorgesteld. De uitbreiding van het studiegebied heeft vooral te maken met het feit dat het Albertkanaal en de Kempense kanalen grotendeels door de Maas worden gevoed.

De vroegere versie van het waterbalansmodel gebruikte gemeten afvoer voor de Samber en de Maas zowel als voor de afleidingsdebieten naar het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart. Bijgevolg waren de hydrologie en de interactie met het Maasbekken niet gemodelleerd. De nieuwe versie van het waterallocatiemodel in MIKE HYDRO Basin omvat aldus de gemodelleerde hydrologie van het Maasbekken (Deelopdracht 4-1b). Het modelleert bovendien de interactie van het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart met het Maasbekken volgens het Maas afvoeroverdrag tussen Vlaanderen en Nederland en de watervraag van het Albertkanaal en de Kempense kanalen. Het doel is om de waterbeschikbaarheid van het Albertkanaal en de Kempense kanalen in kaart te brengen. Een analyse wordt gedaan op een lange simulatieperiode naar analogie met de waterwegen in het Scheldebekken.

Hoewel het Maasbekken een groot gebied beslaat, waaronder het noorden van Frankrijk en het zuiden van Nederland, wordt het watergebruik en -verbruik in deze gebieden van het Maasbekken niet opgenomen in de modellering. Vanaf de splitsing van de Maas te Maastricht naar de Zuid-Willemsvaart en het Julianakanaal wordt de Maas niet meer in beschouwing genomen.



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 mekaar 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 Actualisatie van het model

Vooraleer de modellering van de huidige toestand op regionale schaal werd uitgevoerd zijn een aantal deelaspecten van het bestaande waterbalansmodel van het Scheldebekken verbeterd. Zo is de modellering van het Noord-Franse deel van het bekken geüpdatet door de hydrologische modellen te actualiseren met meer en recentere neerslaggegevens. Daarnaast is ook een uitgebreide inventarisatie gedaan om het watergebruik van het Noord-Franse deel in kaart te brengen. Het geüpdatete watergebruik en wateraanbod is dan verwerkt in het waterbalansmodel. Het model is alsnog uitgebreid met een hydrologisch model van de Maas zodat de input in het model stroomopwaarts het Albertkanaal en de Kempense kanalen niet van (in sommige gevallen herschaalde) meetreeksen afhangt. Bijgevolg kan dit deel van het waterwegen systeem over een periode van 47 jaar gemodelleerd worden. De referentieperiode voor het watergebruik is het jaar 2013.

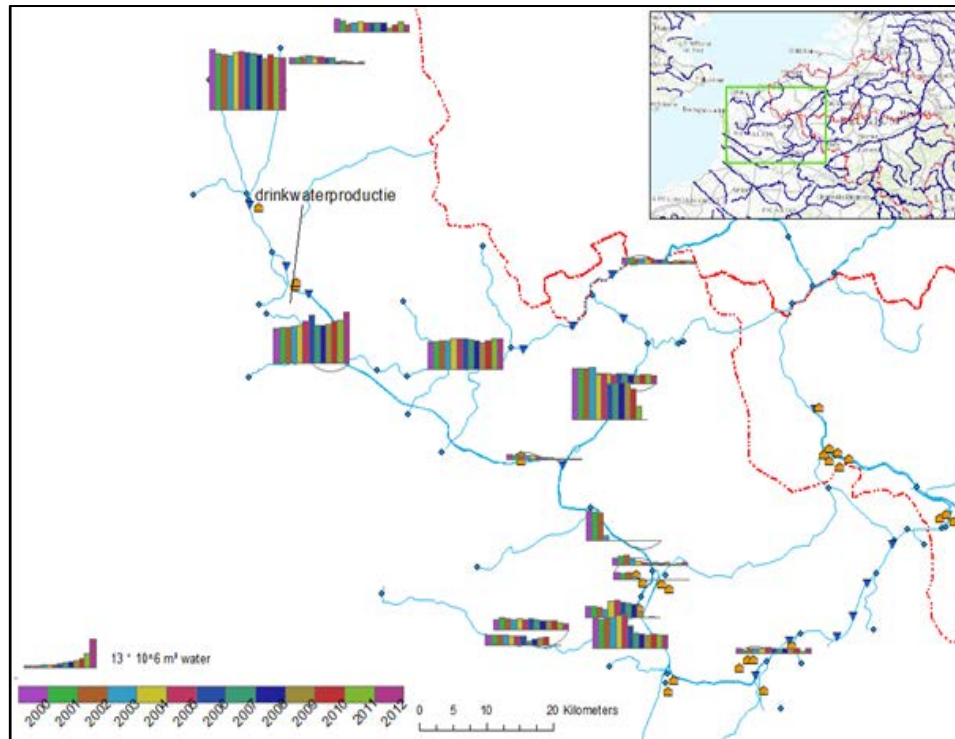
Anderzijds is aangetoond dat de modelleringsaanpak voldeed om inderdaad van een waterbalansmodel te kunnen spreken. In deelopdracht 1 werd onderzocht of het noodzakelijk en realistisch is om het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen en het grondwatergebruik expliciet te modelleren ter vervanging van de huidige impliciete modellering door de hydrologische modellen. Dit bleek voor beide gevallen niet noodzakelijk. De Watergroep WPC's De Blankaart en Kluizen zijn ook geïmplementeerd in het nieuw modelinstrumentarium. Tot slot is het modelinstrumentarium geactualiseerd en geëvalueerd op zijn geschiktheid voor toekomstig gebruik. Om de uitvoering van lange simulaties te faciliteren werd geopteerd om over te schakelen naar de meest recente versie van MIKE Basin, MIKE HYDRO Basin.

3.1.1 Noord-Frankrijk

Watergebruik en –verdeling werd eerst geïnventariseerd in het eerste bestek van dit project (Michielsens et al, 2011). Figuur 2 toont de evolutie van de lozingen en onttrekkingen per sector in Noord Frankrijk op kaart zoals voorgesteld in het verbeteren van het modelinstrumentarium (Michielsens et al, 2016). De uitbreiding van de inventarisatie in Noord Frankrijk werd uitgevoerd in het kader van het huidig bestek. Figuur 3 toont de sluis van Fontinettes tijdens een terreinbezoek aan Noord Frankrijk om het watergebruik en het waterstelsel over de grens nauwkeuriger in het waterbalansmodel te kunnen implementeren.

Gezien de belangrijke impact van hydrologie in Noord Frankrijk op de waterbeschikbaarheid stroomafwaarts in Vlaanderen was het ook absoluut nodig om de modellering van het waterbeheer in het noorden van Frankrijk te verfijnen. De kennis en bijgevolg de nauwkeurigheid van de opstelling van het Noord-Franse kanalsysteem in het waterbalansmodel zijn sterk toegenomen. Zowel het beheer van de structuren op de kanalen als het watergebruik zijn beter gekend en gemodelleerd.

Na controle van de neerslaginput van de hydrologische modellen bleek een gebrek aan neerslaginvoer vanaf 2003 aan de basis te liggen van de afwijkingen die werden gerapporteerd in het eerste waterbalansmodel (De Boeck et al., 2011). Door de neerslaginvoer te actualiseren is de hydrologische berekening van de afvoer sterk verbeterd en verdween het grote verschil tussen de gesimuleerde en gemeten afvoer.



Figuur 2 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk.
Jaardebiten voor de periode 2000-2012 (Michielsen et al, 2021)



Figuur 3 – Terreinbezoek aan de sluis van Fontinettes in Noord Frankrijk (verval van 13 meter)
in het kader van de verbetering van het modelinstrumentarium

3.1.2 Modellering van de Maas

De verdeling van het Maaswater tussen Luik en Maastricht is een complex gegeven dat in het waterbalansmodel in eerste instantie op een vereenvoudigde manier werd gemodelleerd. Zo is de voeding van het Albertkanaal bijvoorbeeld gesimuleerd door een herhaling van de meetreeks te Kanne over de simulatieperiode toe te passen.

De interactie tussen de Maas en het Albertkanaal is te variabel om het debiet richting het kanaal te modelleren afhankelijk van de Maasaanvoer. Het is onmogelijk om een realistische relatie te vinden tussen de Maasaanvoer en het debiet in het Albertkanaal. De variatie in het debiet van het Albertkanaal is immers sterk afhankelijk van het watergebruik van scheepvaart, drinkwaterproductie en andere industriële actoren. Door de watervraag van het kanaal te berekenen en deze uit de Maas af te leiden is het modelresultaat realistischer. Op deze manier wordt een waterbalansmodelletje verkregen, waarvan de resultaten in dezelfde lijn staan met de resultaten van het Mike 11 model. Dit laat toe te besluiten dat een verdere verfijning van dit knooppunt in het totale waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied nuttig is.

Samen met de hydrologische modellering van het Maasbekken (onderdeel van Deelopdracht 4 van dit project, Naranjo Quintanilla et al., 2021) lijkt deze verfijning de waterverdeling betrekkelijk goed te simuleren. Dit maakt het mogelijk om, net als voor het Scheldestroomgebied, de huidige watervraag van het Albertkanaal en de Kempense kanalen gedurende de voorbije 47 jaar te simuleren.

3.1.3 Onbevaarbare waterlopen

In het eerste deel van Deelopdracht 1 werd onderzocht of een expliciete modellering van het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen een toegevoegde waarde heeft voor het huidig regionaal waterbalansmodel. In het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied wordt de afvoer van de zijrivieren naar de hoofdwaterwegen berekend aan de hand van hydrologische modellen (bvb. NAM). Het watergebruik langs deze kleinere waterlopen is bijgevolg enkel impliciet gemodelleerd. De hydrologische modellen zijn immers afgeijkt op basis van gemeten afvoeren afwaarts op de zijrivieren waardoor opwaartse lozingen en gebruikers inbegrepen zijn.

Het onderzoek werd uitgevoerd voor het Demerbekken, meer bepaald voor de bemeten deelstroomgebieden uit dit bekken waarvoor voldoende data beschikbaar was met betrekking tot het watergebruik. Hieruit blijkt dat het expliciet modelleren van deze gebruikers niet tot significant betere resultaten leidt. Een nauwkeurige expliciete modellering van het totale watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen in het hele studiegebied is evenwel onmogelijk omwille van het feit dat het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen niet geregistreerd wordt.

3.1.4 Grondwater

In tegenstelling tot de onbevaarbare waterlopen is het watergebruik uit grondwaterlagen wel gekend. Althans weet men hoe groot de vergunde hoeveelheid is. In het bestaande waterbalansmodel wordt niet expliciet rekening gehouden met grondwateronttrekkingen. Het grondwatergebruik zit echter, net als het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen, wel impliciet vervat in de hydrologische modellen die als input dienen voor het waterbalansmodel.

Om een beter inzicht te krijgen op het aandeel en de invloed van het grondwatergebruik in Vlaanderen, is een analyse uitgevoerd van de belangrijkste grondwateronttrekkingen in Vlaanderen. Bovendien is ook bestudeerd of een expliciete modellering van de grondwatercomponent leidt tot een significante verbetering van het waterbalansmodel.

Uit literatuur en analyses op basis van de vergunde grondwateronttrekkingen die uit de Databank Ondergrond Vlaanderen zijn geëxtraheerd, blijkt inderdaad dat vooral in droogweeromstandigheden de invloed van grondwateronttrekkingen lokaal relevant kan zijn. Gezien de regionale schaal van het

waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied kan wel aangenomen worden dat de volumes die effectief verloren gaan uit het systeem eerder klein zijn in vergelijking met de fluxen binnen het systeem.

Ter controle zijn ook de resultaten van het Vlaams Grondwatermodel vergeleken met de basisafvoer die door NAM berekend wordt. Uit deze controle is gebleken dat de grootteordes van de twee modellen in dezelfde lijn liggen. Er kan dus besloten worden dat de component “grondwater” die in NAM conceptueel gemodelleerd wordt, de fysisch gebaseerde grondwateruitstroom voldoende benadert.

3.1.5 De Watergroep: WPC's Blankaart en Kluizen

Ontbrekende waterproductiecentra's (WPC) De Blankaart in West Vlaanderen, en Kluizen in Oost Vlaanderen zijn toegevoegd in de nieuwe versie van het model. Gegevens betreffende oppervlaktewaterwaterinname vanuit de IJzer (WPC De Blankaart) en onbevaarbare waterlopen langs het Kanaal Gent-Terneuzen (WPC Kluizen) zijn ter beschikking gesteld door de beheerder, De Watergroep.

Waterproductiecentrum De Blankaart werd toegevoegd langs de IJzer aan *River Node* N175 met de veronderstelling dat alle waterinname naar het grote betonnen spaarbekken uit de IJzer komt. In werkelijkheid wordt het water uit de IJzer gecapteerd ter hoogte van De Blankaart, uit de IJzer ter hoogte van het Lo-kanaal (via Driekapellenvijver) en uit de Blankaartvijver plus omliggende waterlopen. *River Node* N175 ontvangt de afwatering van het stroomgebied V01SSV000150 waar het groot betonnen spaarbekken en omliggende waterlopen, inclusief de Blankaartvijver, zich bevinden.

Het is niet mogelijk te bepalen hoeveel water er juist uit welke bron wordt gehaald aangezien het water dat in het spaarbekken wordt gepompt vanuit omliggende waterlopen reeds een mengsel van alle bronnen is. Er staan bijgevolg geen objecten in het model aangeduid voor de Blankaartvijver en omliggende waterlopen. Bij afspraak met De Watergroep (Maarten Torbeyns & Gisele Peleman, 20 januari 2016) werd immers het besluit genomen om het model te simplificeren aangezien dat op een meer lokaal niveau werken onnodig en te complex is. Figuur 4 toont deze simplificatie aan.

Om een dagelijkse waterdebietinname te berekenen moest eerst een verwerking van de gegevens, ter beschikking gemaakt door De Watergroep, plaatsvinden. Een dagelijkse tijdreeks voor de vijf pompen die De Blankaart spaarbekken voeden is beschikbaar vanaf 10 december 2013 tot eind 2015. De som van ingepompte volumes werd omgezet naar kubieke meters per seconde en op zijn respectieve tijdstap in een *dfs0* bestand (IJZ_U-Edrinkuit) opgenomen. Het jaar 2013 bevat de maandelijkse pompvolumes en het aantal uren dat elke pomp per dag draaide. Dagelijkse volumes werden dus berekend op basis van het aantal uren dat elke pomp per dag werd gebruikt. Gedurende de periode tot en met 2012 werd het jaar 2013 telkens herhaald omreden dat dat het geval is ergens anders in het model waar tijdreeksen met ontbrekende data worden gebruikt. 2013 werd het referentiejaar van watergebruik voor het MIKE HYDRO Basin model.

Waterproductiecentrum Kluizen werd toegevoegd langs het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT) ter hoogte van *Reservoir* R479 (*River Node* N479) aangezien dit uit onbevaarbare waterlopen hierlangs oppervlaktewaterwater capteert. Dagelijkse tijdreeksen van de gepompte volumes in de twee spaarbekken van WPC Kluizen zijn beschikbaar voor de periode 2010 - 2015. Vier pompen zorgen dat water uit het waterwingebied van het WPC Kluizen wordt in de twee spaarbekken verpompt. De som van dagelijkse volumes verpompt werd omgezet naar kubieke meters per seconde en op zijn respectieve tijdstap in een *dfs0* bestand (KGT_U-Edrinkuit) opgenomen. Voor de periode tot en met 2009 werd het jaar 2013 telkens herhaald.



Figuur 4 – De Watergroep WPC Blankaart en zijn gesimplificeerde opstelling in het MIKE HYDRO Basin model

3.1.6 VBA macro

De VBA macro in MS Excel fungeert als hoofdbesturing van het MIKE HYDRO Basin model en stuurt alle geprogrammeerde bevelen naar het model. Op deze manier kunnen verschillende aspecten gemodelleerd worden daar waar het model instrumentarium van MIKE HYDRO Basin alleen niet voldoet. Het betreft vaak regelingen van pompen in kanalen waar water wordt verpompt van afwaartse naar opwaartse panden en de correcte modellering van opeenvolgende sluizen, voornamelijk in het Albertkanaal en de Kempense kanalen. De verdragen tussen Nederland en België over afvoer verdeling van de Maas en zoutverdringing in het Kanaal Gent-Terneuzen worden ook in de VBA macro geprogrammeerd.

Pompinstallaties

Door water uit een reservoir te onttrekken en het op dezelfde plaats of opwaarts ervan te laten lozen ontstaan er cycli: dezelfde hoeveelheid water passeert immers tweemaal dezelfde locatie. Voorbeelden van dergelijke gebruikers zijn elektriciteitscentrales of industriële bedrijven die koelwater gebruiken en pompinstallaties die geschut water aan de sluizen terug oppompen. Watergebruikers in het MIKE HYDRO Basin model fungeren dus ook als pompstations. Door de cycli levert de opstelling van dit soort lussen in MIKE HYDRO Basin foutmeldingen op, waardoor een andere manier van implementeren noodzakelijk wordt. De sturing van de pompen die water van een lager naar een hoger gelegen pand pompen (zoals o.a. aan het kanaal Bossuit-Kortrijk en de Waalse kanalen) wordt dus met behulp van een VBA subroutine geprogrammeerd.

Pompstations moeten gesplitst worden in twee gebruikers: een onttrekkende gebruiker en een virtuele lozende gebruiker, die het water opwaarts van het reservoir weer loost. Door het water opwaarts te lozen

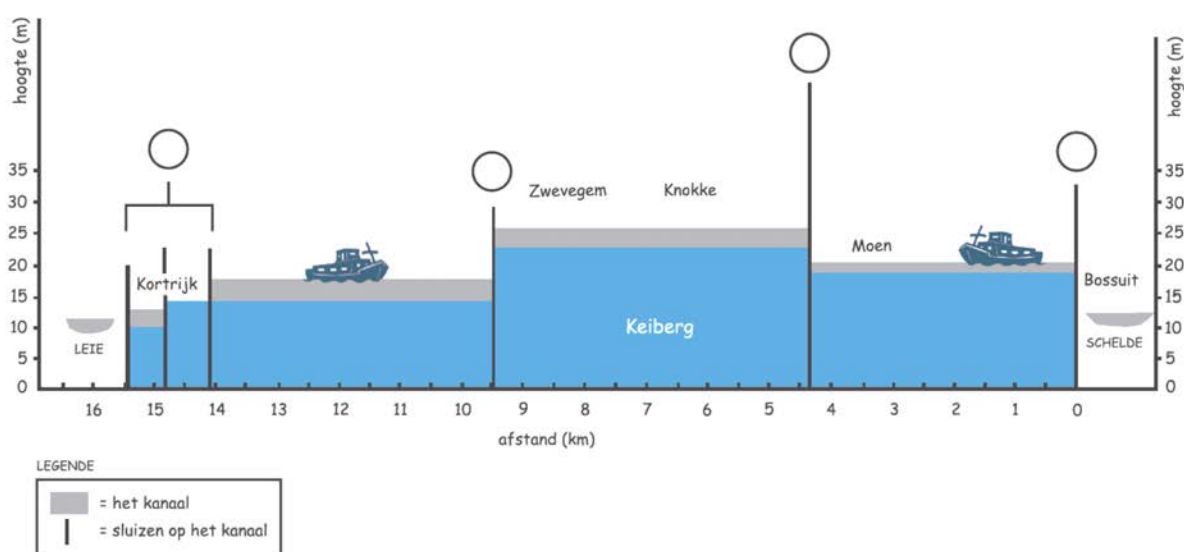
stroomt het onttrokken water weer terug naar het reservoir zodat het beschikbaar blijft voor de andere gebruikers die water uit dat reservoir gebruiken, zoals dat in werkelijkheid ook gebeurt.

Water wordt meestal gepompt van zodra het peil in een bepaald pand onder een drempel zakt tot het normaalpeil weer wordt bereikt. De bedoeling van deze subroutines is om de juiste modellering van deze pompinstallaties te simuleren, rekening houdend met het aantal aanwezige pompen. Aldus worden er verschillende aanslagpeilen gespecificeerd om het debiet van één of meer pompen te modelleren als het waterpeil in het te lozen pand daalt. In sommige gevallen worden pompen gebruikt om water uit een pand te pompen wegens wateroverschot. De aanslagpeilen zijn hier dus hoger dan het normaalpeil.

Regelen van pompinstallaties opgenomen in de VBA macro als aparte subroutines zijn hieronder opgelijst:

Tabel 1 – Pompinstallaties wiens regeling wordt via een subroutine geprogrammeerd

Kanaal	Pompinstallatie
Kanaal Bossuit-Kortrijk (KBK)	Pomp Zwevegem
	Pomp Moen
	Pomp Bossuit
Kanaal Roeselare-Leie (KRL)	Pomp Ooigem
Kanaal Brussel Charleroi (KBC)	Pomp Marchienne
	Pomp Gosselies
	Pomp Viesville
	Pomp Ittre
Canal du Centre (CdC, Wallonië)	Pomp Havre
	Pomp Obourg
Canal Pommeroeul-Condé (CPC, Wallonië)	Pomp Pommeroeul
Canal Nimy-Blaton-Peronnes (NBP, Wallonië)	Pomp Maubray
	Pomp Peronnes
Canal du Nord (CdN, Frankrijk)	Pomp Palluel
Kanaal Brussel-Schelde (KBS)	Pomp Zemst



Figuur 5 – Schema van het Kanaal Bossuit-Kortrijk dat wordt gevoed door pompinstallaties om waterpeilen langs de sluizen te beheren

In de vorige versie van het model waren de bovenstaande pompinstallaties simpelweg zo geprogrammeerd dat de pompen werden aangezet als het peil onder een bepaalde aanslagpeil daalde. Door de dagelijkse tijdstap werden de pompen echter gedurende 24 uur aangezet in plaats van enkel de benodigde tijd om het normaalpeil weer te bereiken. Als gevolg werd er meer water gepompt dan wat in realiteit zou gebeuren en in sommige gevallen werd er te veel water onttrokken waardoor de waterstand in het pand waaruit gepompt wordt te laag staat. De oplossing hiervoor was deze pompinstallaties te herprogrammeren zodat het te lozen debiet het exact ontbrekende volume zou voorzien in de loop van 24 uur. Dit debiet wordt dan beperkt door het maximaal debiet van het systeem van pompen dat wordt aangezet volgens het aanslagpeil. Pompinstallaties, normaalpeilen, aanslagpeilen en debieten worden samengevat in Bijlagen (1).

In het Kanaal Schelde-Duinkerke (KSD, Frankrijk) wordt een pompinstallatie in Pont Malin geprogrammeerd op basis van een vergelijking die het benodigde water berekent. Als het peil in KSD zakt ten gevolge van de grote afvoer uit het pand, wordt in Pont-Malin water terug gepompt. De bedoeling van deze subroutine is om de juiste modellering van de pompinstallatie te simuleren, rekening houdend met de beperkingen van de hier aanwezige pomp. Er wordt een aanname toegepast op basis van de droge periodes in 2004, 2005 en 2006, toen het maximum debiet van deze pomp 2 kubieke meters per seconde was. De onttrekking van water gebeurt uit BOS pand 6 en het lozen in KSD pand 1. Het debiet wordt bepaald door de vergelijking hieronder:

DebietPompPontMalin

$$= \text{DoorvoerGoeulzin} + \text{PompPalluel} + \text{SCHGoeulzin} + \text{SCHPontMalin} - \text{AanvoerSchelde} \\ - \text{AanvoerSenseeCdN} - \text{SCHPalluel}$$

Waar:

<i>DoorvoerGoeulzin:</i>	Debiet dat aan de sluis in Goelzin wordt doorgevoerd voor de voeding van lager gelegen panden
<i>PompPalluel:</i>	Debiet opgepompt door de pomp in Palluel voor de voeding van CdN pand 1
<i>SCHGoeulzin:</i>	Afvoer door de scheepvaart via de sluis in Goelzin
<i>SCHPontMalin:</i>	Afvoer door de scheepvaart via de sluis van Pont-Malin
<i>AanvoerSchelde:</i>	Aanvoer via de Schelde
<i>AanvoerSenseeCdN:</i>	Aanvoer via Canal du Nord
<i>SCHPalluel:</i>	Aanvoer door de scheepvaart via de sluis van Palluel

De macro neemt van al de variabelen de waarde op het tijdstip in de simulatie. Als *DebietPompPontMalin* een debiet dat hoger is dan 2 m³/sec oplevert wordt dit toegepast als maximale debiet. Als het resultaat echter een negatief cijfer is wordt er geen debiet toegewezen voor deze pompinstallatie.

Doorvoeren

In het kanaal Schelde-Duinkerke wordt het pand 5 gevoed vanuit het opwaartse pand door het tekort aan de sluis van Cuinchy door te voeren. Dit debiet wordt berekend op basis van de volgende vergelijking:

$$\text{DebietDoorvoerCuinchy} = \text{LekF} + \text{SCHF} - \text{LozingLeieKSD} - \text{SCHCuinchy} - \text{RunoffLoisne}$$

Waar:

<i>LekF:</i>	Lekvolume aan de sluis Fontinettes
<i>SCHF:</i>	Afvoer door de scheepvaart aan de sluis Fontinettes
<i>LozingLeieKSD:</i>	Debiet door de Leie geloosd in KSD pand 5 in functie van het peil opwaarts en de stuwoopstelling
<i>SCHCuinchy:</i>	Aanvoer door de scheepvaart aan de sluis van Cuinchy
<i>RunoffLoisne:</i>	Afvoer van de Loisne in het kanaal

De macro neemt van al de variabelen de waarde op het tijdstip in de simulatie. Als *DebietDoorvoerCuinchy* een debiet hoger dan 3 m³/sec oplevert wordt dit toegepast als maximale debiet. Als het resultaat echter een negatief cijfer is wordt er geen debiet toegewezen voor deze voeding.

Ook in het Kanaal Schelde-Duinkerke wordt water uit Canal du Nord (CdN) naar het opwaartse deel van KSD doorgevoerd. Dit debiet wordt berekend op basis van de volgende vergelijking:

$$\begin{aligned} \text{DebietDoorvoerGoeulzin} \\ = SCHFdS + DoorvoerFdS + SCHCuinchy + DoorvoerCuinchy + SCHDon + LekDon \\ - SCHGoeulzin - AanvoerScarpe - AanvoerCdL \end{aligned}$$

Waar:

<i>SCHFdS:</i>	Afvoer door de scheepvaart via de sluis Fort de Scarpe
<i>DoorvoerFdS:</i>	Gegarandeerde doorvoer aan de sluis Fort de Scarpe
<i>SCHCuinchy:</i>	Afvoer door de scheepvaart aan de sluis van Cuinchy
<i>DoorvoerCuinchy:</i>	Doorvoer aan de sluis Cuinchy
<i>SCHDon:</i>	Afvoer door de scheepvaart via de sluis Don
<i>LekDon:</i>	Lekvolume aan de sluis Don
<i>SCHGoeulzin:</i>	Aanvoer door de scheepvaart aan de sluis van Goeulzin
<i>AanvoerScarpe:</i>	Aanvoer via de Scarpe
<i>AanvoerCdL:</i>	Aanvoer via het Canal de Lens

De macro neemt van al de variabelen de waarde op het tijdstip in de simulatie. Als *DebietDoorvoerGoeulzin* een debiet oplevert dat hoger is dan 3 m³/sec, wordt dit toegepast als maximale debiet. Als het resultaat echter een negatief cijfer is wordt er geen debiet toegewezen voor deze voeding.

In de Kempen wordt water van het Albertkanaal (ABK) naar het Netekanaal doorgevoerd. Deze wordt geregeld als subroutine aan het begin van het Netekanaal en aangeduid als *Doorvoer Viersel*. De bedoeling van deze subroutine is het op normaalpeil houden van het Netekanaal. Uit het Netekanaal wordt water onttrokken voor de productie van drinkwater door Water-link. wanneer het peil er meer dan 20 cm zakt, moet er water vanuit het Albertkanaal aangevoerd worden. Aangenomen wordt dat de waterdoorvoer langs de sluis van Viersel 2.8 m³/s bedraagt.

Maasafvoer verdrag

De verdeling van het Maaswater is bij lage afvoeren vastgelegd in het Maasafvoer verdrag. Van zodra de afvoer in Luik lager is dan 100 m³/s gelden er drie fases met bijbehorende waterverdeling tussen het Vlaamse en Nederlandse watergebruik en de Gemeenschappelijke Maas:

1. Bij een Maasafvoer tussen 100 m³/s en 60 m³/s (aanlooffase) is het Nederlandse en het Vlaamse gebruik elk ten hoogste 25 m³/s.
2. Bij een Maasafvoer tussen 60 m³/s en 30 m³/s (alarmfase) verzekeren de Nederlandse en Vlaamse waterbeheerders een minimale afvoer van 10 m³/s over de stuw te Borgharen (Gemeenschappelijke Maas).
3. Bij een Maasafvoer beneden 30 m³/s (crisisfase) verdelen de Nederlandse en Vlaamse waterbeheerders deze afvoer over het Nederlandse gebruik, het Vlaamse gebruik en de Gemeenschappelijke Maas. Elke partij mag 1/3^e van de aanvoer gebruiken.

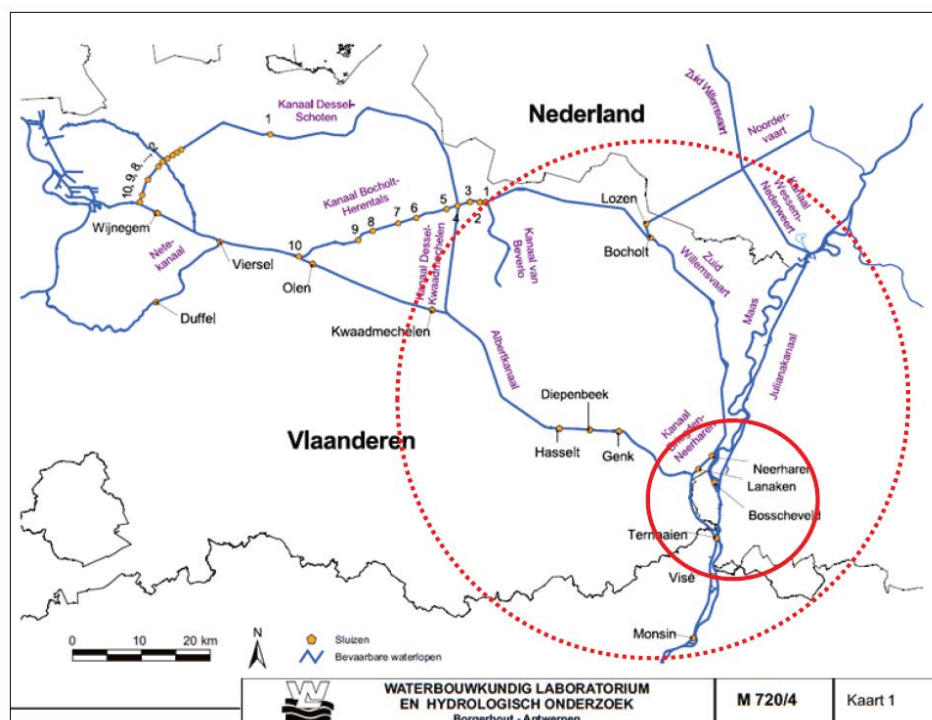
Dit verdrag vormt natuurlijk een harde randvoorwaarde voor het Vlaamse en Nederlandse watergebruik. Tijdens periodes met een lage afvoer bepaalt dit verdrag immers hoeveel water er beschikbaar is. Tabel 2 toont de regels die in het model gebruikt worden om de waterbeschikbaarheid voor elk kanaal te berekenen (Baetens et al, 2006).

Tabel 2 – Waterverdelingsregels voor het Nederlandse en Vlaamse Watergebruik op basis van het Maasverdrag.

Maasafvoer Luik (Monsin) [m³/s]	Julianakanaal (Bunde) [m³/s]	Zuid-Willemsvaart (Lozen) [m³/s]	Toegestaan Vlaams gebruik [m³/s]
> 130	25	10	35
100 – 130	$25 - ((130 - Q_{\text{Monsin}})/3)$	10	$35 - ((130 - Q_{\text{Monsin}})/3)$
60 – 100	15	10	25
55 – 60	15	$10 - ((65 - Q_{\text{Monsin}})/2)$	$25 - ((60 - Q_{\text{Monsin}})/2)$
50 – 55	$15 - ((55 - Q_{\text{Monsin}}) * 1/10)$	$7,5 - ((55 - Q_{\text{Monsin}}) * 4/10)$	$25 - ((60 - Q_{\text{Monsin}})/2)$
40 – 50	$14,5 - ((50 - Q_{\text{Monsin}})/2)$	5,5	$25 - ((60 - Q_{\text{Monsin}})/2)$
35 – 40	$9,5 - ((40 - Q_{\text{Monsin}}) * 4/10)$	$5,5 - ((40 - Q_{\text{Monsin}}) * 1/10)$	$25 - ((60 - Q_{\text{Monsin}})/2)$
30 – 35	$7,5 - ((35 - Q_{\text{Monsin}})/2)$	5	$12,5 - ((Q_{\text{Monsin}})/3)$
25 – 30	$5 - ((30 - Q_{\text{Monsin}}) * 2/15)$	$5 - ((30 - Q_{\text{Monsin}}) * 3/10)$	$Q_{\text{Monsin}}/3$
20 – 25	4	$4,33 - ((25 - Q_{\text{Monsin}})/3)$	$Q_{\text{Monsin}}/3$
15 – 20	$4 - ((20 - Q_{\text{Monsin}})/3)$	2,67	$Q_{\text{Monsin}}/3$

Het Albertkanaal en Kempische Kanalen

De Kempen wordt doorkruist door verschillende kanalen die worden gevoed door de Maas (zie Figuur 6). Hiervan is het Albertkanaal, dat in Monsin splitst van de Maas, het belangrijkste. Enkele andere zijn de Zuid-Willemsvaart, het Kanaal Bocholt-Herentals en het Kanaal Dessel-Schoten. De Zuid-Willemsvaart splitst van de Maas net ten noorden van Maastricht. Niet ver afwaarts in Neerharen vloeit deze samen met het Kanaal Briegden-Neerharen dat het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart verbindt richting de Zuid-Willemsvaart. Ongeveer 35 kilometer afwaarts in het noorden splitst het Kanaal Bocholt-Herentals te Bocholt van de Zuid-Willemsvaart. Deze laatste stroomt terug Nederland in afwaarts van deze splitsing te Lozen. Het Kanaal Dessel-Schoten begint te Dessel vanaf het Kanaal Bocholt-Herentals en voedt het noordwestelijke deel van de Kempen.

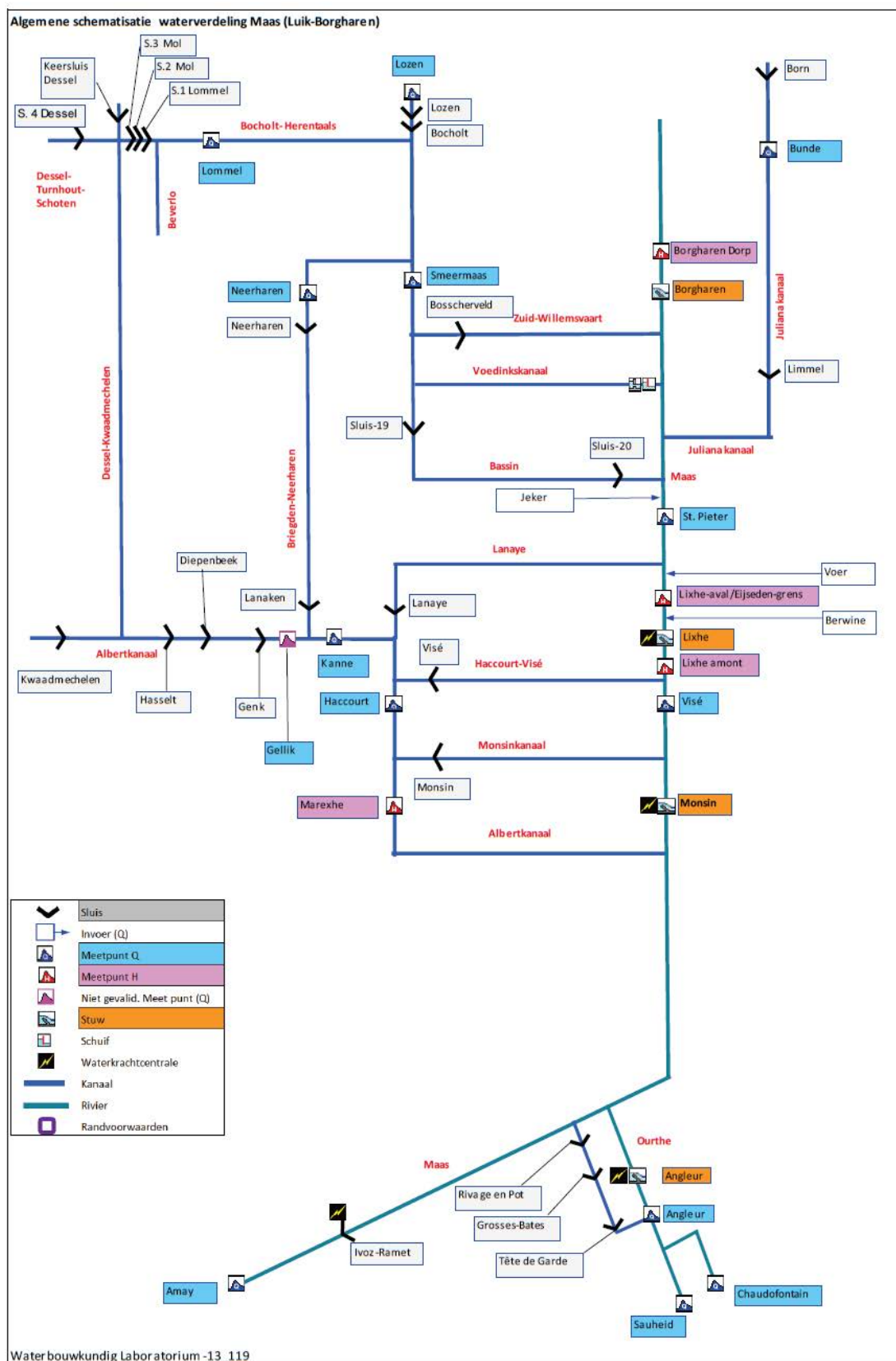


Figuur 6 – Overzicht kanalenstelsel Albertkanaal en Kempische Kanalen (Baetens et al, 2006)

In het MIKE HYDRO Basin model worden er watergebruikers geïntroduceerd om water uit de Maas te onttrekken en dan te lozen in het Albertkanaal, de Zuid-Willemsvaart en het Julianakanaal. De VBA macro bepaalt hoeveel water mag onttrokken worden per gebruiker volgens het Maasverdrag. Aldus worden deze onttrekkingen geprogrammeerd in de macro op basis van het debiet in de Maas net stroomopwaarts van Monsin. Het toegestane Vlaamse gebruik moet worden verdeeld over het Albertkanaal in Luik en het Kanaal Bocholt-Herentals in Bocholt die verder afwaarts ook het Kanaal Dessel-Schoten voedt. Omdat het waterverbruik langs de eerste drie panden van het Kanaal Bocholt-Herentals en alle panden van het Kanaal Dessel-Schoten vrij beperkt is, werd aangenomen dat het toegestane volume voor het Albertkanaal bepaald wordt door het “Toegestaan Vlaams gebruik” in Tabel 2 te verminderen met de watervraag voor de eerste drie panden van het Kanaal Bocholt-Herentals en alle panden van het Kanaal Dessel-Schoten.

Alle bovenvermelde waterwegen en ook het Kanaal Leuven Dijle zijn kanalen die door een externe bron gevoed worden (Maas of Dijle). De grootte van die onttrekking wordt bepaald door het watergebruik erlangs en als gevolg daarvan de waterstandsval in de panden. In het MIKE HYDRO Basin waterallocatiemodel worden de kanaalpanden als *Reservoirs* voorgesteld met een normaalpeil dat gehanteerd moet worden om scheepvaartvervoer te garanderen. Alle opeenvolgende panden zijn dus verbonden door watergebruikers die water uit het opwaartse pand onttrekken om dit in het afwaartse pand terug te lozen. Zo wordt per pandverbinding een scheepvaartgebruiker (SCH) toegewezen met een vaste eerder berekende/gekregen tijdreeks en een openbaarbestuur-gebruiker (O) die zorgt voor de watervraag om een negatieve netto stroom in het pand te compenseren. Zodoende is de watervraag van de O-gebruikers berekend door de macro.

Elk kanaal heeft zijn eigen subroutine waarin berekeningen worden uitgevoerd voor elk pand. De netto stroom in elk pand wordt berekend op basis van *Reservoir* resultaten gelezen door de macro. Als de uitstroom groter is dan de instroom wordt dit verschil opgenomen als watervraag bij de O gebruiker die water voert vanuit het opwaartse pand. Als het peil in het pand meer dan 10 centimeter onder het normaalpeil ligt moet het volumeverschil als watervraag in dagelijkse kubieke meters per seconde worden berekend. Dit volume wordt in de macro berekend, gebruik makend van interpolatie van de Hoogte-Volume-Oppervlakte relatie van elk pand en dan omgezet naar een dagelijks volume in kubieke meters per seconde. Al deze benodigde debieten in het kanaal worden opgeteld en opgenomen als watervraag bij de O gebruiker die voor de voeding van het gehele kanaal zorgt. Op deze manier worden alle peilen op normaalpeil gehouden, indien er zich geen tekorten voordoen.



Figuur 7 – Schema verdelingsknoop Luik-Maastricht (Pereira et al, 2016)

Kanaal Gent-Terneuzen BE-NL verdrag

Vanwege het protocol verdrag met Nederland over het Kanaal Gent-Terneuzen moet Vlaanderen het kanaal voeden met 13 m³/s gemiddeld over twee maanden. 8 m³/s zouden volstaan voor de handhaving van het peil, de overige 5 m³/s zijn noodzakelijk om zoutindringing aan de sluizen van Terneuzen tegen te gaan.

“De gebruikelijke minimale hoeveelheid zoet voedingswater bedraagt 13 m³/sec, gemeten over een tijdsbestek van twee maanden”

De macro berekent het benodigde debiet om aan dit verdrag te voldoen op basis van alle gebruikers die water voeren naar Terneuzen plus de *downstream spill* van het MIKE HYDRO Basin pand dat het Kanaal Gent-Terneuzen opstelt in het waterallocatiemodel. Drie Scheepvaart (SCH) en drie Openbaar Bestuur (O) watergebruikers sturen water naar Terneuzen overeenkomstig met de West, Midden en Oost sluizen aanwezig in Terneuzen. De VBA macro berekent het gemiddelde dagelijkse debiet van de laatste twee maanden dat door deze watergebruikers plus de *downstream spill* naar Terneuzen wordt gestuurd. Als dit onder 13 m³/s daalt, maakt het model gebruik van een zevende watergebruiker (Ozout) dat het benodigde extra debiet om deze regel te voldoen vraagt aan het pand van het Kanaal Gent-Terneuzen. Een watertekort bij de Ozout watergebruiker betekent aldus een zoutverdringingstekort in het kader van het BE-NL verdrag.

3.1.7 Softwareproblemen

Tot slot is het model geconverteerd naar de meest recente versie van de DHI-software voor waterbalansmodellering (MIKE HYDRO Basin 2016). De eerste versie van het model werd in Mike Basin opgebouwd die gebruik maakte van ArcMap voor de visualisatie van model objecten en resultaten. De nieuwe versie van de software, MIKE HYDRO Basin 2016, werd gelanceerd gedurende de periode van deze opdracht. Als gevolg een aantal aanpassingen en verbeteringen die reeds uitgevoerd waren in het waterallocatiemodel moesten worden herzien en in sommige gevallen herhaald tijdens de omschakeling van Mike Basin naar MIKE HYDRO Basin 2016. Dit gekoppeld met de grootte en complexiteit van het model leidde tot een grote vertraging van deze deelopdracht.

Met de nieuwe versie van de software wordt het proces om de simulatieresultaten op te slaan efficiënter waardoor het mogelijk is om een periode van ruim 47 jaar in één enkele modelsimulatie uit te voeren. Daarenboven blijft de ondersteuning van DHI gegarandeerd.

Het nadeel van de omschakeling naar deze actualisatie van de software is dat de handige post processing niet meer is inbegrepen in de software. Om dit probleem te verhelpen werd een eigen, afzonderlijke tool ontwikkeld die een gelijkaardige post processing mogelijk maakt. De post processing tool werd geschreven en geprogrammeerd op Python (Zie §3.4). Het bevat naast de vergelijkbare voorstelling van de resultaten ook de mogelijkheid om een statistische analyse van de resultaten uit te voeren.

Ook vermeldingswaardig is dat alle *dfs0* tijdreeksen die worden gebruikt door de VBA macro om de watervraag van gebruikers op te nemen voor de volgende tijdstap, effectief over alle tijdstappen op zijn tijdreeks moeten beschikken. Als dat niet het geval is wordt de gemodelleerde watervraag niet opgenomen in de simulatie van de volgende tijdstap. De macro gebruikt hier de functie *SetInput*. Deze tijdreeksbestanden worden gebruikt om te voldoen aan de noden van alle watergebruikers en te voorkomen dat de waterpeilen in panden onder een bepaald peil dalen. Dat is vooral het geval bij het Albertkanaal en de Kempense kanalen. De functie *SetInput* wordt daarnaast ook gebruikt in andere panden in het model om pompegels te modelleren. Alle betreffende *dfs0* tijdreeksen beschikken dus over dagelijkse tijdstappen van 1967 tot 2028 waardoor alle berekeningen van het model waarin de functie *SetInput* optreedt nauwkeuriger gemaakt werden.

3.2 Watervraag

Het modelinstrumentarium uit het eerste bestek bevat de watervraag tot en met het jaar 2009, waardoor eerdere simulaties met het waterbalansmodel in Mike Basin waren uitgevoerd voor de periode 1967-2009. Aldus werden het watergebruik en -verbruik geactualiseerd om een nieuwe simulatie te modelleren voor de periode 1967-2013.

In het kader van Deelopdracht 2, werd een actualisatietool ontwikkeld om de verzameling van watergebruik gegevens van alle betrokken waterbestuurders en gebruikers te automatiseren en dus vergemakkelijken. Actuele watergebruik gegevens zijn noodzakelijk om de waterbalans in het stroomgebied van de Schelde en Vlaamse waterwegen op een jaarlijkse basis te kunnen modelleren. De actualisatietool heeft ook het voordeel dat verzamelde gegevens worden omgezet tot *dfs0* bestanden die direct kunnen worden gelezen door het regionaal waterallocatiemodel in MIKE HYDRO Basin. Alhoewel de waterbestuurders en –gebruikers tijdens de tweede klankbord vergadering van 22/10/2014 deze actualisatietool hebben afgewezen omdat ze de eigen dataverzamelmethode wilden behouden en er bezorgdheid was over de privacy en veiligheid van de gegevens (Huysentruyt, S. et al, 2021), is er een prototype ontwikkeld en kan het op elk moment in gebruik worden genomen.

Om de bevraging door het WL te vereenvoudigen is er afzonderlijk programma ontwikkeld waarin de waterbeheerders in hun eigen formaat de gegevens kunnen leveren. Het programma verwerkt dit en zet deze om naar *dfs0* bestanden. Een eerste eenvoudige analyse van het watergebruik kan met dit programma ook uitgevoerd worden.

Gegevens over watervraag uit het voorgaande waterbalansmodel ontwikkeld tussen 2010 en 2012 in Mike Basin werden geactualiseerd met de recentste data beschikbaar voor de nieuwe versie van het waterallocatiemodel in MIKE HYDRO Basin. Hoewel de nieuwe simulatie periode tot 2013 loopt werd in sommige gevallen data ter beschikking gemaakt tot 2015. De bronnen van geactualiseerde watervraag gegevens worden samengevat in onderstaande Tabel 3.

Tabel 3 – Bronnen van watervraag in het studiegebied (Vlaanderen en Nederland)

Bedrijf	Watervraag gegevens
ATM	Watercaptatie met vergunning van bedrijven te Gent en Oostende
Aquafin	Debieten RWZI's te Harelbeke, Oostende, Brugge, Gent, Ninove, Geraardsbergen, Berlare, Berendrecht, Blaasveld, Zichem, Lokeren, Hamme, Mechelen-Noord, Duffel, Sint-Amands, Antwerpen-Zuid, Bornem, Merksem, Grobbendonk, Westerlo, Hulshout, Itegem, Oudenaarde, Nevele, Eeklo, Moerbeke, Evergem, Heist, Zelzate, Deurne, Schoten, Boom, Roesbrugge, Lier, Avelgem, Zandbergen, Aarschot, Heist-op-den-berg, Overschelde, Wichelen, Zichen, Deinze, Destelbergen, Eke, Wetteren, Kluisbergen, Merelbeke, Menen, Sint-Pieters-Leeuw, Temse, Beveren-Leie, Gavere, Zomergem, Ieper-Hollebeke, Bornem – Oude Schelde en Wulpen
Electrabel	Oppervlaktewater captatie en lozing te Drogenbos, Knippegroen, Rodenhuize en Ruien
Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen	Versassingen bij de Zandvlietsluis, Berendrechtsluis, Boudewijnsluis, Van Cauwelaertsluis en Royersluis
Nederland	Watervraag van gebruikers langs het Kanaal Gent-Terneuzen
nvDS	Bedrijven die met een vergunning water onttrekken vanuit het Albertkanaal, Kanaal Bocholt-Herentals, Kanaal naar Beverlo, Kanaal naar Kwaadmechelen, Kanaal Dessel-Schoten en Kanaal Briegden-Neerharen

Waterwegen & Zeekanaal	Water gebruikende bedrijven in de gebieden van de Bovenschelde, Zeeschelde en Zeekanaal. Inclusief de Leie, Dender, Kanaal Gent-Oostende, Kanaal Roeselare-Leie, Lokanaal, Kanaal Bossuit-Kortrijk, IJzer, Ieperleekanaal, Afleidingskanaal-Leie, Moervaart, Kanaal Nieuwpoort-Duinkerke, Ringvaart Gent, Kanaal Leuven-Dijle, Netekanaal, Kanaal Brussel-Charleroi en Zeekanaal Brussel-Schelde
Watergroep	Watercaptatie bij waterproductiecentrums Blankaart, Gavers en Kluizen
Waterlink (voormalig AWW)	Watercaptatie voor waterproductie langs het Albertkanaal en het Netekanaal.

3.3 Simulatie

De simulatie van de periode 1967-2013 met het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel wordt opgestart vanaf de VBA macro waarin zowel begintijd als eindtijd van de simulatie als de tijdstap van één dag zijn gespecificeerd.

De simulatie van 47 jaar veronderstelt 2013 als referentie jaar, representatief voor het huidig watergebruik. Dat wil zeggen dat vorige jaren waarvoor geen data over watergebruik beschikbaar is, dezelfde dagelijkse tijdreeks als die voor het jaar 2013 toegewezen krijgen. Een andere aanname valt onder de allocatieregels die nu zo zijn opgevat dat de onttrekking van een gebruiker stilvalt wanneer het peil het 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.

3.4 Python Post Processing tool

Het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel op regionaal niveau levert een *dfs0*-bestand op dat alle resultaten samenvat. 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.

De post processing tool werd in Python geprogrammeerd en kort samengevat wordt het resultatenbestand voor een simulatie van 47 jaar (1967-2013) omgezet naar één omvangrijk tabel van 2,5 gigabytes. In eerste instantie wordt aldus het resultaat *dfs0* tabel omgezet naar tekst, die op zijn beurt wordt omgezet naar een .csv tabel die leesbaar is met MS Excel. 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. Verdere *inputs* en de methodologie van de post processing tool worden in de volgende paragrafen toegelicht.

3.4.1 Analyse van het watergebruik per pand/sector met opschalen tot bekkenniveau en het studiegebied

Om de totale vraag en beschikbaarheid van water voor elk reservoir te berekenen, is er ook een tabel nodig met de verbinding tussen elke gebruiker en het bijbehorende reservoir. Deze tabel kan worden opgemaakt op basis van de database van MIKE HYDRO Basin met behulp van het script "MBnodes_data_mining".

Het script "file_analyser" in "MBnodes_data_mining" verzamelt reservoirs en geassocieerde gebruikers uit het .mhydro modelbestand en produceert tabellen met unieke ID van beide (*users.csv* en *reservoirs.csv*). Deze

twee lijsten kunnen dan gemakkelijk met elkaar verbonden worden met behulp van de unieke ID als sleutel, met behulp van MS Access of een ander platform voor databankbeheer. Het resultaat is een opzoektabel die alle gebruikers van elk reservoir bevat: "LookupTable_R_W.csv"

Deze tabel moet als invoer in de map geplaatst worden: "Input_for_make_me_a_map". Om een tekort per bekken te kunnen aantonen, is het nodig om een shapefile van de bekkens (*Bekken_WGS.shp*) en een opzoektabel in te geven die de verbinding tussen elk knooppunt en het bijbehorende bekken definieert (*Users_WGS_Join.csv*). Hetzelfde type tabel is nodig als de groepering van gebruikers per VHA-eenheid (of de gekozen polygoon) moet gebeuren.

3.4.2 Omzetting van dagelijks tot wekelijks, maandelijks en jaarlijkse reeksen

"Resampling" is het aggregeren van de debietgegevens bij bepaalde frequenties en de dagelijkse tijdreeks te berekenen over de gekozen herbevestigingsperiode. Het is belangrijk om het tekort op verschillende frequenties te kunnen samenvatten om twee redenen:

- MIKE HYDRO Basin heeft de neiging om de afvoer- en tekortreeksen te simuleren met oscillatorisch gedrag door het functioneren van het reservoir. Resampling naar lagere frequentie (van dagelijks naar wekelijks of maandelijks bv.) draagt bij aan het vergemakkelijken van deze artefacten.
- Een klein tekort dat bij de dagelijkse frequentie voorkomt, kan zeer beperkt zijn in tijd en weinig impact hebben. Dergelijke kleine tekorten worden uitgesloten door middel van resampling.

Om het tekort bij wekelijkse, maandelijks en jaarlijkse frequenties te berekenen, worden het debiet (*Flow to node*) en de vraagreeks geaggregeerd en vervolgens gesubsidieerd. De vraag naar reservoir R wordt berekend als het cumulatieve tekort van alle door het reservoir geleverde gebruikers, samen met het water dat door deze gebruikers wordt onttrokken.

Functies voor smoothing en resampling zijn opgenomen in de script "Timeseries_Resampler".

Het script "Link_simulated_data" voert de verbinding tussen gebruikers en reservoirs uit op de tabel "LookupTable_R_W.csv" en berekent tekorten op verschillende tijdstippen. Uitgangsreeksen worden opgeslagen onder:

"RESULTS\\Series_xls\\Synthesis_Demand_Availability_xxx.csv"

3.4.3 Onafhankelijke watertekortperiodes

In het geval van veel kleine evenementen van watertekort na elkaar die in de realiteit zouden worden beschouwd als één enkel geval van watertekort is het nodig om *pooling* te gebruiken om onafhankelijke evenementen van watertekort correct te kunnen aantonen. Verschillende methoden laten het *pooling* van onafhankelijke evenementen van watertekort toe:

- Voortschrijdend gemiddelde (MA): het gemiddelde van een vast aantal opeenvolgende elementen in een tijdreeks.
- Intervaltijd (IT): deze methode voegt watertekortevenementen samen als ze gebeuren binnen een bepaalde tijd na elkaar (bijvoorbeeld 5 dagen)
- Intervaltijd en volume criteria (IC): twee watertekortevenementen worden samengevoegd als: a) zij na elkaar plaatsvinden in een bepaald aantal dagen en b) de verhouding tussen het intervalvolume, s_i , en het voorafgaande tekortvolume, v_i , minder is dan een kritieke ratio, p_i . Met $t_{\min} = 5$ dagen en $p_i = 0,1$ bijvoorbeeld (Tallaksen et al, 1997)

Om de indicatoren te berekenen, moeten tekorten eerst worden geïdentificeerd en beschreven. Tekorten zijn periodes waarin er continue positieve tekortwaarden zijn. Pooling wordt in dat geval uitgevoerd zonder enige onafhankelijkheidsveronderstelling.

De volgende informatie wordt opgehaald voor alle tekortgebeurtenissen:

- Begindatum
- Einddatum
- Tekortwaarden voor elke dag van het evenement

3.4.4 Plot van debiet en watervraag

Een eenvoudige manier om het tekort te analyseren is om de afvoer op één locatie over de simulatieperiode te visualiseren in vergelijking met de vraag van alle gebruikers op die locatie (bijvoorbeeld een reservoir). Dit kan gedaan worden met behulp van de script "PlotReservoirSeries" die de resampled reeks leest en stelt de volgende methodes voor:

- "plot_flow_series": plot het debiet van de watervraag
- "plot_deficit_series": plot een herberekende tekortreeksen bij verschillende frequenties
- "plot_FDCs_flow": Afvoerduurlijnen van debiet naar reservoirs. Het toont ook de minimale en maximale vraag
- "plot_FDCs_flow": Afvoerduurlijnen van tekorten voor gebruikers

Deze functies zijn ontworpen om reeksen van csv-bestanden te lezen (smoothing, resampled etc.) en plot ze over de tijd. Het toont ook een aantal subplots per jaar, in die jaren waarin een tekort wordt waargenomen.

Daarnaast richten de FDC's, of afvoerduurlijnen, -methoden zich op het plotten van de frequentieverdeling van het debiet. Karakteristieke lozingen zoals Q95 of Q90 kunnen ook afgeleid worden op basis van:

- Interpolatie, indien mogelijk
- Statistische extrapolatie door middel van statistisch recht (Weibull, lognormal, enzo.)

4 Validatie

4.1 Inleiding

De validatie van de resultaten wordt uitgevoerd aan de hand van vergelijkingen van data uit afvoer meetpunten en gesimuleerde debieten. Om deze beter te kunnen visualiseren wordt de frequentie van het debiet vergeleken aan de hand van beschikbare gemeten en gesimuleerde tijdsreeksen. Afvoerduurlijnen worden geproduceerd gebruikmakend van de zelfontwikkelde post processing tool in Python. Tabel 4 toont alle meetpunten samen met de corresponderende modelknoppen.

Metingen in opgelijste meetpunten zijn niet beschikbaar voor de hele simulatieperiode (1967 tot 2013). In meeste gevallen is deze vanaf 1971 gemeten, in enkele meetpunten is de meting pas later begonnen. Bijgevolg zijn alle vergelijkingen berekend voor de periode waarin gemeten data beschikbaar is. Daarenboven worden een paar coëfficiënten berekend om de validatie van het model te evalueren. De gemiddelde kwadratische fout (MSE) en de Nash-Sutcliffe efficiëntie coëfficiënt (NSE) zijn de twee meest gebruikte criteria om modelresultaten te beoordelen ten opzichte van gemeten data (Gupta et al., 2009). Deze worden samengevat in Tabel 4.

De Nash-Sutcliffe efficiëntie coëfficiënt kan variëren van $-\infty$ tot 1. Een efficiëntie van 1 (NSE = 1) komt overeen met een perfecte match van gemodelleerde afvoer met de waargenomen gegevens. Een efficiëntie van 0 (NSE = 0) geeft aan dat de modelresultaten even nauwkeurig zijn als het gemiddelde van de waargenomen gegevens, terwijl een efficiëntie lager dan nul (NSE < 0) optreedt wanneer het waargenomen gemiddelde een betere voorspeller is dan het model. In wezen, hoe dichterbij 1, hoe nauwkeuriger het model is (Nash & Sutcliffe, 1970). Waarden tussen 0.0 en 1.0 worden beschouwd als aanvaardbare niveaus van prestatie (Moriassi et al., 2007).

Tabel 4 – Meetpunten en overeenkomende rivierknopen in het MIKE HYDRO Basin model

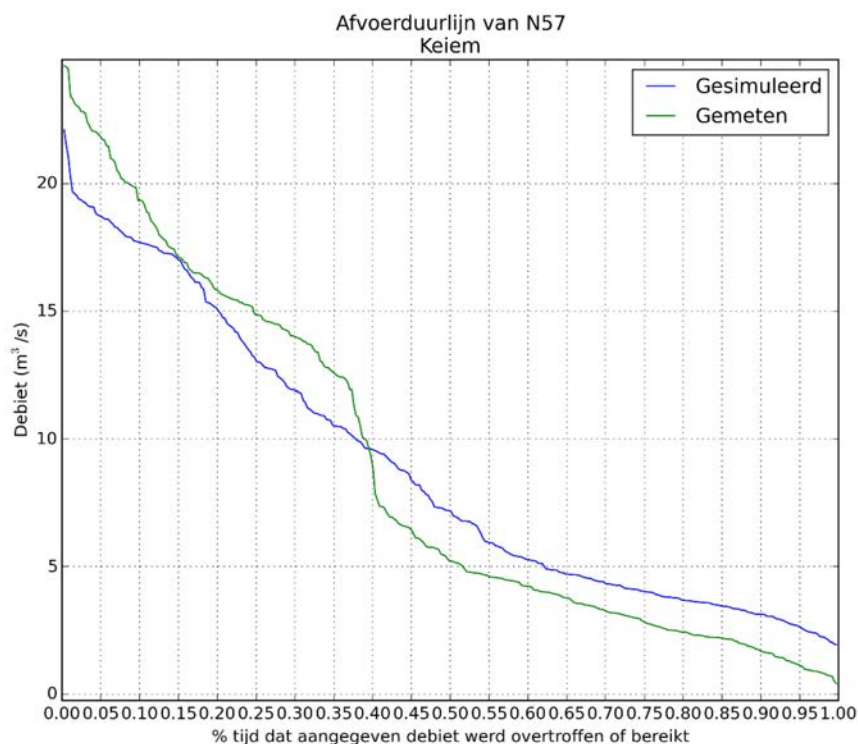
Meetpunt	Modelknoop	Variabel	MSE	NSE
Keiem	N57	Outflow to: River Node 60 (E1465, 7439,42)	129.66	0.05
Varsenare	N451 – W827	Outflow to: River Node 216 (E856, 8983,75)	51.88	0.31
Zomergem	N453	Outflow to: Reservoir Node 476 (AKL-p2)	71.18	0.39
Menen	R472 (LEI-p7)	Inflow from: River Node 271 (F05DEU386160)	214.62	0.64
Bossuit	N61	Inflow from: Reservoir Node 429 (BOS-p12)	353.97	0.32
Melle	N89	Outflow to: River Node 82 (E477, 0)	1339.2	0.34
Dendermonde	N696	Outflow to: River Node 117 (E264, 0)	14.11	0.39
Schelle	N127	Outflow to: River Node 776 (E1448, 0)	7218.6	0.20
Epegem	N314	Outflow to: River Node 315 (V08AAB000360)	240.65	0.14
Duffel Sluis	N153	Outflow to: River Node 796 (E1482, 0)	115.42	0.29
Aarschot	N343	Outflow to: River Node 783 (E1495, 0)	93.57	0.20
St.-Pieter	N1392	Outflow to: River Node 1423 (E2167, 32486,16)	14044.1	0.81

De meeste NSE waarden zijn lager dan 0.50. Hiervoor zijn er verschillende redenen. Ten eerste, het hydrologische wateraanbod vertegenwoordigt wel de historische afvoer maar het watergebruik zowel als de infrastructuur zijn gebaseerd op het jaar 2013. Waterverdeling, bijvoorbeeld, werd in hoge mate aangepast in de ringvaart van Gent (stuw te Evergem) in de laatste 47 jaar. Aldus moeten de resultaten niet noodzakelijk 100% gelijk zijn aan de metingen en het feit dat ze allemaal boven de nul drempel zijn, geeft een goede prestatie van het model aan.

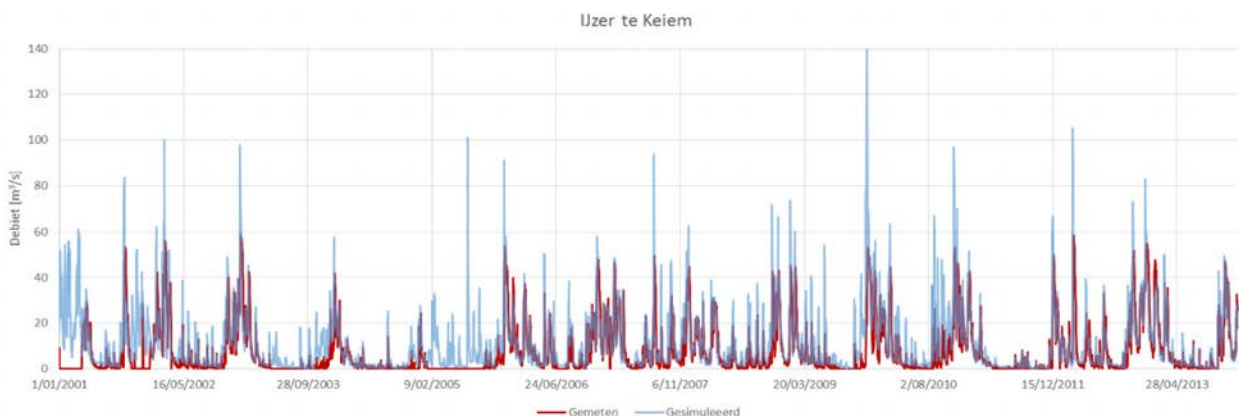
4.2 Meetpunten

4.2.1 Keiem

Het meetpunt te Keiem langs de IJzer is de referentie voor de validatie van debiet en watergebruik langs de IJzer. Figuur 8 en Figuur 9 tonen dat het gemeten debiet hierlangs goed wordt benaderd door het MIKE HYDRO Basin model. Niettemin levert dit meetpunt de laagste NSE coëfficiënt op, met een waarde van 0.05. Dit is te wijten aan ontbrekende data en zelfs negatieve waarden van het gemeten debiet. Doorheen de hele simulatieperiode doen er zich meerdere gaten voor in de gemeten tijdreeks zoals te zien op Figuur 9 in maart 2005. Tijdstappen met ontbrekende data worden een waarde van nul toegewezen. Bovendien doen er zich negatieve waarden voor in de gemeten tijdreeks die verwijzen naar een afvoer in de andere richting. MIKE HYDRO Basin kan geen negatieve waarden berekenen.



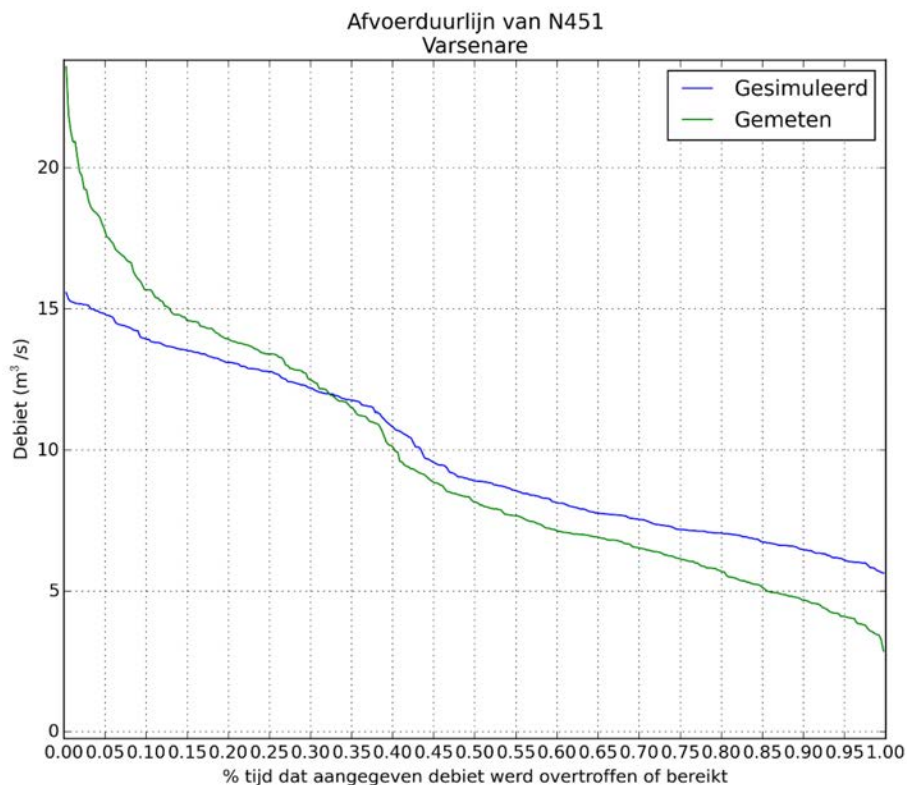
Figuur 8 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de IJzer te Keiem en overeenkomend modelknooppunt N57



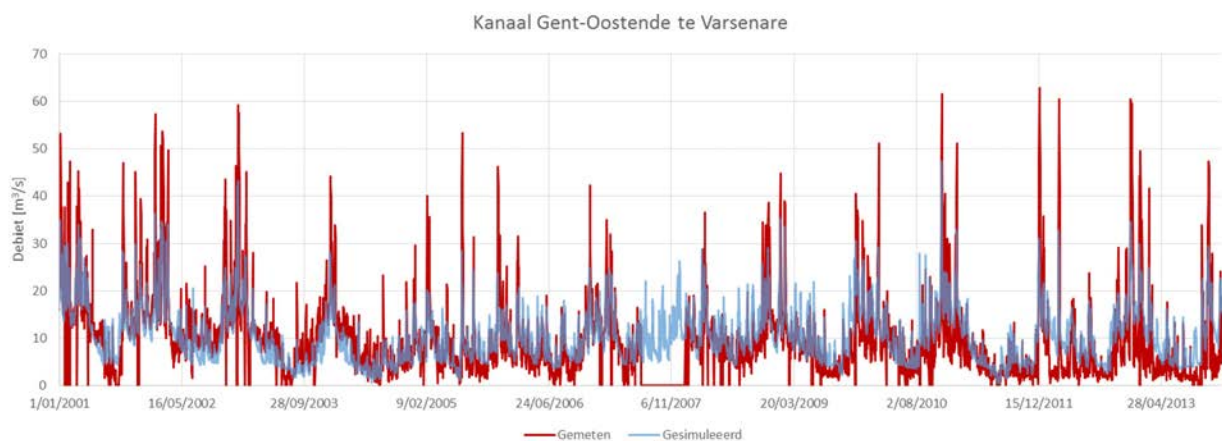
Figuur 9 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de IJzer te Keiem

4.2.2 Varsenare

Het debiet in het Kanaal Gent-Oostende wordt gemeten net afwaarts van Brugge te Varsenare. Hoewel dit debiet wordt gekoppeld aan de afvoer van modelknooppunt N451 naar N216 moet er ook rekening gehouden worden met watergebruiker W827. Deze onttrekt water voor landbouw in de Brugse Polders (Lisseweegse Vaart) vanuit het Kanaal Gent-Oostende rondom Brugge terwijl in het model water wordt onttrokken vanuit het model reservoirknooppunt in Oostende, afwaarts Varsenare. Daarom wordt het onttrokken water voor W827 eerst afgetrokken van de afvoer van modelknooppunt N451 naar N216. Onderstaande Figuur 10 en Figuur 11 en de NSE coëfficiënt van 0.31 laten zien dat het debiet hierlangs goed wordt benaderd door het model hoewel de pieken en lage debieten in de simulatie respectievelijk worden onder- en overschat.



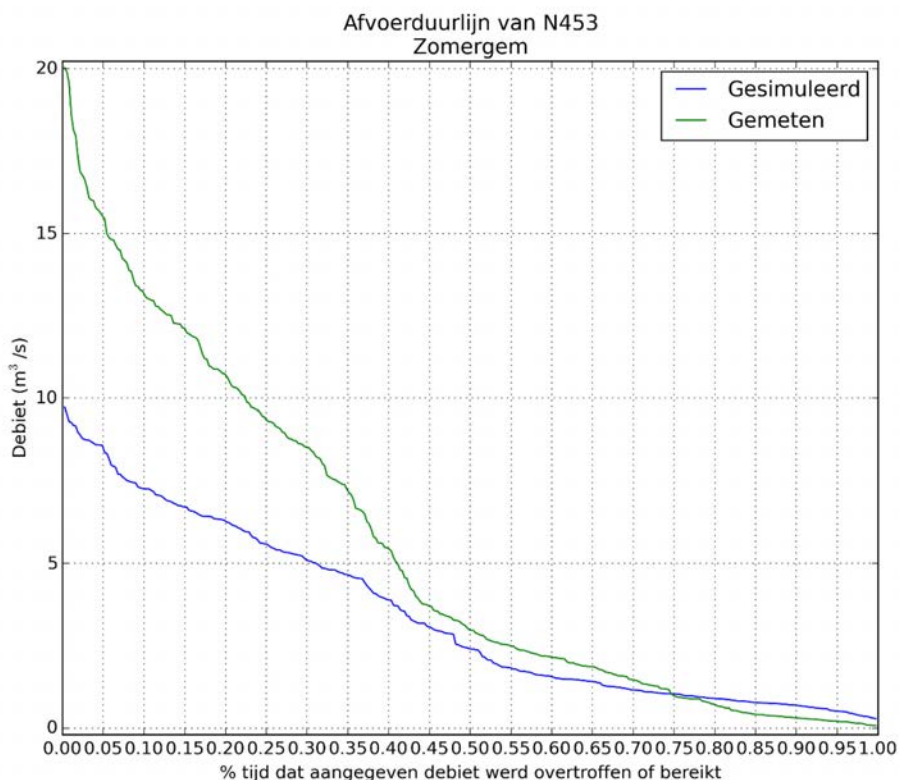
Figuur 10 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Varsenare en overeenkomend modelknooppunt N451



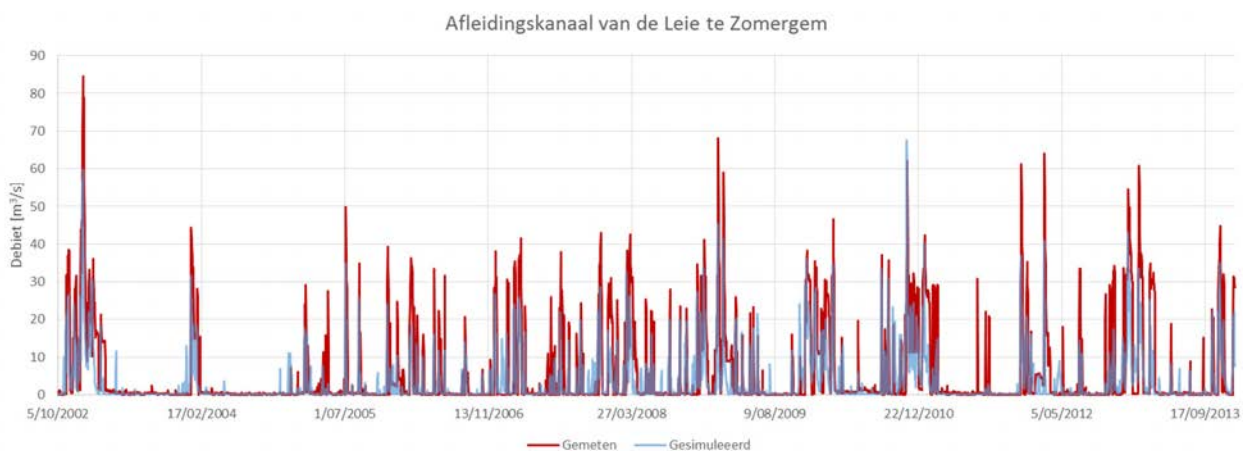
Figuur 11 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Varsenare in het Kanaal Gent-Oostende

4.2.3 Zomergem

In Zomergem bevindt zich een debietmeetpunt voor het afleidingskanaal van de Leie of Schipdonkkanaal. Hoewel de pieken regelmatig worden onderschat door het model, zoals te zien in onderstaande Figuur 12 en Figuur 13, de NSE coëfficiënt bereikt 0.39 waardoor men kan aannemen dat deze waterweg juist wordt gemodelleerd. Dit meetpunt is van belang om de interactie tussen het Groot Pand, de Leie en het Kanaal Gent-Oostende te beoordelen.



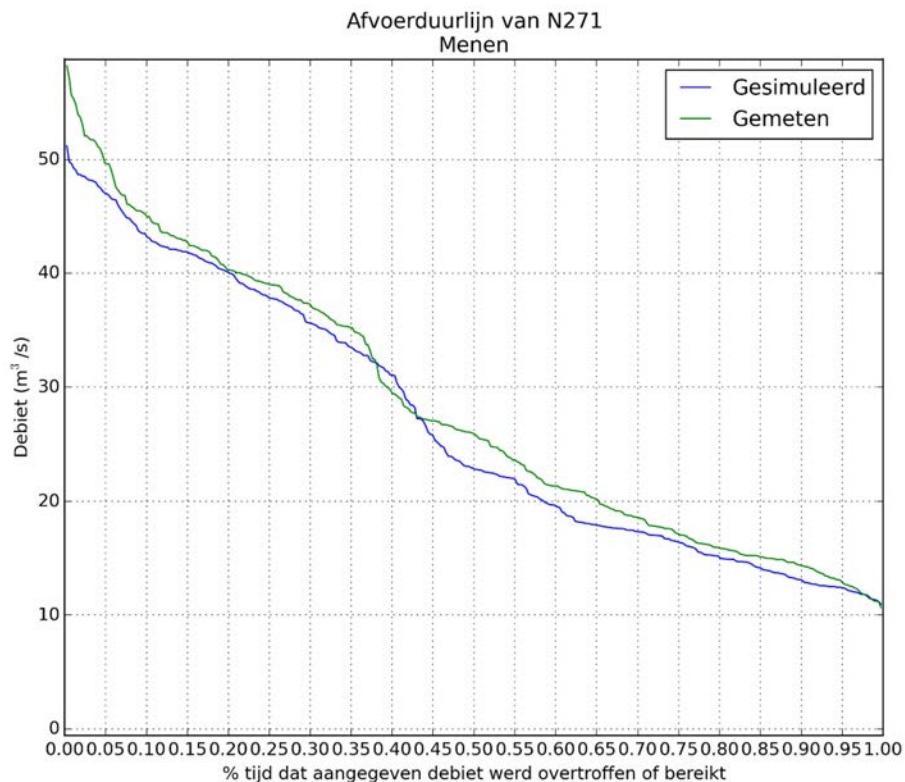
Figuur 12 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Zomergem en overeenkomend modelknooppunt N453



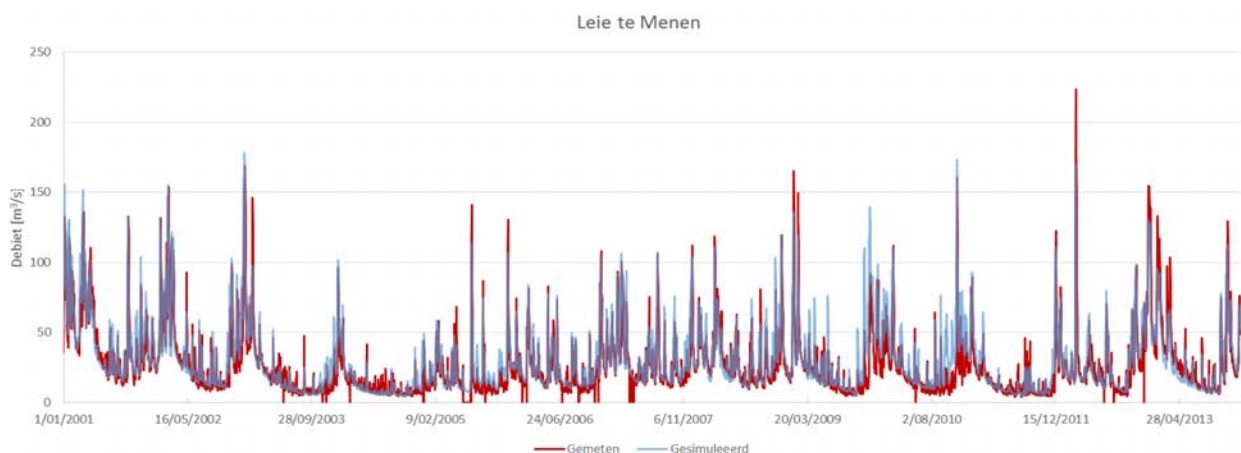
Figuur 13 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Zomergem in het Afleidingskanaal van de Leie

4.2.4 Menen

Het debiet van de Leie wordt opwaarts van Kortrijk gemeten, te Menen. Dagelijkse gemeten data is vanaf 1998 beschikbaar. De NSE coëfficiënt voor dit debietmeetpunt is 0.64 zodat dit debiet goed gemodelleerd wordt. Onderstaande Figuur 14 en Figuur 15 laten ook zien dat dat het geval is aangezien zowel pieken als lage debieten goed benaderd worden door het model. Bijgevolg worden het opwaartse deel van de Leie en zijn interactie met het Kanaal Schelde-Duinkerke goed gesimuleerd voor de validatieperiode.



Figuur 14 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Leie te Menen en overeenkomend modelknooppunt N271

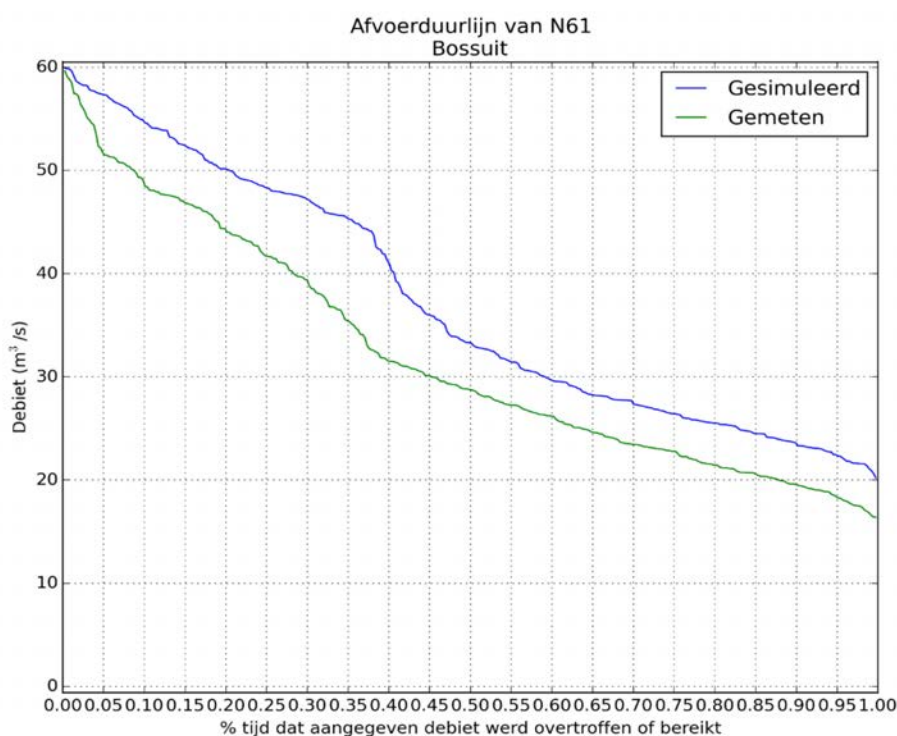


Figuur 15 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Leie te Menen

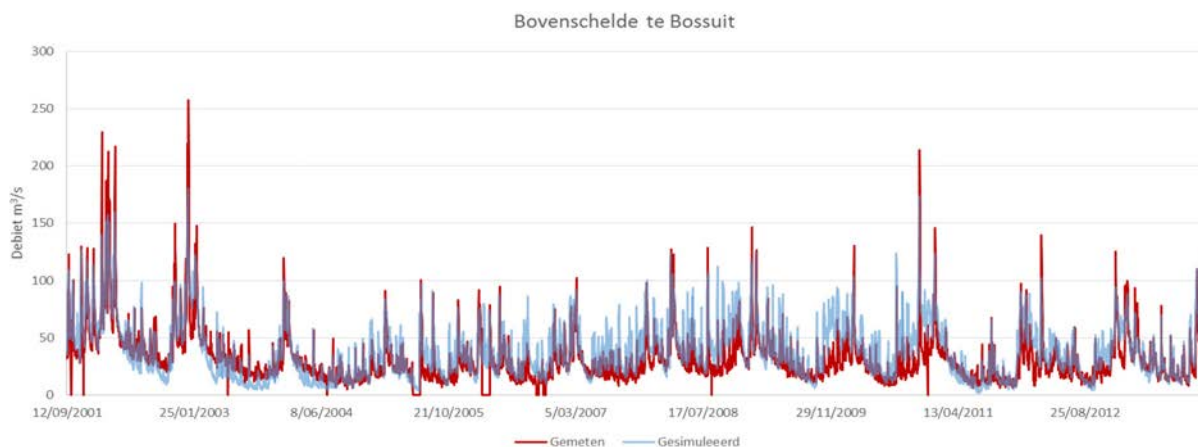
4.2.5 Bossuit

Debiet in de Schelde wordt gemeten opwaarts van de samenvloeiing van deze met het Kanaal Bossuit-Kortrijk (KBK) te Helkijn, net opwaarts Bossuit. Data van dit meetpunt werd gemeten vanaf september 2001.

De validatie van dit meetpunt is een goede indicator van de modellering en watergebruik in de Bovenschelde opwaarts van Helkijn/Bossuit. Figuur 16 toont de afvoerfrequentie-vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijdsreeksen waarvan het duidelijk is dat het debiet voortdurend hoger wordt gesimuleerd. Niettemin toont Figuur 17 dat de simulatie de gemeten tijdsreeks goed volgt in het begin en het einde van de periode met beschikbare data. Er wordt namelijk een sprong opgemerkt in het gesimuleerd debiet tussen de jaren 2006 en 2010. Deze sprong is mogelijk veroorzaakt door de input van de hydrologie voor die periode of een onnauwkeurigheid in de metingen.



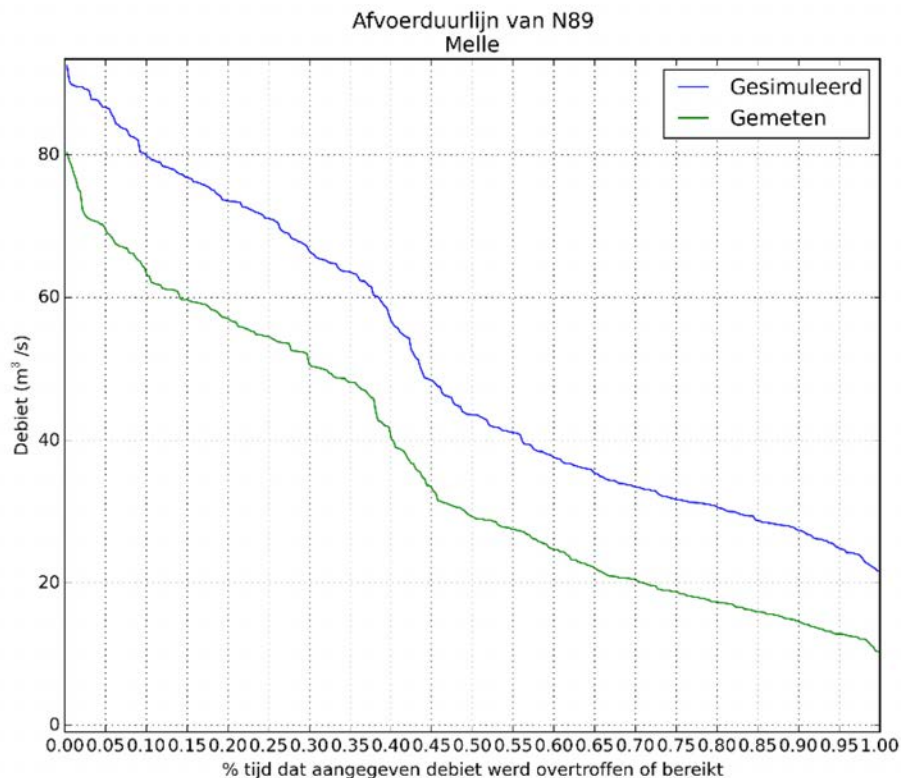
Figuur 16 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt langs de Schelde in Bossuit en overeenkomend modelknooppunt N61



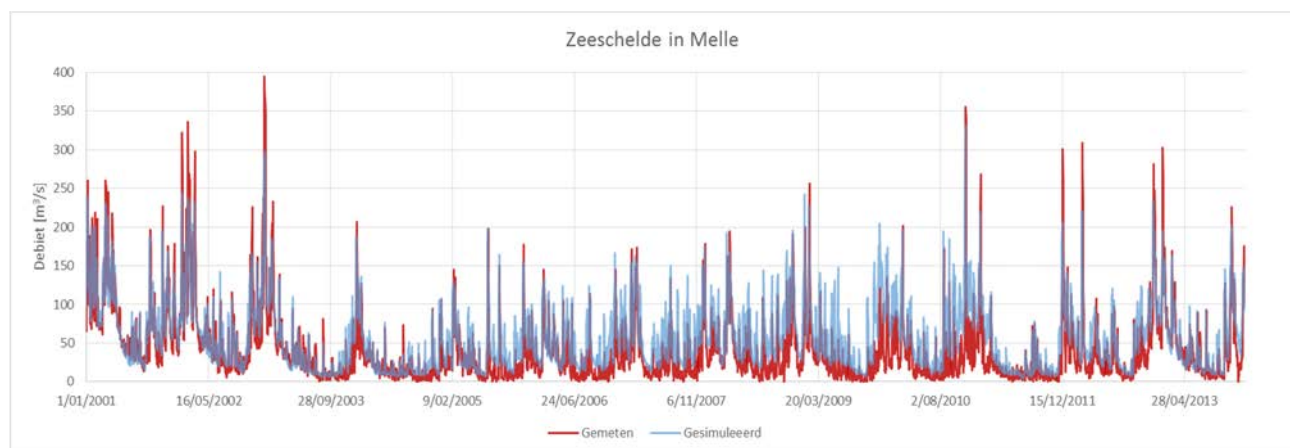
Figuur 17 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Schelde te Bossuit

4.2.6 Melle

Het meetpunt te Melle bevindt zich net afwaarts het Groot Pand (Gent) en is een goede indicator om de modellering van het watergebruik opwaarts hiervan te beoordelen. Figuur 18 toont dat het gesimuleerd debiet wordt overschat wat ook te zien is op Figuur 19. Hoewel het gemeten debiet goed wordt benaderd door het model (NSE = 0.34) wordt de hydrologische afvoer te hoog gesimuleerd. Het probleem is alleszins opwaarts veroorzaakt, zoals te merken op het meetpunt langs de Schelde te Bossuit (Zie §0). Niettemin worden lage afvoeren buiten deze sprong correct gemodelleerd.



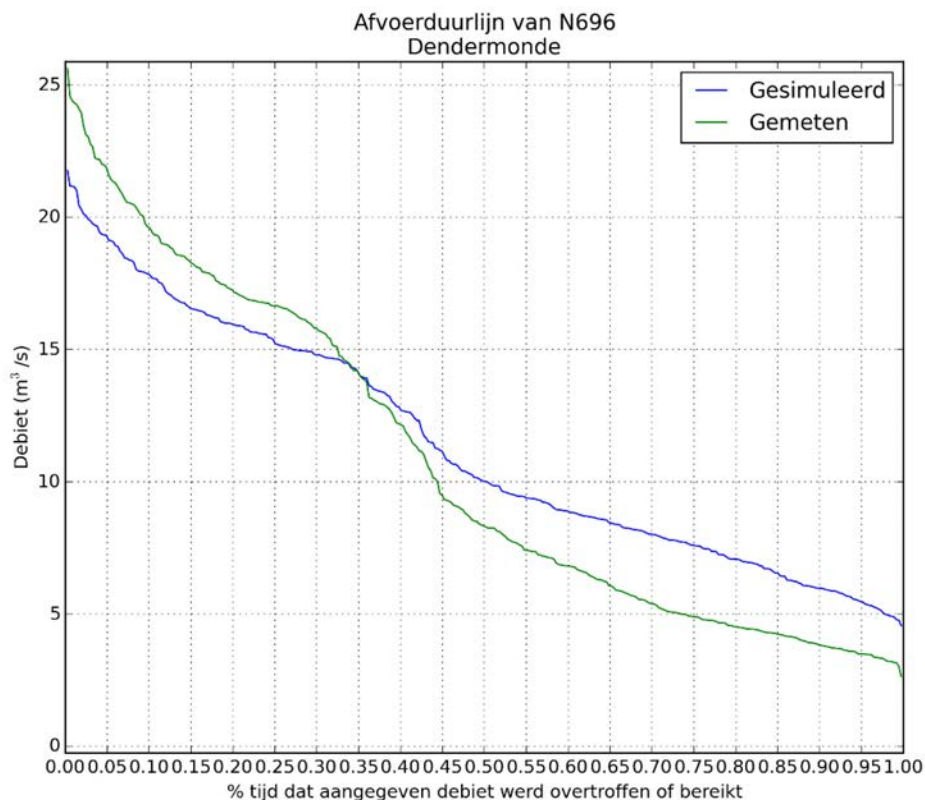
Figuur 18 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Zeeschelde te Melle en overeenkomend modelknooppunt N89



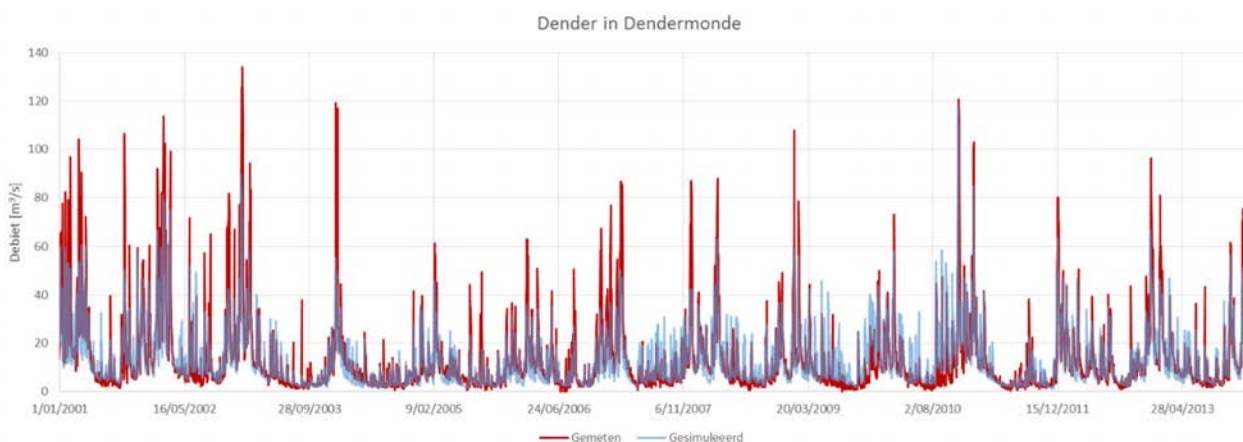
Figuur 19 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Zeeschelde te Melle

4.2.7 Dendermonde

Het debiet van de Dender te Dendermonde dient als een goede indicator om de modellering van watergebruik in het stroomgebied van de Dender te beoordelen. Figuur 20 en Figuur 21 tonen de metingen en modelresultaten aan de monding van de Dender in de Schelde. Hoewel de NSE coëfficiënt 0.39 is, worden de pieken en lage debieten minder goed gemodelleerd.



Figuur 20 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Dender te Dendermonde en overeenkomend modelknooppunt N696

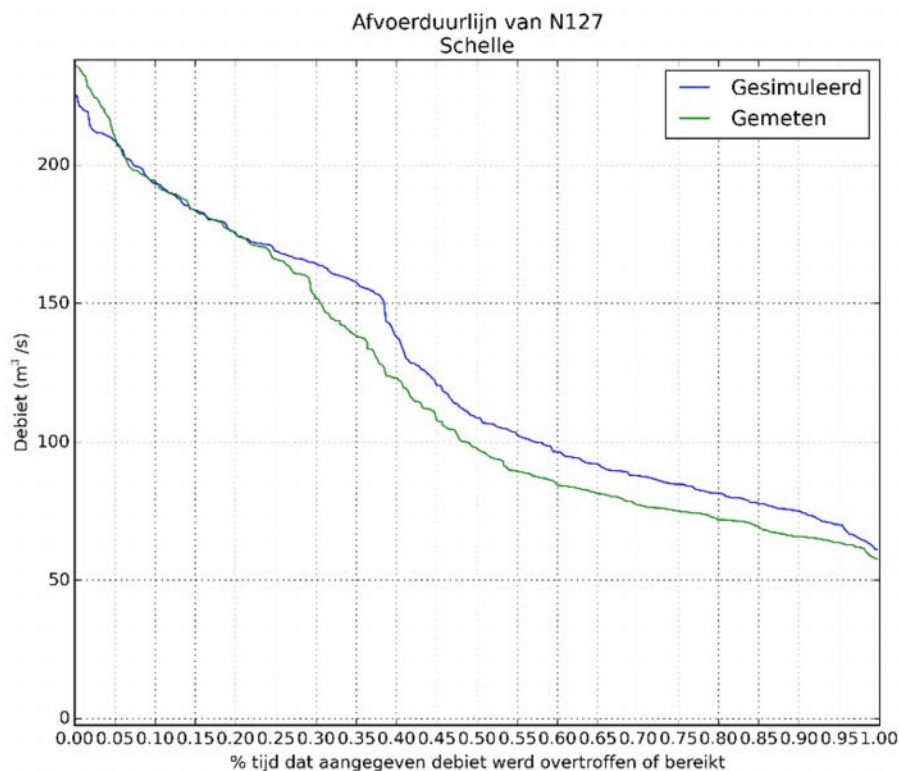


Figuur 21 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Dender te Dendermonde

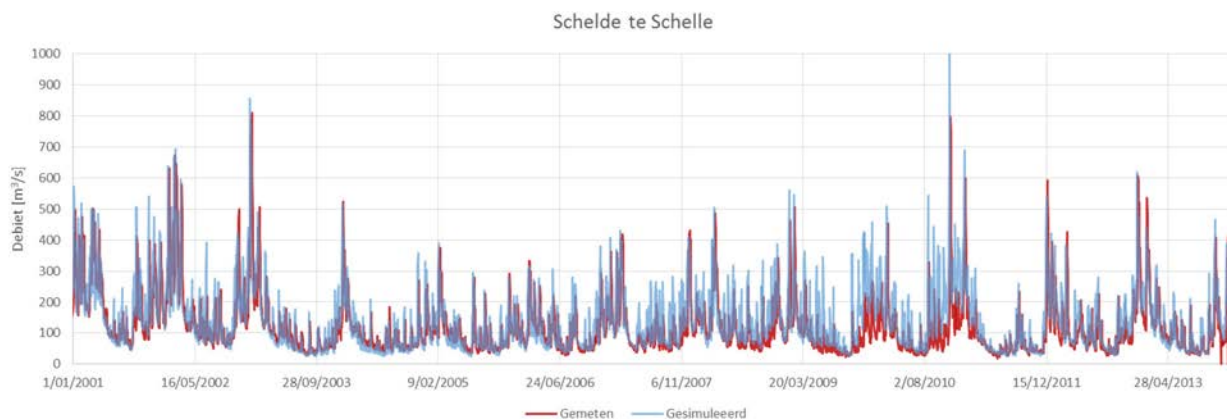
4.2.8 Schelle

Schelle ligt langs de Zeeschelde even afwaarts van de monding van de Rupel en het kanaal Brussel-Schelde (Zeekanaal). Het Hydrologisch Informatiecentrum van het Waterbouwkundig Laboratorium berekent op deze locatie het bovenstroomse debiet, m.a.w. de hoeveelheid water dat via de Schelde en haar zijrivieren wordt aangevoerd, los van het debiet dat door het getijde de Zeeschelde op- en afstroomt.

Deze berekening gebeurt per decade. De simulatieresultaten zijn dan ook omgerekend om een juiste vergelijking mogelijk te maken. Figuur 22 toont de vergelijking tussen de afvoerfrequentie van metingen en simulatieresultaten te Schelle. Deze figuur toont een goede overeenkomst tussen de berekende afvoer en de door het model gesimuleerde afvoer. In 2007 is er echter weer een sprong in de simulatieresultaten op te merken, gelijkaardig aan de bovenvermelde resultaten.



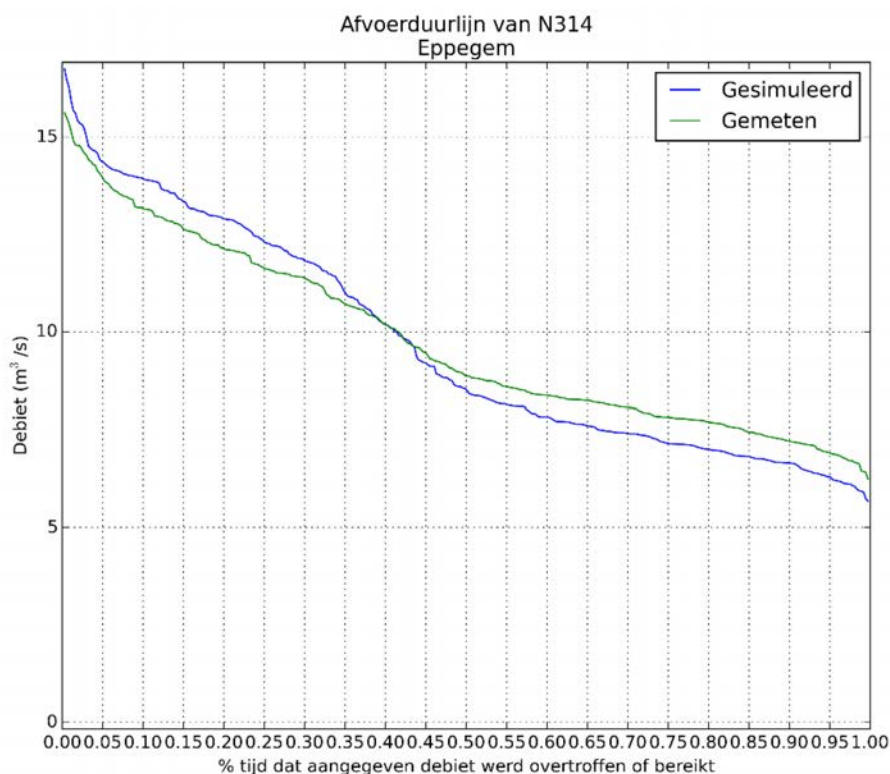
Figuur 22 – Afvoerduurlijn voor debiet berekening van de Zeeschelde te Schelle en overeenkomend modelknooppunt N127



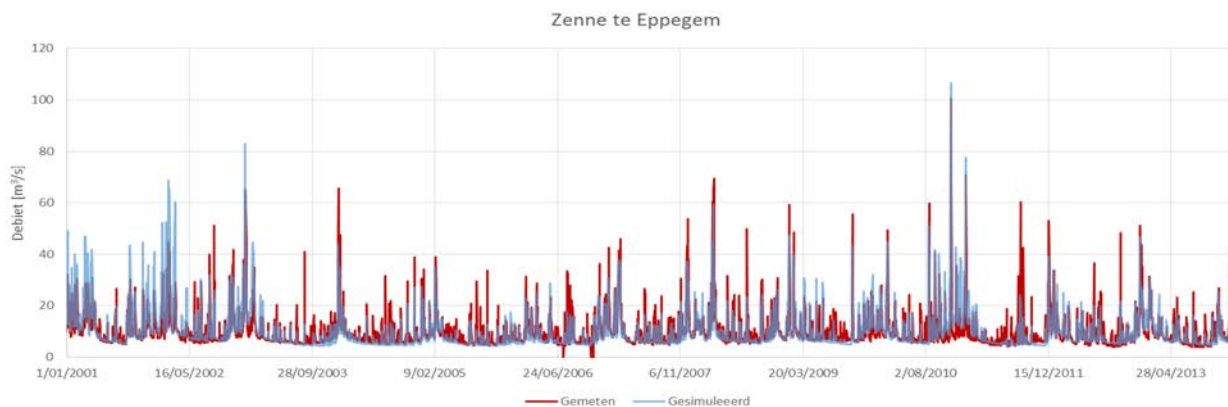
Figuur 23 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Schelde te Schelle

4.2.9 Eppegem

De vergelijking met de meting in de Zenne te Eppegem is een goede waardemeter om na te gaan of het model er in slaagt de interacties met het Kanaal Brussel-Charleroi en het Kanaal Brussel-Schelde, die zich in Brussel bevinden, te simuleren. Figuur 25 en Figuur 24 tonen dat lage afvoeren en in mindere mate de pieken, die een lage NSE veroorzaken, goed worden gemodelleerd. Dit is niet verwonderlijk aangezien de interacties met de kanalen in droge periodes beperkt zijn.



Figuur 24 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de Zenne te Eppegem en overeenkomend modelknooppunt N314

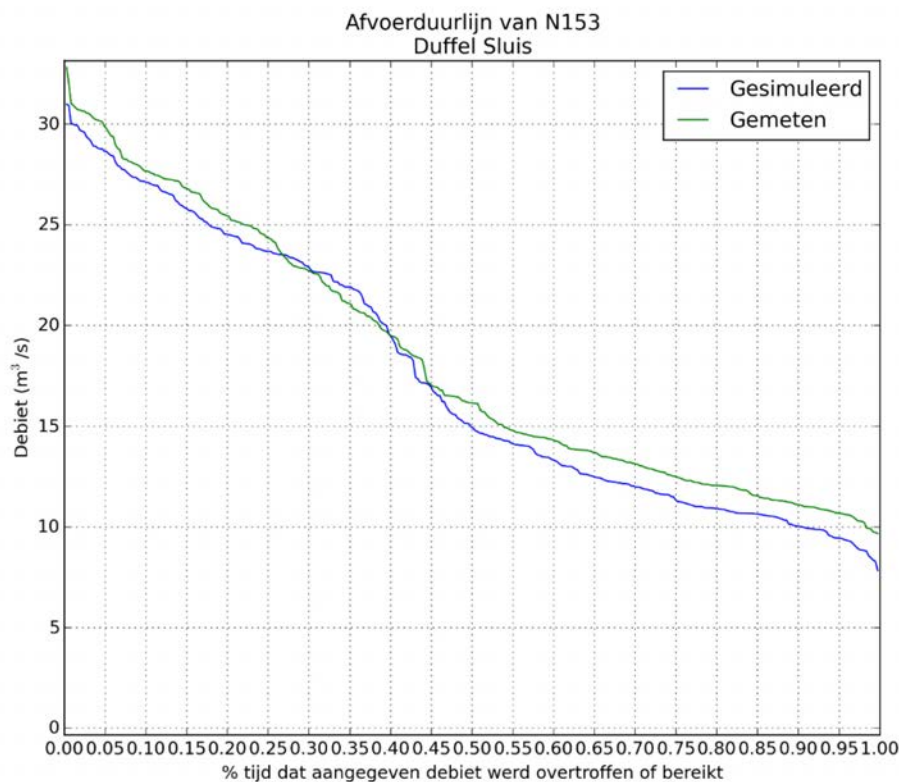


Figuur 25 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Zenne te Eppegem

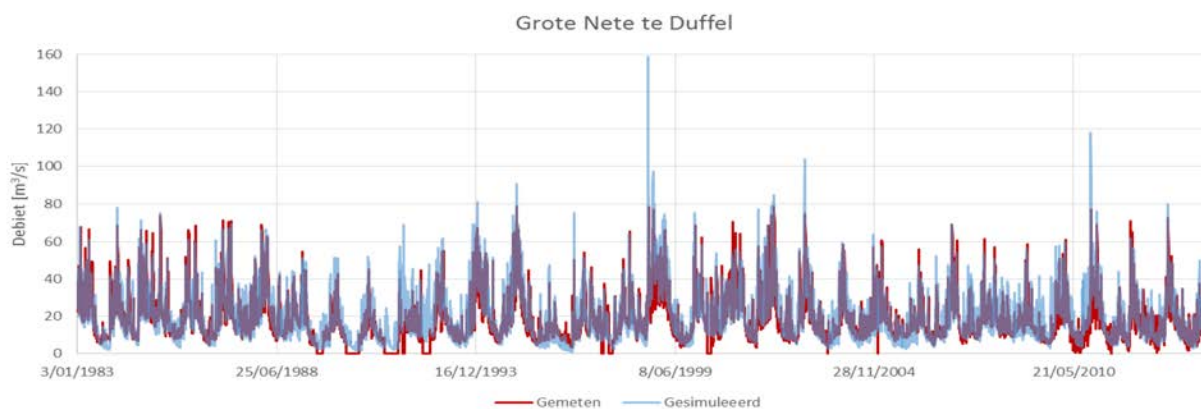
4.2.10 Duffel Sluis

De sluis te Duffel ligt in het Netekanaal en loost water van het Netekanaal in de Beneden Nete. Het Netekanaal wordt gevoed door het Albertkanaal te Viersel. Data van dit meetpunt werd gemeten vanaf 1983. Daardoor wordt deze validatie als sterker beschouwd.

De validatie van het debiet hierlangs is een goede indicator over de modellering van de voeding van het Netekanaal. In het waterbalansmodel is het Netekanaal gevoed door twee gebruikers: scheepvaart (SCH) en openbaar bestuur/waterbeheer (O). De scheepvaart maakt gebruik van een jaarlijkse tijdreeks terwijl openbaar bestuur/waterbeheer voor de voeding van het kanaal wordt geregeld in de VBA macro (zie §3.1.6). Zowel Figuur 27 als Figuur 26 tonen dat gesimuleerde afvoer en afvoerfrequentie de gemeten data benadert waardoor de voeding en watergebruik langs het Netekanaal goed gemodelleerd is. De NSE coëfficiënt is 0.29.



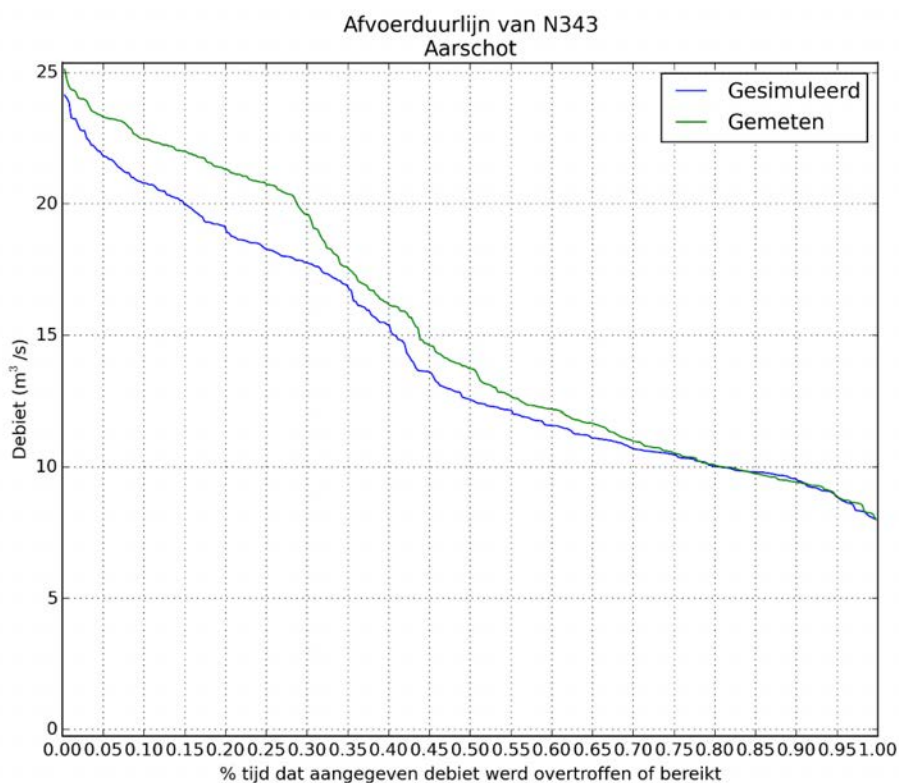
Figuur 26 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt in de sluis van Duffel en overeenkomend modelknooppunt N153



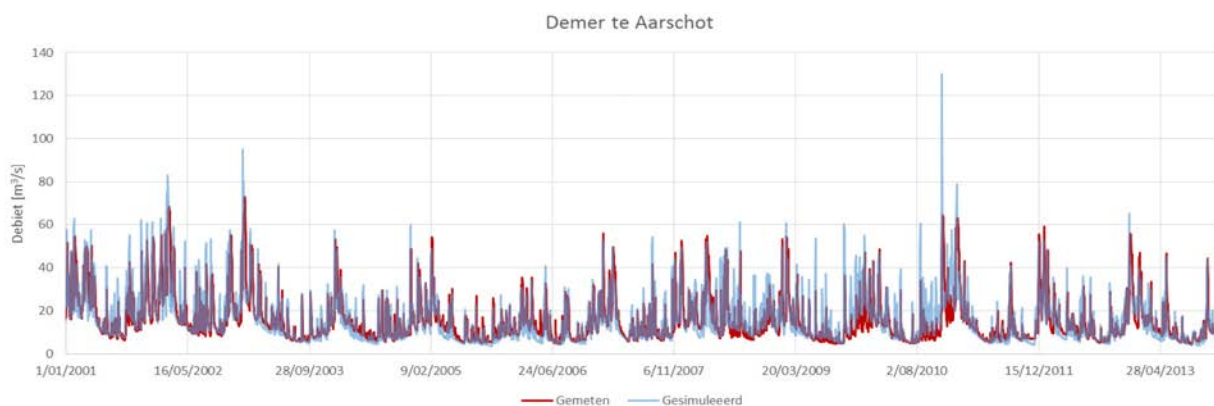
Figuur 27 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Netekanaal te Duffel

4.2.11 Aarschot

Het debiet in de Demer wordt opgemeten in Aarschot waar rivierknooppunt N343 van het MIKE HYDRO Basin model zich bevindt. Vanaf 1969 is gemeten data beschikbaar. Hier slaagt het model er goed in de afvoer van de Demer te benaderen zoals te zien op Figuur 29. Figuur 28 toont dat de pieken worden onderschat in het model, wat de relatief lage NSE coëfficiënt van 0.20 verklaart. Niettemin worden lage afvoeren correct gemodelleerd.



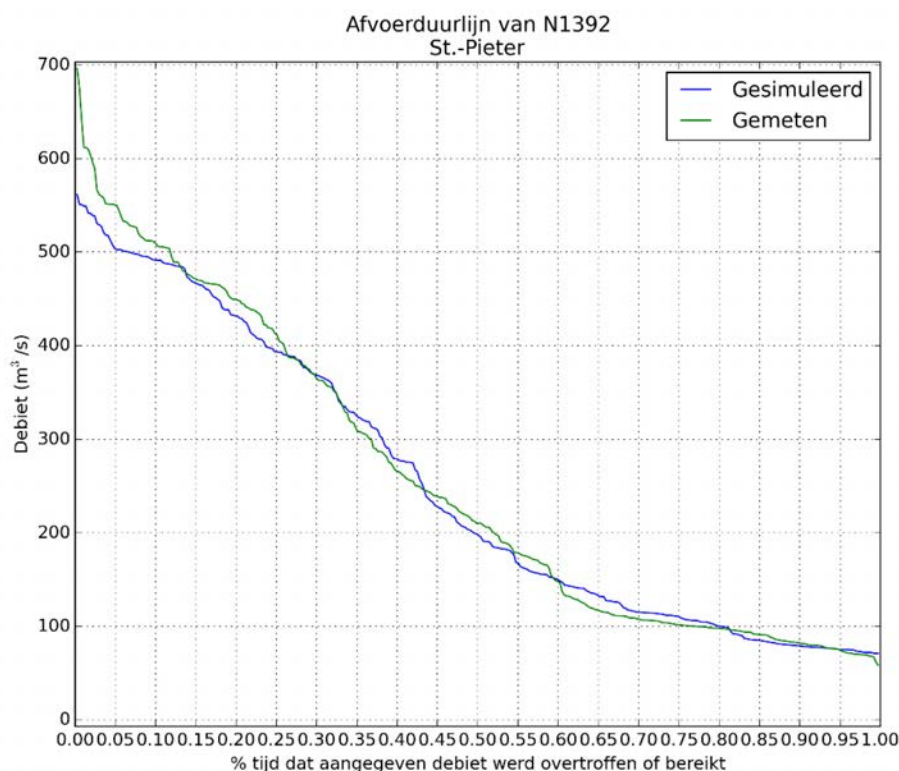
Figuur 28 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt langs de Demer in Aarschot en overeenkomend modelknooppunt N343



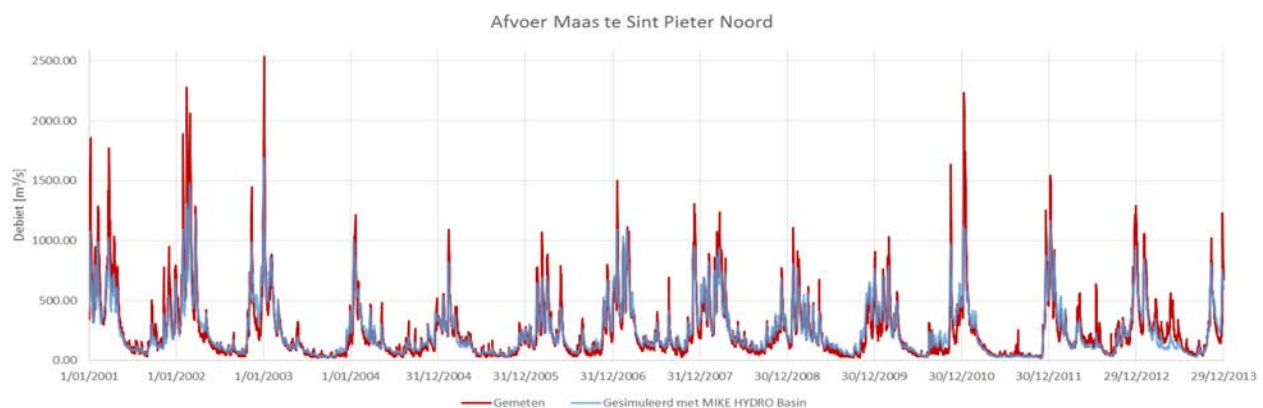
Figuur 29 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs de Demer te Aarschot

4.2.12 Sint-Pieter Noord

Het meetstation en modelknooppunt te Sint-Pieter Noord in Nederland bevinden zich net afwaarts van de sluis van Lanaye aan de Maas. De sluis van Lanaye is de laatste en belangrijkste gebruiker die water vanuit het Albertkanaal terug in de Maas loost. Zodoende wordt de validatie van dit meetpunt relevant om de splitsing en interactie van het Albertkanaal en de Maas goed te kunnen beoordelen. De vergelijkingen van afvoerfrequentie in Figuur 30 en tijdreeksen in Figuur 31 tonen duidelijk aan dat de voeding van het Albertkanaal en zijn interactie met de Maas goed worden gemodelleerd. Bovendien is de berekende NSE coëfficiënt van deze simulatie het hoogste van alle meetpunten, met een waarde van 0.81.



Figuur 30 – Afvoerduurlijn voor debietmeetpunt te Sint Pieter Noord en overeenkomend modelknooppunt N1392



Figuur 31 – Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde debieten langs Sint Pieter Noord in Nederland

4.3 Conclusies en aanbevelingen

De gecontroleerde meetlocaties zijn verspreid over het studiegebied en laten een grondige validatie van gemodelleerde tijdreeksen toe. Zo goed als alle belangrijke gemodelleerde rivieren en waterwegen beschikken over een debietmeetpunt. Desalniettemin zijn er beperkingen in hoe deze validatie kan uitgevoerd worden. Deze hebben vooral te maken met de natuur van het opgesteld model, de gemaakte vereenvoudigingen en aannames.

Debietmeetreeksen variëren sterk aangaande met de meetperiode en de kwaliteit van gemeten gegevens. Hoewel de meeste van de gemodelleerde debieten goed overeenkomen met de metingen, zijn er nog wel een aantal aandachtspunten. De sprong in de gemodelleerde afvoer opwaarts van Helkijn/Bossuit, in de Bovenschelde veroorzaakt een duidelijk storing in de vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde debiettijdreeksen. Afwaartse validatiepunten zoals Melle tonen deze afwijking ook. Niettemin heeft deze te maken met een beperkte periode wat wordt door foutieve hydrologische input (neerslag) of onnauwkeurigheid in debietmetingen mogelijk verklaart. In elk geval worden buiten deze periode lage afvoeren correct gemodelleerd.

Er zijn ook een aantal locaties waar lage afvoeren overschat worden, wat niet wenselijk is voor een waterbeschikbaarheid analyse. Dit gebeurt vooral in Varsenare en in mindere mate in Keiem en Dendermonde.

Algemeen worden de debieten goed gemodelleerd wat ook bewezen is door de NSE coëfficiënt die groter is dan nul voor alle validatie meetpunten.

5 Globale resultaten

5.1 Inleiding

Voordat alle resultaten in detail worden bekeken is de bedoeling van dit hoofdstuk om een algemeen beeld te geven van de bevindingen van de nieuwe versie van het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied in MIKE HYDRO Basin en het zelf ontwikkelde post-processing tool. Verschillende watertekortindicatoren worden voor alle watergebruikers in het studiegebied berekend en op kaart aangetoond. Dit laat de lezer toe knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied vlot identificeren zoals het geval is met het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen. De lezer zal ook merken dat hoewel het Kanaal Leuven-Dijle en een knooppunt bij Wintam hoge waarden kennen bij verschillende watertekortindicatoren deze niet besproken worden. De redenen hiervoor hebben te maken met de opstelling van het waterbalansmodel op regionale niveau en worden beter uitgelegd bij conclusies en aanbevelingen van dit hoofdstuk. Verder in dit rapport wordt de resultatenanalyse opgedeeld in sectoren, bekkens en panden.

5.2 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 de volgende watertekortindicatoren te berekenen en tonen op kaart:

5.2.1 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. Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, het hoogste gemiddeld watertekort vanuit alle watergebruikers in het bekken wordt toegewezen aan heel het bekken.

5.2.2 Maximaal 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. 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. Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, het hoogste maximaal watertekort vanuit alle watergebruikers in het bekken wordt toegewezen aan heel het bekken.

5.2.3 Maximaal relatief watertekort (%)

Relatief watertekort is de grootte van het watertekort ten opzichte van de totale watervraag per watergebruiker (zie vergelijking hieronder). De Post Processing tool neemt het maximaal watertekort van elk watergebruiker in de simulatie op en berekent het procentuele aandeel van dit watertekort ten opzichte van de watervraag. Een relatief watertekort van 1% betekent dat 99% van de watervraag werd voldaan terwijl een relatief watertekort van 100% betekent dat absoluut geen water is beschikbaar om de watervraag van een watergebruiker te voldoen.

Wanneer een kaart van deze watertekortindicator voor watergebruikers wordt gevraagd aan de Post Processing tool, neemt de tool het maximaal gesimuleerd watertekort van elk watergebruiker op. Het procentuele aandeel van dit watertekort ten opzichte van de watervraag van elk watergebruiker wordt toegewezen aan de overeenkomstig knooppunt op kaart.

$$\%T_i = \frac{T_i}{V_i} * 100$$

Waar: $\%T_i$: Relatief watertekort in tijdstap i
 T_i : Watertekort in tijdstap i
 V_i : Watervraag in tijdstap i

Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, de maximale waarde van deze watertekortindicator uit een groep watergebruikers in het bekken wordt toegewezen aan heel het bekken. Deze watertekortindicator, als gemiddelde voor een groep knooppunten per bekken moet met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien dat ongeacht hun belang hetzelfde gewicht geeft aan alle knooppunten/waterlopen. Bijvoorbeeld, een watergebruiker met een lage watervraag en een hoog relatief watertekort kan het bekken maximaal watertekort hoger laten verschijnen dan in werkelijkheid is.

5.2.4 Gemiddeld relatief watertekort (%)

De Post Processing tool berekent voor deze watertekortindicator het procentuele aandeel van het gemiddeld watertekort ten opzichte van de watervraag per watergebruiker (zie vergelijking hieronder).

Wanneer een kaart van deze watertekortindicator voor watergebruikers wordt gevraagd aan de Post Processing tool, het procentuele aandeel van het gemiddelde watertekort ten opzichte van de watervraag van elk watergebruiker wordt toegewezen aan de overeenkomstig knooppunt op kaart.

$$\overline{\%T} = \frac{\overline{\sum_{t=0}^n T}}{\overline{\sum_{t=0}^n V}} * 100$$

Waar:	%T:	Relatief watertekort
	n:	Aantal tijdstappen (dagen) met watertekort
	T:	Watertekort
	V:	Watervraag

Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, de gemiddelde van deze watertekortindicator uit watergebruikers in het bekken wordt toegewezen aan heel het bekken. Deze watertekortindicator, als gemiddelde voor een groep knooppunten per bekken moet met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien dat ongeacht hun belang hetzelfde gewicht geeft aan alle knooppunten/waterlopen. Bijvoorbeeld, een watergebruiker met een lage watervraag en een hoog relatief watertekort kan het bekken gemiddelde dat op een kaart wordt weergegeven sterk beïnvloeden.

5.2.5 Totale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)

De Post Processing tool berekent het totaal aantal tijdstappen (dagen) waar het watertekort hoger dan nul is en levert een kaart van de watergebruikers op. Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, de gemiddelde van alle watergebruikers in het bekken wordt toegewezen aan heel het bekken. Er wordt geen rekening gehouden met afhankelijkheid van watertekort gebeurtenissen.

5.2.6 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. Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, de gemiddelde van de watergebruikers per bekken wordt toegewezen aan heel het bekken.

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

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

5.2.7 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. Wanneer het resultaat per bekken wordt voorgesteld, de gemiddelde van de watergebruikers per bekken wordt toegewezen aan heel het bekken. De resultaten hiervan zijn sterk afhankelijk van de pooling methode (of het gebrek aan) om afzonderlijke watertekort gebeurtenissen te berekenen. De pooling methode wordt omschrijft in “Deelrapport 3-1 – Modellering van de waterbeschikbaarheid onder het huidige klimaat” (Crespo del Granado, 2021).

5.2.8 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatie periode

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

5.2.9 Gemiddeld jaarlijks tijd percentage met watertekort (%)

De Post Processing tool telt het aantal dagen met watertekort in elk jaar verdeeld door het aantal dagen in het jaar. Dan wordt deze waarde gemiddeld voor alle jaren in de simulatie vermenigvuldigd met 100 om een percentage te berekenen. Het eindresultaat wordt op kaart getoond.

5.2.10 Gemiddeld jaarlijks aantal watertekortgebeurtenissen

De Post Processing tool telt het aantal watertekort gebeurtenissen op basis van de toegepaste pooling om onafhankelijk watertekortperiodes te identificeren van 1 tot x na elkaar dagen in het jaar. Dit wordt gedeeld door het aantal jaren in de simulatie en wordt dan op kaart aangetoond.

5.2.11 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 watertekortgebeurtenissen zijn dan gedeeld door het aantal jaren in de simulatie.

5.2.12 Maximale duur van watertekort voor watergebruikers (dagen)

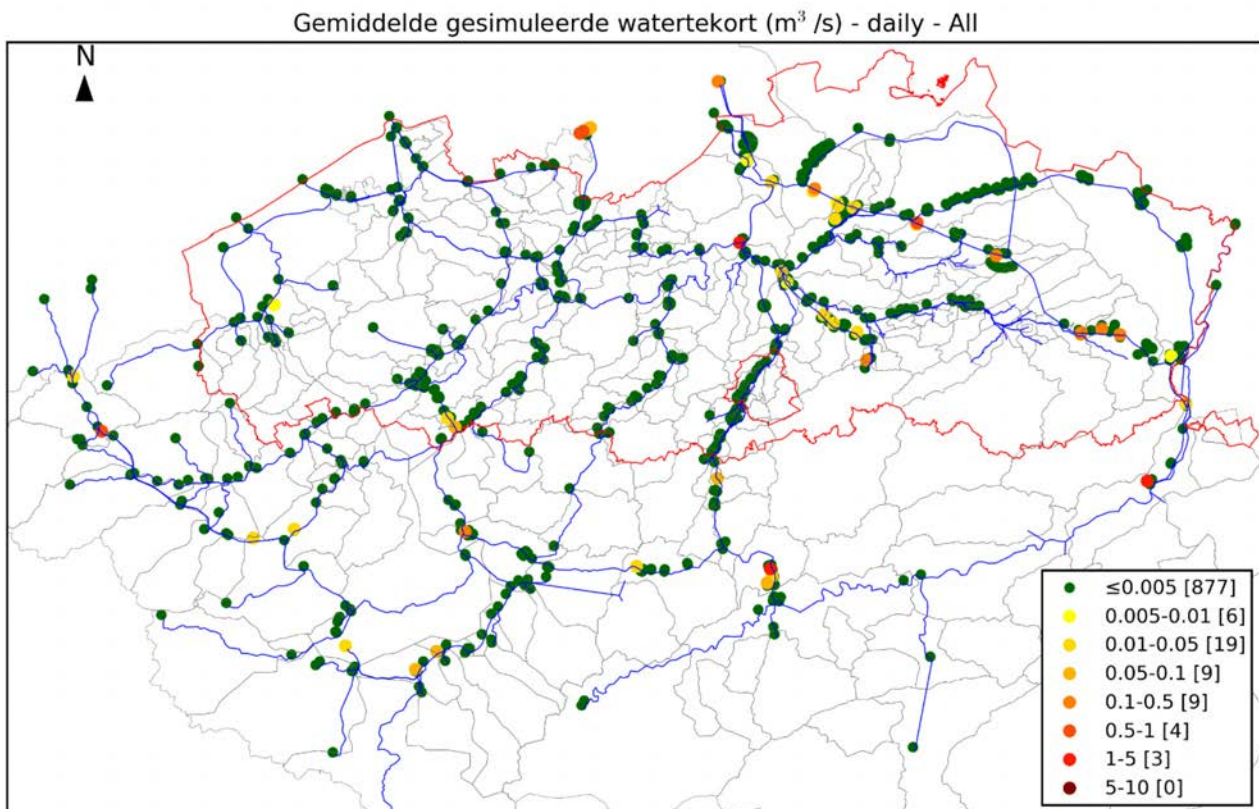
De Post Processing tool berekent het maximaal aantal dagen na elkaar met een watertekort hoger dan nul en maakt een kaart voor knooppunten van watergebruikers of de gemiddelde per bekken. De resultaten hiervan zijn sterk afhankelijk van de pooling methode (of het gebrek ervan) om afzonderlijke watertekort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

5.3 Globale analyses

5.3.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)

De gemiddeld gesimuleerde watertekortindicator geeft een goed idee van hoe groot en ernstig watertekorten zijn voor alle gemodelleerde watergebruikers in het watersysteem. Een kaart van deze watertekortindicator vormt het meest overzichtelijke eindresultaat van deze studie. Hoewel details van watertekorten en knelpunten niet getoond worden, komen de voornaamste problemen in bevaarbare waterlopen en kanalen in het Scheldestroomgebied duidelijk in beeld. De ernst van de problematiek wordt ook duidelijk waardoor knelpunten gemakkelijk geïdentificeerd kunnen worden.

Onderstaande Figuur 32 toont het door de post processing tool berekende waarden voor deze watertekortindicator gedurende de gehele simulatie periode van 1967 tot en met 2013. De omvang van deze waarden ligt volledig onder de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ drempel en is grotendeels minder dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. De hoogste waarden bevinden zich op bekende knelpunten in het watersysteem: het Kanaal Gent-Terneuzen, het Kanaal Brussel-Charleroi in de buurt van Charleroi en langs het Albertkanaal.

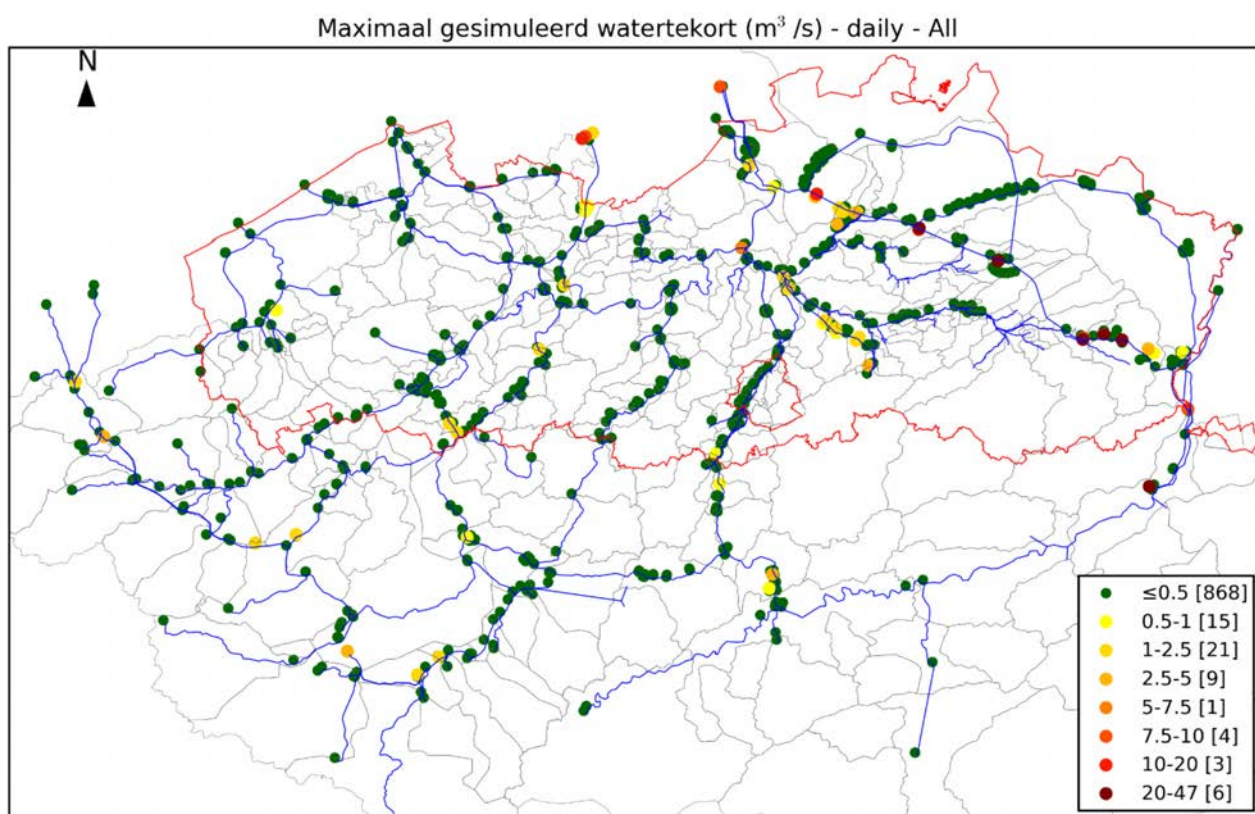


Figuur 32 – Gemiddelde gesimuleerde watertekorten (m^3/s) van watergebruikers uit alle sectoren

5.3.2 Maximum gesimuleerde watertekort (m^3/s)

De maximum gesimuleerde watertekorten tonen de grootste waarden van watertekorten voor de verschillende watergebruikers in simulatie van 1967 tot en met 2013. Deze watertekortindicator geeft ons een maat van hoe extreem watertekorten kunnen zijn. Om de juiste onderscheid te maken tussen gemiddelde en maximum gesimuleerde watertekorten, het is belangrijk het bereik in de legende goed te noteren.

De grootte van deze waarden in het studiegebied ligt grotendeels onder $5 \text{ m}^3/\text{s}$, hoewel hogere waarden zijn gesimuleerd in de Kempense kanalen en voornamelijk het Albertkanaal. Onderstaande Figuur 33 duidt aan dat de watertekorten hoger dan $20 \text{ m}^3/\text{s}$, tot het opwaartse deel van het Albertkanaal behoren, waar de watervraag van scheepvaart hoog ligt (wordt verder besproken in §6.7). Een ander belangrijk knelpunt is het Kanaal Gent Terneuzen waar zo goed als alle gebruikers worden geconfronteerd met watertekorten groter dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 33 – Maximale gesimuleerde watertekorten (m^3/s) van watergebruikers uit alle sectoren

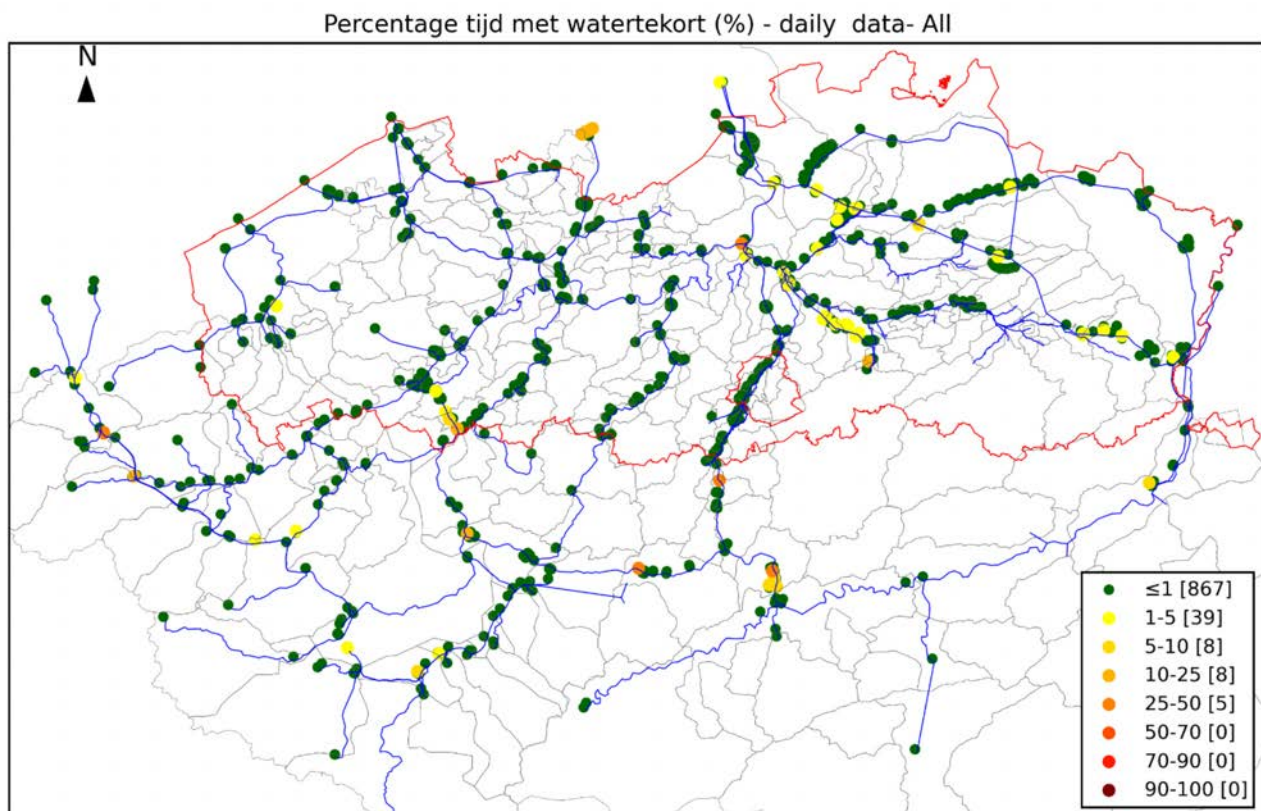
5.3.3 Percentage tijd met watertekort (%)

Het totaal aantal dagen in de simulatie is 17 167. Onderstaande Figuur 34 toont het percentage van de tijd dat elke watergebruiker geconfronteerd wordt met een watertekort. De bedoeling van deze kaart is om een overzicht te geven van de tijdsduur en regelmatigheid van watertekorten.

Hierbij wordt opgemerkt dat een groot aantal gebruikers met een hoge gemiddelde of maxima van watertekort (vorige figuren), ook een hoge frequentie van dagen met watertekort vertonen.

Het is opvallend dat sommige gebruikers die in bovenstaande figuren een vrij beperkt tekort hebben, toch een regelmatig (frequent) tekort vertonen. Dit kan verklaart worden door het feit dat hoewel zij gebruikers zijn van een lage vraag naar water, er vaak niet aan wordt voldaan vanwege de nog lagere beschikbaarheid

Het is evident dat watertekorten langs het Kanaal Leuven-Dijle, Kanaal Bossuit-Kortrijk, het Kanaal Brussel-Charleroi (verbinding met de Maas) en het Kanaal Schelde-Duinkerke gebeuren op echter een regelmatig en uitgebreide wijze dan wat voorgaande figuren laten zien. Het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen worden bij deze bevestigd als knelpunten in het watersysteem van het Scheldestroomgebied.

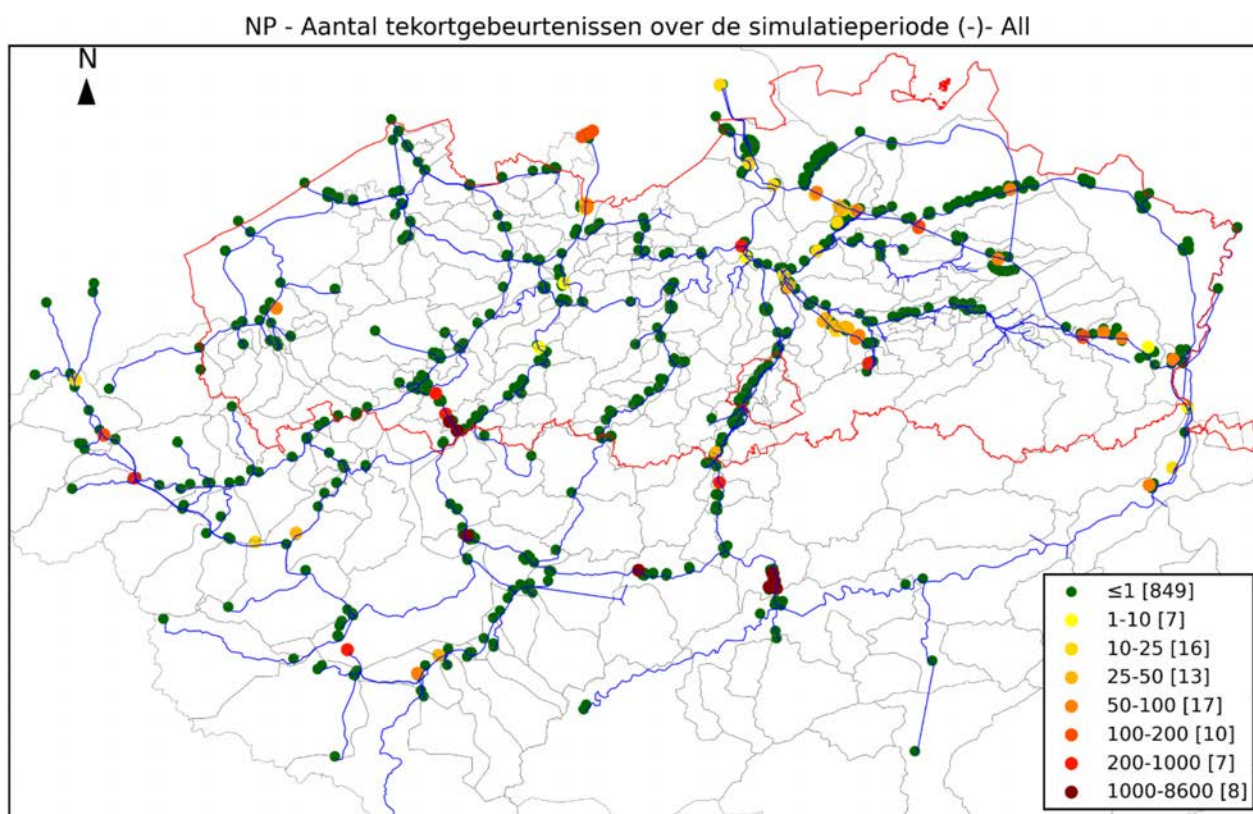


Figuur 34 – Percentage tijd met watertekort in de simulatieperiode 1967-2013

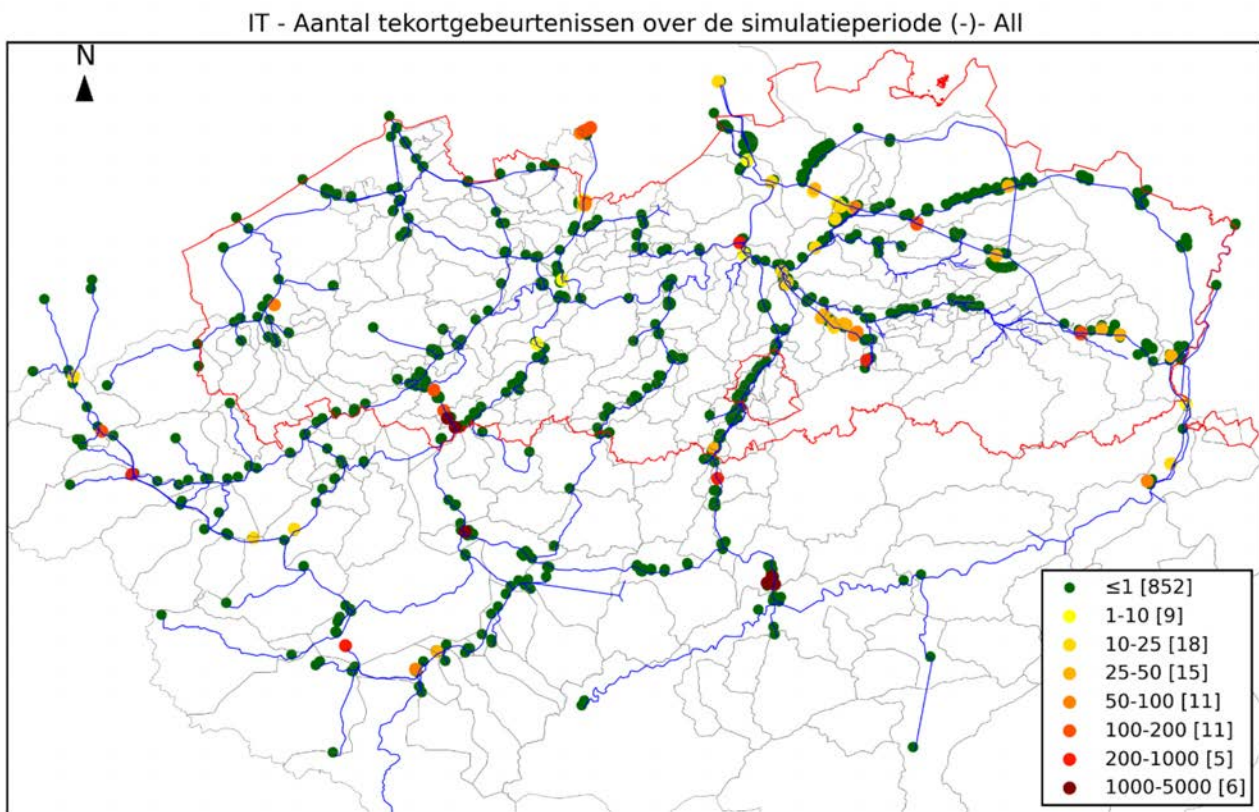
5.3.4 Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode

Afzonderlijke watertekortgebeurtenissen worden geteld door de Python post processing tool zoals aangeduid in §3.4.3. Een onafhankelijk watertekortgebeurtenis verwijst naar één waterschaarste periode die meerdere dagen met watertekort telt. De poolingmethode speelt hier dus een belangrijke rol in het identificeren van onafhankelijke watertekortgebeurtenissen. Gebruikmakend van IT pooling (interval tijd) worden watertekortevenementen samengevoegd als ze gebeuren binnen een bepaalde tijd na elkaar wat in dit geval 5 dagen is.

In onderstaande Figuur 35 en Figuur 36 kan men het aantal watertekortgebeurtenissen vergelijken, dit zonder en met pooling toegepast. Zoals verwacht wordt dit overal hoger als er geen pooling van de resultaten wordt toegepast. Pooling van de resultaten is een belangrijke stap om de duur van tekortperiodes beter in te kunnen schatten. Als deze niet wordt toegepast wordt dan vaak één waterschaarste periode gezien als twee of meer. Aldus worden de analyses van frequentie van watertekortgebeurtenissen en maximale duur met deze met IT pooling uitgevoerd.



Figuur 35 – Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode (1967-2013) zonder pooling toegepast

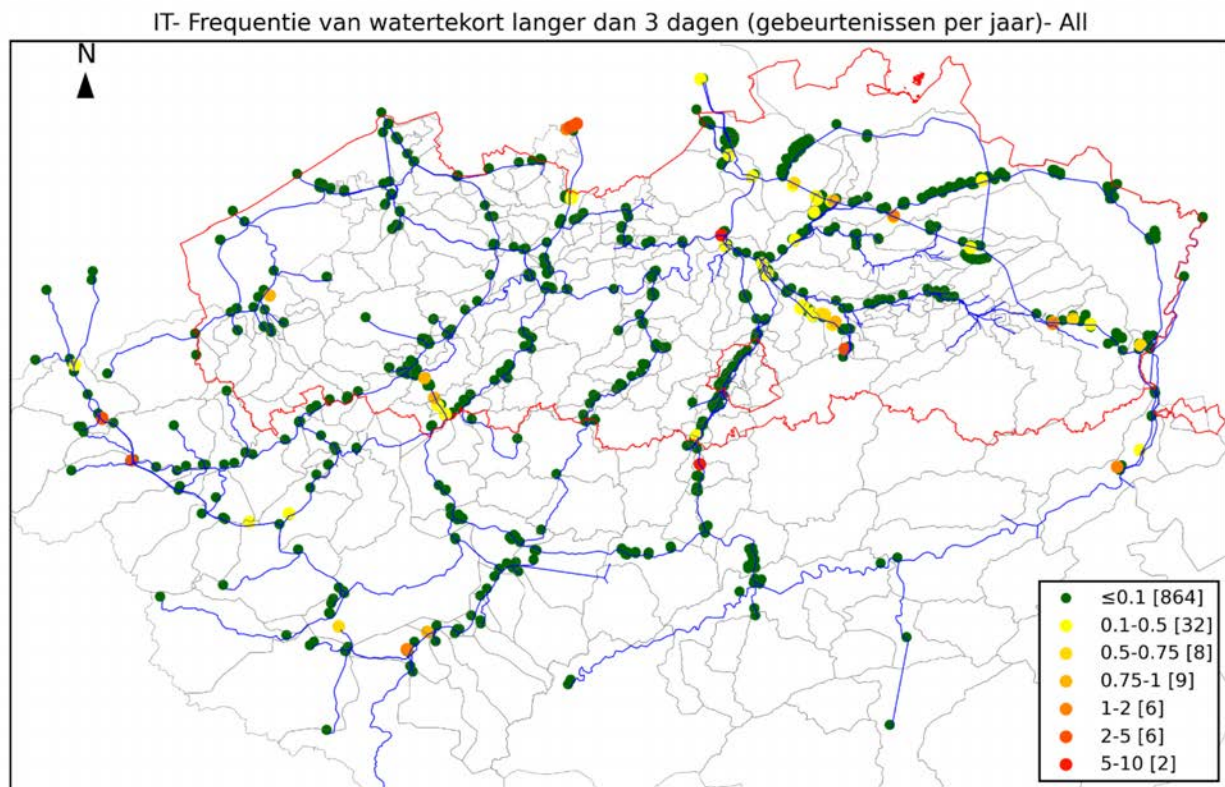


Figuur 36 – Aantal watertekortgebeurtenissen in de simulatieperiode (1967-2013) met IT pooling toegepast

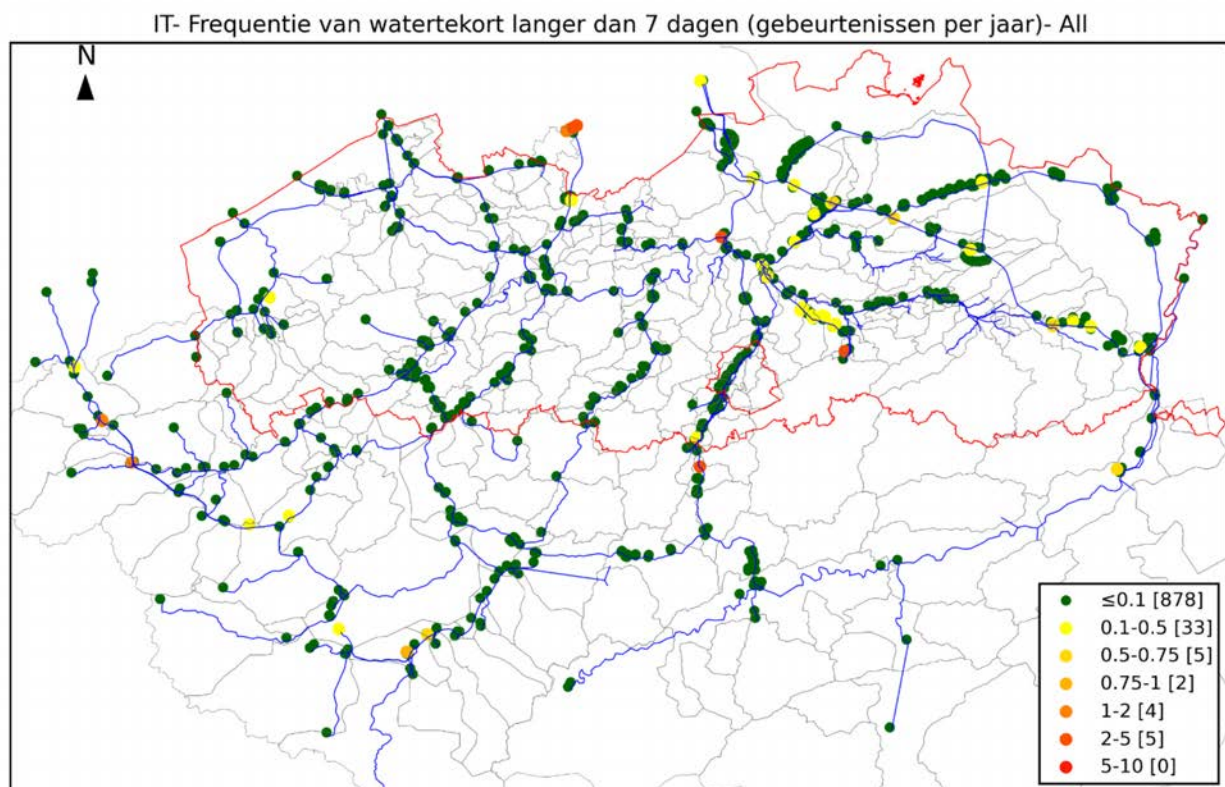
5.3.5 Frequentie van watertekortperiodes langer dan X dagen (gebeurtenissen per jaar)

De frequentie van watertekortperiodes langer dan een bepaald aantal dagen per gebruiker wordt in kaart gebracht door de Python post processing tool. Hier speelt de pooling van de resultaten en de identificatie van afzonderlijke watertekortperiodes een belangrijke rol gezien de frequentie overal daalt als meer tijdstappen met watertekort worden geaggregeerd. Onderstaande Figuur 37 en Figuur 38 tonen voor elke watergebruiker de jaarlijkse frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 en 7 dagen respectievelijk.

Het is in Figuur 37 evident dat alle bovenvermelde knelpunten (zie eerder in deze paragraaf) terug opduiken met de opmerkelijke uitzondering van het zuidelijk deel van het Kanaal Brussel-Charleroi. Dat wil zeggen dat watertekortperiodes in dit traject echter bijna nooit langer zijn dan 3 dagen terwijl dat wel het geval is in het Kanaal Gent Terneuzen en het Albertkanaal. De reden hiervoor ligt aan de watergebruikers in dit traject. De sluizen van Viesville en Gosselies bevinden zich hier en worden op normaal peil gehouden door pompen die water onttrekken van afwaartse panden. De pompen zijn in de VBA macro geprogrammeerd (zie §3.1.6) om aangezet te worden als het waterpeil onder een bepaald aanslagpeil zakt. Bijgevolg wordt het gewoon dat het normaalpeil terug bereikt is in de tijdstap nadat ze geactiveerd waren. De gebruiker zal dan niet langer dan één dag water onttrekken. Aangezien het aanslagpeil toch lager is dan het normaal peil is het geval dat bij een watertekort het normaal peil niet noodzakelijk bereikt is maar raakt het nieuwe peil toch boven het aanslagpeil en wordt de pomp afgezet. Aldus duren watertekorten in dit traject werkelijk bijna nooit langer dan één tijdstap of één dag. Onderstaande Figuur 38 laat zien hoe de frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen onder de groendrempel zakt voor alle gebruikers langs het Kanaal Bossuit-Kortrijk die een gelijkaardige opstelling van pompen hebben als het Kanaal Brussel-Charleroi. Niettemin blijven het Kanaal Gent Terneuzen en het Albertkanaal de belangrijkste knelpunten.



Figuur 37 – Frequentie van watertekortperiodes langer dan 3 dagen in één jaar

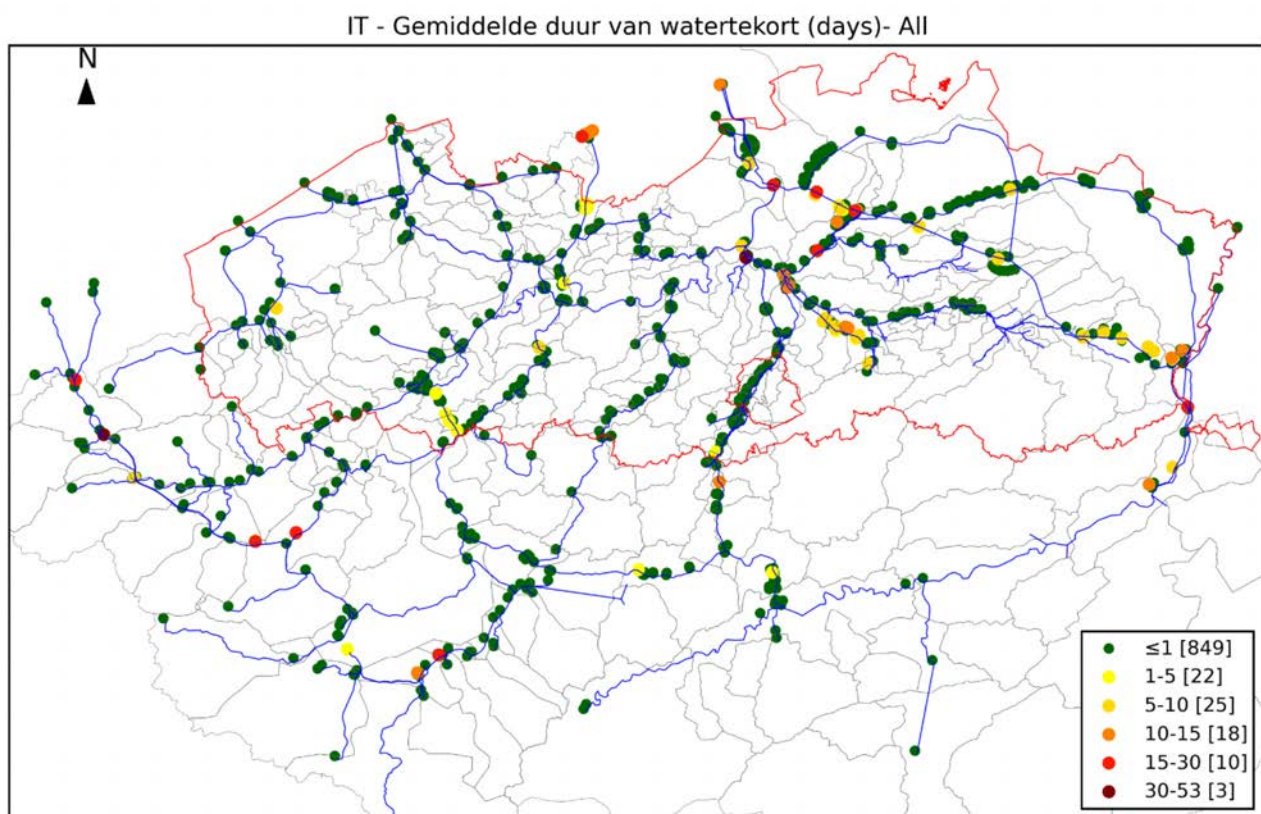


Figuur 38 – Frequentie van watertekortperiodes langer dan 7 dagen in één jaar

5.3.6 Gemiddelde duur van een periode met watertekort (dagen)

Onderstaande Figuur 39 toont de gemiddelde duur van watertekorten per gebruiker in het studiegebied. De Python post processing tool berekent deze met IT pooling toegepast waardoor watertekort gebeurtenissen langere eenheden vormen in vergelijking met dezelfde kaart zonder pooling. IT pooling (interval tijd) voegt watertekortevenementen samen als ze binnen een bepaalde tijd na elkaar gebeuren, wat in dit geval 5 dagen is.

De gemiddelde duur van watertekorten is grotendeels minder dan 1 dag voor de meeste watergebruikers aangezien bij de meerderheid geen tekorten worden waargenomen gedurende de simulatie periode 1967-2013. Van watergebruikers die wel te maken hebben met gemiddelde watertekorten langer dan 1 dag in het studiegebied (78 in totaal) is 60% ervan korter dan 10 dagen en 40% langer dan 10 dagen. Belangrijke knelpunten op deze figuur zijn het verbindingskanaal tussen de Schelde en Duinkerke in Noord Frankrijk, het Kanaal Gent-Terneuzen en het Albertkanaal. Ook het Kanaal Bossuit-Kortrijk, het Netekanaal en het Kanaal Leuven-Dijle. Deze worden meer in detail besproken in de volgende hoofdstukken.

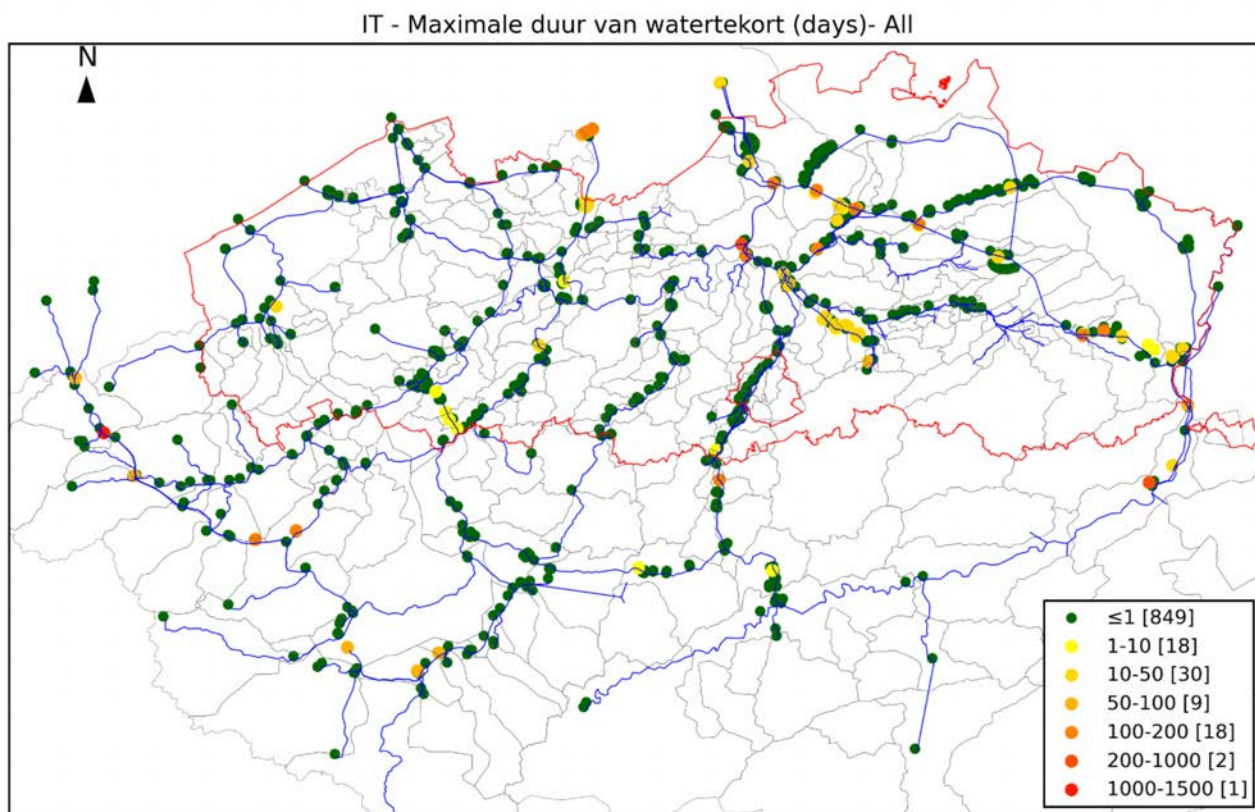


Figuur 39 – Gemiddelde duur van een periode met watertekort (1967 – 2013)

5.3.7 Maximum duur van een periode met watertekort (dagen)

Onderstaande Figuur 40 toont per gebruiker de maximum lengte van de tekorten. Deze is berekend met IT pooling waardoor watertekortgebeurtenissen langere eenheden vormen ten opzichte van een gelijkaardige kaart zonder pooling. Opmerkelijk aan deze resultaten is dat er drie verschillende knoppen zijn waar er een watertekort is dat langer duurt dan 200 dagen. Eén van deze is de knoop waar water van de Maas onttrokken wordt voor het Albertkanaal in Monsin. Als er de maximale duur tot 1000 dagen kan tellen betekent ook dat minder lange periodes van watertekort langer als één jaar of twee kunnen zijn. Dat wilt zeggen dat op dit punt er nauwelijks genoeg water is om aan de watervraag van het Albertkanaal te voldoen.

Langs het Albertkanaal zelf en het Kanaal Gent Terneuzen doen er zich watertekorten voor van 100 tot 200 dagen wat ook een bevestiging is van deze als knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied zoals aangetoond bij voorafgaande watertekortindicatoren analyses.



Figuur 40 – Maximale duur van een periode met watertekort (1967 – 2013)

5.4 Conclusies en aanbevelingen

De globale analyse van de resultaten geeft een overzichtelijke beoordeling van watertekorten voor alle gebruikers in het Scheldestroomgebied. Door de analyse van verschillende watertekortindicatoren kunnen knelpunten in het waterstelsel van het studiegebied worden geïdentificeerd. Verschillende watertekortindicatoren geven ook een beeld van de regelmatigheid en de mate van ernst van watertekorten voor alle gebruikers. Aldus moeten conclusies getrokken worden op basis van een analyse van alle watertekortindicatoren samen.

Vanuit de globale analyse kan men stellen dat het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen de belangrijkste knelpunten vormen. Watertekortenindicatoren duiden op regelmatige, lange en hoge tekorten aan langs heel het traject van het Albertkanaal, vanaf de Maas te Monsin tot aan de Haven van Antwerpen, en bij gebruikers die water naar Terneuzen voeren. Bij deze knelpunten wordt het minimum voor alle watertekortindicatoren nooit gehaald. Dat wil vanzelfsprekend niet zeggen dat hier zich een constant probleem van waterschaarste voordoet, maar wel dat tijdens droge periodes zich hier de ernstigste problemen in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied bevinden.

Niettemin kan uit de globale analyse geconcludeerd worden dat er in het algemeen voldoende water is voor watergebruikers in het Scheldestroomgebied om hun activiteiten te voldoen. Tabel 5 vat alle resultaten uit deze analyse samen en laat zien dat een beperkt aantal watergebruikers te maken heeft met watertekort tijdens de simulatieperiode 1967-2013. Behalve terugkerende knelpunten wordt de minimumdrempel bij alle geanalyseerde watertekortindicatoren voor de grote meerderheid van watergebruikers in het studiegebied gehaald. Bij enkele knooppunten waar dat niet het geval is, maar toch geweten is dat er geen problemen met watertekorten zijn, zoals Wintam en het Kanaal Leuven Dijle, ligt de uitleg bij de opmaak van het waterbalansmodel. Wintam wordt verder in dit rapport in detail besproken. Watertekorten langs het Kanaal Leuven-Dijle worden veroorzaakt door een laag gemodelleerde hydrologische afvoer van de Dijle net opwaarts het kanaal dat te wijten is aan schaarse data en de grootte van het deelbekken van de Dijle.

Tabel 5 – Samenvatting van de resultaten uit de globale analyse tijdens de simulatie periode 1967-2013

Aantal gebruikers met:

	Gemiddelde gesimuleerde watertekort		Maximaal gesimuleerd watertekort		Percentage tijd met watertekort		Aantal watertekortgebeurtenissen		
	m³/s		m³/s		%		NP IT		
	<= 0.005	877	<= 0.5	868	<=1	867	<= 1	849	852
	0.005-0.01	6	0.5-1.0	15	1.0-5.0	39	1-10	7	9
	0.01-0.05	19	1.0-2.5	21	5.0-10.0	8	10-25	16	18
	0.05-0.1	9	2.5-5.0	9	10.0-25.0	8	25-50	13	15
	0.5-1.0	4	5.0-7.5	1	25.0-50.0	5	50-100	17	11
	1.0-5.0	3	7.5-10.0	4	50.0-70.0	0	100-200	10	11
			10.0-20.0	3	70.0-90.0	0	200-1000	7	5
			20.0-47.0	6	90.0-100	0	+1000	8	6
	Frequentie van watertekortperiodes langer dan:			Gemiddelde duur van watertekort		Maximale duur van watertekort			
	Evenementen/jaar	3 dagen	7 dagen	Dagen		Dagen			
	<= 0.1	864	878	<= 1	849	<= 1	849		
	0.1-0.5	32	33	1-5	22	1-10	18		
	0.5-0.75	8	5	5-10	25	10-50	30		
	0.75-1.0	9	2	10-15	18	50-100	9		
	1.0-2.0	6	4	15-30	10	100-200	18		
	2.0-5.0	6	5	30-53	3	200-1000	2		
	5.0-10.0	2	0			1000-1500	1		

6 Watergebruik per sector

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied op regionaal niveau per sector in detail voorgesteld. Het watergebruik in de Vlaamse waterwegen en kanalen is ingedeeld in sectoren, gebaseerd op de Belgische versie van de statistische nomenclatuur van de economische activiteiten in de Europese Gemeenschap (NACE-BEL codering). De NACE-BEL vormt het referentiekader voor de productie en de verspreiding van statistieken met betrekking tot economische activiteiten in België en verdeelt economische activiteiten zodanig dat men een NACE-BEL-code kan associëren met een statistische eenheid en dit op grond van de activiteit die deze eenheid uitoefent. Deze codering is aangevuld met drie extra sectoren die niet in NACE-BEL zijn opgenomen. Een samenvatting tabel van de NACE-BEL codering en extra aangevulde sectoren wordt toegevoegd in §Bijlagen.

Een aantal sectoren heeft in de analyseperiode 1967-2013 nauwelijks te kampen met een watertekort en wordt hierna ook niet besproken. Het gaat om de sectoren F, G, H, R, S, T en de Kempense watervangen (WV). Het dient ook nog opgemerkt te worden, dat een groot aantal van de gebruikers in het studiegebied het merendeel van het gebruikte water na gebruik terug loost in hetzelfde pand.

Dankzij de zelfontwikkelde Python post processing tool (zie §3.4) wordt de visualisatie van resultaten mogelijk op kaart en voor verschillende watertekortindicatoren (zie §5.2.). Hier worden de belangrijkste geproduceerde kaarten en watertekortindicatoren voor alle gebruikers in het MIKE HYDRO Basin waterallocatiemodel samengevat. De analyse van de resultaten in dit hoofdstuk wordt aldus per sector geëvalueerd en duidt aan waar er zich tekorten voordoen of kunnen voordoen aan de hand van de resultaten van 1967 tot en met 2013. Aangezien de bedoeling is om droge toestanden te kunnen beoordelen worden in dit hoofdstuk analyses uitgevoerd op basis van het meest relevante watertekortindicator. Deze wordt aangevuld met meerdere grafieken in het geval er meer gedetailleerde analyse nodig is.

Een gedetailleerde bespreking per bekken en per pand wordt beschreven in de volgende hoofdstukken.

6.2 Sector A – Land-, bosbouw en visserij

Sector A omvat Land-, bosbouw en visserij. Het grootste aandeel van het gebruikte water voor de landbouw is grondwater. Het gebruik van oppervlaktewater heeft slechts een aandeel van 0,7% en is dus van minder belang. Gezien het waterallocatiemodel focust op oppervlaktewater en niet op grondwatergebruik is het aantal gebruikers dat voor deze sector gemodelleerd beperkt.

Concreet zijn er acht gebruikers geïmplementeerd die water onttrekken voor de landbouwsector. Het betreft gebruikers langs het Kanaal Roeselare-Leie, Kanaal Leuven-Dijle, Kanaal Gent-Oostende, het Groot Pand, het Albertkanaal en Kanaal Bocholt-Herentals. Geen van deze gebruikers heeft gedurende de simulatieperiode (1967-2013) te maken met een tekort. Hoewel het geweten is dat watertekorten zich voordeden voor deze sector langs de IJzer in de zomer van 2017 wordt deze gebeurtenis niet opgenomen in het kader van deze studie. In het model wordt enkel rekening gehouden met het normale gebruik, abnormale captaties (zonder vergunning) uit bevaarbare waterlopen en waterwegen zoals het geval was in de zomer van 2017 worden niet opgenomen in het waterbalansmodel.

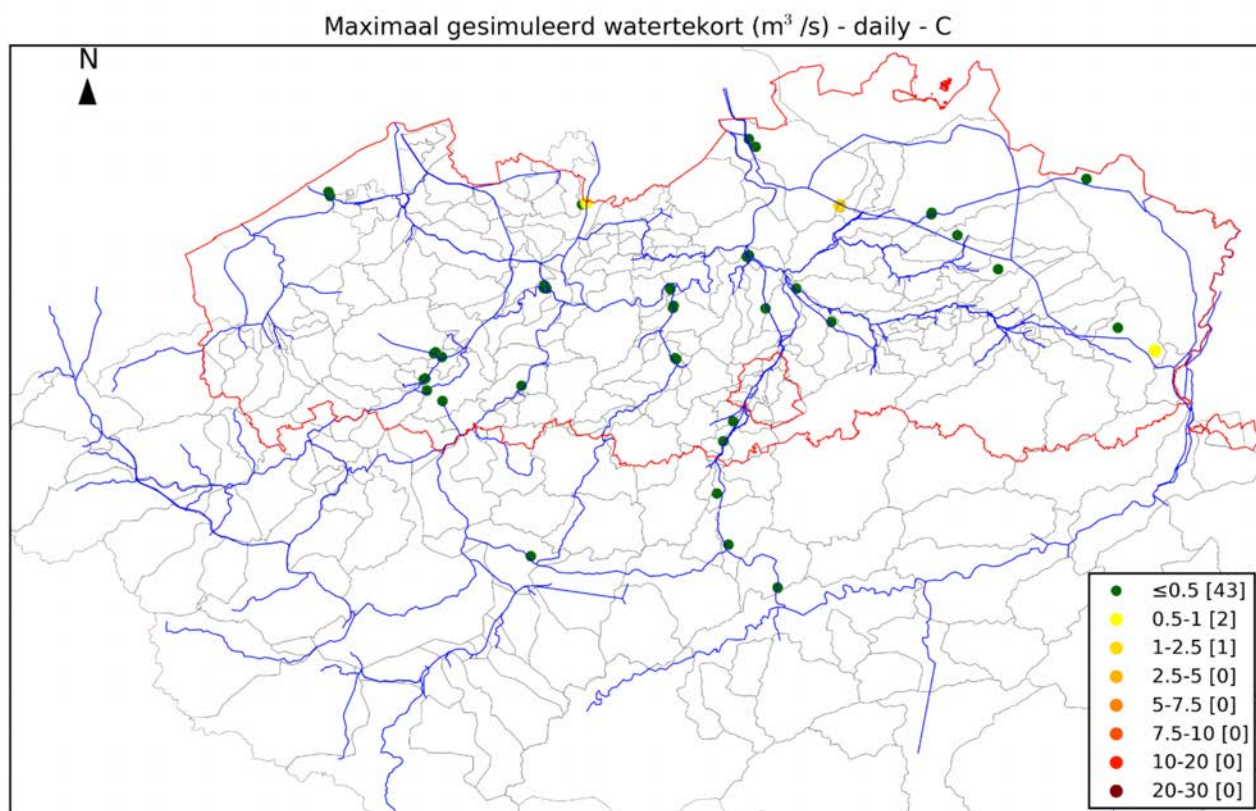
6.3 Sector B – Winning van delfstoffen

Sector B omvat het watergebruik voor de winning van delfstoffen. Deze sector loost echter bijna 5 keer het volume dat het onttrekt. Enkel langs de Kempense kanalen zijn enkele gebruikers voor deze sector geïmplementeerd. Deze stellen watergebruik van onder andere zandgroeven in de Kempen voor. Geen van deze gebruikers heeft te maken met een tekort.

6.4 Sector C – Industrie

Sector C omvat het oppervlaktewatergebruik voor industrie en is de grootste verbruiker van oppervlaktewater uit de hoofdwaterlopen. Dat wilt zeggen dat deze sector de grootste consument is van water dat niet terug komt in het waterstelsel. Verbruikt water is per definitie water dat na het gebruik verloren is, terwijl gebruikte water verwijst naar water dat na het gebruik terug beschikbaar is voor afwaartse watergebruikers.

De industriële sector is verspreid over het studiegebied, waarbij de voornaamste gebruikers zich in de havens van Antwerpen en Gent situeren. Daarnaast zijn het kanaal Roeselare-Leie, het kanaal Brussel-Schelde en het Albertkanaal de voornaamste industriële assen. Er treden amper watertekorten op in deze sector met de maximale gesimuleerde tekorten bij een gebruiker langs het Albertkanaal van 1.8 m³/s, of 100% van zijn watervraag, tijdens de droogteperiodes van 1976 en 2011.

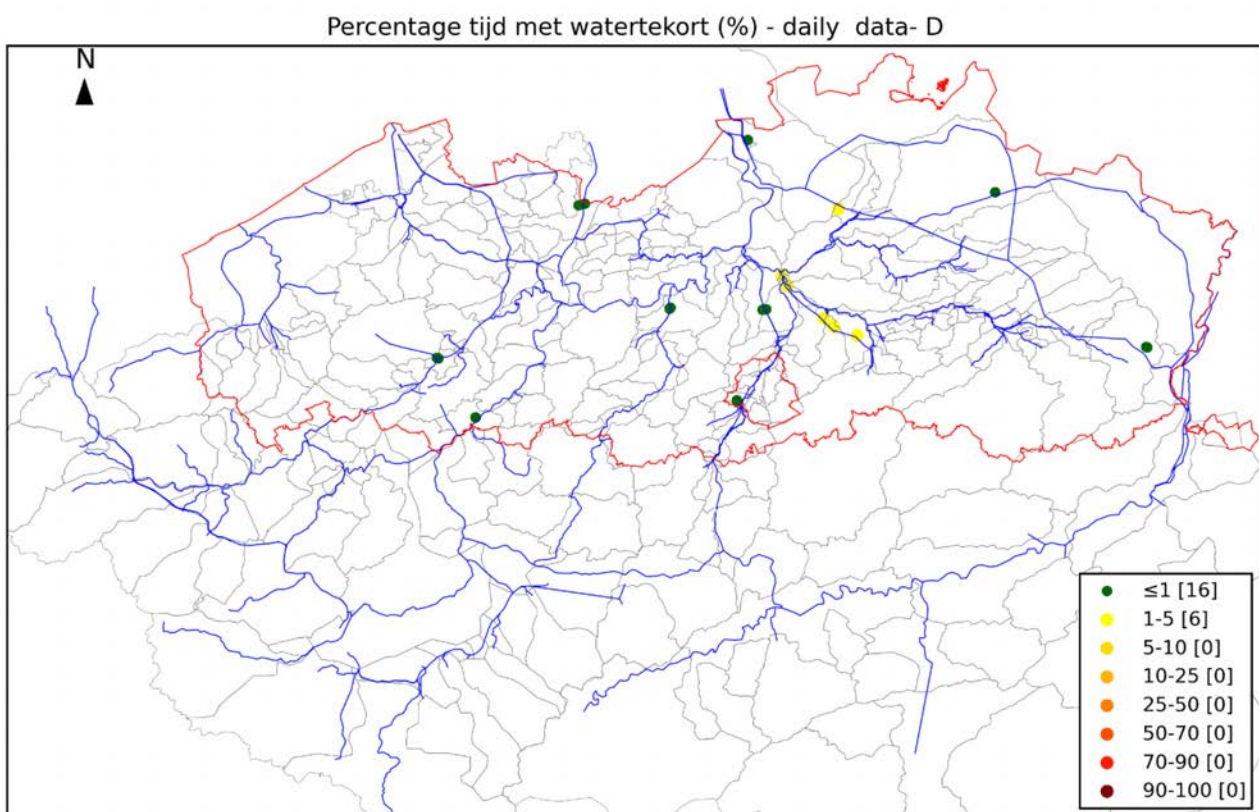


Figuur 41 – Maximale gesimuleerde watertekorten in de periode 1967-2103 (m³/s), Sector C

6.5 Sector D – Productie en distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht

Sector D is de tweede grootste watergebruikende sector van Vlaanderen en staat in voor de productie en distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht. Aangezien het water in deze sector hoofdzakelijk als koelwater wordt gebruikt, stort de sector nagenoeg alles weer terug. Aldus wordt deze sector een kleinschalige waterverbruiker.

De gebruikers voor deze sector bevinden zich voornamelijk in het havengebied rond Antwerpen (Zeeschelde) en Gent (kanaal Gent-Terneuzen). Daarnaast zijn er ook langs de Bovenschelde, het kanaal Bocholt-Herentals en het Albertkanaal grote elektriciteitscentrales. Langs het kanaal Leuven-Dijle zijn er aan de sluizen ook waterkrachtcentrales, waar gedurende de simulatie tijdens sommige perioden een tekort optreedt. Hoewel waterstanden langs het Kanaal Leuven-Dijle soms lage peilen ervaren is dit tekort echter te wijten aan lage hydrologische input naar de Dijle.

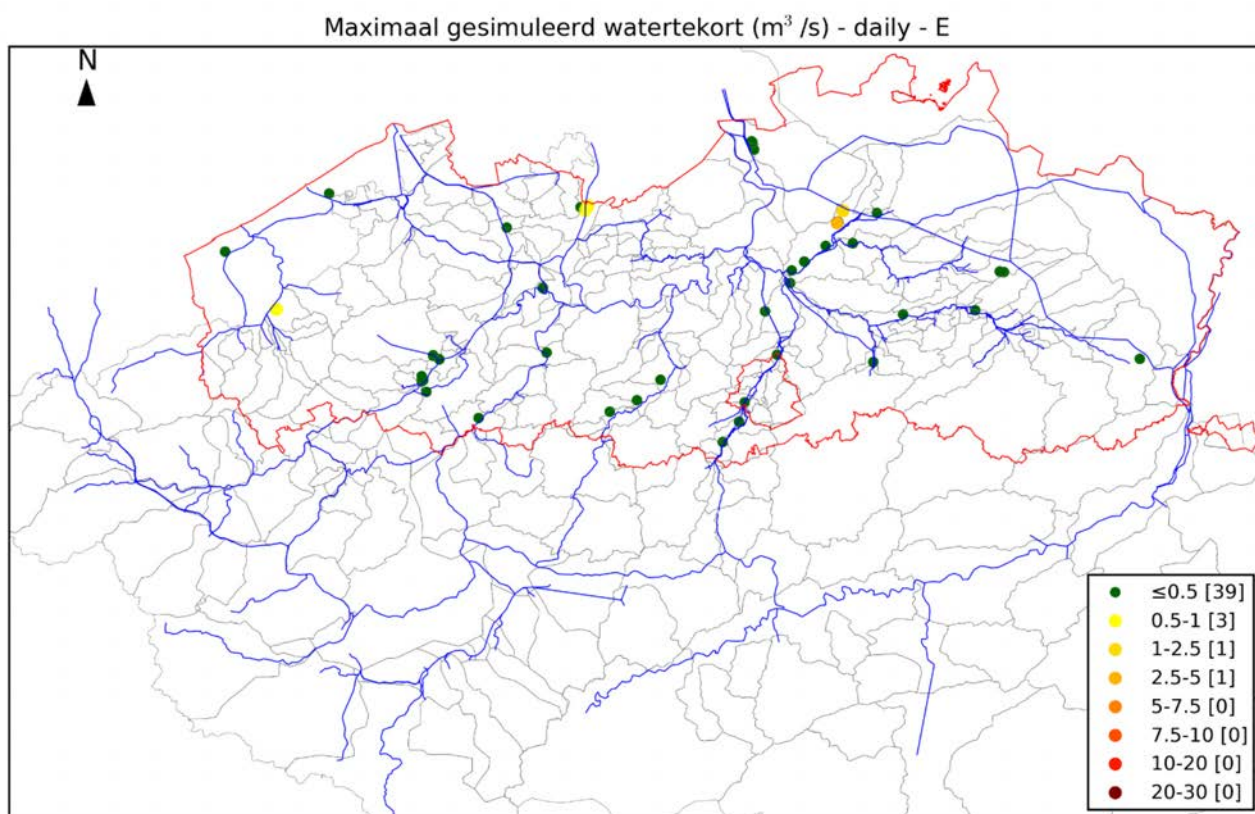


Figuur 42 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele gesimuleerde periode (1967-2013), Sector D

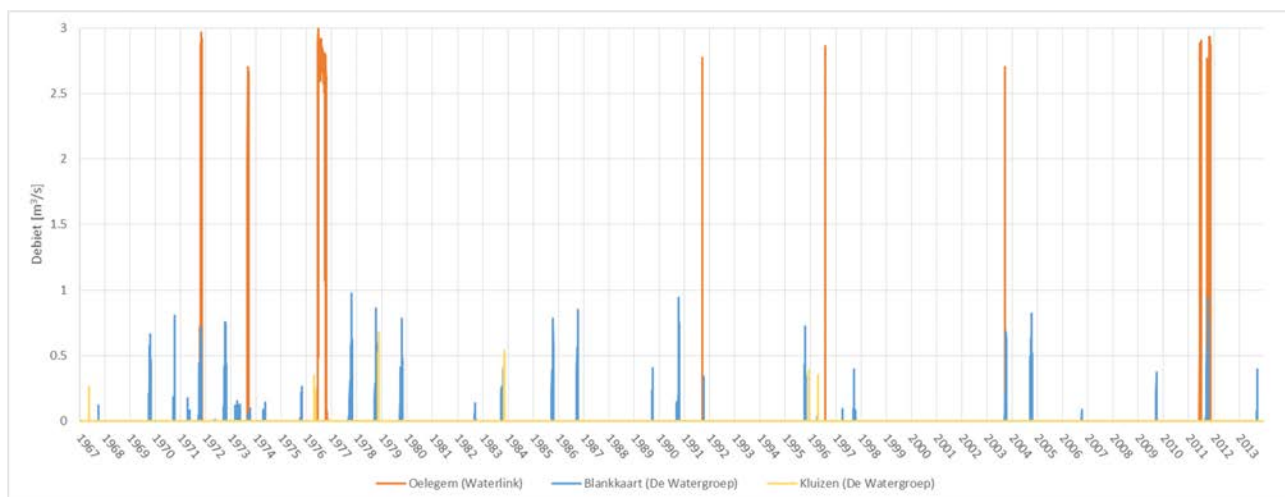
6.6 Sector E – Distributie van (drink)water, afval- en afvalwaterbeheer en sanering

Onder deze sector valt de distributie van (drink)water, afval- en afvalwaterbeheer en sanering. Dit omvat onder andere de lozingen van het effluent van RWZI's en onttrekkingen voor drinkwaterproductie. Aangezien het groot gemeenschappelijk belang van drinkwaterproductie krijgen watergebruikers van Sector E, voornamelijk Edrink, voorrang ten opzichte van andere gebruikers die uit hetzelfde pand water onttrekken.

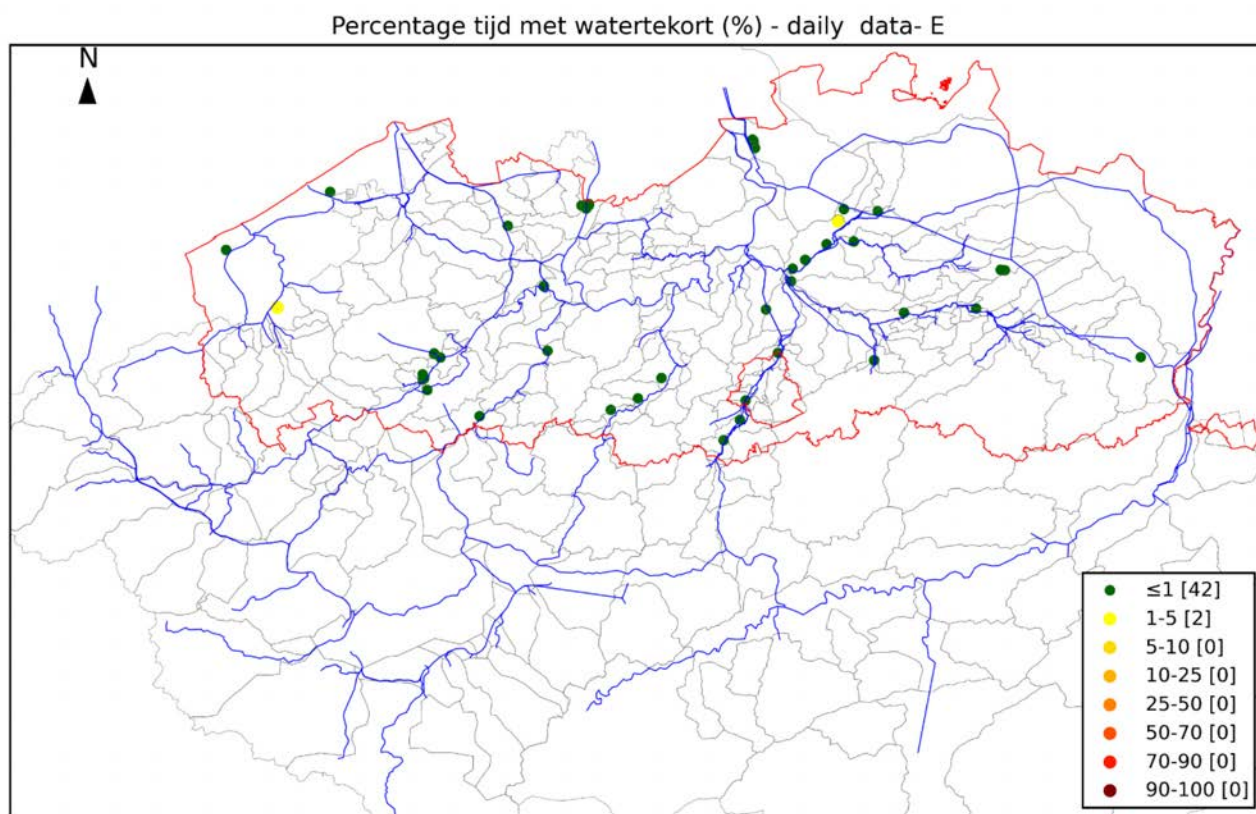
Onderstaande Figuur 43. toont alle E gebruikers op kaart waar drie waterproductiecentrums (WPC's) te kampen hadden met watertekorten tussen 1967 en 2013. Het gaat over de Blankaart aan de IJzer, Kluizen aan het Kanaal Gent Terneuzen en WPC Oelegem van Waterlink aan het Albertkanaal. Niettemin toont Figuur 44 aan dat watertekorten in het WPC Oelegem van Waterlink, dat water onttrekt uit het Albertkanaal, optreden tijdens bijzonder droge periodes zoals die van de jaren 1976 en 2011, terwijl watertekorten in het WPC Blankaart (De Watergroep) aan de IJzer echter regelmatig gebeurt. Aldus toont een macrovisualisatie van de resultaten in Figuur 45 het WPC Blankaart als vooraanstaande knelpunt in sector E aan. Het is ook vermeldenswaardig dat alle Erwzi gebruikers water lozen in de waterlopen waardoor er geen tekort van toepassing is, hoewel deze gebruikers wel op kaart verschijnen.



Figuur 43 – Maximale relatieve watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector E



Figuur 44 – Watertekorten opgetreden tijdens de simulatie van 1967-2013 in waterproductiecentrums Blankkaart (De Watergroep), Kluizen (De Watergroep) en Netekanaal (Waterlink)

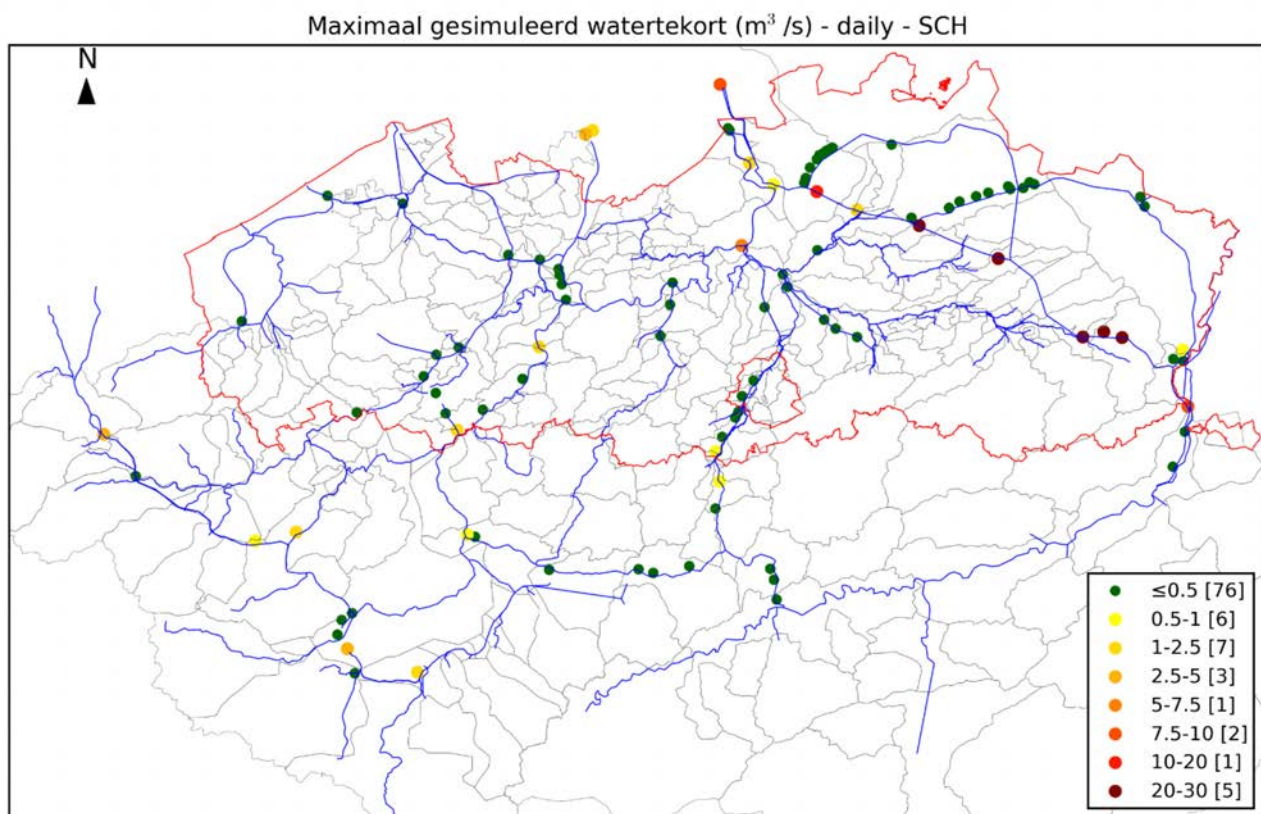


Figuur 45 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector E

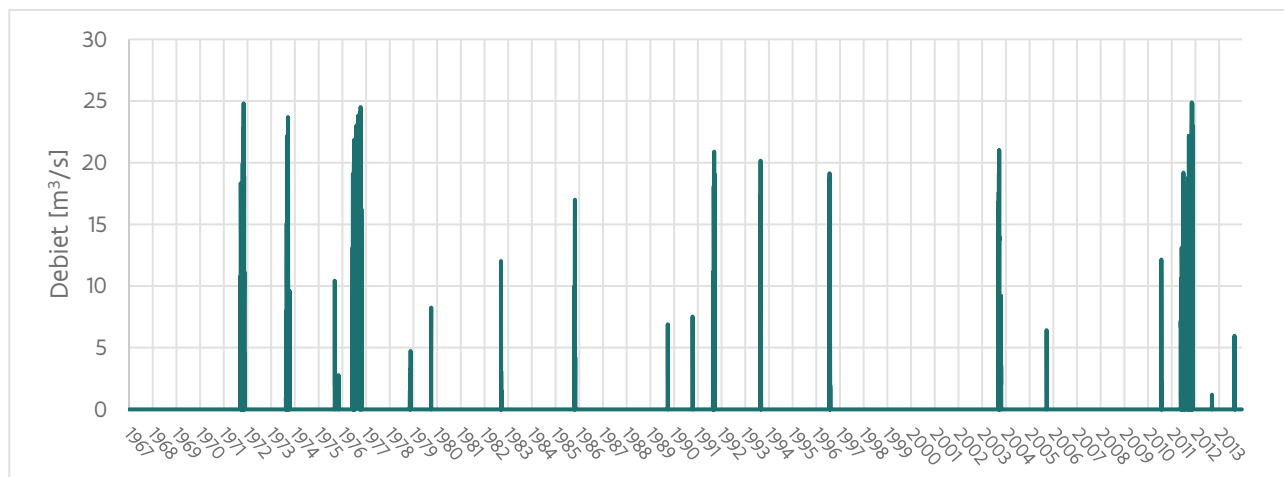
6.7 Sector SCH – Scheepvaart

Bij het schutten van schepen wordt er water verplaatst van het opwaartse naar het afwaartse pand. Dit is de hoeveelheid water dat door de scheepvaart gebruikt wordt. Deze sector omvat enkel de beroepsvaart. De pleziervaart is niet in het waterallocatiemodel meegenomen door een gebrek aan gebiedsdekkende informatie. In tegenstelling tot de andere sectoren, zal de scheepvaart als gebruiker in het waterallocatiemodel reeds beperkt worden in haar gebruik wanneer het peil in het betreffende pand 30 centimeter onder streefpeil zakt. Bij de andere gebruikers treedt de beperking pas op wanneer het water in het desbetreffende pand 1 m onder het streefpeil is gezakt.

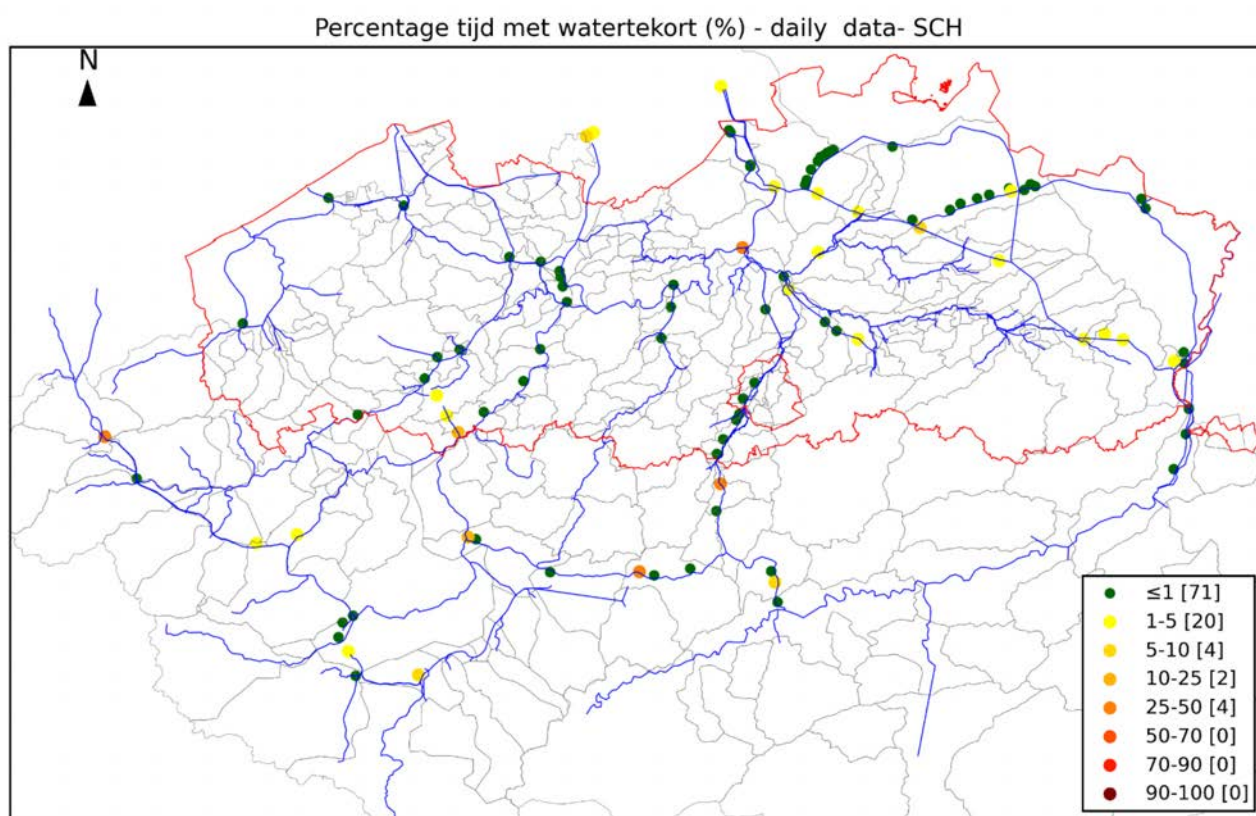
Voor een aantal sluizen wordt de scheepvaart als gebruiker beperkt in het waterallocatiemodel. Zo doet er zich in de simulatieperiode onder andere een beperking voor aan de sluizen in het Kanaal Gent-Terneuzen en het Kanaal Bossuit-Kortrijk te Bossuit. Ook langs het kanaal Schelde-Duinkerke treden er watertekorten op voor de scheepvaart over de sluizen te Fontinettes, Goeulzin, Pont-Malin, Cuinchy en Don. Scheepvaart op het Kanaal Brussel-Charleroi te Gosselies en Ittre wordt eveneens vaak in zijn gebruik beperkt. Dit is ook het geval in Canal du Centre te Obourg hoewel de grootste tekorten hier lager zijn dan $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Regelmatig en zelfs hoge tekorten zijn waargenomen langs het gehele traject van het Albertkanaal.



Figuur 46 – Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) tijdens de periode 1967-2013, Sector SCH



Figuur 47 – Watertekorten opgetreden in Sector SCH tijdens de simulatie van 1967-2013 in de sluis te Kwaadmechelen in het Alberkanaal



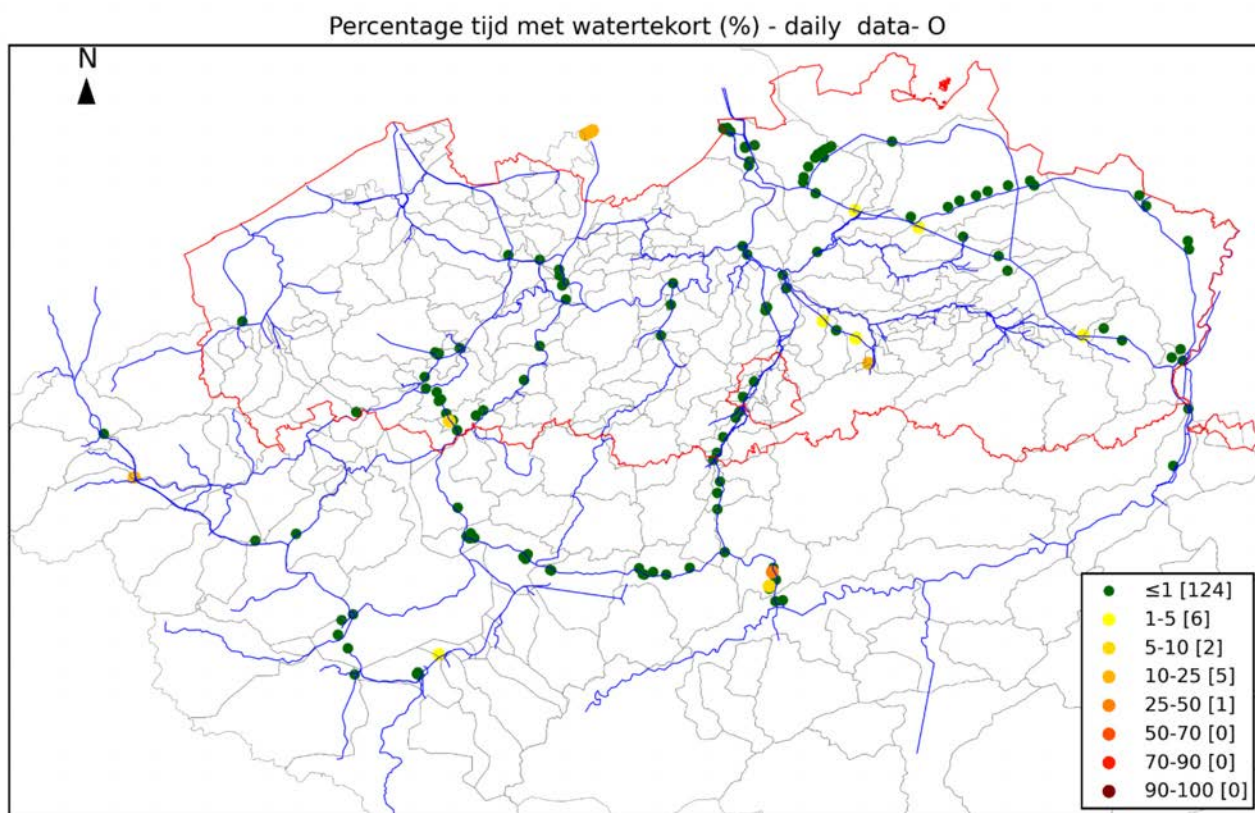
Figuur 48 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector SCH

6.8 Sector O – Openbaar bestuur en defensie; verplichte sociale verzekeringen

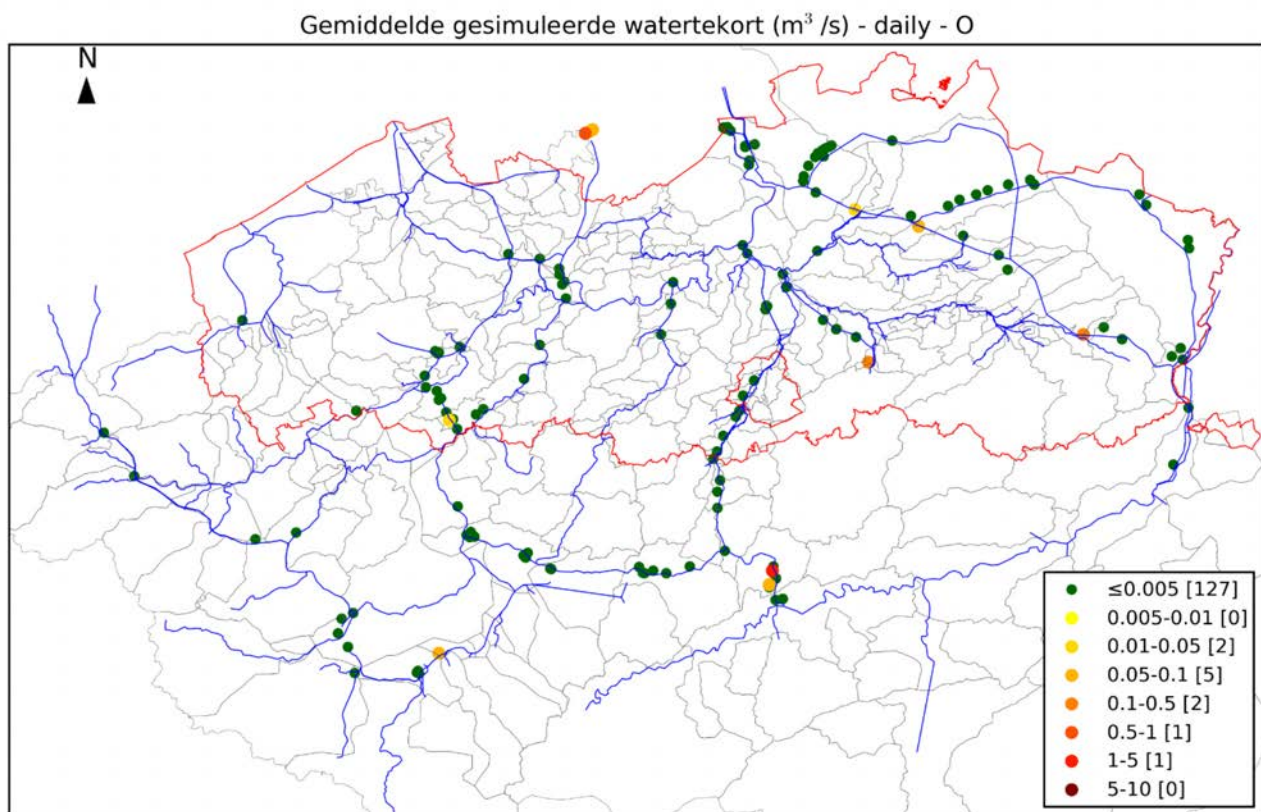
Sector O omvat openbaar bestuur en defensie. Ook het waterbeheer behoort tot deze sector waardoor het de 4e grootste watergebruikende sector is. Het watergebruik van de vele pompen ter voeding van de kanalen in het studiegebied valt onder deze sector. Dit maakt dat de sector meer water aanvoert dan het afvoert. Langs het Kanaal Brussel-Charleroi en het Kanaal Bossuit-Kortrijk bestaan alle Sector O gebruikers uit pompen die water uit het afwaartse pand onttrekken en in het opwaarts pand terug lozen. Panden langs het Kanaal Schelde-Duinkerke worden ook gevoed door Sector O gebruikers om het normaalpeilen te handhaven zoals de pompen in Pont-Malin, Palluel, Goelzin, Cuinchy en Fontinettes.

In het Albertkanaal, de Kempense kanalen en het Kanaal Leuven-Dijle zijn Sector O gebruikers verantwoordelijk voor het compenseren van een negatieve nettostroom in elk pand. Ze fungeren dus als watergebruik van de beheerders die extra water lozen in afwaartse panden om er het peil te behouden.

Watertekorten voor deze sector worden voornamelijk gemodelleerd in het Kanaal Gent-Terneuzen voor zoutverdringing; het Kanaal Bossuit-Kortrijk bij de pomp in Moen; in het Kanaal Brussel-Charleroi bij de pompen van Viesville en Gosselies; in het Kanaal Schelde-Duinkerke bij de pomp van Pont Malin en de voeding van het kanaal bij Aire-sur-la-Lys; in het Albertkanaal ter hoogte van Olen en Hasselt; en het Kanaal Leuven-Dijle. Het voornaamste probleem dat duidelijk in beeld komt in onderstaande Figuur 49 en Figuur 50 ligt in het Kanaal Gent-Terneuzen. O gebruikers hierlangs vullen aan watergebruik door Scheepvaart om een debiet van 13 m³/s van Gent naar Terneuzen te bereiken.



Figuur 49 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector O

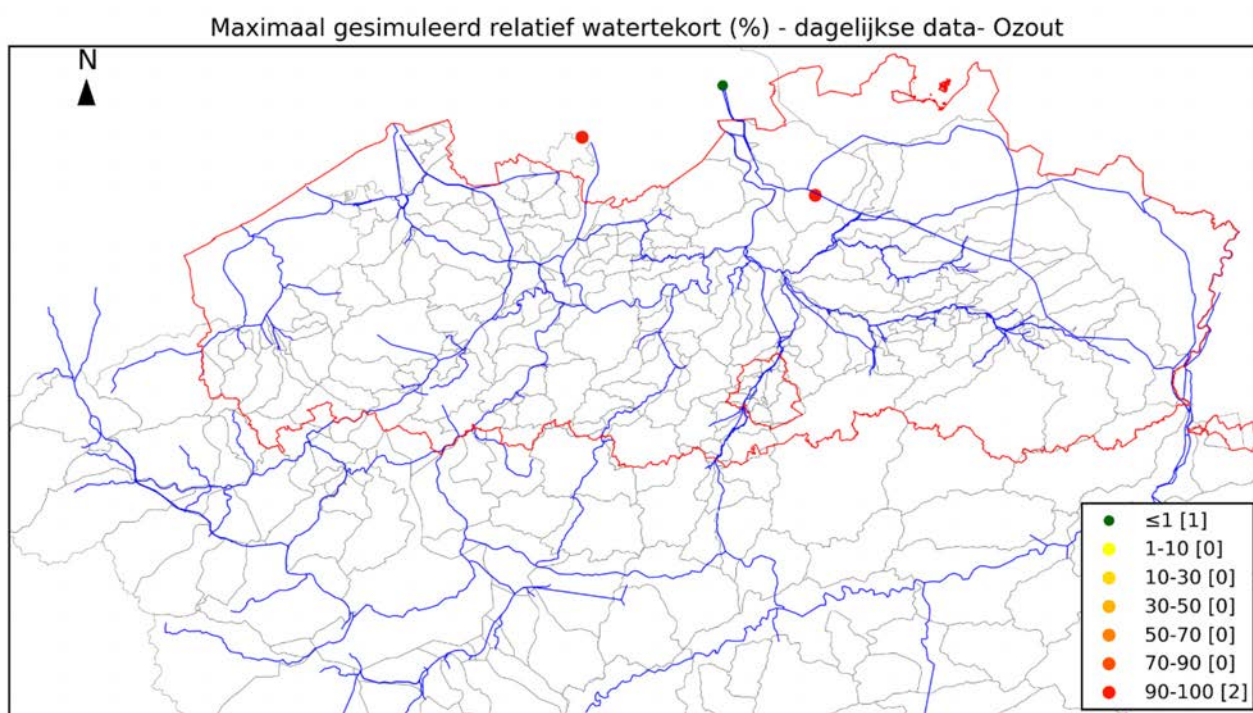


Figuur 50 – Gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector O

6.8.1 Spuien ('Ozout')

Een aandeel van het watergebruik van Sector O wordt gebruikt voor het bestrijden van zoutintrusie in het Albertkanaal en het Kanaal Gent-Terneuzen. Het debiet van de zoutverdringing langs het Albertkanaal is een toegewezen constant debiet van 3 m³/s terwijl langs het Kanaal Gent-Terneuzen het benodigd debiet wordt berekend in de VBA macro (Zie §3.1.6). In onderstaande Figuur 51 worden drie watergebruikers onder Sector Ozout getoond. Twee gebruikers met tekorten tijdens de simulatieperiode verwijzen naar de hierboven beschreven Ozout watergebruikers. De derde watergebruiker die geen watertekorten toont, stelt het debiet voor dat binnen het systeem stroomt door de Kreekraksluizen in Nederland langs de Schelde-Rijnverbinding. Aldus kan er zich geen watertekort voordoen voor deze gebruiker.

Het watergebruik van deze sector wordt gebruikt voor het bestrijden van zoutintrusie in het Albertkanaal (gelinkt naar de noden in de haven van Antwerpen) en het Kanaal Gent-Terneuzen. Deze tekorten worden geschat in gemiddelde 0.7 en 0.03 m³/s voor het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen respectievelijk. Maximale tekorten waargenomen voor deze gebruikers zijn gelijk aan de maximale watervraag in beide gevallen: 3 en 13 m³/s voor het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen respectievelijk. De gemiddelde duur van een droge periode is 7 en 22 dagen met maximale periodes van 44 en 73 dagen.



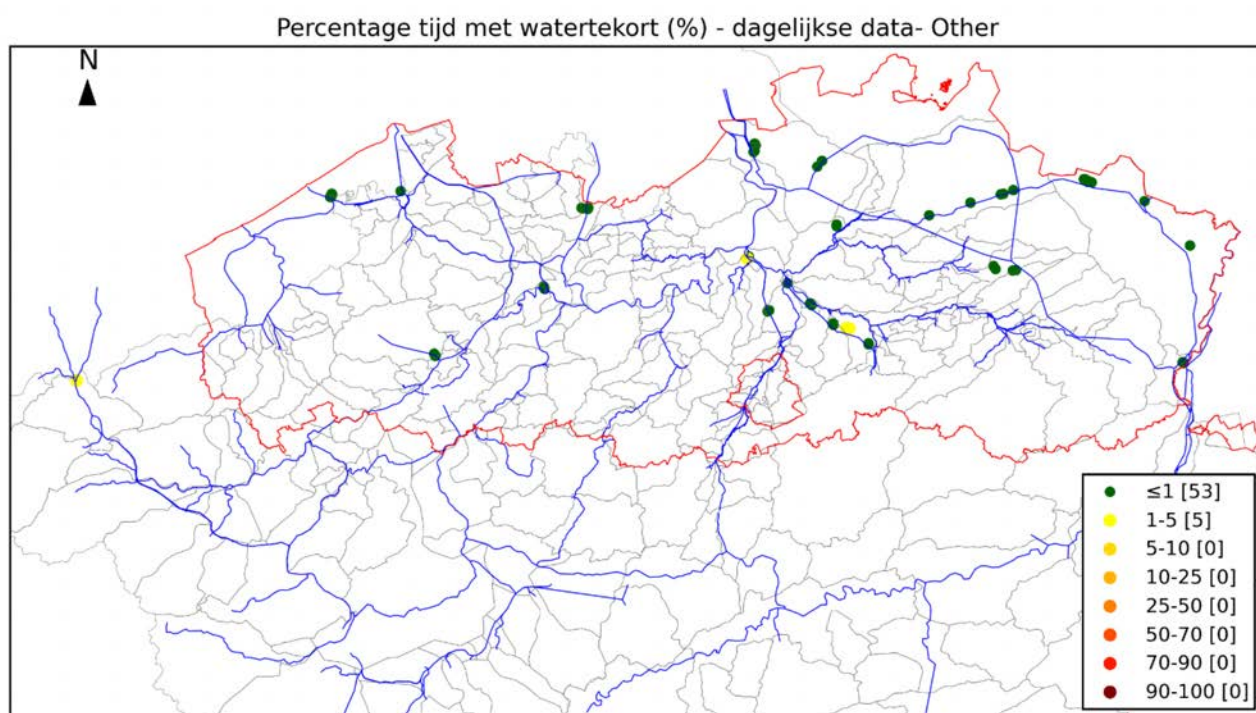
Figuur 51 – Maximaal gesimuleerd relatief watertekort (m³/s) tijdens de periode 1967-2013, Sector Ozout

6.9 Andere sectoren ('Other')

Andere sectoren waarvan watervraag wordt inbegrepen in het waterallocatiemodel worden samengevat in onderstaande Tabel 6 en Figuur 52. Deze hebben nauwelijks te kampen met watertekorten met uitzondering van een onbekende watergebruiker in het afwaartse deel van het Kanaal Schelde-Duinkerke en enkele gebruikers in het Kanaal Leuven-Dijle. De laatste worden echter veroorzaakt door lage hydrologische input in de Dijle.

Tabel 6 – Andere sectoren inbegrepen in het waterallocatiemodel

Code	Beschrijving
F	Bouwnijverheid
G	Groot- & detailhandel; reparatie van auto's en motorfietsen
H	Vervoer & opslag
ONB	Onbekend
Q	Menselijke gezondheidszorg en maatschappelijke dienstverlening.
R	Kunst, amusement en recreatie
S	Overige diensten
T	Huishoudens als werkgever; niet-gedifferentieerde productie van goederen en diensten door huishoudens voor eigen gebruik
WV	Watervangen in het stelsel van het Albertkanaal en de Kempense kanalen (gebruik door meerdere sectoren)



Figuur 52 – Percentage tijd met watertekort voor de gehele simulatie periode (1967-2013), Sector Other

6.10 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt een analyse van watertekort toestanden per NACE-BEL sector uitgevoerd. Op deze manier kan een meer gedetailleerd beeld van knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied worden voorgesteld. Het voordeel van deze analyse ligt op de mogelijkheid om gevoelige sectoren te kunnen identificeren.

Tabel 7 vat de statistieken van de resultaten uit de analyse van watergebruik per sector samen. Hier staan de vooraanstaande sectoren en het aantal gebruikers per sector waar tekorten optreden opgelijst. 15.16% van watergebruikers uit deze sectoren hebben een maximale watertekort hoger dan 0.5 m³/s. Voor gemiddelde watertekorten hoger dan 0.005 m³/s is dat 12.77%. Volgens percentage zijn de sectoren D en SCH het meest getroffen hoewel volgens aantal gebruikers dat de sectoren SCH en O zijn. 6 watergebruikers van Sector D bevinden zich langs het Kanaal Leuven-Dijle dat een lage hydrologische afvoer uit het Dijlebekken ontvangt waardoor deze resultaten niet helemaal betrouwbaar zijn.

Uit deze analyse wordt het zodoende duidelijk dat de meest problematische sector waar watertekorten op regelmatige en ernstige wijze voor komen de scheepvaart is. Dit is vooral te wijten aan het feit dat als het peil in een pand 30 centimeter onder normaalpeil zakt, in het model er geen water meer beschikbaar is voor deze sector terwijl voor alle andere sectoren deze drempel op 1 meter onder normaalpeil ligt. Aldus wordt scheepvaart gevoeliger voor watertekorten omdat waterbeschikbaarheid voor deze sector sterk beperkt is ten opzichte van alle andere sectoren. Naast scheepvaart is sector O (openbaar bestuur) het meest getroffen door watertekorten.

De grootste watertekorten in het studiegebied doen zich voor bij scheepvaart en openbaar bestuur langs het Albertkanaal. Dit vormt de oorzaak van het Albertkanaal als een belangrijk knelpunt in het watersysteem. Dit is ook het geval van het Kanaal Gent-Terneuzen waar de regeling rond het Nederlands-Belgisch verdrag een grote watervraag is.

Andere sectoren kennen aanzienlijk minder problemen rond waterbeschikbaarheid. Niettemin moet er aandacht besteed worden aan sectoren van hoge maatschappelijk belang zoals Sector E (drinkwater) die toch te kampen hebben met watertekorten in de simulatieperiode van deze studie.

Tabel 7 – Samenvatting van de analyse van watergebruik per sector met tekorten eigenschappen van vooraanstaande sectoren voor de simulatie periode 1967-2013

		Aantal watergebruikers	Watergebruikers met maximale tekorten > 0.5 m³/s	%	Watergebruikers met gemiddelde tekorten > 0.005 m³/s	%
Sector A	Land-, Bosbouw en Visserij	16	Geen	0.00	Geen	0.00
Sector B	Winning van delfstoffen	6	Geen	0.00	Geen	0.00
Sector C	Industrie	46	3	6.52	1	2.17
Sector D	Productie en distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht	22	7	31.82	6	27.27
Sector E	Distributie van (drink)water, afval- en afvalwaterbeheer en sanering	44	5	11.36	2	4.55
Sector SCH	Scheepvaart	101	25	24.75	26	25.74
Sector O <i>Inclusief Ozout</i>	Openbaar bestuur en defensie; verplichte sociale verzekeringen	141	17	12.06	13	9.22
Percentage van de totaal				15.16		12.77

7 Watergebruik per Bekken

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden watertekortindicatoren (zie §5.2) berekend, aangetoond en geanalyseerd op bekkenniveau. Bekkengrenzen van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW) worden hier toegepast. Ten eerste worden de meest relevante watertekortindicatoren in kaart gebracht per bekken op regionale niveau. Het wordt hier gekozen voor het gemiddeld gesimuleerd watertekort en percentage tijd met watertekort. Deze indicatoren geven een goed overzicht van mate en frequentie van problemen in het watersysteem. Dit laat de lezer een duidelijker beeld krijgen in verband met bekken gerelateerde knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied. Niettemin door de manier waarop watertekortindicatoren op bekkenniveau worden berekend moeten deze voorzichtig worden geïnterpreteerd.

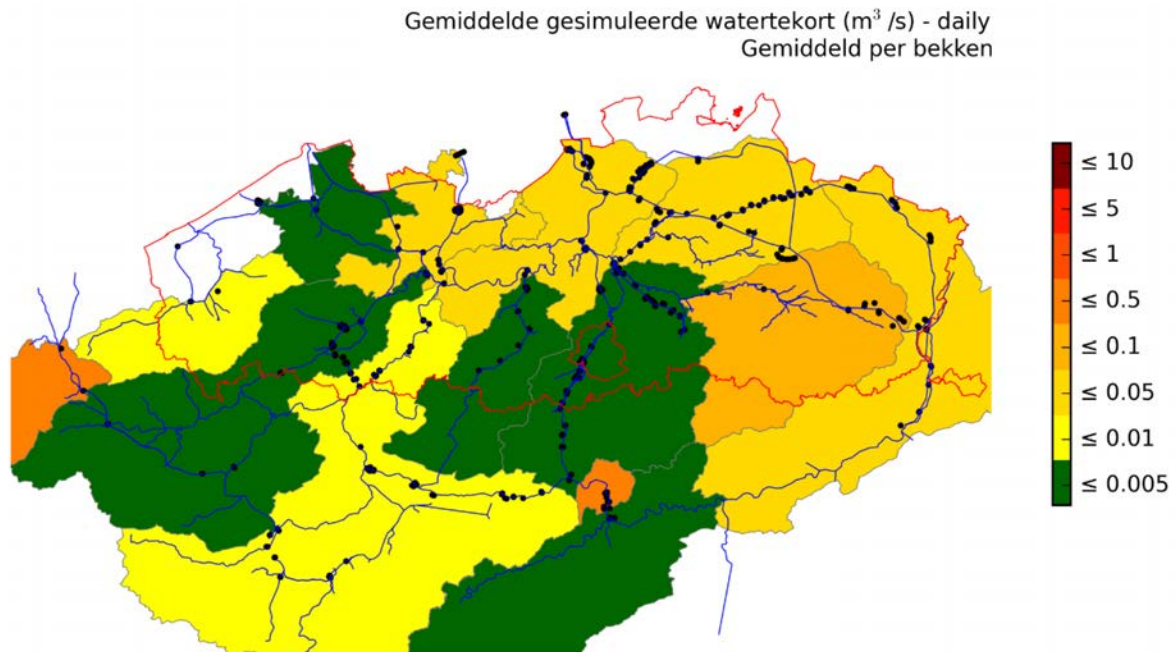
Vervolgens in dit hoofdstuk zijn alle bekkens in detail geanalyseerd. Aangezien de bedoeling van deze analyse is om toestanden in extreem droogte periodes te kunnen beoordelen wordt hier enkel het maximaal gesimuleerd watertekort per gebruiker nagekeken. Tot slot worden conclusies en aanbevelingen op basis van deze analyse geformuleerd.

7.2 Alle Bekkens

De Python Post processing tool laat toe kaarten op te maken op basis van bekken een watertekortindicatoren. Resultaten van alle gebruikers in een bekken worden gemiddeld voor de gevraagde watertekortindicator om de toestand van het bekken op kaart te tonen. Op deze manier kunnen bepaalde bekken gerelateerde knelpunten worden geïdentificeerd op gelijkaardige manier als in de globale analyse van de resultaten (zie §5.3) maar op CIW bekkenniveau. Niettemin door de veralgemening van data moet de gebruiker deze kaarten voorzichtig interpreteren.

7.2.1 Gemiddeld gesimuleerde watertekort (m^3/s)

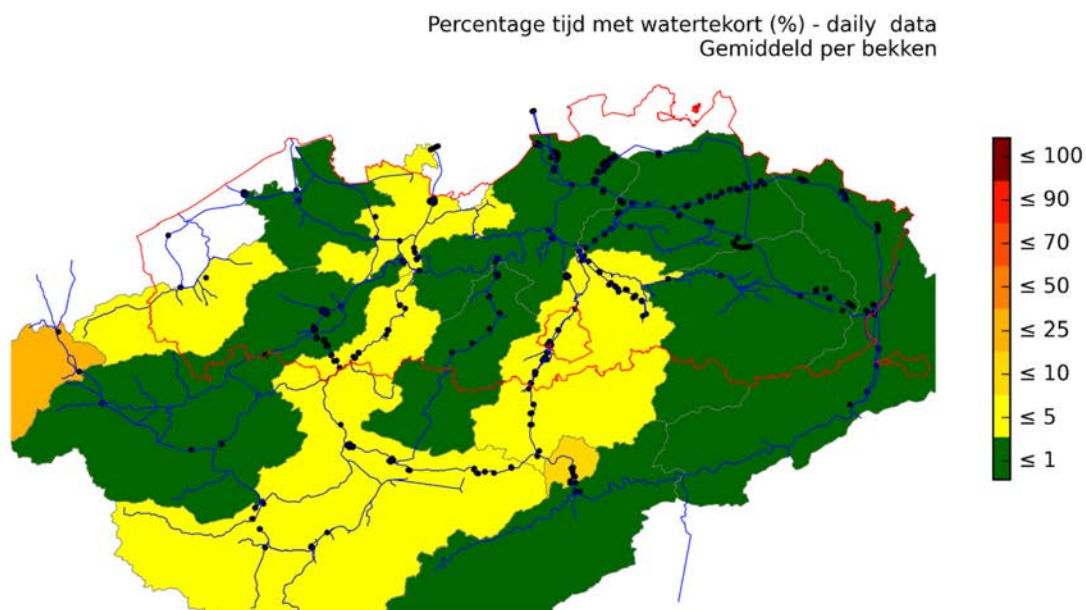
Gemiddelde gesimuleerde watertekorten worden gemiddeld per bekken en in beeld gebracht op Figuur 53. Dit figuur is gebaseerd op de resultaten van Figuur 32. Knelpuntgebieden worden geïdentificeerd vooral in de Nete- en Demerbekken waar hoge watertekorten worden gesimuleerd langs het Albertkanaal. Dit is ook het geval in het Benedenscheldebekken en het Bekken van de Gentse Kanalen waar het Kanaal Gent Terneuzen zich bevindt. Het Kanaal Brussel-Charleroi en pompstations die de panden langs Charleroi voeden hebben ook vaak te kampen met watertekorten waardoor het bekken van het Kanaal Brussel Charleroi ter hoogte van Charleroi een oranje kleur krijgt. Tekorten van een watergebruiker Sector ONB en scheepvaart te Fontinettes zorgen voor een knelpuntgebied in het meest afwaartse bekken van het Kanaal Schelde-Duinkerke. Deze laatste zorgt voor het Aabekken boven de oranje drempel in Noord Frankrijk. Tekorten waargenomen aan het waterproductiecentrum Blankaart langs de IJzer veroorzaken de gele kleur in het IJzerbekken. In het Bovenscheldebekken wordt de gele kleur veroorzaakt door tekorten in het Kanaal Bossuit Kortrijk en de bovenloop van het Kanaal Schelde-Duinkerke.



Figuur 53 – Gemiddelde gesimuleerde watertekort (m^3/s) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013

7.2.2 Percentage tijd met watertekort (%)

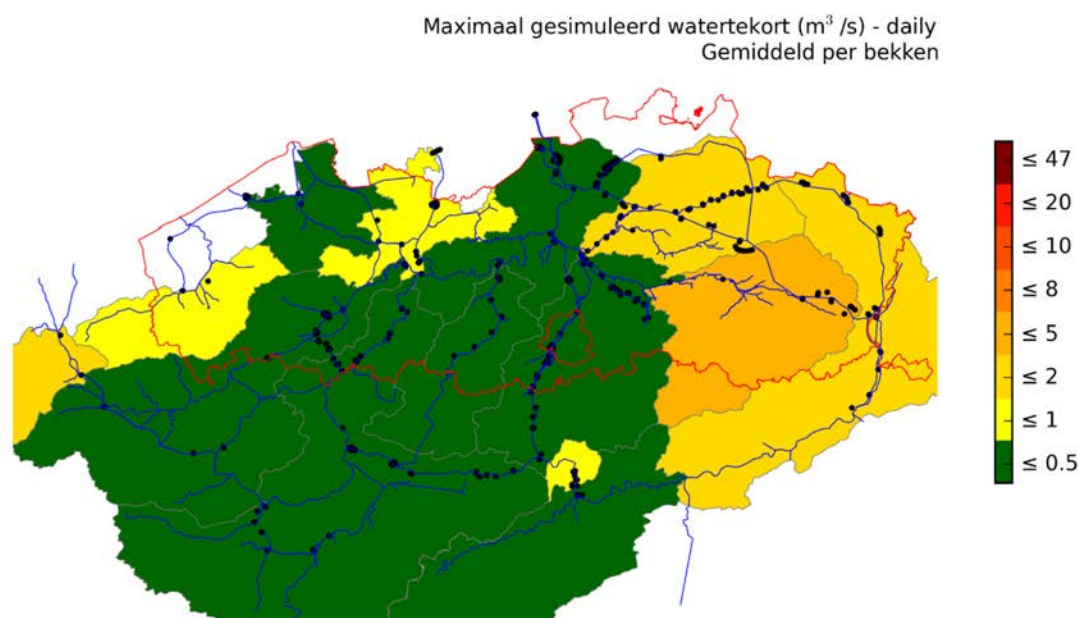
Percentagetijd met watertekorten wordt gemiddeld per bekken en in beeld gebracht op Figuur 54. Met de uitzondering van voortdurend watertekorten in het afwaartse bekken van het Kanaal Schelde-Duinkerke door watergebruikers Sector ONB en scheepvaart te Fontinettes wordt de percentage van tijd met watertekort per bekken minder dan 5%. Zoals gemerkt bij bovenstaande gemiddelde gesimuleerde watertekorten per bekken is het Kanaal Brussel-Charleroi en pompen die panden langs Charleroi voeden ook een knelpuntgebied samen het Bovenscheldebekken en het Bekken van de Gentse Kanalen waar het Kanaal Gent Terneuzen zich bevindt.



Figuur 54 – Percentage tijd met watertekort (%) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013

7.2.3 Maximaal gesimuleerde watertekort (m^3/s)

Maximale gesimuleerde watertekorten worden gemiddeld per bekken en op kaart gebracht in onderstaande Figuur 55. Hier zijn knelpunten bevestigd in de bekkens waar het Albertkanaal doorkruist en het Kanaal Gent Terneuzen zich bevindt. Niettemin gaat overal het detail van extreme waterschaarste toestanden verloren door het berekenen van de gemiddeld per bekken.



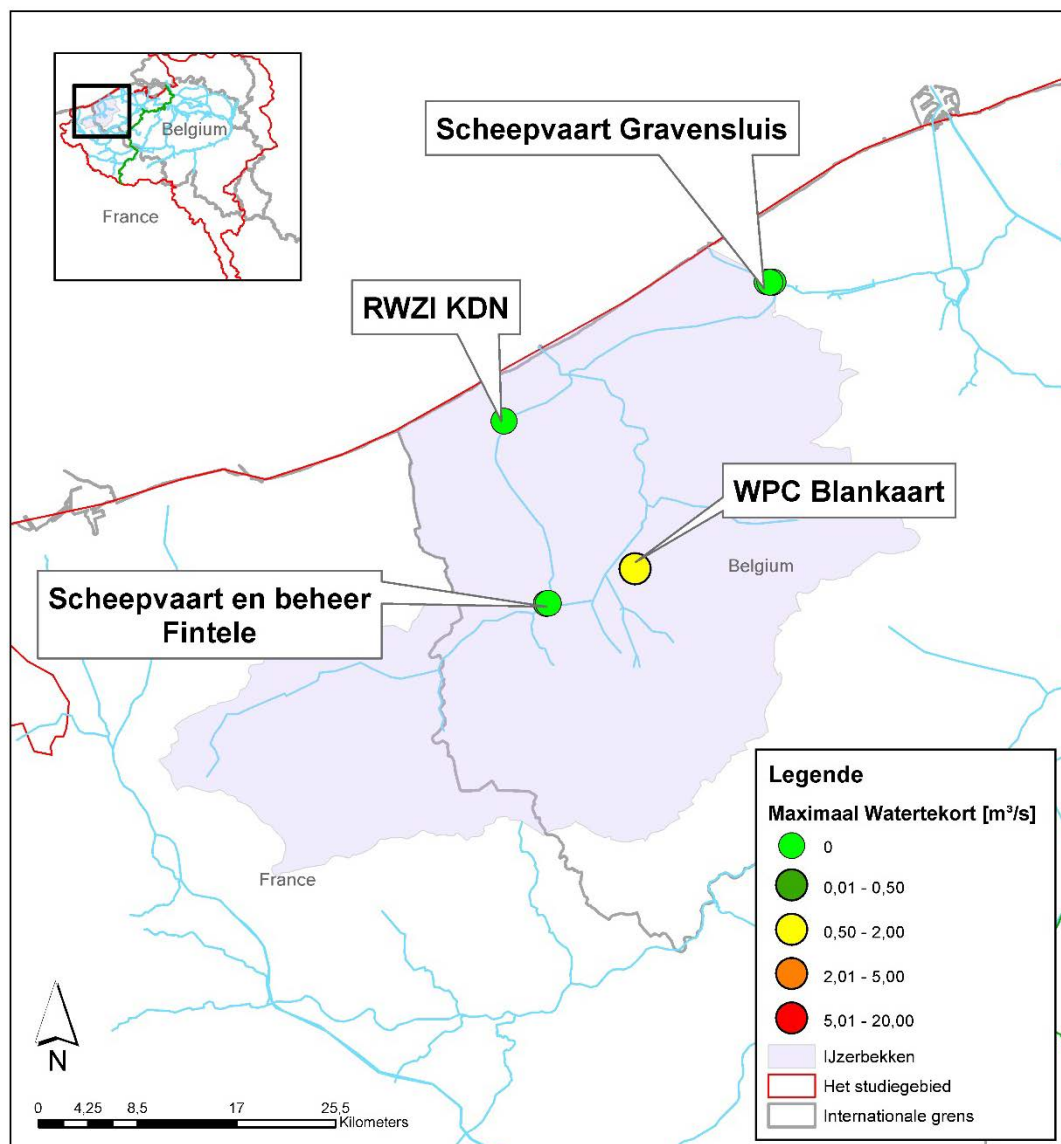
Figuur 55 – Maximaal gesimuleerd watertekort (m^3/s) gemiddeld per bekken voor de simulatie periode 1967-2013

Aangezien de ruwheid van deze kaarten met watertekortindicatoren per bekken kan geconcludeerd worden dat watertekort problemen voornamelijk lokale problemen zijn. Aldus wordt in de volgende paragrafen een analyse in detail per bekken toegelicht waar het maximaal gesimuleerd watertekort wordt nagekeken.

7.3 IJzerbekken

Onderstaand Figuur 56 toont de maximale gesimuleerde watertekorten voor de gebruikers in het IJzerbekken aan. Het is duidelijk dat zich in dit bekken voornamelijk problemen bij De Watergroep waterproductiecentrum Blankaart stellen. Tekorten tellen hier een gemiddeld van 0.007 m³/s voor de simulatie periode 1967-2013. Maximaal gesimuleerd tekort waargenomen voor deze gebruiker voor dezelfde periode is 0.98 m³/s. De gemiddelde duur van een droge periode is ongeveer 6 dagen met een maximaal periode van 30 dagen in oktober 1972. Figuur 44 bevat de afloop van watertekorten in het WPC Blankaart.

Er wordt voldoende water beschikbaar gemodelleerd om de resterende gebruikers in dit bekken van water te voorzien. De sluizen in Fintele en Gravensluis hebben een minimale hoeveelheid water nodig en RWZI KDN loost water in de waterloop. Desondanks deze resultaten is het nu bekend dat ernstige watertekorten kunnen zich voordoen in dit bekken (zomer 2017). Om een correcte simulatie van deze toestand uit te kunnen voeren wordt het toch noodzakelijk om een inzicht te hebben over de watervraag van niet toegelaten captaties uit bevaarbare waterlopen in het IJzerbekken.

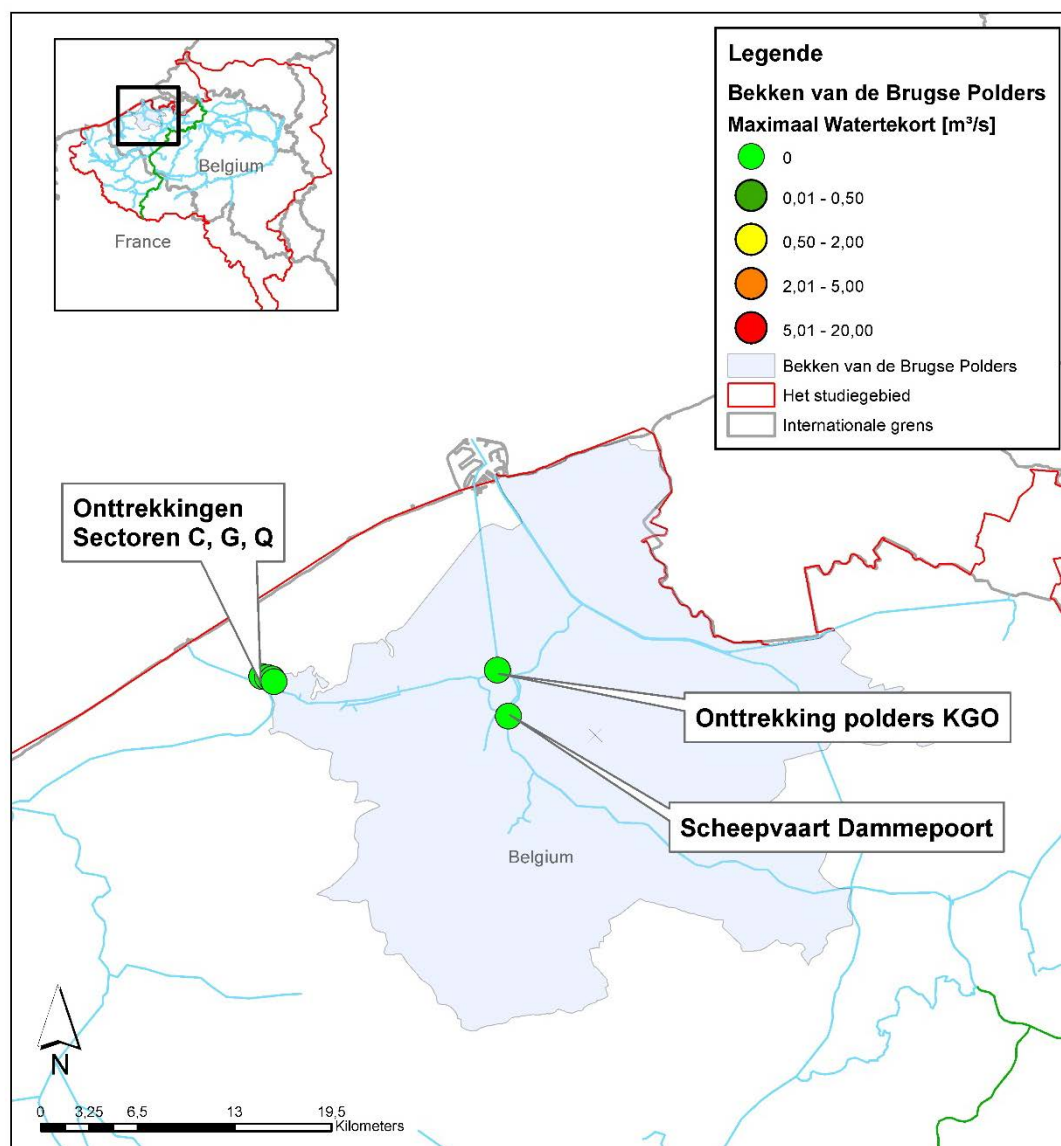


Figuur 56 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het IJzerbekken (1967-2013)

7.4 Bekken van de Brugse Polders

Onderstaande Figuur 57 toont het maximaal gesimuleerde watertekort voor de gebruikers in het bekken van de Brugse Polders. In de waterwegen van het bekken van de Brugse polders is voldoende water aanwezig om aan de watervraag van haar gebruikers te voldoen. Hier zijn de scheepvaart (aan de Dammepoortsluis) en de polders gevoed door het Lisseweegs Vaartje die het meeste water behoeven. Respectievelijk hebben ze nood aan maximaal 0,619 m³/s en 0,96 m³/s (pieken in de zomer).

Hoewel er worden geen tekorten gemodelleerd in dit bekken het is nu bekend dat ernstige watertekorten kunnen zich voordoen in de kust regio waar dit bekken zich bevindt. Na de droogte van de zomer 2017 werd het ingeschat dat 3 m³/s zouden voldoen aan de watervraag van de polders. Aldus zal de watervraag van dit bekken en de IJzerbekken moeten worden geactualiseerd met de resultaten van de lopende studie van Provincie West Vlaanderen betreffend waterbeschikbaarheid, -behoefte en –aanbod in de kuststreek.

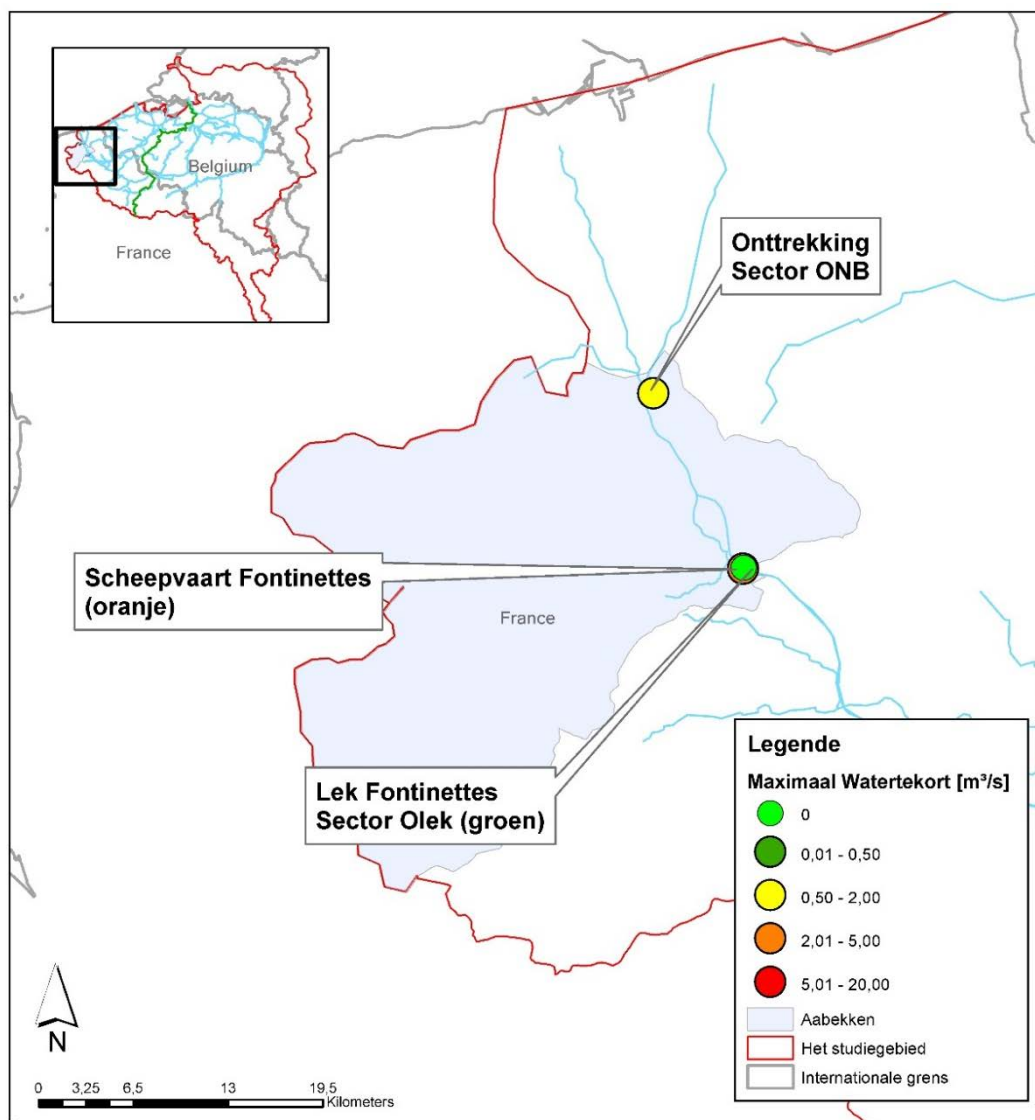


Figuur 57 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bekken van de Brugse Polders (1967-2013)

7.5 Aabekken

Onderstaande Figuur 58 toont het maximaal gesimuleerde watertekort voor de gebruikers in het Aabekken in Noord Frankrijk. De lek van het opwaartse pand te Fontinettes toont geen watertekort omdat het een lek is. Het watergebruik van scheepvaart te Fontinettes en onttrekking van Sector ONB hier afwaarts, hebben respectievelijk een constante watervraag van 3.11 m³/s en 4 m³/s. Data betreffend het watergebruik en – aanbod in Noord Frankrijk werd eerst geïnventariseerd op basis van droge periodes in de herfst van 2004 en 2005 (Michielsen et al, 2011) en verfijnd tijdens de verbetering van het modelinstrumentarium in het kader van dit project (Michielsen et al, 2021).

Relatief gezien is het maximaal gesimuleerd watertekort van scheepvaart zo hoog als 100% terwijl bij de onttrekking van Sector ONB is dit minder dan 50%. Vertaald naar kubieke meters per seconde wordt dat 3.11 en 1.44 respectievelijk. Gemiddelde gesimuleerde watertekorten voor deze gebruikers voor de simulatie periode van 1967 tot 2013 zijn 0.69 m³/s en 0.017 m³/s met watertekortgebeurtenissen per jaar frequentie langer dan 7 dagen van 1.79 en 0.19 voor scheepvaart en ONB. De gemiddelde duur van watertekortperiodes is 2.62 en 0.26 dagen respectievelijk.

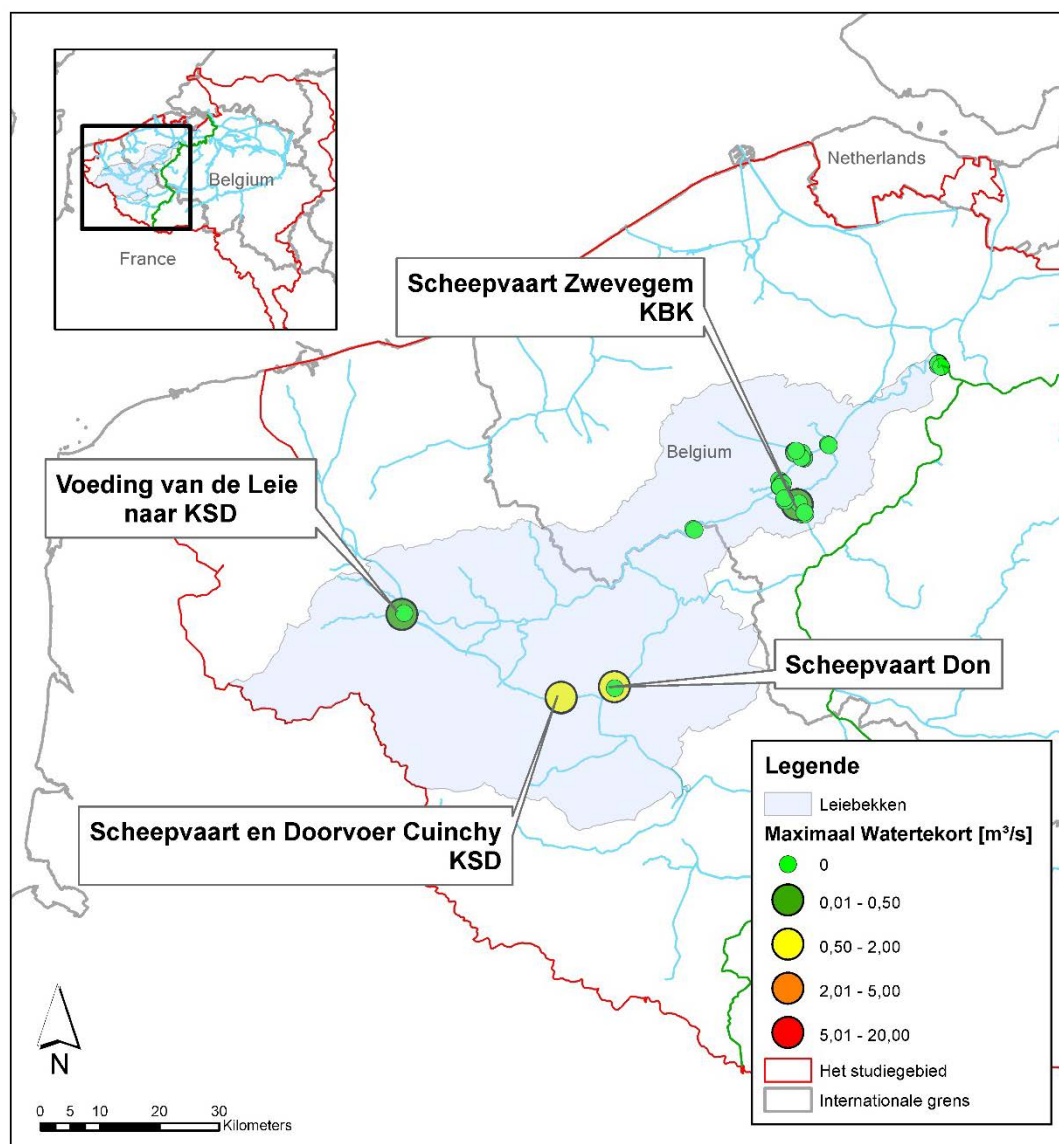


Figuur 58 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Aabekken (1967-2013)

7.6 Leiebekken

Onderstaand Figuur 59 toont het maximaal gesimuleerde watertekort aan voor de gebruikers in het Leiebekken. Het Kanaal Schelde-Duinkerke (KSD) kent de meeste watertekorten in dit bekken. De maximale gesimuleerde tekorten voor scheepvaart en doorvoer langs Cuinchy en scheepvaart langs Don bereiken relatief gezien 100% van zijn watervraag tijdens de zomer van 1976. Deze debieten liepen tot 0.7, 1.28 en 1.05 kubieke meters per seconde respectievelijk.

Dit is ook het geval voor de voeding naar KSD vanuit de Leie te Aire-sur-le-Lys in Frankrijk, waar een maximaal watertekort van 0.26 m³/s wordt gemodelleerd. Deze hinder wordt ook gemodelleerd in het Kanaal Bossuit-Kortrijk (KBK) voor scheepvaart langs Zwevegem met een maximaal gemodelleerd watertekort van 0.19 m³/s. Deze tekorten zijn een niet geïsoleerde gebeurtenis en doen zich voor bij elke periode van droogte, voornamelijk tijdens de zomer en in het bijzonder langs het Kanaal Schelde-Duinkerke.



Figuur 59 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Leiebekken (1967-2013)

7.7 Bekken van de Gentse Kanalen

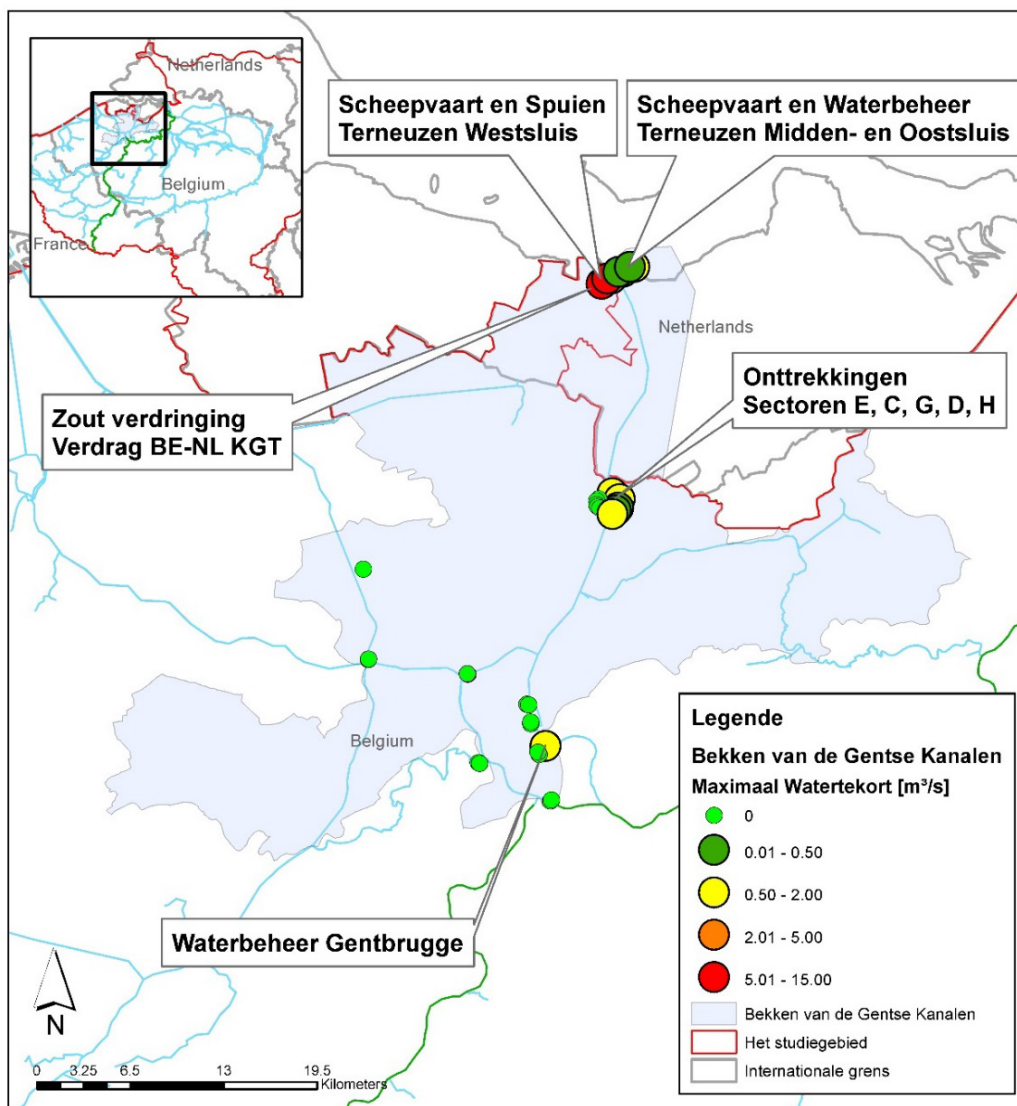
7.7.1 Het Kanaal Gent-Terneuzen

De analyse van 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. In paragraaf §3.1.6 is toegelicht hoe de VBA macro het België-Nederland verdrag over minimale hoeveelheid zoetwater debiet naar Terneuzen wordt toegepast in het waterallocatiemodel. Een totaal van zeven watergebruikers voeren zoetwater van Gent naar Terneuzen. Zes zijn betrokken tot scheepvaart en waterbeheer van de drie sluizen in Terneuzen en de zevende zorgt het opnemen van zoutverdringingstekorten in het kader van het BE-NL verdrag.

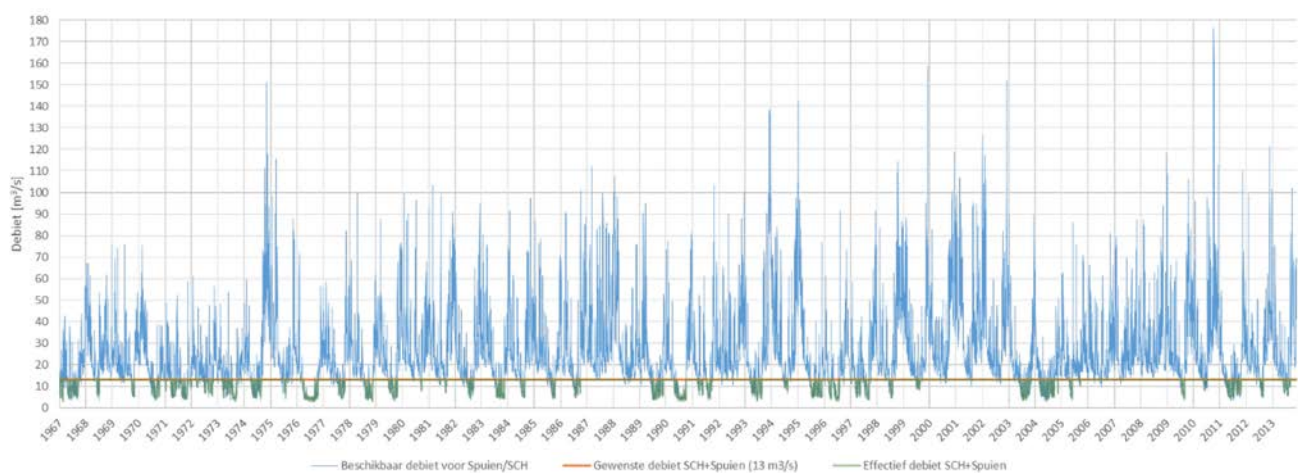
Watertekorten opgenomen in scheepvaart, spuien en waterbeheer in de drie sluizen van Terneuzen duiden aan een beschikbare debiet lager dan $13 \text{ m}^3/\text{s}$ naar Terneuzen. Scheepvaart debieten zijn gemeten voor de periode 2001 tot 2010 waar het jaar 2010 werd herhaald in alle andere jaren van de simulatie periode als watervraag voor deze watergebruikers. Watervraag van $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt toegewezen aan de Midden- en Oostsluis voor waterbeheer en het resterende debiet om $13 \text{ m}^3/\text{s}$ te bereiken wordt toegewezen aan de Westsluis waar het spuien gebeurt. Dit is het minimum spuien debiet gewenst aangezien tijdens hoogwater periodes wordt een hoog debiet afgevoerd en opgenomen door het MIKE HYDRO Basin model als *downstream spill*. De watervraag van de zevende watergebruiker (Ozout) wordt berekend in functie van alle debieten naar Terneuzen, inclusief de *downstream spill*, om het BE-NL verdrag na te leven. Wanneer het verdrag wordt nageleefd is de watervraag van Ozout gelijk aan nul. Figuur 61 en Figuur 62 tonen aan de afloop van deze debieten en tekorten in de simulatie periode (1967-2013).

De analyse van de 2-maandelijks gemiddelde gesimuleerde afvoer richting Terneuzen leert dat in een periode van 47 jaar (1967-2013) er 97 periodes en 1.755 dagen zijn waarin er een tekort optreedt. Gemiddeld bedraagt het watertekort $0,59 \text{ m}^3/\text{s}$ en het maximaal watertekort is $11,22 \text{ m}^3/\text{s}$. De duur van een watertekortgebeurtenis is gemiddeld bijna 18 dagen lang met een maximum van 61 dagen in 1976.

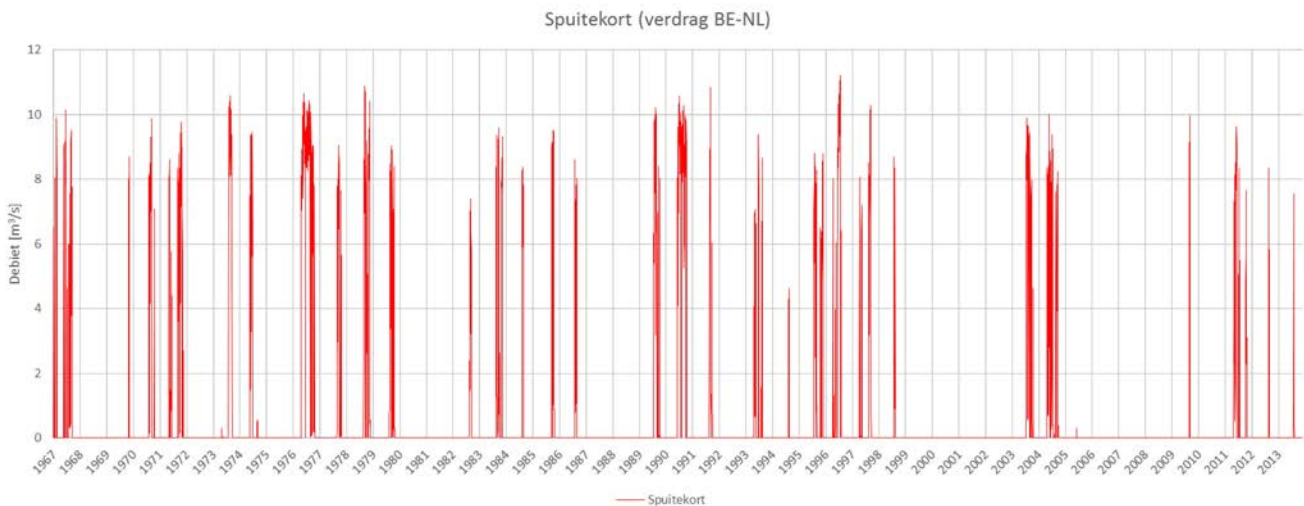
Andere tekorten opgenomen in het bekken van de Gentse Kanalen hebben te maken met een daling in het peil van het pand van het Kanaal Gent Terneuzen van één meter onder normaalpeil. Deze watertekortgebeurtenis wordt waargenomen tijdens de droogte van 1976 en betreft alle onttrekkingen uit dit pand. Aldus hebben sectoren E, C, G, D en H te maken met een watertekort dit jaar. Ook waterbeheer (O) in Gentbrugge, die verwijst naar de pomp die water afvoert naar Melle in de zomerperiodes, wordt beïnvloedt door deze droogte. Alle deze sectoren hebben een watertekort dat de drempel van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ niet overtreft.



Figuur 60 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bekken van de Gentse Kanalen (1967-2013)



Figuur 61 – Beschikbaar debiet voor scheepvaart en spuien naar Terneuzen vanuit Gent ten opzichte van gewenste debiet (13 m³/s) en effectieve afvoer naar de drie sluisen in Terneuzen

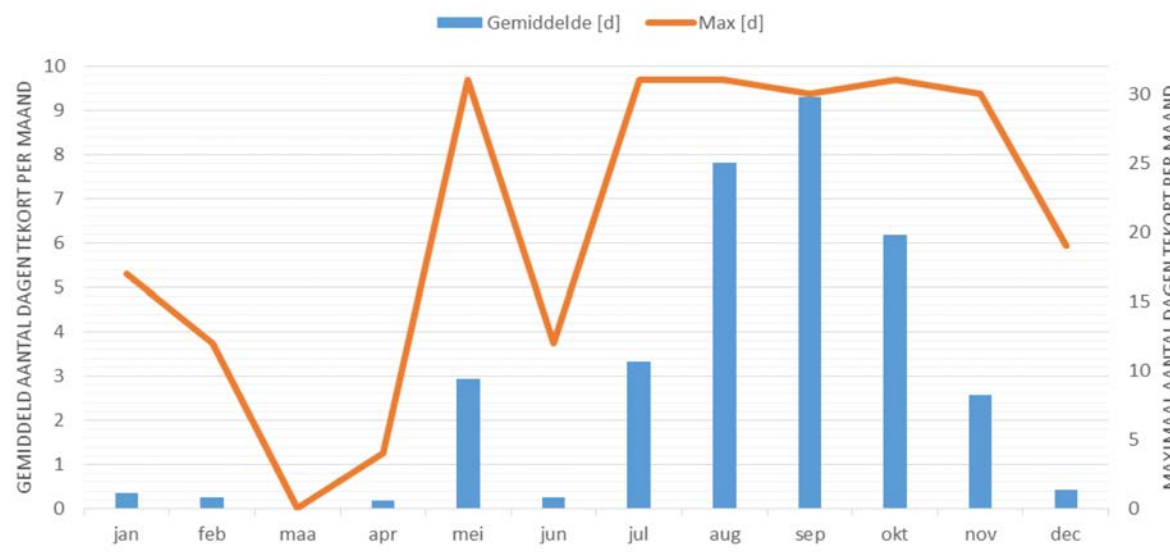


Figuur 62 – Watertekorten ten opzichte van de aanvulling van het BE-NL verdrag om zoutindringing tegen te gaan in het Kanaal Gent Terneuzen

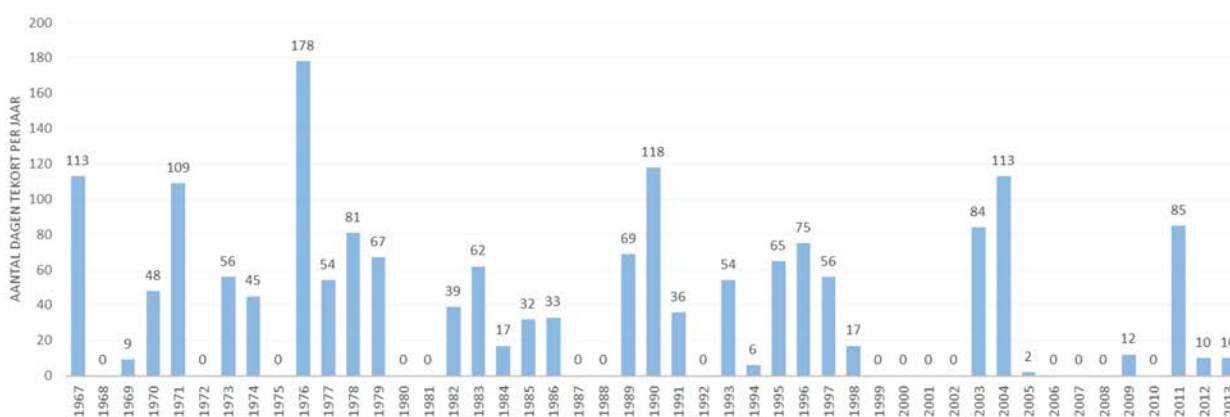
Spuitekortten om het NL-BE verdrag omtrent het minimum debiet naar Terneuzen na te leven treden bijna jaarlijks op. De volgende figuren geven een beeld aan van hoe vaak en hoe ernstig waargenomen spuitekortten waren gesimuleerd in de periode 1967-2013 met de geactualiseerde versie van het model.

Er is een merkbare daling in het aantal dagen en mate van spuitekortten ten opzichte van de vroegere resultaten. Figuur 65 toont bijvoorbeeld een belangrijk verschil ten opzichte van de resultaten uit de vroegere versie toen 13 m³/s het meest voorkomend watertekort was. Zodra het waterpeil in het pand onder een drempel zakt wordt er geen meer water beschikbaar. In de vorige versie van het model werd een watergebruiker (*Ozout*) gesimuleerd met een constante watervraag van 13 m³/s naast drie watergebruikers voor scheepvaart. Echter moet de som van alle debieten naar Terneuzen 13 m³/s optellen, gemiddeld over twee maanden. In de nieuwe versie wordt deze watervraag per tijdstap berekend via de VBA macro in het kader van het BE-NL verdrag.

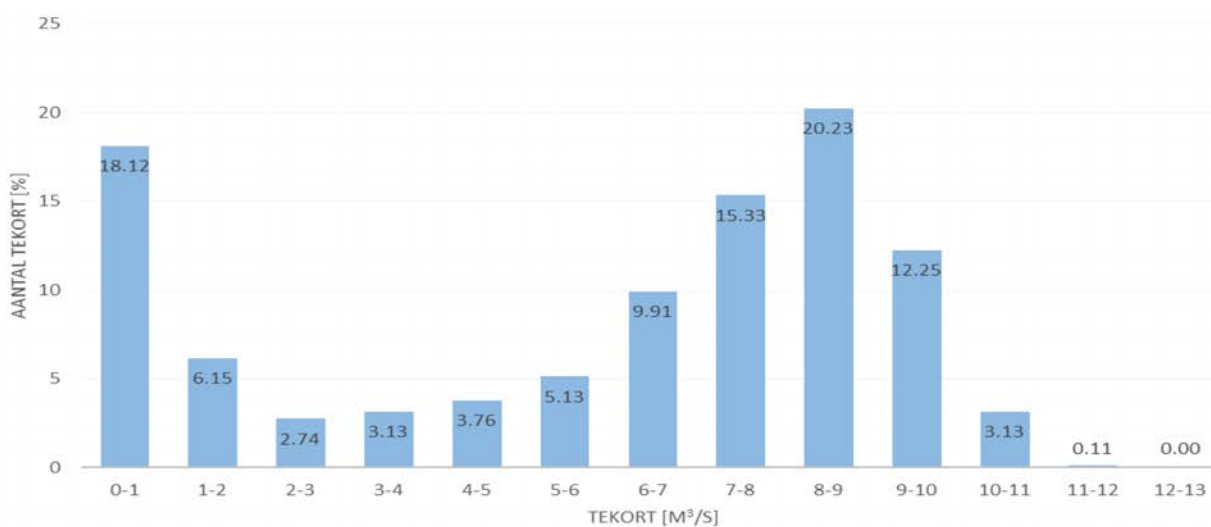
De resultaten tonen dat in mei en de periode tussen juli en november water zou vaak niet beschikbaar is om het minimum debiet naar Terneuzen te voldoen. Het gemiddelde aantal dagen met spuitekort in september is 9, de hoogste van het jaar. Het maximaal aantal dagen per maand met spuitekort in de simulatie telt alle dagen in mei, juli, augustus, september, oktober en november maar deze worden niet per se gesimuleerd in hetzelfde jaar.



Figuur 63 – Gemiddeld en maximaal aantal dagen met spuitekort per maand



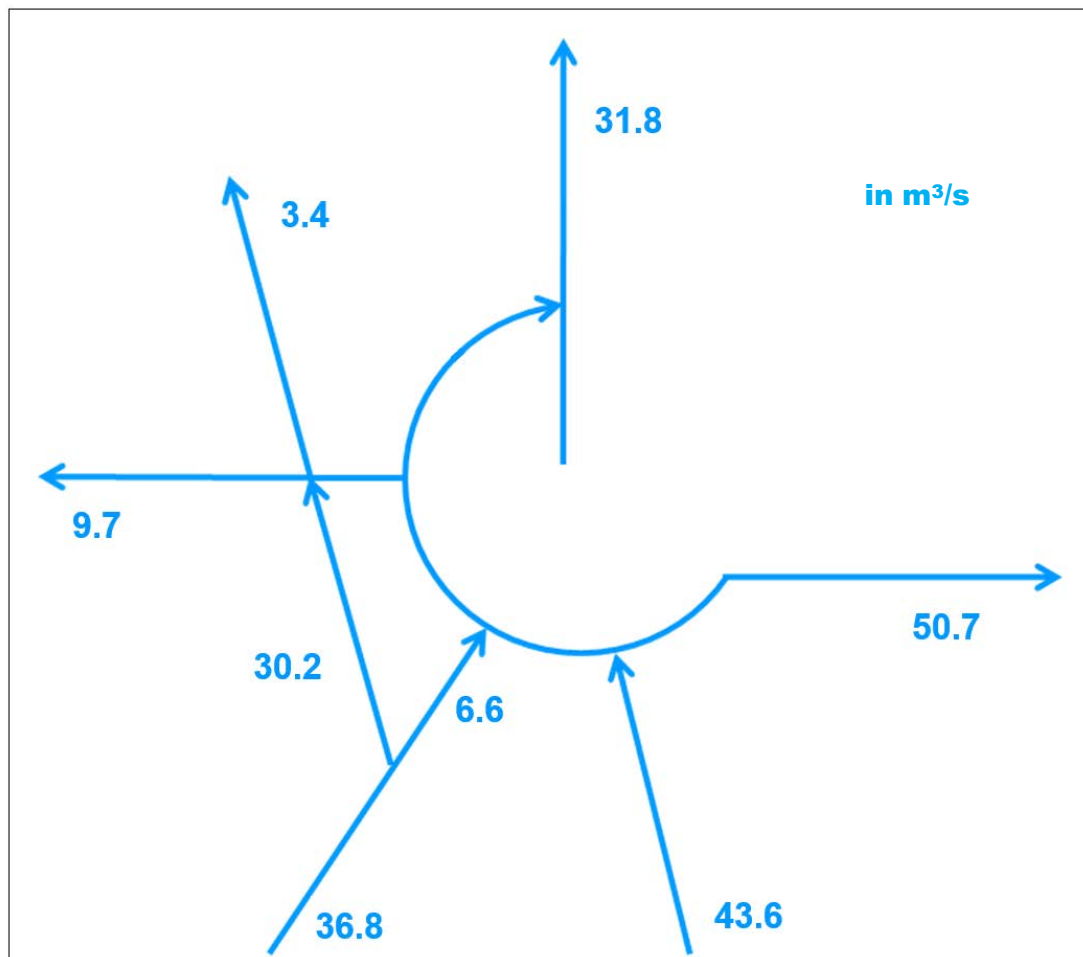
Figuur 64 – Aantal dagen per jaar dat er zich een spuitekort voordoet



Figuur 65 – Histogram van het aantal spuitekort

7.7.2 Groot Pand

Gemiddeld wordt er, over de hele gesimuleerde periode, door de Leie en de Schelde respectievelijk 36,8 en 43,6 m³/s aangevoerd naar het Groot Pand (Zie Figuur 66). Van het Leiewater wordt 30,2 m³/s (82%) afgeleid via het Afleidingskanaal. De afvoer gebeurt via de Zeeschelde (50,7 m³/s), het Kanaal Gent-Terneuzen (31,8 m³/s), het Kanaal Gent-Oostende (9,7 m³/s) en het Afleidingskanaal van de Leie (3,4 m³/s). De extra aanvoer die nodig is om de balans tussen aanvoer en afvoer in evenwicht te brengen wordt door de zijriviertjes en RWZI's die rechtstreeks in het Groot Pand uitmonden geleverd.



Figuur 66 – Waterverdeling [m³/s] in het 'Groot Pand'. Gemiddelde debieten voor de simulatie tussen 1969-2013

7.8 Bovenscheldebekken

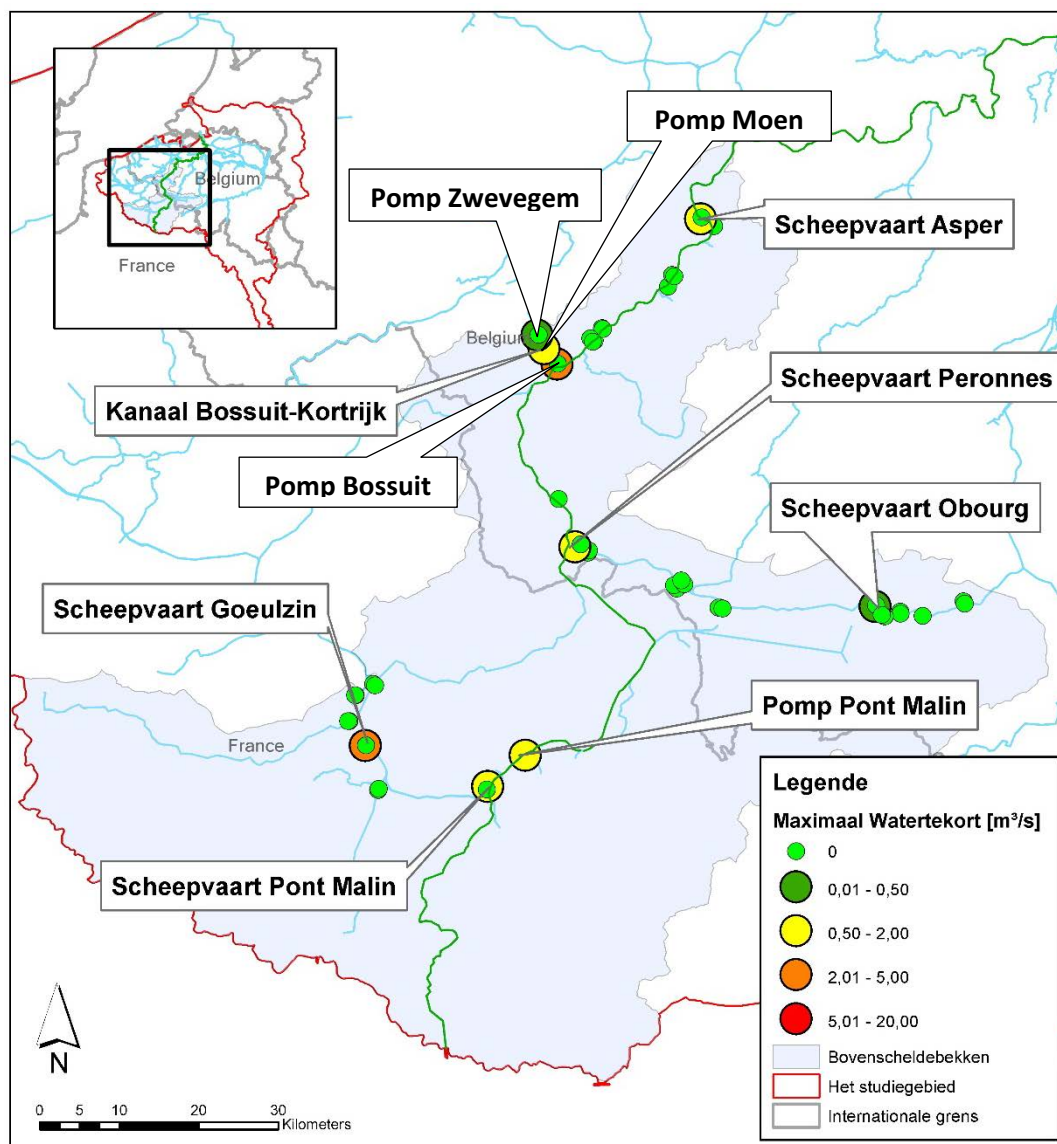
Onderstaand Figuur 67 toont het maximaal gesimuleerde watertekort voor de gebruikers in het Bovenscheldebekken. Twee knelpunten worden geïdentificeerd in dit bekken. In het opwaartse deel van de Schelde in Noord Frankrijk worden regelmatig watertekorten opgenomen in het Kanaal Schelde Duinkerke, dat de Schelde verbindt met Duinkerke aan de kust richting noordwestwaarts vanaf de Schelde. Verder afwaarts langs de Schelde aan de Belgische kant wordt water afgeleid naar het Kanaal Bossuit Kortrijk, dat de Schelde te Bossuit verbindt met de Leie te Kortrijk, waar ook regelmatige watertekorten zijn waargenomen in de simulatie periode (1967-2013).

Langs de kanalenverbinding tussen de Schelde en Duinkerke is vrijwel elke zomer de aanvoer naar het eerste kanaalpand ontoereikend waardoor er onvoldoende water is voor de scheepvaart in Goelzin en Pont-Malin. Deze watergebruikers krijgen als gevolg een oranje en gele knoop op Figuur 67 respectievelijk. Er is dus een regelmatig watertekort bij de onttrekking van Pomp Pont Malin die ook met een gele knoop wordt aangeduid in Figuur 67.

In de vroegere versie van het waterbalansmodel waren de tekorten in het Kanaal Bossuit-Kortrijk te wijten aan de tijdstap (1 dag), het relatief hoge pompdebiet en het relatief kleine volume van het tweede pand (Moen-Zwevegem). Door onttrekkingen uit dit tweede pand zakte het peil in 1 tijdstap onder het tweede aanslagpeil, waardoor er in Moen met het debiet van 2 pompen werd gepompt. Het grote volume dat werd opgepompt uit het eerste pand, moet ook uit de Schelde met 2 pompen gepompt worden om het eerste kanaalpand (Bossuit-Moen) op streefpeil te houden. Deze opstelling leverde dus regelmatige tekorten om een andere dag op. Door de actualisatie van het model en de bevelen in de macro (Zie §3.1.6) werd dit probleem opgelost door het gebruik van netto stroom per pand en de debieten van de pompen als maximaal debiet dat wordt van het afwaartse pand onttrokken. Als gevolg worden nu tekorten waargenomen enkel als er niet genoeg water beschikbaar is om opwaartse panden in het Kanaal Bossuit Kortrijk op streefpeil te houden. Vroeger waren tekorten een direct gevolg van pomp debieten die 24 uur actief waren wat in de realiteit ook niet gebeurt. Aldus kennen pompen in de nieuwe versie van het waterbalansmodel in het Kanaal Bossuit Kortrijk watertekorten voornamelijk tijdens de zomermaanden en met een gemiddelde frequentie van 30 tijdstappen (dagen) per jaar.

De scheepvaart langs de Schelde wordt ook gehinderd in de sluizen van Peronnes en Asper. In het geval van Peronnes, wordt er één terugkerend watertekort van 0,658 m³/s waargenomen na elke 6 dagen voor de gehele simulatie periode (1967-2013). Dit is te wijten aan een daling van het peil 30 centimeter onder het normaalpeil in het opwaartse pand aangezien dit debiet een constante watervraag van deze gebruiker is. In het geval van scheepvaart langs de sluis van Asper, het maximaal watertekort van 1,4 m³/s gebeurt tijdens de droogte van 1976. Gedurende de gehele simulatie periode (1967-2013) treedt er nog één tekort op bij deze gebruiker, enkel een paar dagen in 1990.

Tekorten bij de scheepvaart in de sluis van Obourg treden regelmatig om een andere dag op. Het gaat echter over een minimaal watertekort van 0,031 m³/s. Deze houding blijft constant gedurende de gehele simulatie periode (1967-2013).



Figuur 67 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Bovenschedebekken (1967-2013)

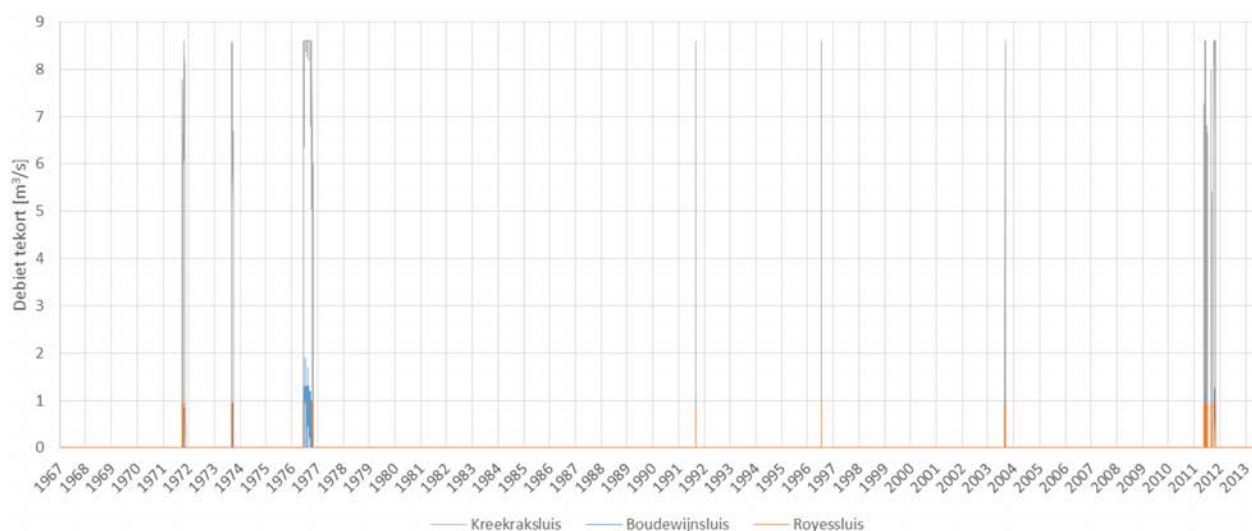
7.9 Benedenscheldebekken

Figuur 69 toont het maximaal gesimuleerde watertekort voor de gebruikers in het Benedenscheldebekken. In de haven van Antwerpen wordt de scheepvaart als gebruiker beperkt vanaf een peil dat 30 centimeter onder het streefpeil ligt, zoals dat in de overige panden ook gebeurt. Dit is gedurende de simulatie van 1967-2013 een aantal keer het geval in het pand van de haven van Antwerpen.

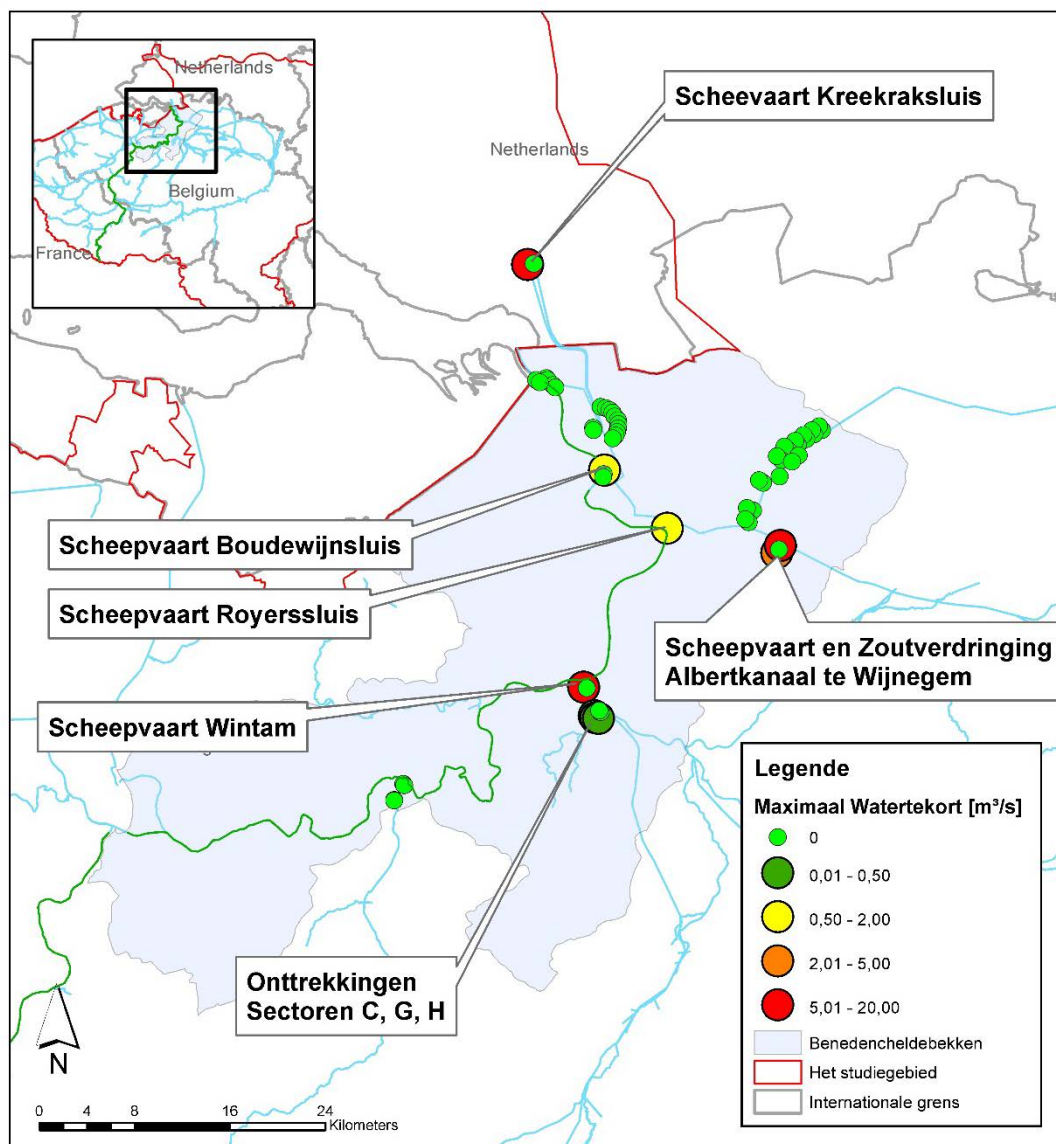
Als haven heeft Antwerpen aanzienlijk groot activiteit in de sector Scheepvaart. Het pand dat fungeert als de haven van Antwerpen in het waterbalansmodel voedt 6 scheepvaart watergebruikers die de sluizen van Berendrecht, Zandvliet, Van Cauwelaert, Boudewijn, Kreekrak en Royers vertegenwoordigen. Watergebruikers aangesloten bij eenzelfde pand worden gerangschikt op voorrang in het waterbalansmodel. Dat wilt zeggen dat beschikbaar water wordt toegewezen op basis van voorrang. In dit pand worden deze gerangschikt in de hierboven vermelde volgorde. Gezien in het waterallocatiemodel de prioriteit voor de Boudewijnsluiz, de Kreekraksluiz en de Royerssluiz lager ligt dan voor de andere sluizen, worden deze eerst als gebruikers beperkt en tonen aan watertekorten gedurende de simulatie periode (1967-2013) als gevolg. Figuur 68 bevat watertekorten waargenomen door deze gebruikers die in droogte periodes als gevolg van een verminderde aanvoer via het Albertkanaal tot 100% van zijn watervraag tekort hebben. De watervraag van scheepvaart in de Boudewijnsluiz, de Kreekraksluiz en de Royerssluiz zijn constante debieten van 2.7 m³/s, 8.6 m³/s en 0.94 m³/s respectievelijk.

De sluis te Wijnegem in het Albertkanaal heeft te kampen met regelmatige watertekorten tijdens de zomermaanden terwijl zoutverdringing tekort optreedt in 1971, 1976 en 2011. Analyse omtrent deze gebruikers wordt in sectie §8.4.3 verder uitgebreid.

Op het Zeekanaal Brussel-Schelde treedt er regelmatig een tekort op tijdens de zomermaanden en soms herfstmaanden voor de gebruiker die de scheepvaart over de sluis van Wintam voorstelt. Deze tekorten zijn te wijten aan een daling van het peil in het pand van Wintam. In dit pand treden ook tekorten voor de onttrekkingen van Sectoren C, G, en H op door daling van het peil 1 meter onder normaalpeil in 1973, 1976, 1990, 1996 en 1997. Analyse omtrent Wintam wordt in sectie §8.4.2 verder uitgebreid.



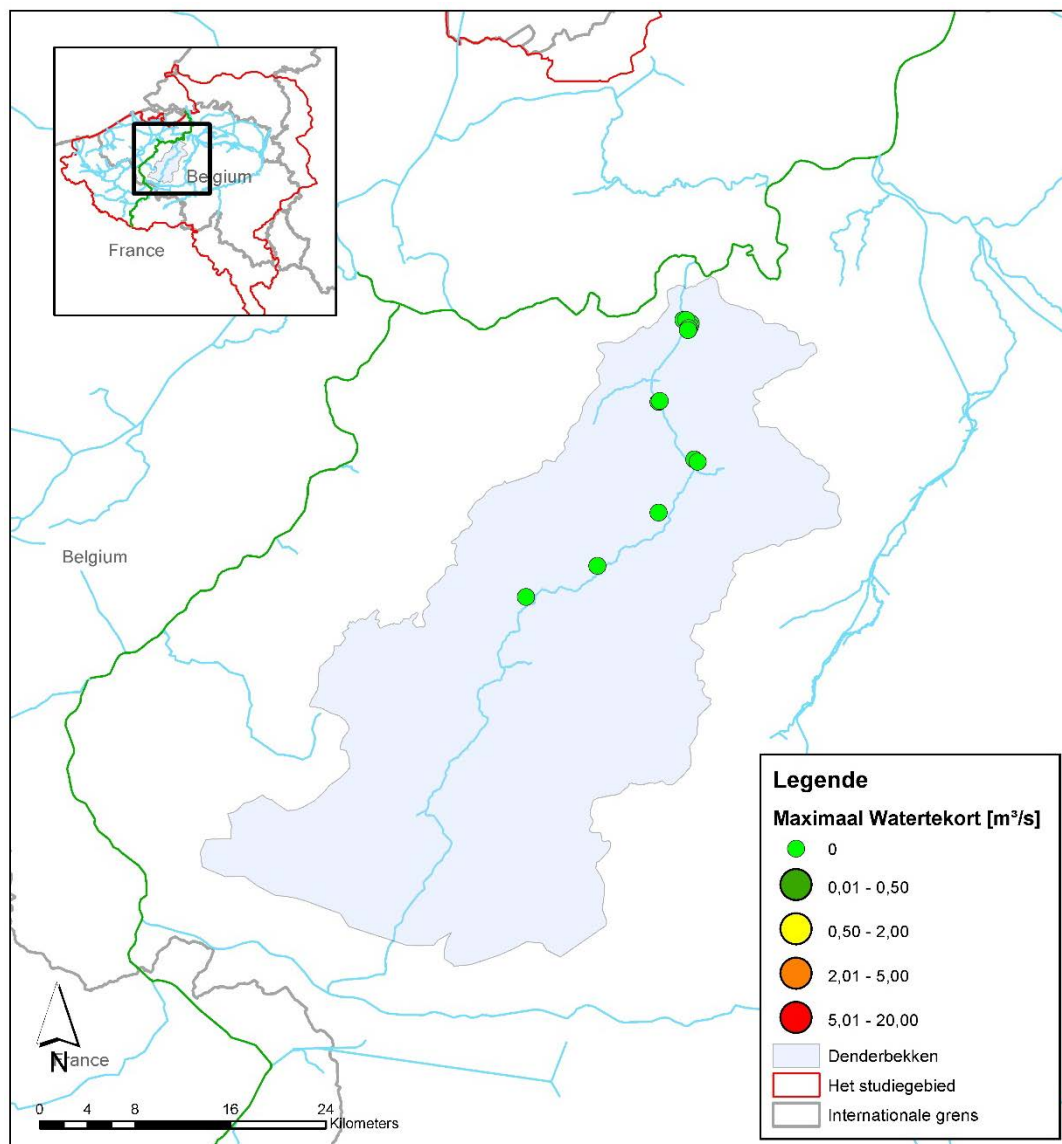
Figuur 68 – Watertekorten in de Kreekraksluis, Boudewijnsluiz en Royerssluis gedurende de simulatie periode (1967-2013)



Figuur 69 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Benedenscheldebekken (1967-2013)

7.10 Denderbekken

Onderstaand Figuur 70 toont het Denderbekken met de maximaal gesimuleerde tekorten voor de gebruikers langs de Dender. Geen enkele van de gebruikers in dit bekken heeft in de periode 1967-2013 te maken met een tekort. Bijgevolg wordt niet verder ingegaan op de resultaten van het waterallocatiemodel voor deze gebruikers.



Figuur 70 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Denderbekken (1967-2013)

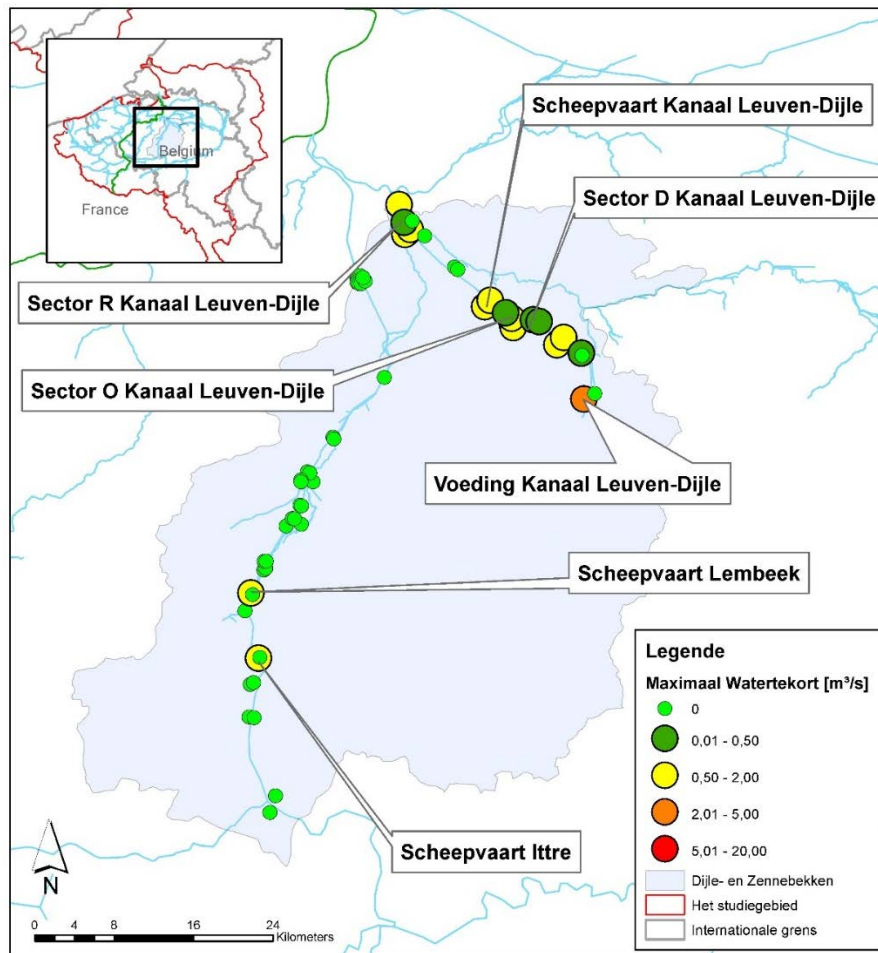
7.11 Dijle- en Zennebekken

Onderstaand Figuur 71 toont een overzicht van de maximaal gesimuleerde tekorten voor de gebruikers langs de rivieren en kanalen in het Dijle- en Zennebekken. Twee scheepvaartgebruikers langs de Zenne hebben in de periode 1967-2013 te maken gehad met tekorten in Ittre en Lembeek. In Ittre treedt het tekort regelmatig en bijna jaarlijks op tijdens lage neerslagafvoerperiodes, hoewel deze tekorten nooit hoger dan 40% van zijn totale watervraag is. Scheepvaart in de sluis van Ittre heeft een constante watervraag van 1.454 m³/s en het maximaal waargenomen watertekort is van 0.57 m³/s tijdens de droogteperiode van 1976. In Lembeek wordt een dagelijks watervraag opgesteld op basis van een wekelijks cyclus van gebruik. Voor deze gebruiker werden tekorten veel korter en minder vaak waargenomen met een maximale waarde van 0.9 m³/s tijdens de dezelfde droogteperiode.

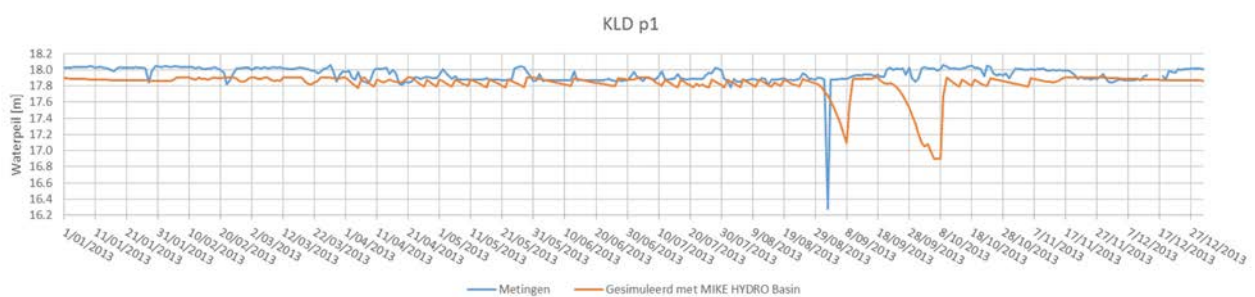
In de Dijle hebben gebruikers niet te maken met watertekorten. Bijgevolg wordt niet verder ingegaan op de resultaten van het waterallocatiemodel voor deze gebruikers. Voor gebruikers langs het Kanaal Leuven–Dijle treden er wel regelmatig tekorten op. Het betreft scheepvaart, waterbeheer in de panden (Sector O) en sectoren D en R. Hoewel in werkelijkheid doen er zich geen regelmatige tekorten voor hierlangs, dalen soms de gemeten peilen in de panden van het kanaal zodat er effectief tekorten worden veroorzaakt (Zie Figuur 72). Niettemin zijn deze tekorten minder ernstig en minder vaak dan gemodelleerde zoals te zien op Figuur 73.

De watervraag voor voeding van dit kanaal wordt berekend op basis van de watervraag en waterpeilen in de panden langs het kanaal zoals in paragraaf §3.1.6 toegelicht. Panden langs het kanaal bestaan uit sluisen op een rij die worden opgenomen in het MIKE HYDRO Basin waterallocatiemodel als *Reservoir* objecten met een normaalpeil dat gehanteerd moet worden om scheepvaartvervoer te garanderen. Alle panden op een rij zijn dus verbonden door watergebruikers die water uit het opwaartse pand onttrekken om dit in het afwaartse pand terug te lozen. De watervraag van de Sector O gebruikers wordt berekend in de macro. Als de uitstroom groter is dan de instroom wordt dit verschil opgenomen als watervraag bij de Sector O gebruiker die water voert vanuit het opwaartse pand. Als het peil in het pand meer dan 10 centimeter onder het normaalpeil ligt moet het volumeverschil als watervraag in dagelijkse kubieke meters per seconde worden berekend. Dit volume wordt in de macro berekend. Al deze benodigde debieten in het kanaal worden opgeteld en opgenomen als watervraag bij de Sector O gebruiker die voor de voeding van het gehele kanaal zorgt.

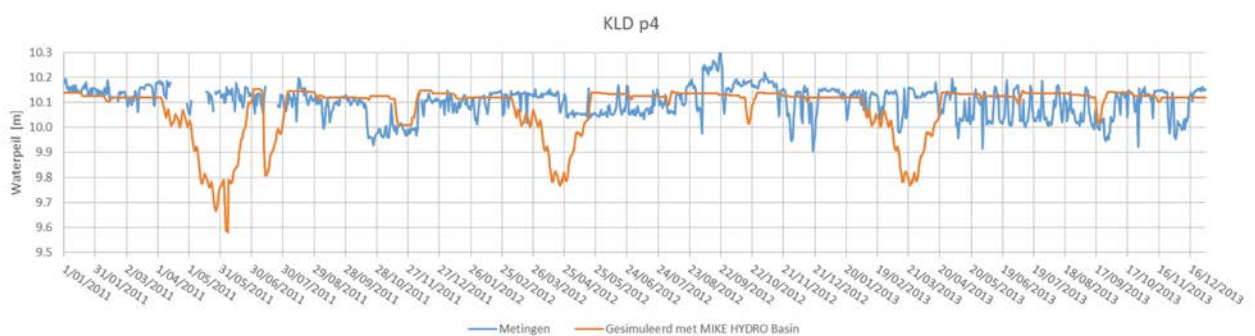
In het geval van het Kanaal Leuven Dijle wordt gemerkt dat de hydrologische afvoer gemodelleerd is soms te laag waardoor de voeding van het kanaal wordt geconfronteerd met watertekorten. Aldus watertekorten getoond langs het Kanaal Leuven Dijle worden veroorzaakt door een laag gemodelleerde hydrologische afvoer van de Dijle net opwaarts het kanaal die te wijten is aan schaarse data en de grootte van het deelbekken van de Dijle.



Figuur 71 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Dijle- en Zennebekken (1967-2013)



Figuur 72 – Gemeten en gemodelleerde waterpeilen in het meest opwaartse pand (Tildonk) van het Kanaal Leuven-Dijle

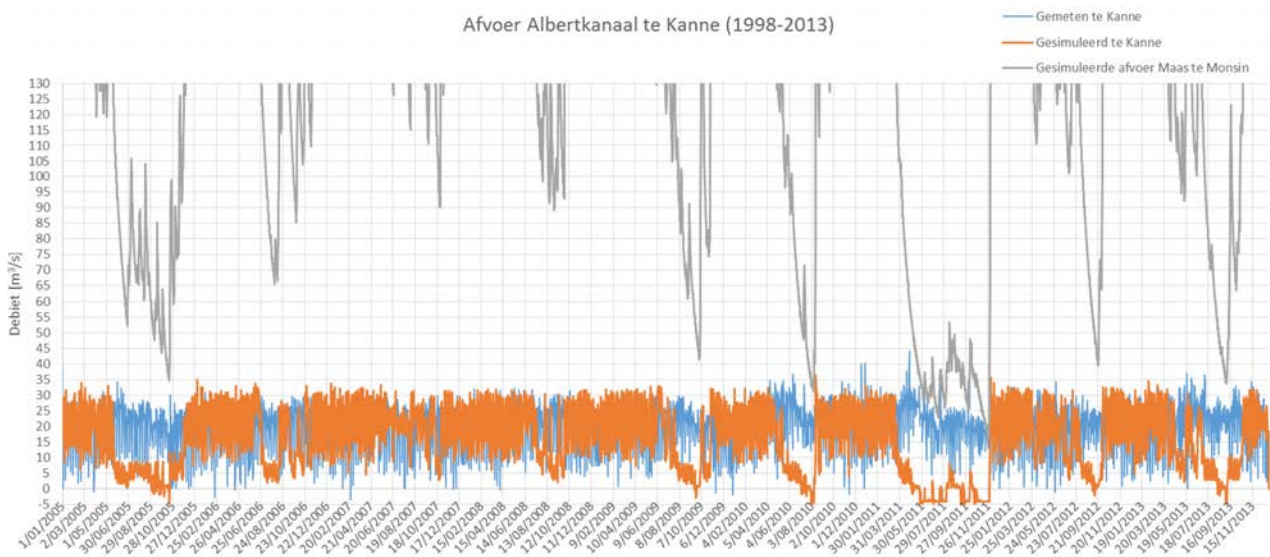


7.12 Maasbekken

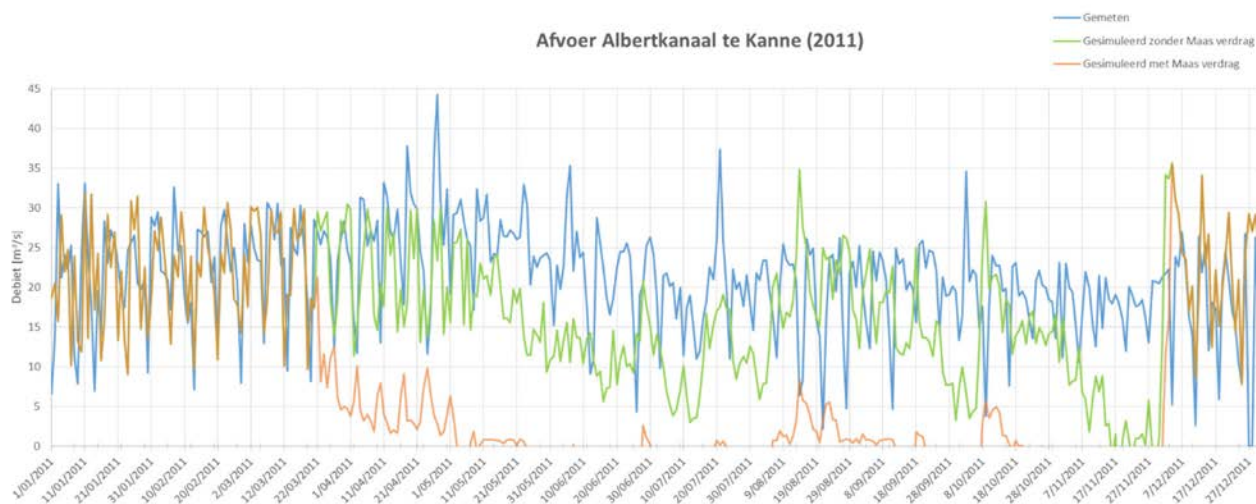
Watergebruikers in het Maasbekken die inbegrepen zijn in het waterallocatiemodel bevinden zich langs de verbinding van het Kanaal Brussel-Charleroi met de Maas, de voeding en interactie van het Albertkanaal met de Maas en de Zuid-Willemsvaart. Andere gebruikers en het overig stroomgebied van het Maasbekken zijn niet van belang voor deze studie en worden hier niet opgenomen. Onderstaand Figuur 76 toont een overzicht van de maximaal gesimuleerde tekorten voor de gebruikers langs de rivieren en kanalen in het Maasbekken.

Pompstations in de sluizen van Gosselies en Viesville langs de verbinding van het Kanaal Brussel-Charleroi met de Maas hebben regelmatig te kampen met watertekort. Er is niet genoeg water beschikbaar voor de pompen gemodelleerd om de panden constant op normaal peil te houden. Bijgevolg wordt een scheepvaartgebruiker in Gosselies ook gehinderd. In het pompstation van Gosselies wordt een watertekort van $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$ (27% relatief tekort ten opzichte van de watervraag) waargenomen dat duur maar één dag en terugkeert elke 12 á 20 dagen. In het geval van Viesville treedt een regelmatig watertekort om de andere dag op dat afwisselt van $0.86 \text{ m}^3/\text{s}$ tot maximaal $3.76 \text{ m}^3/\text{s}$ (75% relatief tekort ten opzichte van de watervraag). In het

In het Maasbekken bevindt zich ook de verdelingsknoop van de Maas naar het Albertkanaal. Tijdens lage afvoer in de Maas wordt het Maas België-Nederland verdrag toegepast (Zie §3.1.6). De regels van het verdrag zijn in de VBA macro geprogrammeerd een zijn van toepassing zodra het debiet van de Maas te Monsin onder $130 \text{ m}^3/\text{s}$ is. Deze regels worden samengevat in Tabel 2. Het werd opgemerkt niettemin dat als het verdrag letterlijk toegepast wordt in de verdelingsknoop te Monsin wordt de toevoer naar Kanne richting het Albertkanaal zwaar gehinderd en reflecteert de realiteit niet. Aldus wordt het verdrag echter niet van toepassing aangezien metingen te Kanne komen niet overeen met gemodelleerde resultaten. Onderstaande Figuur 74 toont de afloop van gemeten en gesimuleerde afvoer te Kanne als het verdrag toegepast wordt. Als het verdrag niet wordt toegepast worden debieten langs Kanne beter gemodelleerd ten opzichte van de gemeten tijdreeks tijdens lage afvoeren in de Maas. Hoewel blijven deze minder nauwkeurig tijdens lage afvoeren is de vergelijking met de metingen aanzienlijk dichter bij de realiteit (zie Figuur 75). Bijgevolg wordt er verder gesimuleerd zonder het Mass verdrag toe te passen in de verdelingsknoop te Monsin.



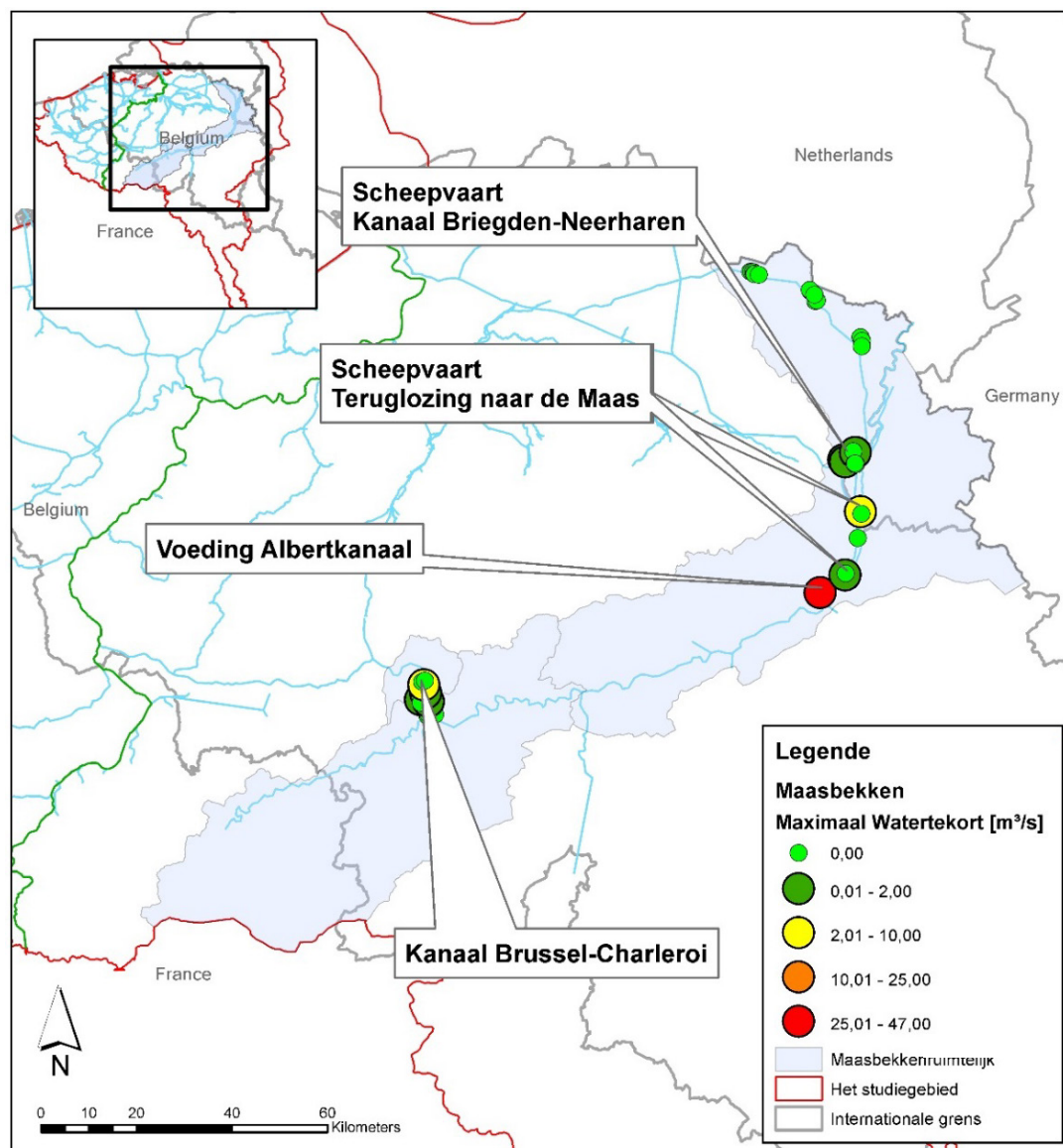
Figuur 74 – Gemeten en gesimuleerde afvoer te Kanne als het Maas verdrag toegepast wordt wanneer het debiet van de Maas te Monsin onder $130 \text{ m}^3/\text{s}$ daalt.



Figuur 75 – Gemeten en gesimuleerde afvoer langs Kanne richting het Albertkanaal als het Maas verdrag niet wordt toegepast.

Het maximaal watertekortdebit waargenomen in het waterbalansmodel behoort tot de voeding van het Albertkanaal ($46.2 \text{ m}^3/\text{s}$) tijdens de droogte van 1976 toen er veel te weinig water beschikbaar stroomde in de Maas. Afwaarts van deze voeding te Monsin wordt water terug in de Maas geloosd door scheepvaart te Monsin, Haccourt-Visé en Lanaye. Het model werd opgesteld op zo een manier dat de voeding van het Albertkanaal eerst direct naar het eerste pand stroomt en vanuit daar door watergebruikers terug wordt geloosd in de Maas. De allocatieregels voor scheepvaart van het eerste pand te Genk zijn dus van toepassing en tijdens de droogteperiodes van 1976 en 2011 worden tekorten gemodelleerd bij dezen plus scheepvaart naar het Kanaal Briegden-Neerharen.

Teruglozing naar de Maas wordt sterk beïnvloed door scheepvaart langs Lanaye met een gemiddeld debiet van $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de simulatie periode van 1967 tot 2000 werd een synthetische dagelijks tijdreeks gebruikt, met een wekelijks cyclus, en vanaf 2001 is er een gemeten tijdreeks beschikbaar. Daardoor is de modellering van de voeding van het Albertkanaal nauwkeuriger pas na het jaar 2000.



Figuur 76 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Maasbekken (1967-2013)

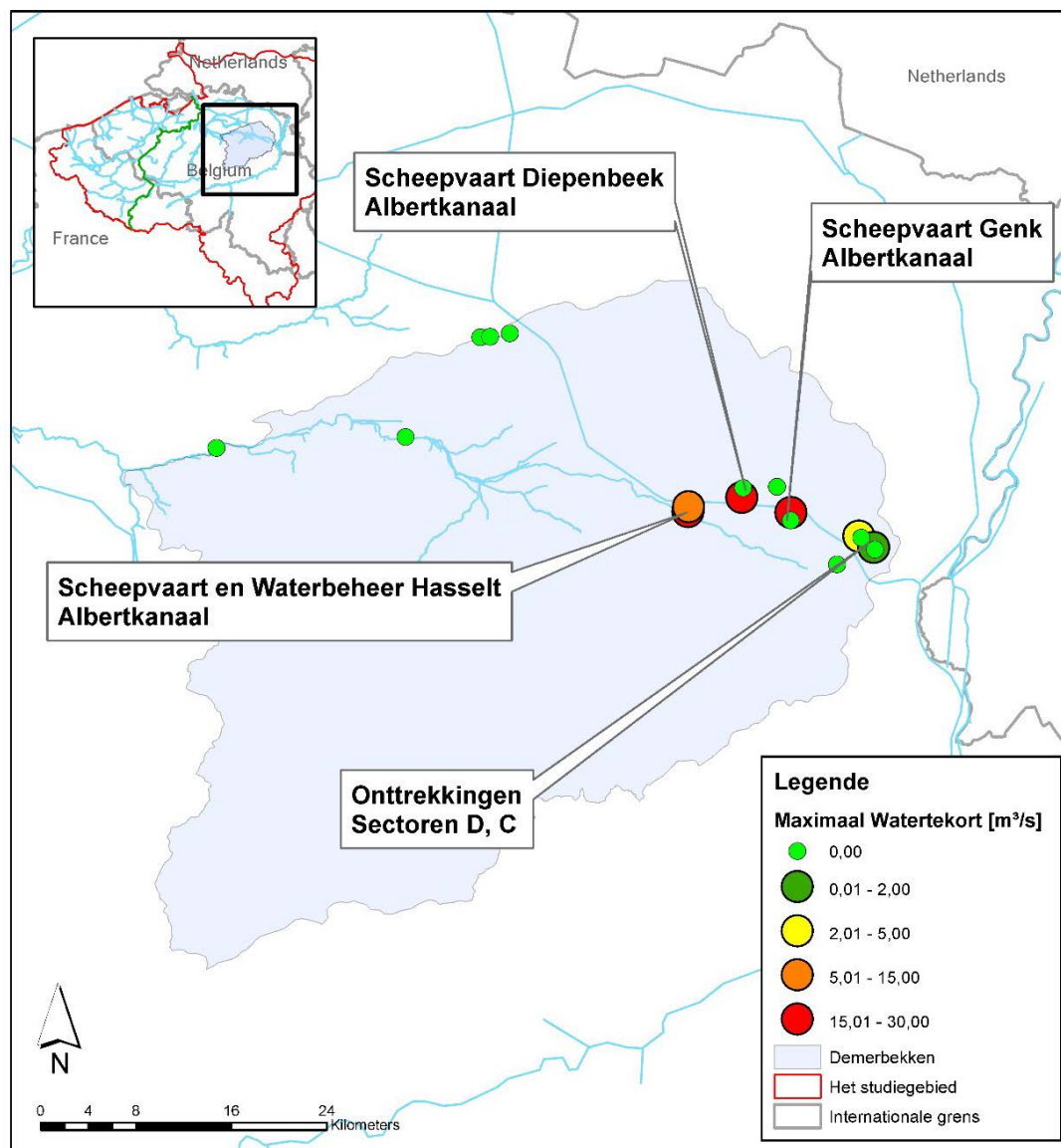
7.13 Demerbekken

Het belangrijkste gebruik van water in dit bekken gebeurt langs het Albertkanaal. Enkel gebruikers langs het Albertkanaal hebben te kampen met tekorten in het Demerbekken. Soortgelijk met gebruikers langs het Albertkanaal in het Netebekken zijn deze gebruikers afhankelijk van het afvoer van de Maas en niet van de hydrologische afvoer van de Demer. Onderstaand figuur toont een overzicht van de maximaal gesimuleerde tekorten voor de gebruikers langs de rivieren en kanalen in het Demerbekken.

Tijdens de droogteperiode van 2011 daalde het peil langs van het Albertkanaal 1 meter onder streefpeil waardoor een grote hinder werd veroorzaakt voor alle betrokken watergebruikers (Pereira et al, 2016). In de vroegere versie van het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied waren geen tekorten waargenomen bij watergebruikers langs deze waterweg (De Boeck et al, 2011). Deze versie gebruikte een gemeten tijdreeks te Kanne als voeding van het Albertkanaal en de watervraag van het jaar 2009. De huidige versie modelleert de hydrologische afvoer van de Maas, de watervraag van het Albertkanaal en de verdelingsknoop te Monsin.

Scheepvaart langs de sluis van Genk toont het hoogste tekort in dit bekken. Hier werden tekorten van boven de 20 m³/s waargenomen tijdens de droogteperiodes van 1976 en 2011. Lage peilen in het pand van Genk veroorzaakten ook tekorten in Sectoren D en C. Opmerkelijk, maar ook logisch, is dat scheepvaart- en waterbeheertekorten in het Albertkanaal minder vaak optreden in opwaartse panden. Terwijl scheepvaart in de sluis van Hasselt bijna jaarlijkse tekorten lager dan 10 m³/s toont, worden tekorten in Genk enkel in jaren van ernstige droogte waargenomen. Deze laatste wordt verder in detail besproken in §8.9.1.

Sinds enkele jaren geleden werden in de sluiscomplexen van Kwaadmechelen en Olen (Netebekken) pompinstallaties aangelegd die het Albertkanaal op peil houden bij waterschaarste en groene stroom genereren bij wateroverschot. Dankzij de speciale pompen kan een diepgangbeperking vermeden worden. Die beperking wordt opgelegd bij lage waterstanden en betekent concreet dat binnenschippers alleen maar het water op mogen met sterk verminderde vracht. Soortgelijk installaties worden ook op de overige sluizen van het Albertkanaal, Genk, Diepenbeek, Hasselt en Wijnegem, gebouwd. Aangezien deze pompinstallaties na de simulatie periode erbij komen zijn deze niet in de huidige versie van het model opgenomen.

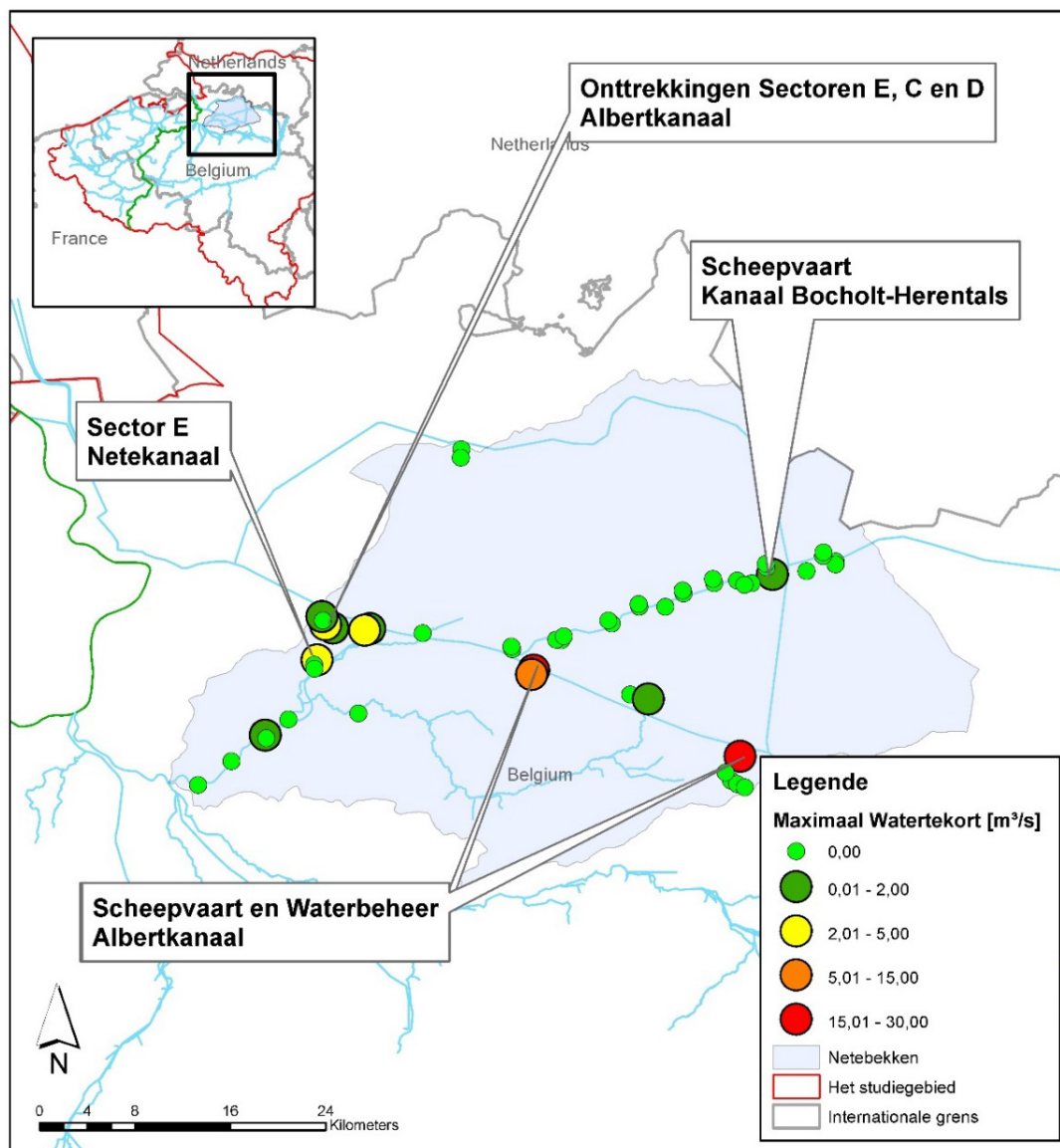


Figuur 77 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Demerbekken (1967-2013)

7.14 Netebekken

Gebruikers in de waterwegen en kanalen van het Netebekken zijn eerder afhankelijk van de voeding van het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart uit de Maas en niet van de hydrologische afvoer van de Nete. Onderstaand Figuur 78 toont een overzicht van de maximale gesimuleerde tekorten voor de gebruikers langs de rivieren en kanalen in het Netebekken. Grote tekorten worden waargenomen langs het Albertkanaal met maximale waarden boven de 20 m³/s te wijten aan de hoge watervraag van scheepvaart in dit kanaal. Deze tekorten treden bijna elk jaar op voornamelijk tijdens lage afvoer aan de Maas. Niettemin duren ze niet lang (één of een paar dagen) en blijven meestal onder de 15 m³/s met de uitzonderingen van droogte in 1971, 1976 en 2011.

Het bijna jaarlijks beperkte aanbod aan de Maas van voeding voor het Albertkanaal maakt dalende waterpeilen hierlangs, wat tekorten veroorzaakt bij andere gebruikers. Waterbeheer (Sector O) toont ook hoge tekorten, te wijten aan dubbele cijfers, negatieve nettostroom in panden. Deze wordt zijn watervraag zoals geprogrammeerd in de VBA macro (Zie §3.1.6). Onttrekkingen van sectoren E (Edrink Waterlink), C en D zowel als voeding en scheepvaart naar het Netekanaal vanuit het Albertkanaal worden ook gehinderd. Scheepvaart van het Kanaal Bocholt Herentals heeft ook te kampen met tekort als gevolg van tekorten langs het Albertkanaal door het verbindingskanaal tussen Dessel en Kwaadmechelen. Zoals in de vorige paragraaf (§7.13) beschreven worden in deze simulatie de nieuwe pompen van Olen en Kwaadmechelen niet opgenomen. Deze bieden een oplossing aan tegen hoge watertekorten in het Albertkanaal.



Figuur 78 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor de gebruikers in het Netebekken (1967-2013)

7.15 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt een analyse van watertekort toestanden per bekken uitgevoerd. Op deze manier kan een meer gedetailleerd beeld van knelpunten in het waterstelsel van het Scheldestroomgebied worden voorgesteld op basis van hydrografische eenheden. Het voordeel van deze analyse ligt op de mogelijkheid om gevoelige bekkens te kunnen identificeren. Eerst werden overzichtelijk kaarten voorgesteld op regionaal niveau. Hoewel kunnen hier gevoelige bekkens geïdentificeerd worden, zijn de toegewezen waarden per bekken gemiddeld waardoor detail van het watergebruik per bekken verloren gaat. Bijgevolg wordt het noodzakelijk om watergebruikers per bekken individueel te analyseren.

In deze analyse wordt nogmaals geconcludeerd dat vooraanstaande knelpunten in het watersysteem zijn het Kanaal Gent Terneuzen en het Albertkanaal. De bekken waarin deze kanalen doorkruisen bevatten ook de hoogste watertekorten. Het hoogste waargenomen watertekort in de simulatie periode (1967-2013) gebeurt in het Maasbekken bij de voeding van het Albertkanaal te Monsin. Het belangrijkste conclusie van deze analyse is dat het NL-BE verdrag omtrent toegestane Vlaams gebruik van water van de Maas om het Albertkanaal en de Kempische kanalen te voeden niet wordt nageleefd. Metingen van debiet langs Kanne richting het Albertkanaal bevestigen deze conclusie. Aldus wordt het verder gemodelleerd zonder de VBA macro hiervoor opgesteld.

De onlangs gebouwd en aan het bouwen pompinstallaties voor alle sluiscomplexen langs het Albertkanaal zullen de tekorten hierlangs helpen vermijden. Aangezien de sterke invloed deze zullen hebben op de afvoer van deze waterweg wordt het aanbevolen dat ze worden geïnventariseerd en toegevoegd in een toekomstige versie van het waterbalansmodel in MIKE HYDRO Basin.

In het Kanaal Gent Terneuzen wordt ook gemerkt dat het NL-BE verdrag omtrent minimum debiet naar de sluizen van Terneuzen is tijdens lage afvoer periodes niet nageleefd. De nieuwe versie van het waterbalansmodel berekent deze watervraag op basis van scheepvaart gebruik en het verdrag op een nauwkeuriger manier dan de vroegere versie. Bespreking en analyse van de resultaten van het Kanaal Gent Terneuzen wordt verder uitgebreid in Waterbeschikbaarheid per Pand (§8.5.1).

Onderstaande Tabel 8 vat resultaten uit de analyse per bekken samen.

Tabel 8 – Samenvatting van de resultaten uit de analyse per bekken voor de simulatie periode 1967-2013

	Aantal watergebruikers	Aantal watergebruikers met watertekort	% gebruikers met watertekort	Gemiddeld watertekort in het bekken (m ³ /s)	Maximaal watertekort in het bekken (m ³ /s)	Gemiddelde duur van watertekort (dagen)	Maximale duur van watertekort (dagen)
IJzerbekken	9	1	11.11	0.007	0.978	1.28	30
Bekken van de Brugse Polders	6	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0
Aabekken	3	2	66.67	0.352	2.276	1.44	1346
Leiebekken	47	5	10.64	0.007	1.268	1.54	147
Bekken van de Gentse Kanalen	35	13	37.14	0.111	11.221	8.53	154
Bovenscheldebekken	56	9	16.07	0.048	3.000	15.01	97
Benendenschelde	62	9	14.52	0.179	18.426	20.41	250
Denderbekken	13	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0
Dijle- en Zennebekken	69	17	24.64	0.020	4.165	8.39	199
Maasbekken	41	8	19.51	0.189	31.231	9.70	160
Demerbekken	17	4	23.53	0.657	23.015	15.34	89
Netebekken	55	11	20.00	0.600	27.006	3.83	146

8 Waterbeschikbaarheid per Pand

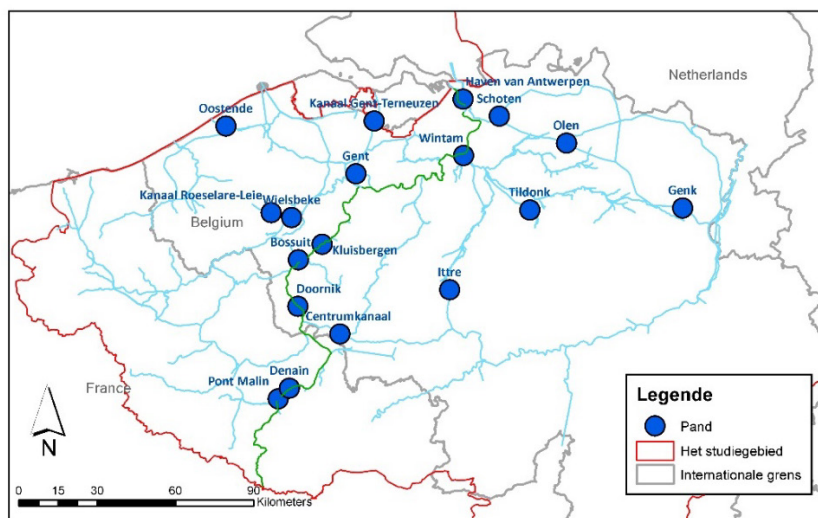
8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt watergebruik gesimuleerd met MIKE HYDRO Basin per pand geanalyseerd. Panden ontstaan voornamelijk door sluizen langs kanalen in het studiegebied. Elk pand wordt dan een reservoir waar het volume, aangaande met de lengte, breedte en streefpeil van trajecten tussen sluizen in een kanaal, wordt toegewezen. Aldus hebben panden een opslag en een streefpeil die bepalen de waterbeschikbaarheid.

De Python Post processing tool (Zie §3.4) maakt het mogelijk om verschillende figuren op te maken voor een beter begrip van tekorten en beschikbaarheid in alle panden die van belang worden beschouwd. Deze figuren worden opgemaakt voor panden die met enkele gebruikers verbonden zijn. Opslag capaciteit van elk pand wordt niet inbegrepen in de berekeningen van deze figuren. Aldus zijn deze gebaseerd op nettostroom in elk pand. In andere woorden zijn deze figuren een analyse van afvoer en watervraag per pand.

De Post processing tool levert drie soort figuren op om watergebruik per pand te analyseren. Watervraag en water beschikbaarheid in het pand kunnen worden vergeleken voor de hele periode zowel als per jaar of jaren van belang. Als er zich watertekorten voordoen in een pand kunnen deze soortgelijk worden gevisualiseerd. Daarenboven wordt een afvoerduurlijn opgemaakt met dagelijks, wekelijks en jaarlijkse aggregatie van resultaten (zie §3.4.2) gevisualiseerd met drempels van maximum, gemiddelde en minimum watervraag in het pand van gebruiker die water uit elk pand onttrekken. Deze analyse laat toe zien hoe waterbeschikbaarheid per pand staat tegenover de watervraag gedurende de simulatie periode van 1967-2013. De resultaten van deze simulatie worden gepresenteerd voor een publiek van deskundigen die direct betrokken zijn bij watervoorzieningsproblemen in Vlaanderen.

Wegens de grote schaal van de modellering van de huidige watervraag op regionaal niveau, worden alleen de meest relevante panden hieronder gerapporteerd, voor een nauwkeuriger en gedetailleerde analyses is beter om gebruik te maken van de verwerkte output-resultaten die ter beschikking kunnen gesteld worden door het Waterbouwkundig Laboratorium. Deze waren gekozen op basis van gevoeligheid van het watergebruik en vertegenwoordiging van de belangrijkste waterlopen. Figuur 79 bevat alle gekanaliseerde panden die opgenomen worden in dit hoofdstuk. Enkel wekelijks aggregatie van de resultaten wordt in dit hoofdstuk aangetoond om een meer overzichtelijk beeld van beschikbaarheid en watertekorten voor te stellen. Afvoerduurlijnen vergelijken alle drie aggregaties. Alle panden zijn gegroepeerd overeenkomstig met deelbekkens.



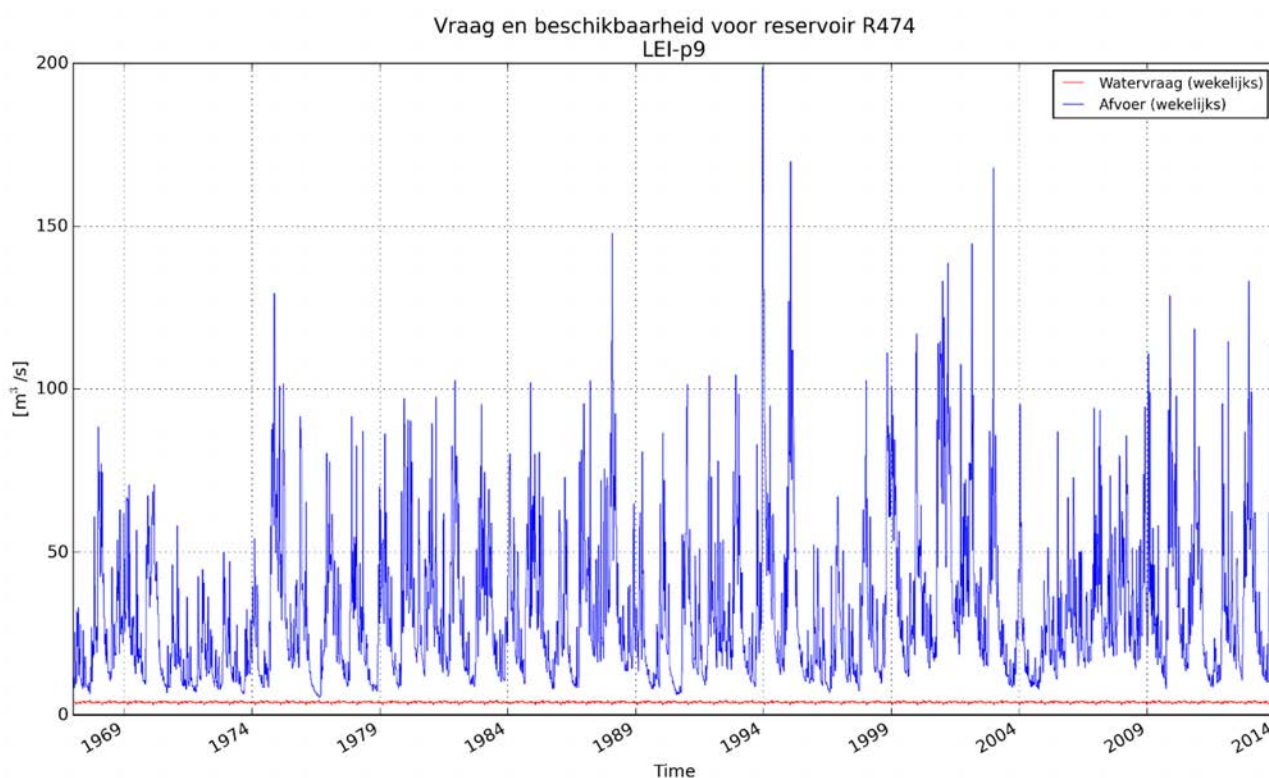
Figuur 79 – Locatie van alle panden opgenomen in de analyse van waterbeschikbaarheid per pand

8.2 Leie

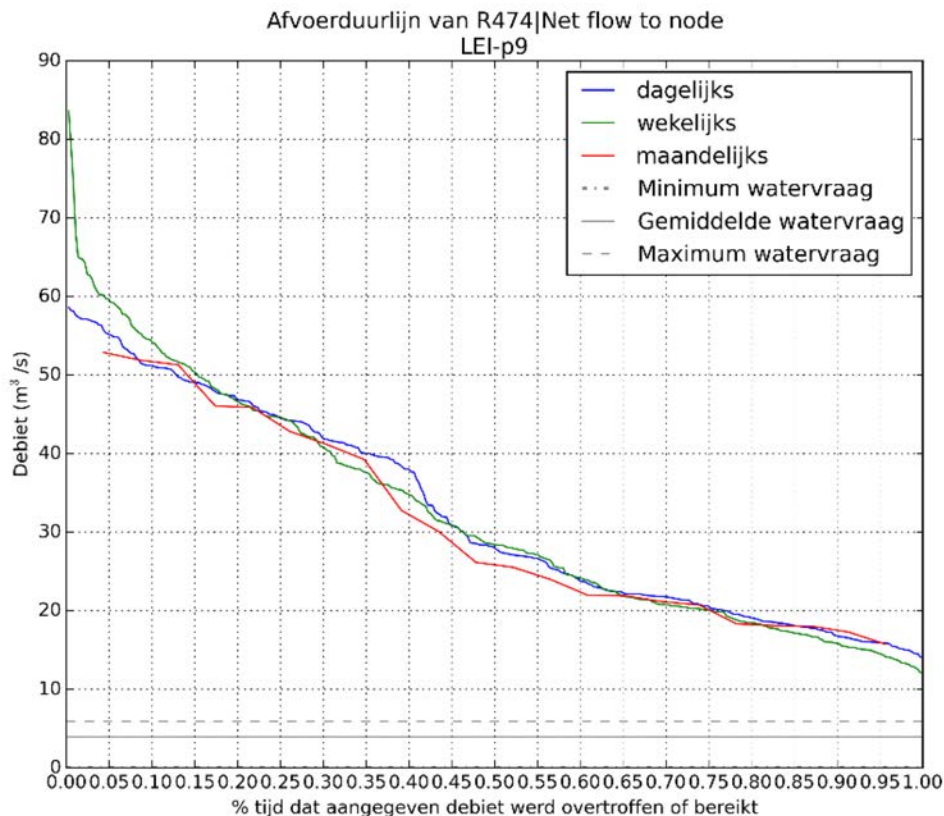
8.2.1 Wielsbeke

De Leie vloeit samen met de Schelde in Gent en wordt opwaarts verdeeld in negen panden in het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel overeenkomstig met de locatie van sluizen langs deze waterweg. Het meest afwaartse pand (LEI-p9) is gelegen te Wielsbeke waar een sluis net afwaarts de uitmonding van het Kanaal Roeselare-Leie zich bevindt. Apart van scheepvaart wordt water vanuit dit pand in de sluis te Wielsbeke onttrokken door watergebruiker *W814* of Pomp Ooigem. Pomp Ooigem treedt op als het peil in het Kanaal Roeselare-Leie onder een drempel zakt. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 80 toont de wekelijkse afvoer en watervraag van dit pand waar de beschikbaarheid wordt nooit overtroffen gedurende de simulatie periode van 1967 tot 2013. Aldus worden er geen watertekorten gemodelleerd in dit pand. Niettemin werd het pand dichtbij tot tekorten gedrongen tijdens het droogte van 1976. De afvoerduurlijn op Figuur 81 toont dat voor dagelijks tot wekelijks en maandelijks geaggregeerde resultaten worden de maximale en gemiddelde watervraag drempels altijd overtroffen in de simulatie periode.



Figuur 80 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Wielsbeke (LEI-p9) in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 81 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Wielsbeke (LEI-p9) en watervraag drempels

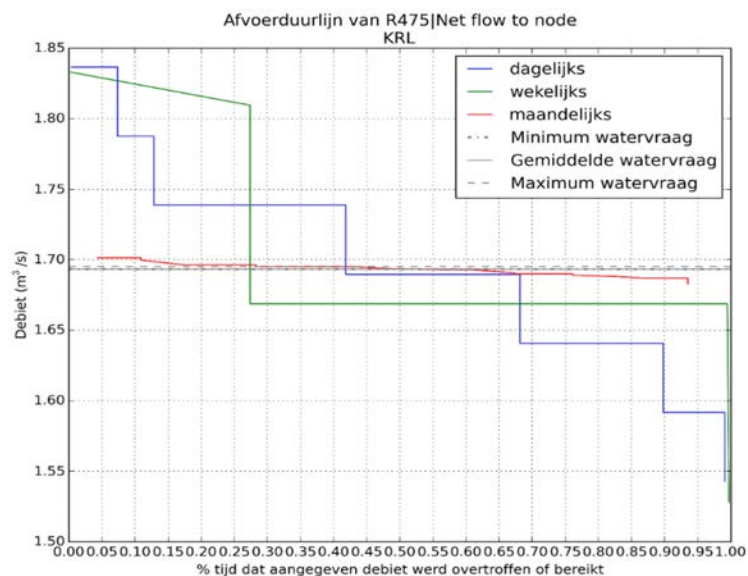
8.2.2 Kanaal Roeselare-Leie

Het Kanaal Roeselare-Leie verbindt Roeselare en Izegem met de Leie. Een sluis bevindt zich net opwaarts zijn uitmonding in de Leie in gemeente Wielsbeke waardoor een enkel pand ontstaat en word gemodelleerd in het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel. Meerdere gebruikers, onder andere industrie en drinkwater, onttrekken water vanuit dit pand. Het Kanaal Roeselare-Leie wordt in kleine mate gevoed door terug lozingen van industrie maar voornamelijk door Pomp Ooigem. Pomp Ooigem optreedt als het peil in het Kanaal Roeselare-Leie onder een drempel zakt. Deze teruglozing wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 82 toont de wekelijks geaggregeerde resultaten van watervraag en –beschikbaarheid in het Kanaal Roeselare-Leie. Opmerkelijk wordt hier getoond dat de waterbeschikbaarheid elk jaar lange periodes overtroffen wordt door de watervraag met de uitzondering van enkele pieken in de waterbeschikbaarheid. In werkelijkheid is deze een dagelijkse oscillatie die wordt verwijderd door de aggregatie van resultaten. Dit gedrag is te wijten aan de werking van Pomp Ooigem die het pand voedt wat ook merkbaar is bij de afvoerduurlijnen op Figuur 83. Niettemin doen er zich geen tekorten voor op dit pand gedurende de simulatieperiode van 1967 tot 2013 als gevolg van de werking van Pomp Ooigem die zorgt om het peil van het pand te houden (aldus de watervraag hiervan te voldoen gebruikmakend van de opslagcapaciteit in het pand). Bovendien neemt deze geen tekorten op bij zijn onttrekkingspunt in het pand van de sluis van Wielsbeke aan de Leie (zie §8.2.1).



Figuur 82 – Watervraag en -beschikbaarheid in het Kanaal Roeselare-Leie (KRL) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 83 – Afvoerduurlijn voor debiet in het Kanaal Roeselare-Leie (KRL) en watervraag drempels

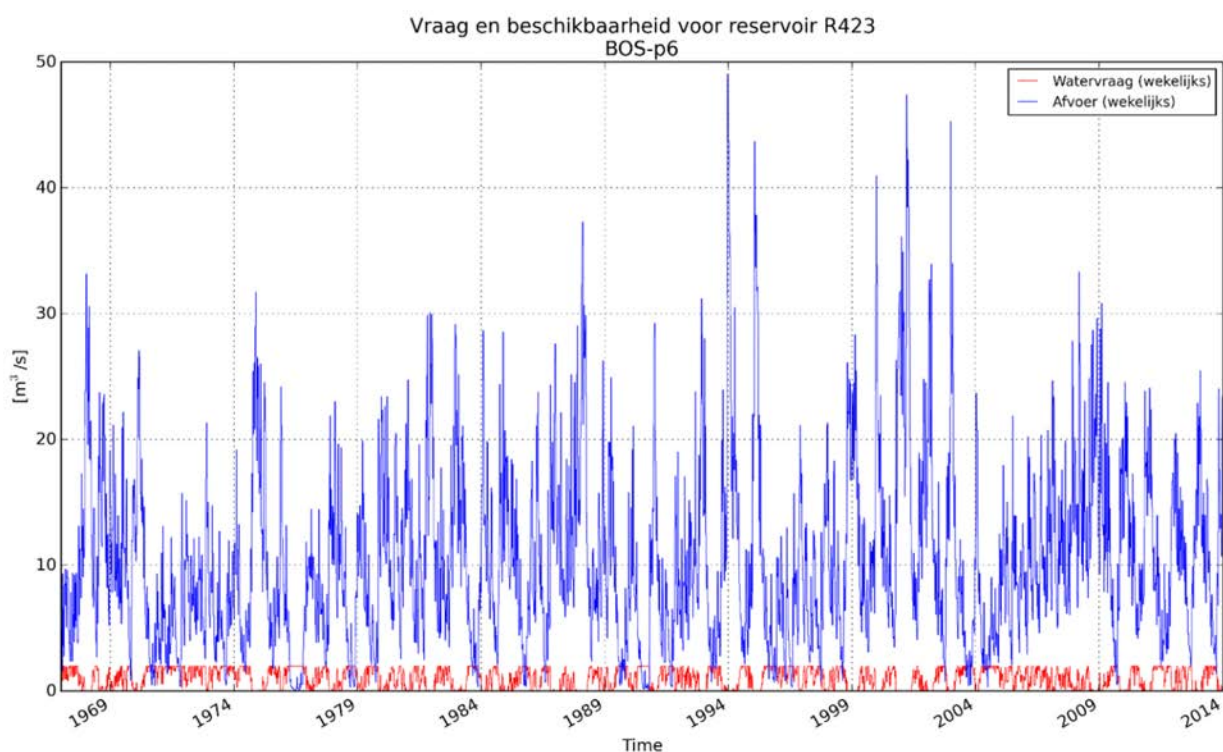
8.3 Bovenschelde

8.3.1 Denain

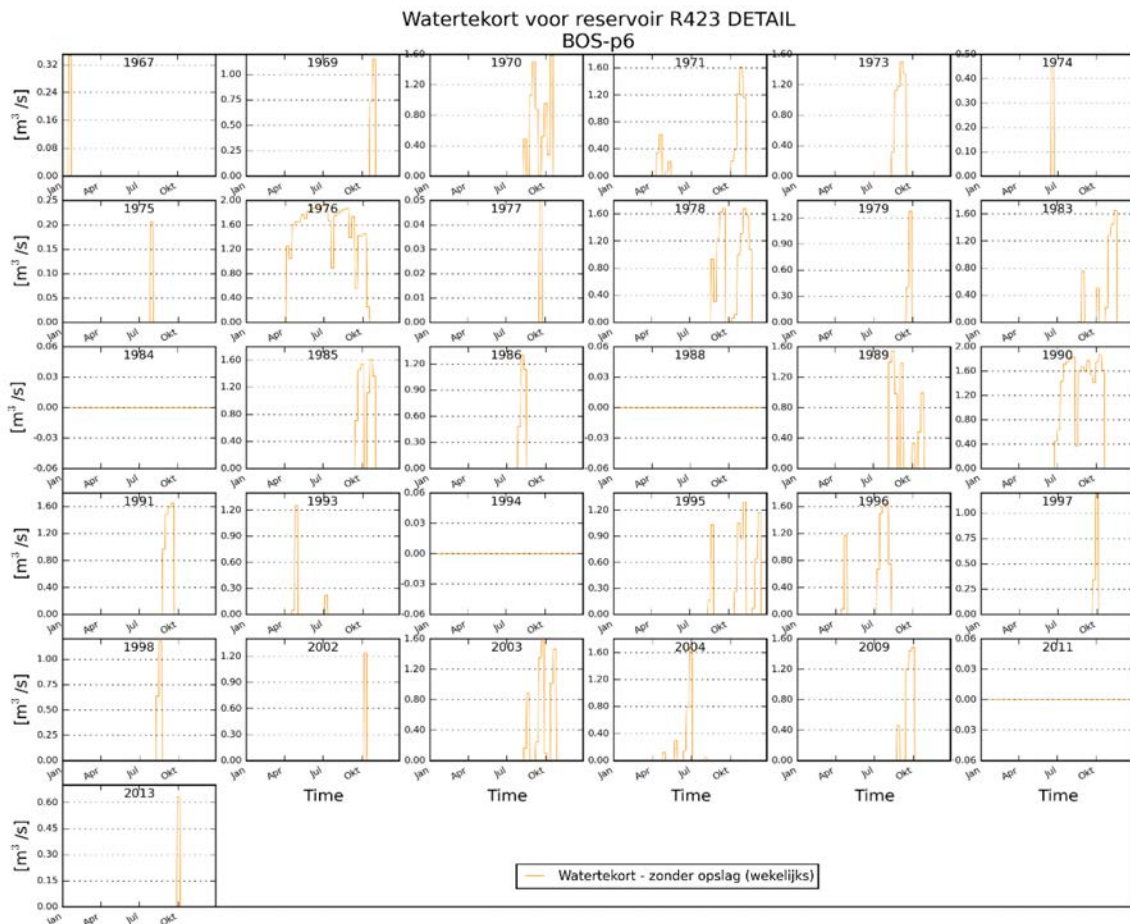
De sluis van Denain in Frankrijk vormt de zesde pand (BOS-p6) van de Bovenschelde in het MIKE HYDRO Basin model. Apart van scheepvaart wordt water vanuit hier onttrokken door watergebruiker *W1090* of Pomp Pont Malin. Pomp Pont Malin treedt op als het peil in het opwaartse pand (Pont Malin) onder een drempel zakt. De maximale debiet hiervan is $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 84 laat zien dat Pomp Pont Malin op regelmatige wijze optreedt hoewel zijn watervraag niet altijd bediend wordt door het pand in Denain. Het is logisch dat de watervraag hoog zal zijn tijdens droogte periodes aangezien Pomp Pont Malin het opwaarts pand moet opvullen. Bijgevolg worden watertekorten opgenomen in de sluis van Denain in verschillende jaren in beeld gebracht op Figuur 85. Niettemin overtreffen watertekorten niet de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ drempel in de simulatieperiode van 1967 tot 2013. Ernstige jaren wat tekorten betreft zijn 1976 en 1990.

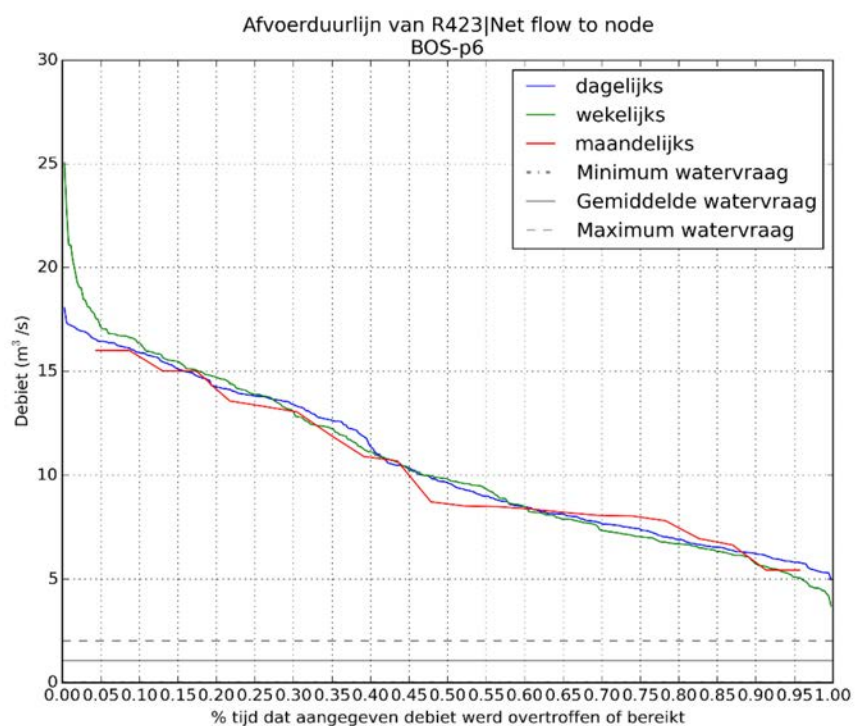
De afvoerduurlijn op Figuur 86 toont dat zowel dagelijkse als geaggregeerde debieten (wekelijks en maandelijks) de watervraag-drempels meer dan 95% van de tijd overtreffen gedurende de simulatieperiode. Aldus worden watertekorten in de sluis van Denain beperkt.



Figuur 84 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Denain voor de simulatie periode 1967-2013



Figuur 85 – Wekelijks geaggregeerde watertekorten in de sluis van Denain (1967-2013)

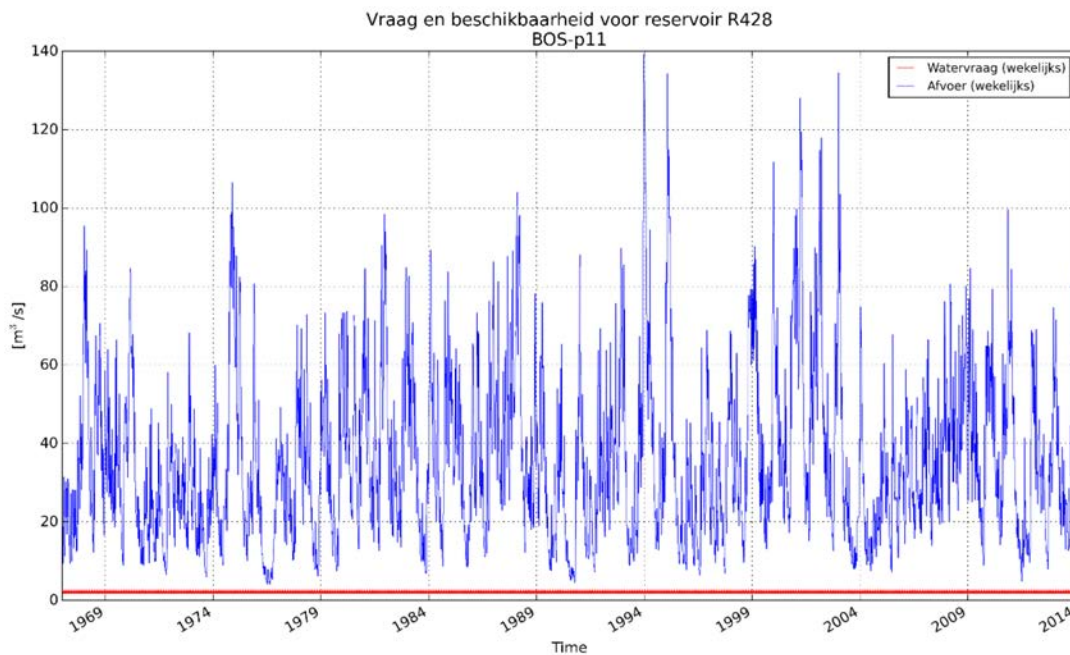


Figuur 86 – Afvoerdurlijn voor debiet in de sluis van Denain en watervraag drempels

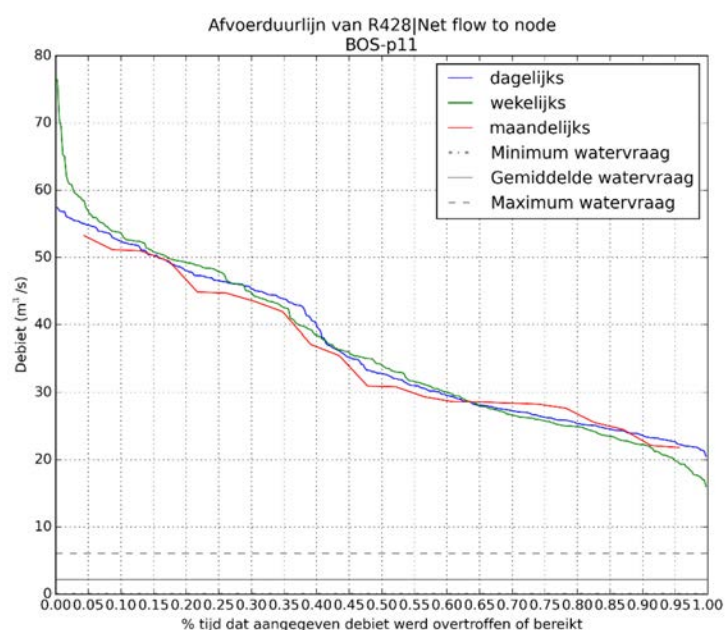
8.3.2 Doornik (Tournai)

Net afwaarts Doornik in de Bovenschelde bevindt zich de sluis van Kain die het elfde pand langs deze waterweg vormt (BOS-p11). Naast scheepvaart wordt water hieruit onttrokken door watergebruiker W940 of Pomp Peronnes. Het Kanaal Nimy-Blaton-Peronnes vloeit samen met de Bovenschelde opwaarts van Doornik te Peronnes. Pomp Peronnes treedt op als het peil in het opwaartse pand langs het Kanaal Nimy-Blaton-Peronnes (Peronnes) onder een drempel zakt. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 87 en Figuur 88 tonen dat er geen situaties van tekort optreden in de sluis van Kain.



Figuur 87 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Kain (BOS-p11) voor de simulatie periode 1967-2013

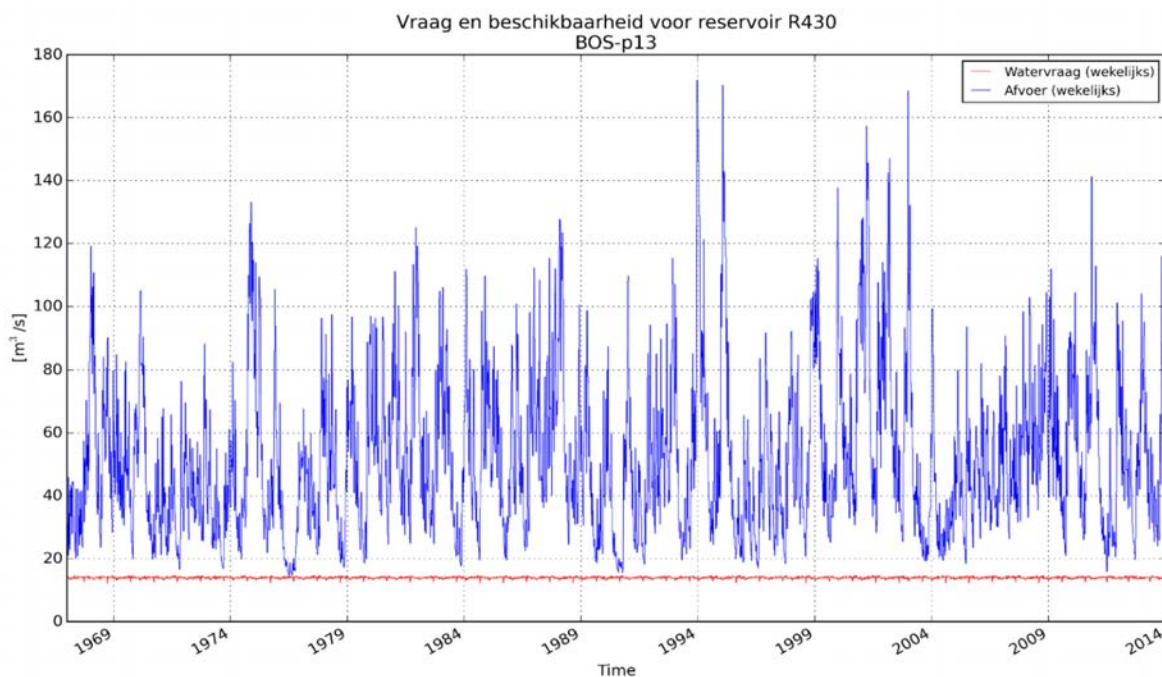


Figuur 88 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Kain (BOS-p11) en watervraag drempels

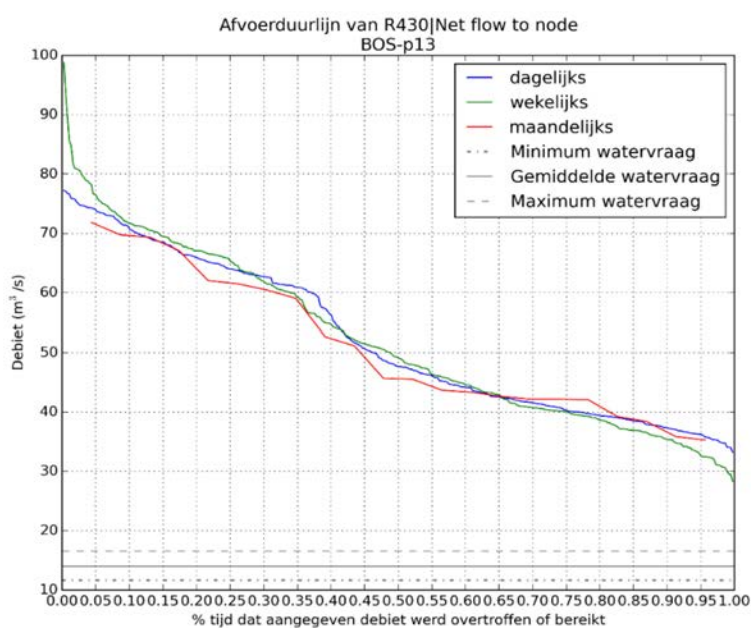
8.3.3 Kluisbergen

Een sluis bevindt zich te Kluisbergen bij Berchem in de Bovenschelde en vormt het dertiende pand hierlangs (BOS-p13). Scheepvaart en een kerncentrale onttrekken water uit dit pand. Hoewel de kerncentrale de voornaamste gebruiker is (11 m³/s) loost deze al het water terug net opwaarts van deze sluis. Water uit dit pand wordt ook onttrokken door watergebruiker W811 of Pomp Bossuit om het peil in het eerst opwaartse pand langs het Kanaal Bossuit-Kortrijk op streefpeil te houden. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 89 en Figuur 90 tonen dat er geen situaties van tekort optreden in de sluis te Berchem



Figuur 89 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis te Berchem (BOS-p13) voor de simulatie periode 1967-2013

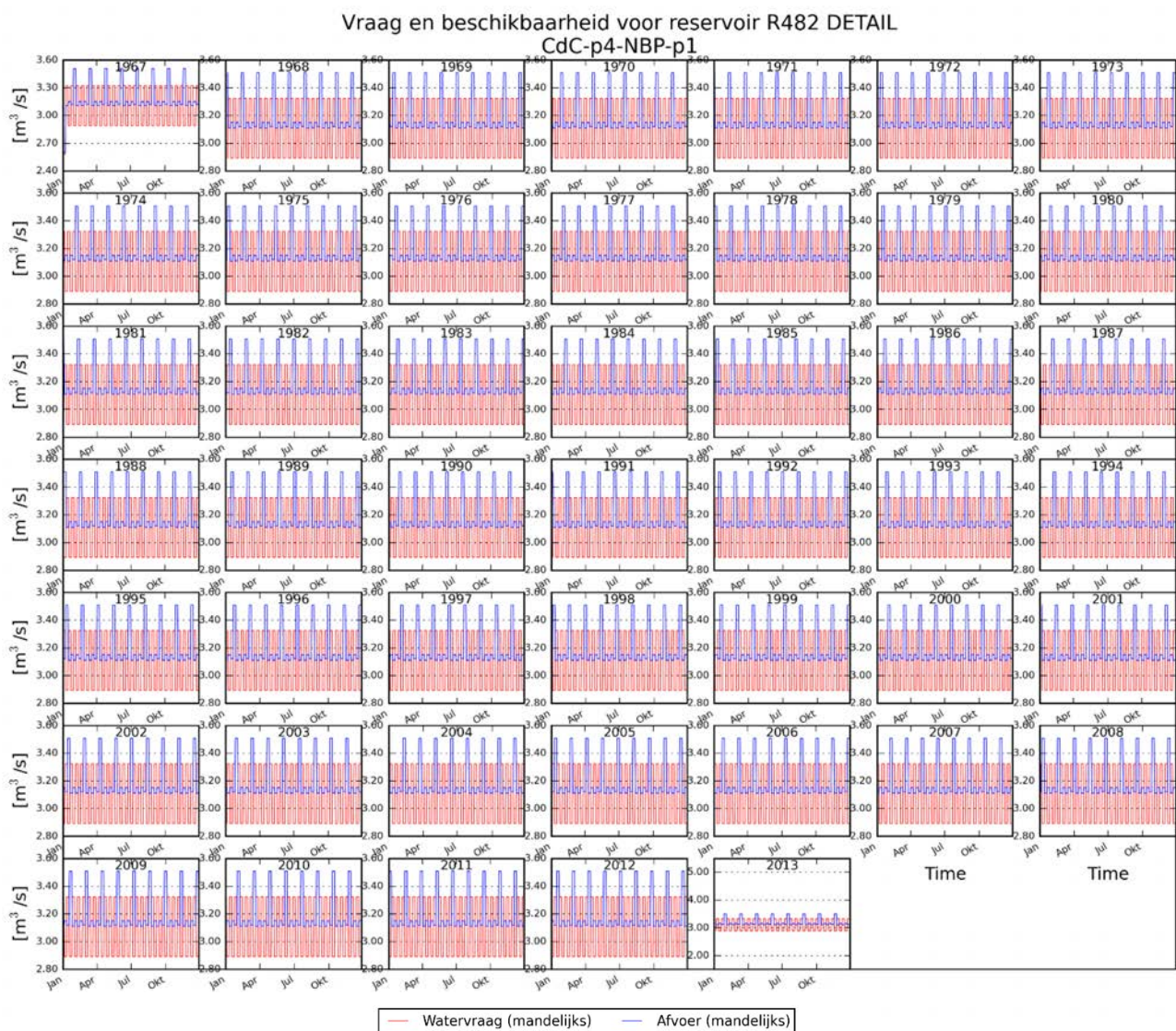


Figuur 90 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Berchem (BOS-p13) en watervraag drempels

8.3.4 Canal du Centre

Het Canal du Centre (Centrumkanaal) verbindt het Kanaal Brussel-Charleroi met het Kanaal Nimy-Blaton-Peronnes. Er bevinden hierlangs een aantal sluizen zich inclusief de scheepslift van Strépy-Thieu die het scheepvaartbelang van deze waterweg bewijzen. Zodoende wordt dit kanaal voorgesteld met vier panden in het MIKE HYDRO Basin model. Langs het laatste pand (CdC-p4) wordt, naast scheepwater, water onttrokken door industrie en Pomp Obourg. Deze laatste houdt het peil in het eerste opwaartse pand langs het Canal du Centre (CdC-p3) op streefpeil. Het Kanaal Nimy-Blaton-Peronnes en het Canal Hensies-Pommeroeul (CPC) beginnen afwaarts CdC-p4 en worden gevoed door scheepvaart langs het Canal du Centre.

Figuur 91 toont de maandelijks geaggregeerde watervraag en beschikbaarheid in het laatste pand langs het Canal du Centre.

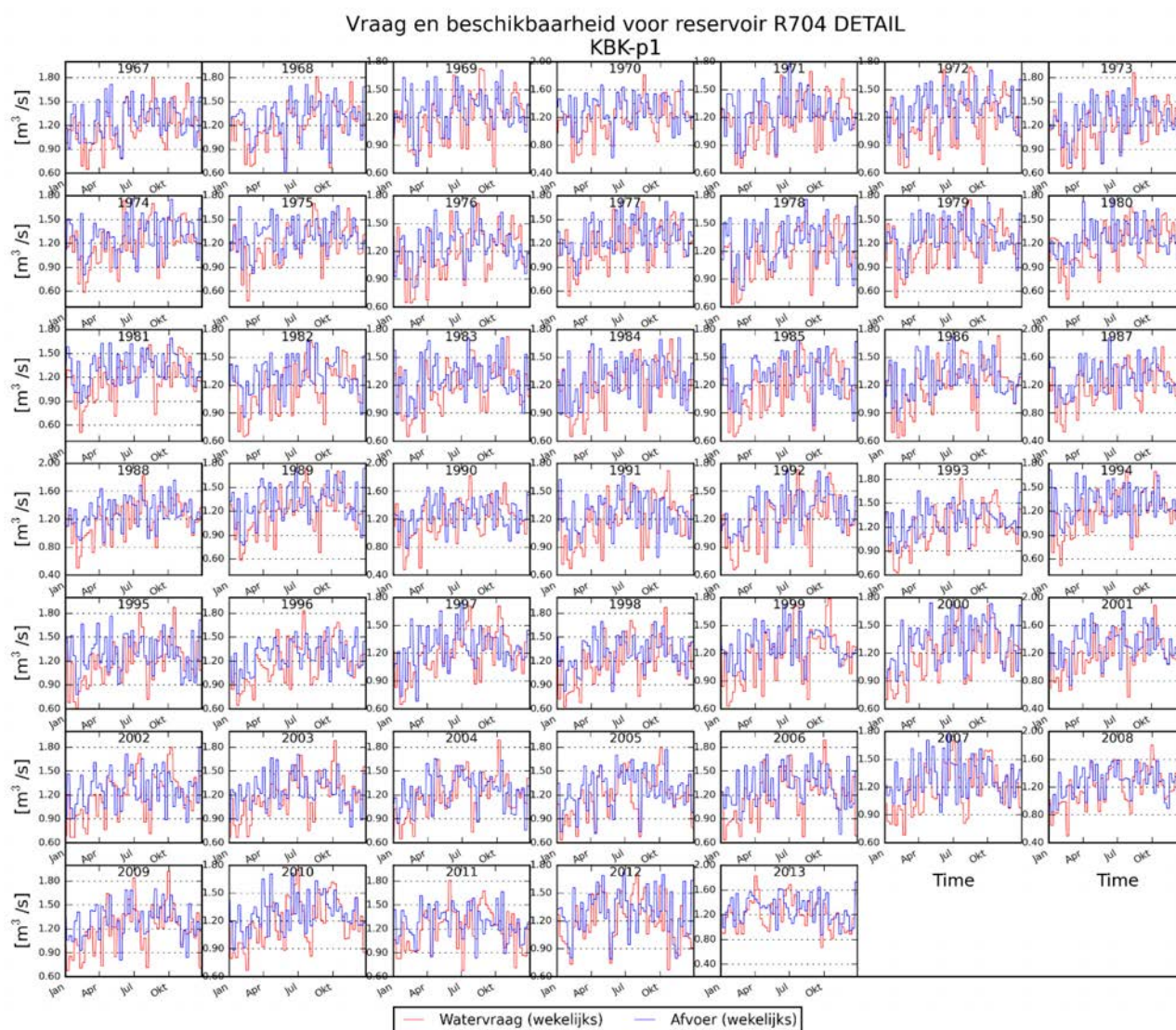


Figuur 91 – Watervraag en -beschikbaarheid in het laatste pand van het Canal du Centre
getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013

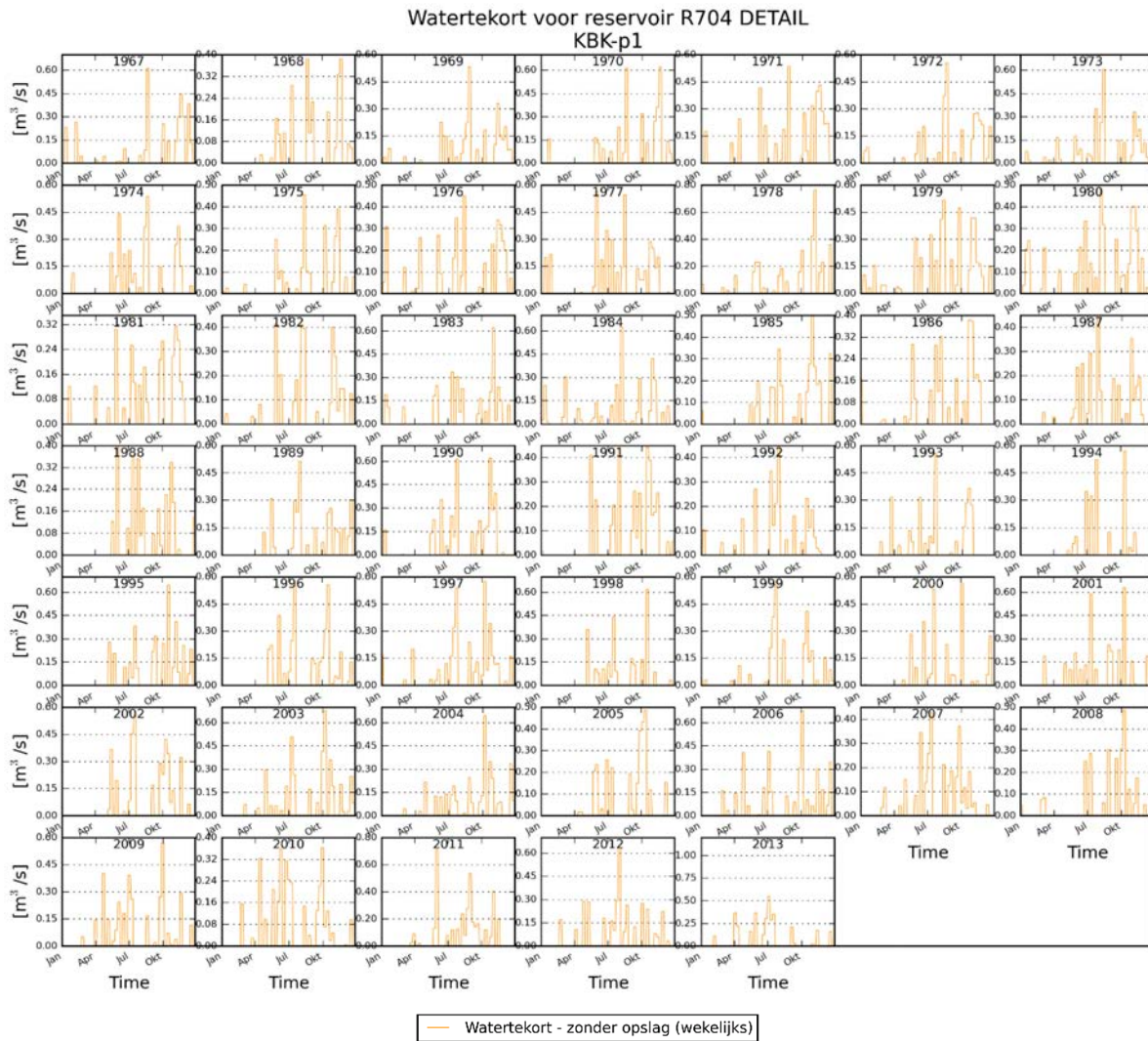
8.3.5 Bossuit

Het zuidoostelijke deel van het Kanaal Bossuit-Kortrijk wordt gevoed door pompen vanuit de Bovenschelde en wordt grotendeels terug in deze rivier afgevoerd te Bossuit. De panden die ontstaan door de sluisen van Bossuit en Moen in dit kanaal behoren dus tot de Bovenschelde. Naast scheepvaart wordt water vanuit het pand in de sluis te Bossuit (KBK-p1) onttrokken door watergebruiker W858 of Pomp Moen. Pomp Moen treedt op als het peil in het opwaartse pand langs het Kanaal Bossuit-Kortrijk (Moen/KBK-p2) onder een drempel zakt. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

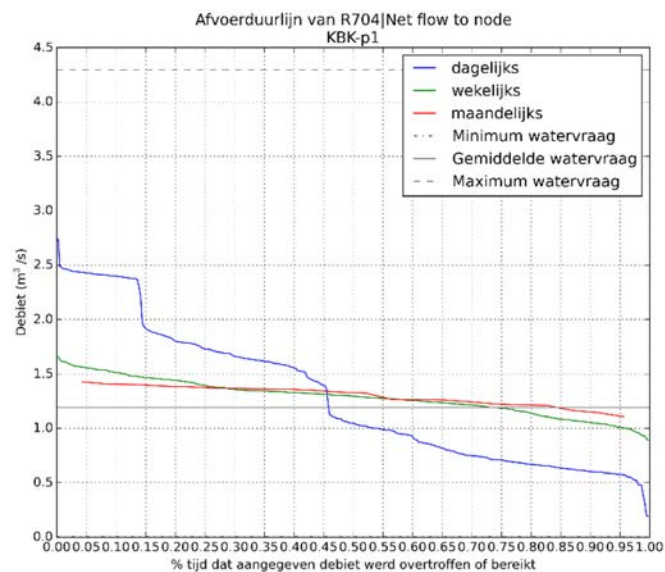
Figuur 92 toont de waterbeschikbaarheid ten opzichte van de watervraag in elk jaar van de simulatie van 1967 tot 2013. Deze figuur toont duidelijk aan dat er elk jaar tekorten optreden. Figuur 93 toont op dezelfde manier deze tekorten per jaar in de simulatieperiode. De afvoerduurlijn voor dit pand wordt in beeld gebracht op Figuur 94 en toont een merkbaar verschil tussen dagelijks tot wekelijks en maandelijks geaggregeerde resultaten. Terwijl bij dagelijkse resultaten de afvoer lager is dan de gemiddelde watervraag in het pand gedurende 55% van de simulatieperiode is deze bij geaggregeerde resultaten maar 30%. Dat is te wijten aan de programmatie van de pompen die pas in de volgende tijdstap optreden, in dit geval de volgende dag, hoewel dat in werkelijkheid gebeurt op het moment dat het pand onder een drempel zakt in echte tijd.



Figuur 92 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Bossuit (KBK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 93 – Watertekorten in de sluis van Bossuit (KBK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013

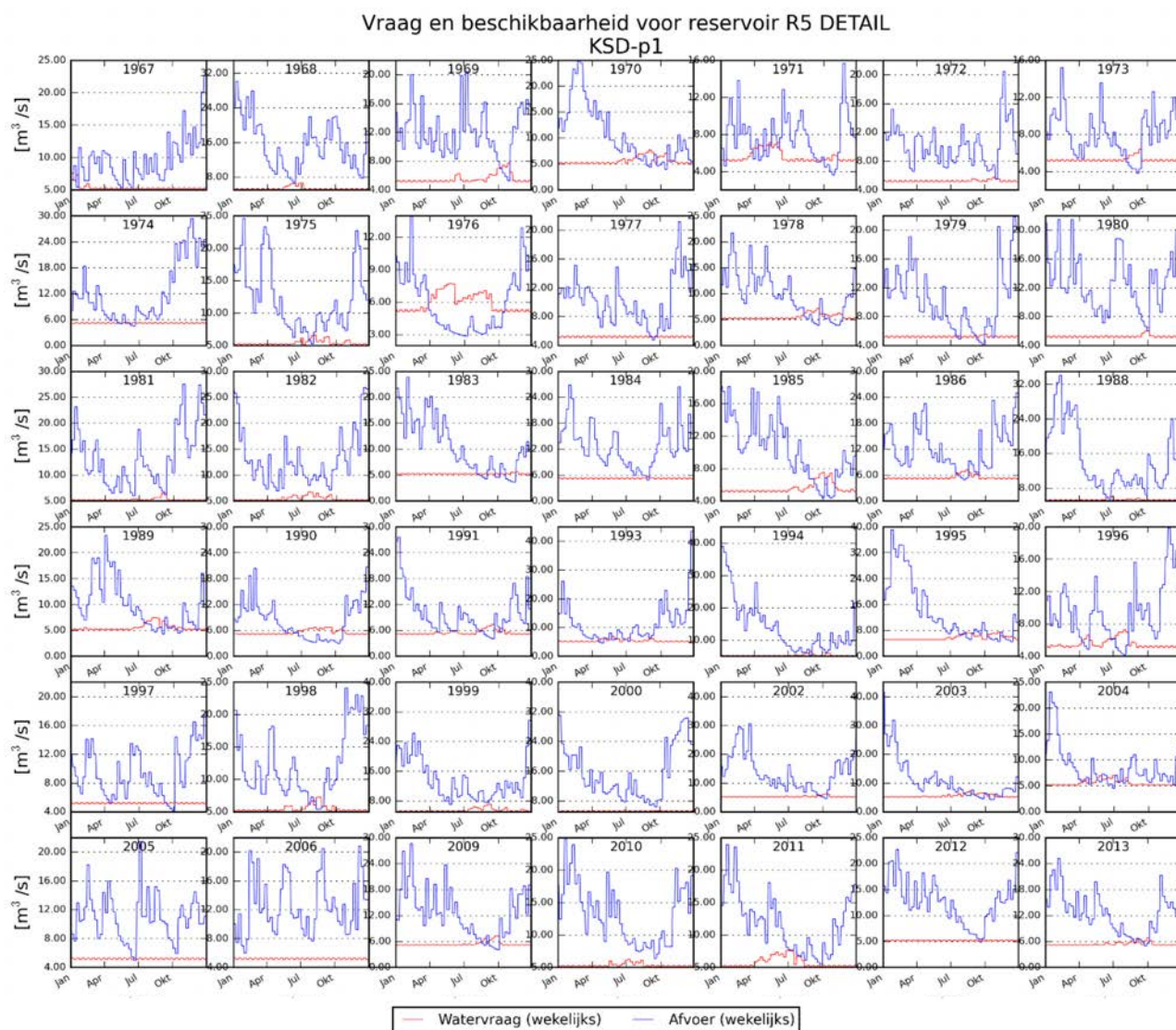


Figuur 94 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Bossuit (KBK-p1) en watervraag drempels

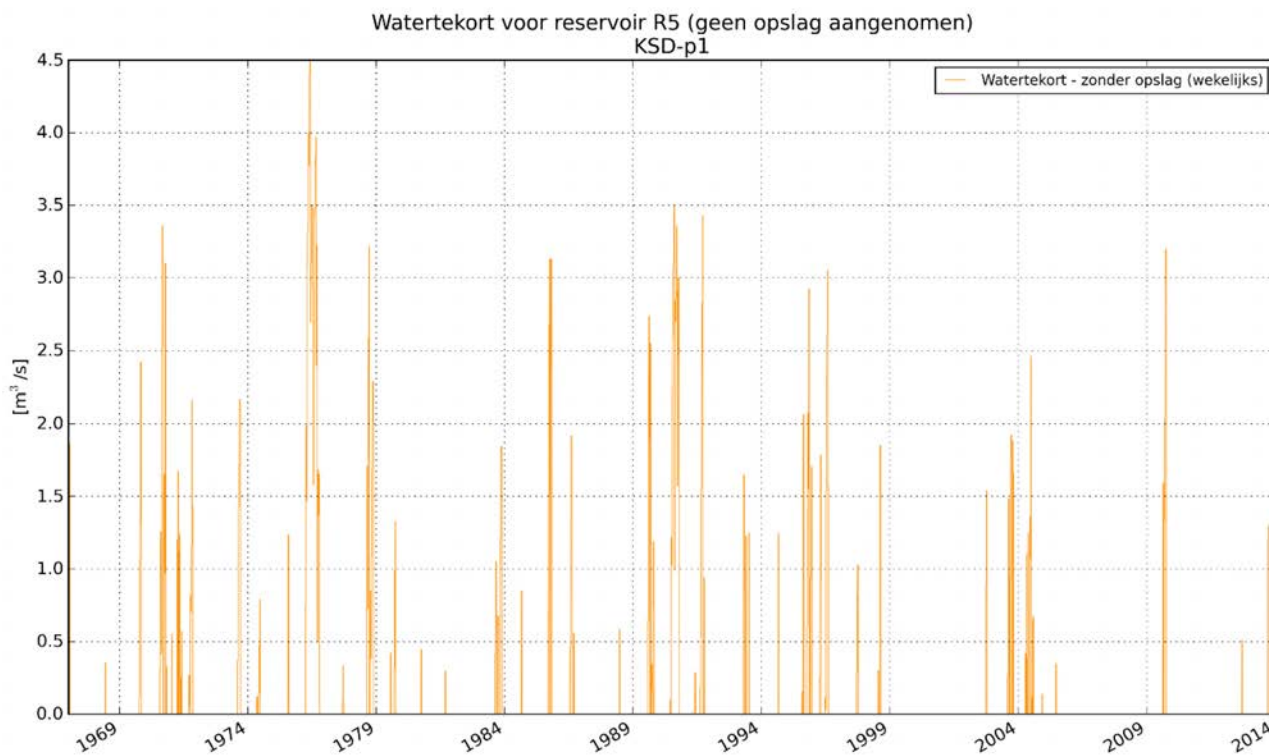
8.3.6 Pont Malin

De sluis te Pont Malin bevindt zich langs de Bovenschelde opwaarts Denain in Frankrijk. Naast scheepvaart wordt er water vanuit het pand in de sluis te Pont Malin (KSD-p1) onttrokken door watergebruiker W972 of Pomp Palluel. Pomp Palluel treedt op als het peil in het opwaartse pand langs het Kanaal Schelde-Duinkerke (Palluel/KSD-p2) onder een drempel zakt. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

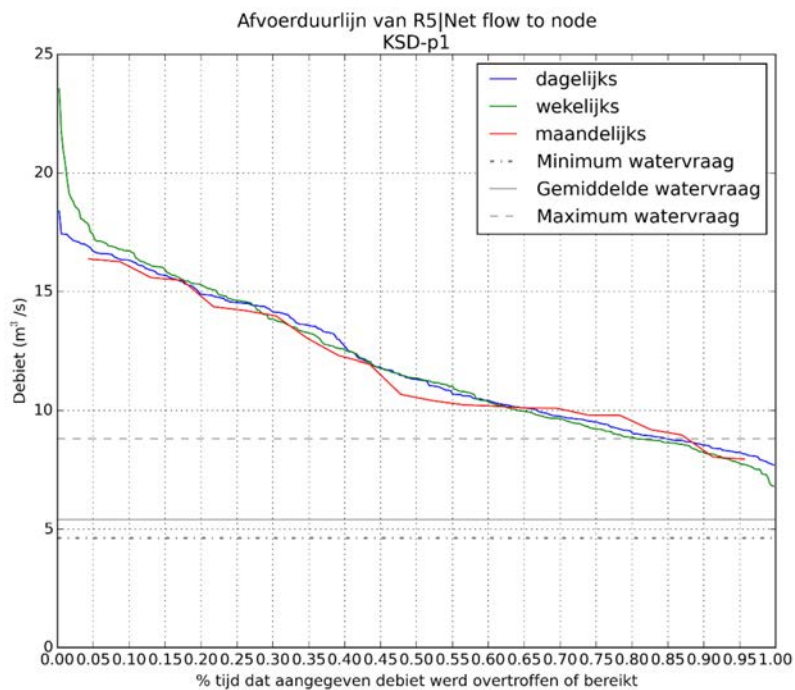
Figuur 95 toont de waterbeschikbaarheid ten opzichte van de watervraag in elk jaar van de simulatie van 1967 tot 2013. Hoewel tekorten gedurende meerdere jaren optreden worden deze aanzienlijk ernstig tijdens droge jaren zoals 1976 en 1990. Opmerkelijk is ook dat de watervraag stijgt tijdens droge periodes wat te wijten is aan de werking van Pomp Palluel. Opgenomen tekorten geaggregeerd per week worden in beeld gebracht op Figuur 96. De afvoerduurlijn op Figuur 97 toont dat voor dagelijks tot wekelijks en maandelijks geaggregeerde debieten de maximale watervraagdrempel overtroffen wordt gedurende 80% of meer van de simulatie periode.



Figuur 95 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Pont Malin (KSD-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 96 – Watertekorten in de sluis van Pont Malin (KSD-p1) voor de simulatie periode 1967-2013

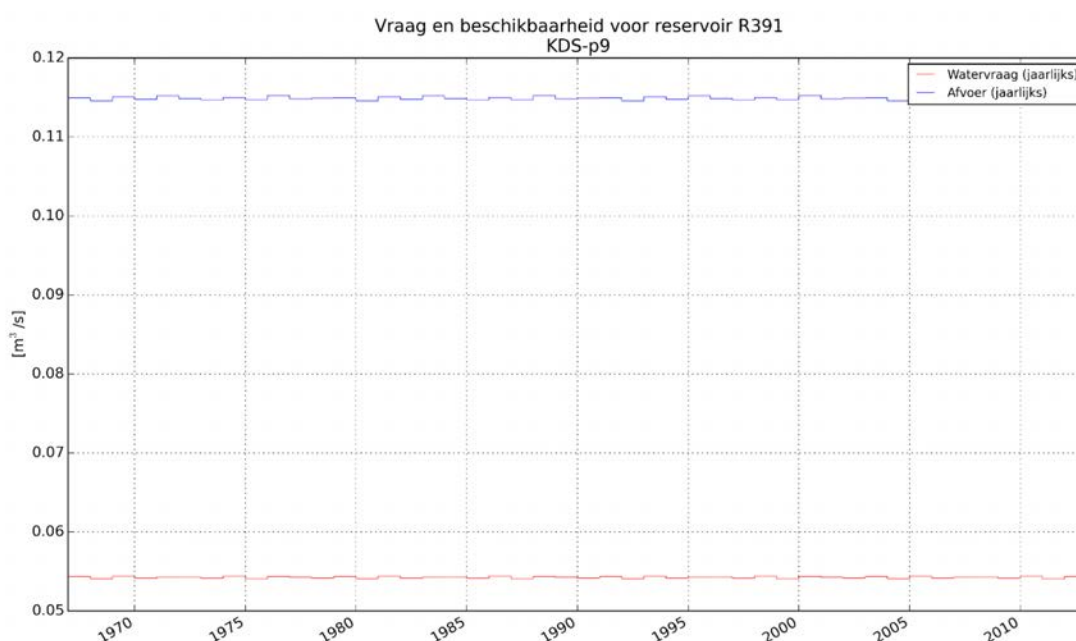


Figuur 97 – Afvoerdurlijn voor debiet in de sluis te Pont Malin (KSD-p1) en watervraag drempels

8.4 Benedenschelde

8.4.1 Schoten

Het Kanaal Dessel-Schoten kruist het noordelijke deel van de Kempen vanaf Dessel uit het Kanaal Bocholt-Herentals tot Schoten. Langs Schoten bevinden zich twee sluizen waardoor de laatste twee panden van dit kanaal ontstaan. Het Kanaal Dessel-Schoten wordt gevoed door het Kanaal Bocholt-Herentals dat water onttrekt vanuit de Zuid-Willemsvaart. De Zuid-Willemsvaart wordt gevoed door de Maas te Maastricht. Het Kanaal Dessel-Schoten bevat weinig watergebruikers zijnde scheepvaart en waterbeheer de voornaamste gebruikers langs elk pand. Figuur 98 toont dat er voldoende water wordt gestuurd langs het Kanaal Dessel-Schoten zodat geen tekorten worden opgenomen in het voorlaatste pand van dit kanaal te Schoten.



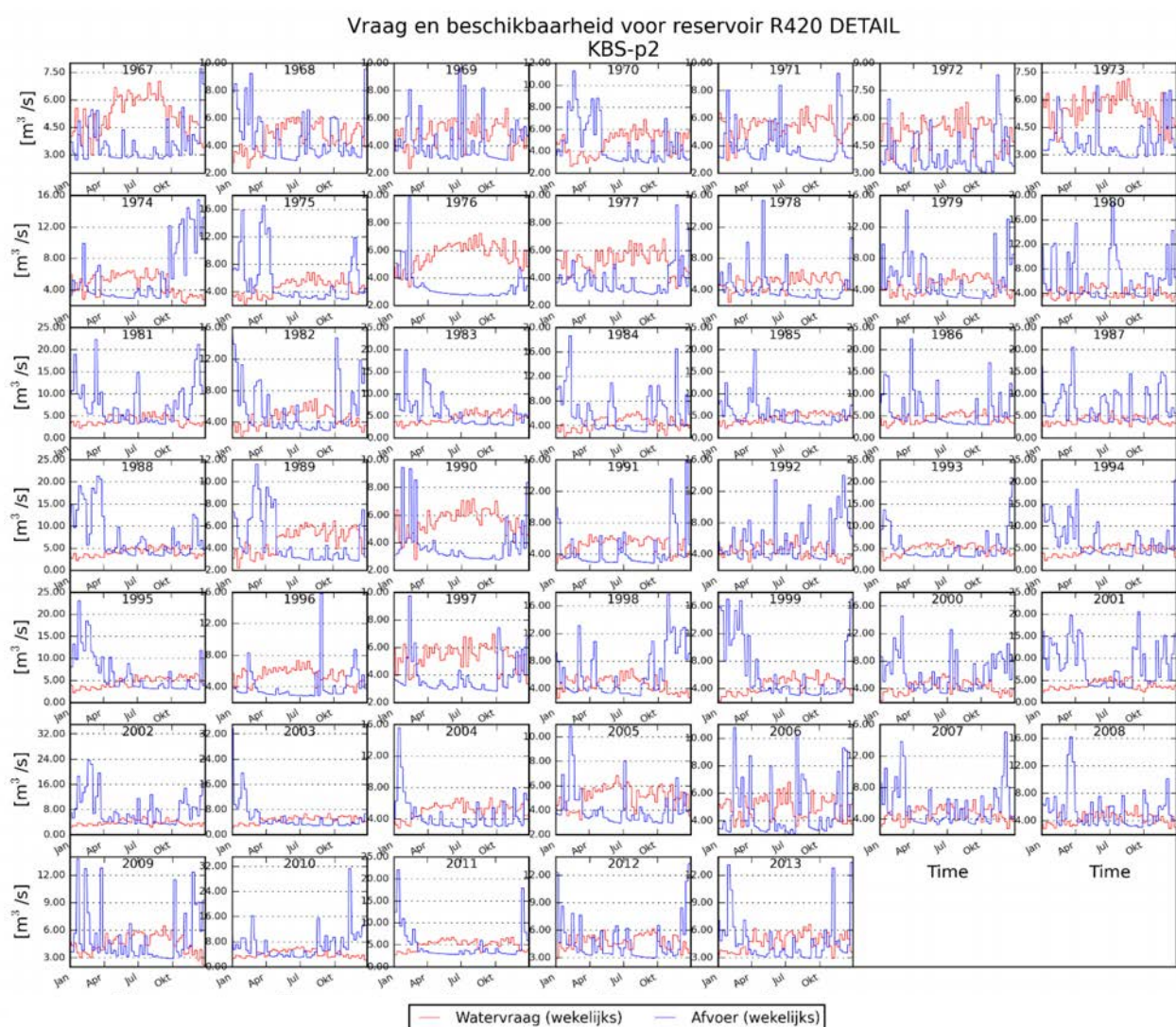
Figuur 98 – Watervraag en waterbeschikbaarheid in de opwaartse sluis van Schoten (KDS-p9) voor de simulatie periode 1967 -2013.

8.4.2 Wintam

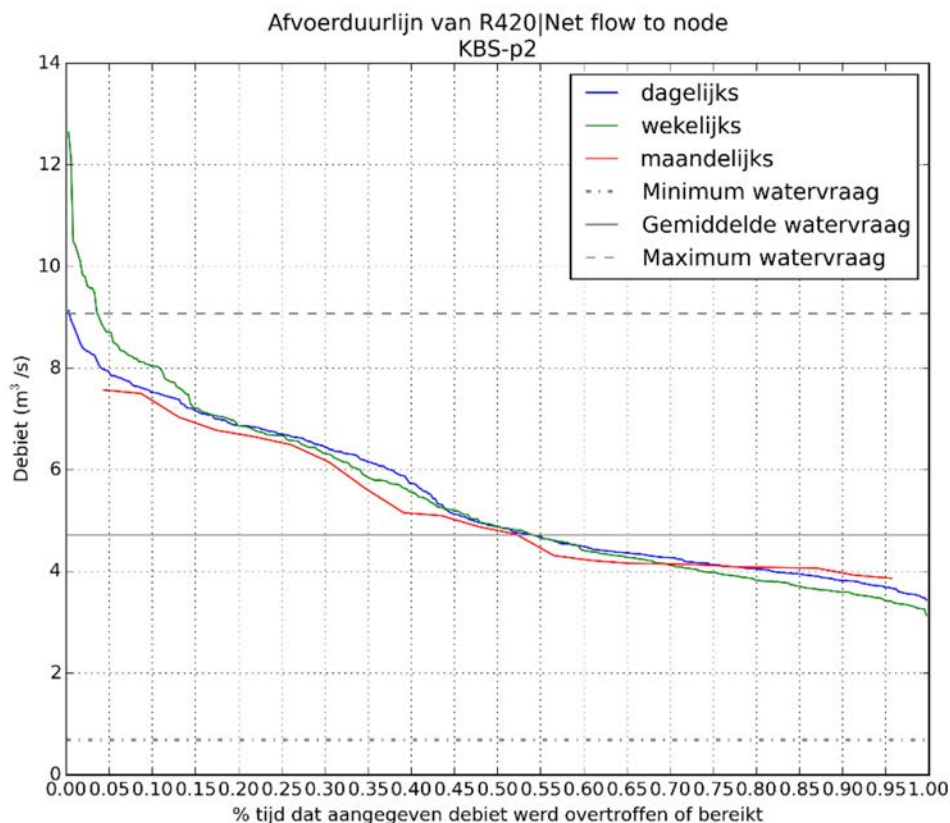
Het Kanaal Brussel-Schelde vormt een belangrijke waterweg als noord-zuid verbinding tussen Brussel en de Zeeschelde. Een sluis bevindt zich te Wintam en vormt het meest afwaartse pand in dit kanaal (KBS-p2). Water wordt onttrokken door verschillende gebruikers in dit pand. Onder andere industrie, groot- & detailhandel en, vanzelfsprekend, scheepvaart. Scheepvaartverkeer hierlangs wordt druk met een watervraag die de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ overtreft. Daarenboven wordt water vanuit dit pand in de sluis te Wintam (KBS-p2) onttrokken door watergebruiker W1038 of Pomp Zemst. Pomp Zemst treedt op als het peil in het opwaartse pand langs het Kanaal Brussel-Schelde (Zemst/KBS-p1) onder een drempel zakt. Deze watervraag wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 99 toont de waterbeschikbaarheid ten opzichte van de watervraag in elk jaar van de simulatie van 1967 tot 2013. Hoewel tekorten optreden gedurende meerdere jaren worden deze zeer ernstig tijdens droge jaren zoals 1976, 1990, 1996, 1997 en 2011. Opmerkelijk is ook dat de watervraag stijgt tijdens droge periodes wat te wijten is aan de werking van Pomp Zemst. De afvoerduurlijn op Figuur 100 toont dat voor dagelijkse resultaten de maximale watervraagdrempel nooit overtroffen wordt in de simulatie periode. De gemiddelde watervraagdrempel wordt bij 55% van tijdstappen in de simulatieperiode overtroffen, hetgeen aangeeft dat er regelmatig tekorten optreden in dit pand.

Aangezien Wintam toont in werkelijkheid geen watertekorten zoals in dit model gesimuleerd, men mag aannemen dat water vanuit de Zeeschelde wordt binnengelaten tijdens lage afvoeren in het Kanaal Brussel Schelde. Deze scenario wordt niet gemodelleerd en er zijn geen concrete gegevens wat dit betreft. Hoge gemodelleerde tekorten kunnen ook te wijten zijn aan een overdreven werking van Pomp Zemst.



Figuur 99 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Wintam (KBS-p2) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



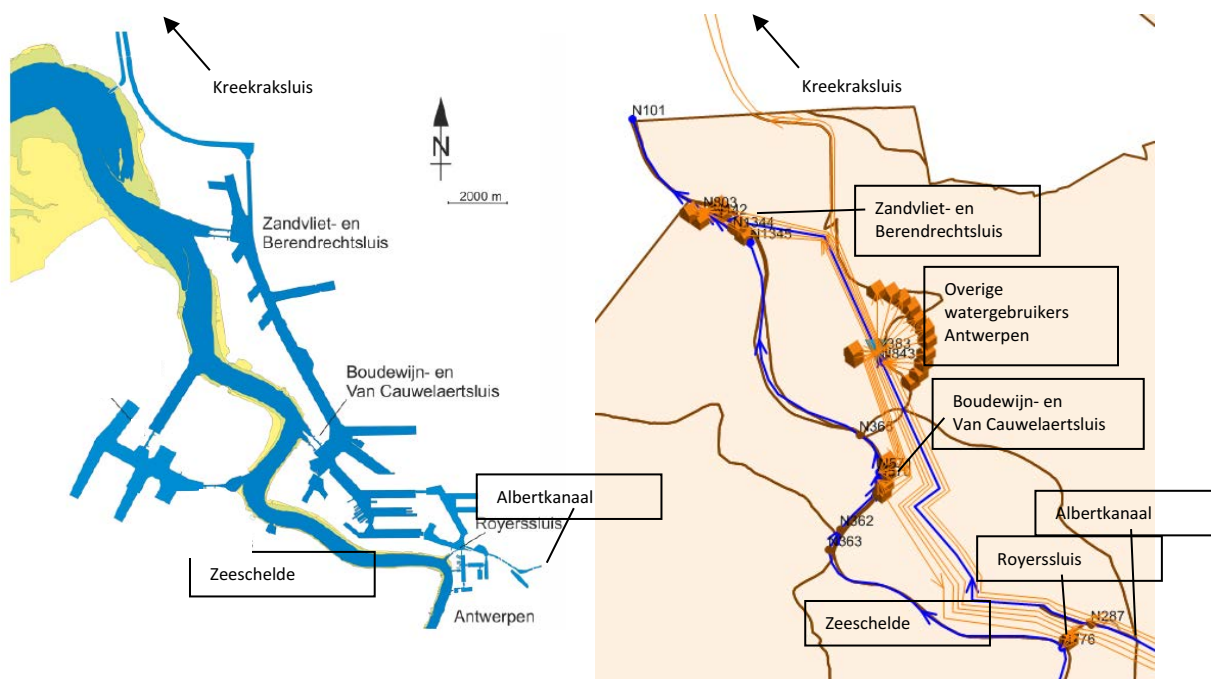
Figuur 100 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis te Wintam (KBS-p2) en watervraag drempels

8.4.3 Haven van Antwerpen

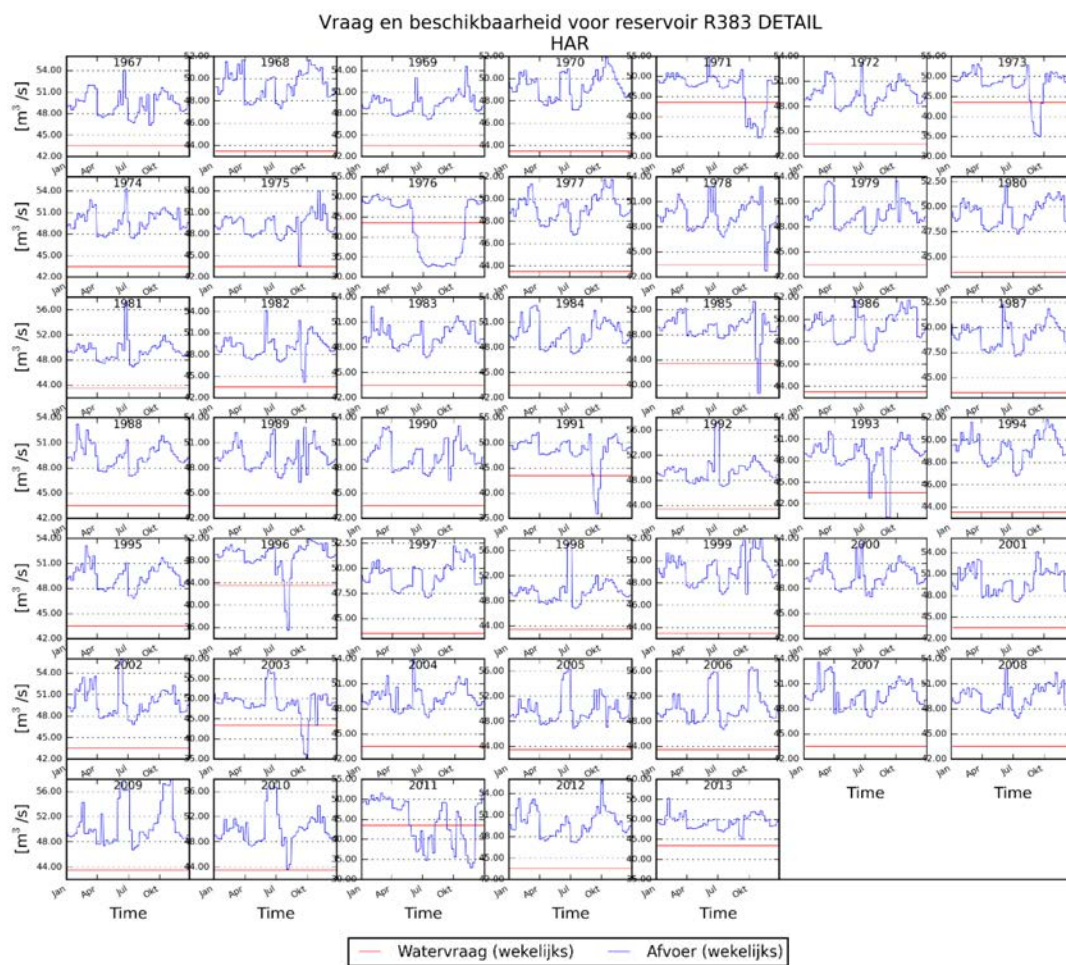
De Haven van Antwerpen in het MIKE HYDRO Basin model vormt een pand met talrijk gebruikers die water lozen en onttrekken. Dit pand wordt gevoed door het Albertkanaal, de Kreekraksluizen in Nederland en dient meerdere sluizen in de haven naar de Zeeschelde. Deze opstelling wordt in onderstaande Figuur 101 in beeld gebracht met een schematisatie van de haven en hoe deze wordt opgesteld in het waterbalansmodel.

Figuur 102 en Figuur 103 tonen dat ondanks de grotendeels voldoende afvoer langs de Haven van Antwerpen treden er tekorten op tijdens droge jaren. Dit is voornamelijk het geval in het jaar 1976 en 2011 wanneer deze tekorten boven de 10 m³/s stijgen. Watertekorten worden ook waargenomen in de jaren 1971, 1973, 1978, 1985, 1991, 1993, 1996 en 2003. Gemodelleerde tekorten hier voorgesteld verwijzen naar een negatieve nettostroom in het pand van de haven van Antwerpen. Zoals eerder vermeld, de opslag van het pand wordt in deze berekening niet opgenomen. Waterpeil in het pand mag 1 meter onder streefpeil dalen voordat beschikbaarheid van water wordt beperkt voor alle watergebruikers. In het geval van scheepvaart is dat 30 centimeter. Voor een betere analyse van gebruikers betrokken tot watertekorten in de haven van Antwerpen zie de analyse van watergebruik per bekken, Benedenscheldebekken (§767.9).

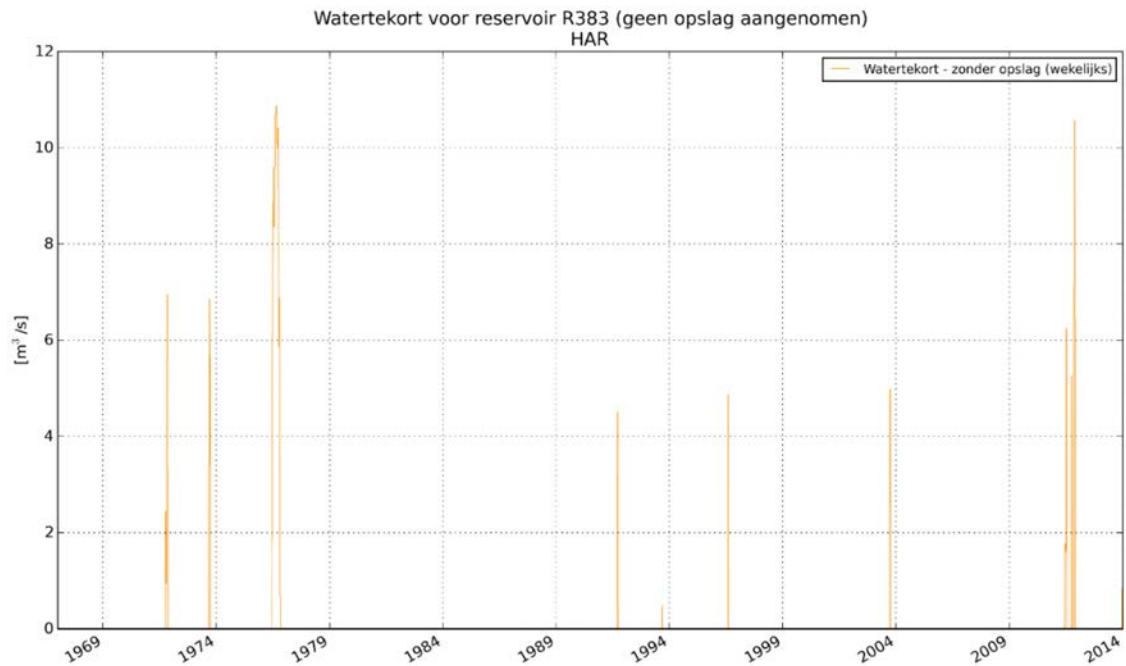
De afvoerduurlijn van dagelijks tot wekelijks en maandelijks geaggregeerde resultaten op Figuur 104 toont aan dat waterbeschikbaarheid in de Haven van Antwerpen ruimschoots over de watervraag drempels ligt. Aldus doen er zich geen regelmatige tekorten voor.



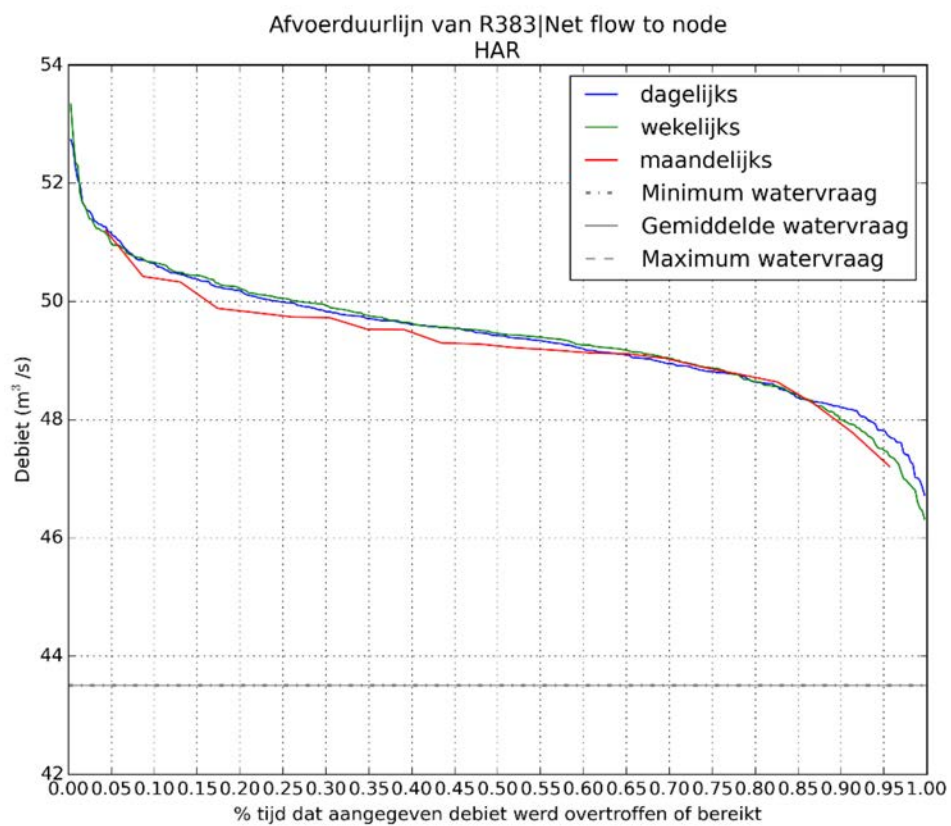
Figuur 101 – Schematisatie van de Haven van Antwerpen en zijn opstelling in het MIKE HYDRO Basin model



Figuur 102 – Watervraag en -beschikbaarheid in de Haven van Antwerpen (HAR) voor de simulatie periode 1967-2013



Figuur 103 – Watertekorten in de Haven van Antwerpen (HAR) getoond voor de simulatie periode 1967-2013



Figuur 104 – Afvoerduurlijn voor debiet in de Haven van Antwerpen (HAR) en watervraag drempels

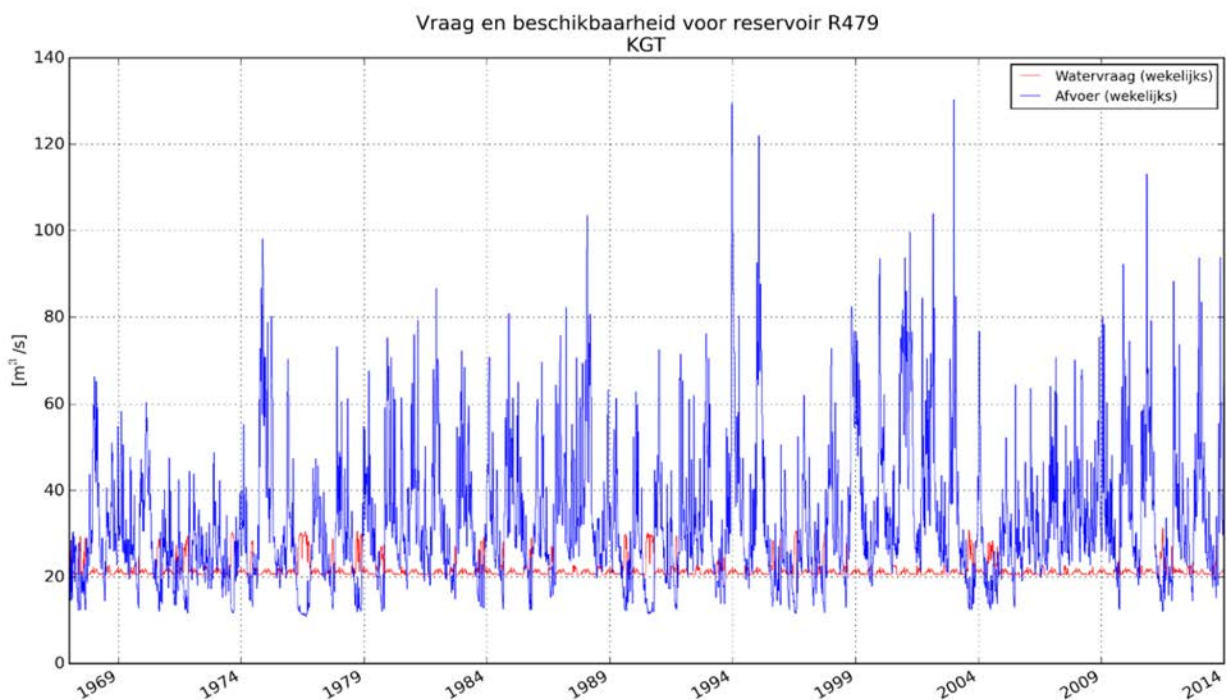
8.5 Gentse Kanalen

8.5.1 Kanaal Gent-Terneuzen

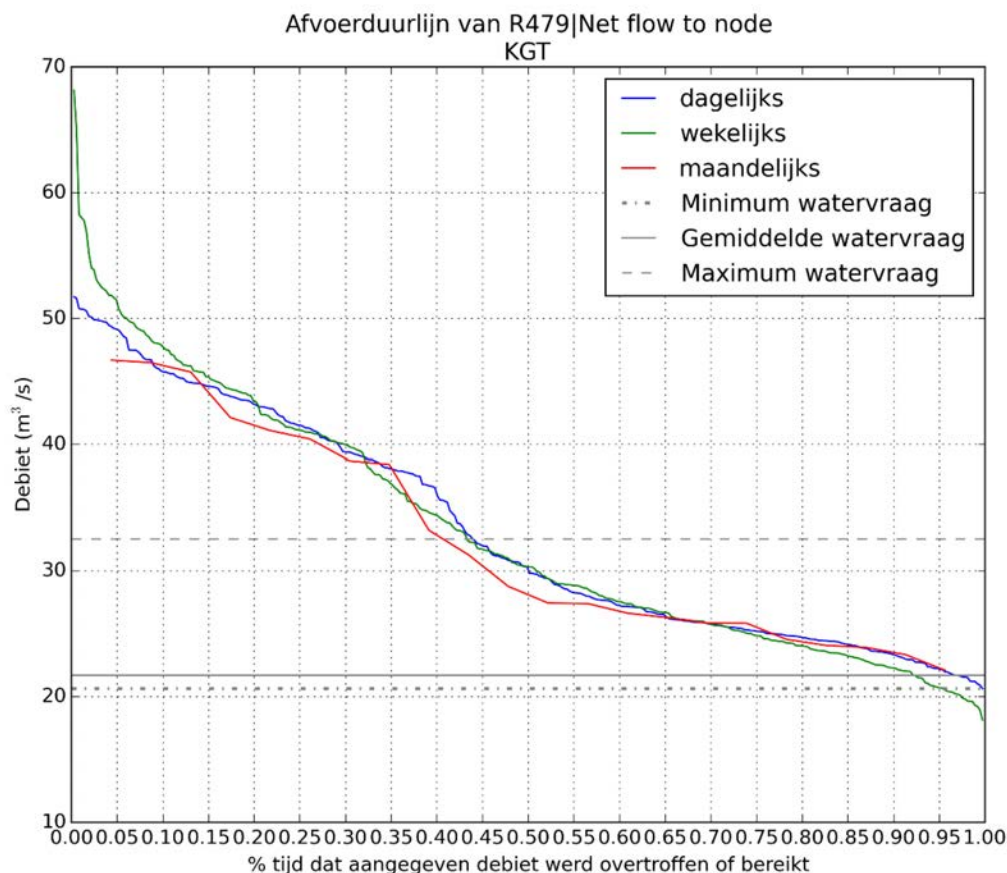
Het Kanaal Gent-Terneuzen heeft op bijna jaarlijkse basis te kampen met tekorten. Watergebruik door scheepvaart en een openbaar bestuur/waterbeheer inclusief zoutverdringing in de sluizen van Terneuzen vormen de grootse watervraag. Bijgevolg worden regelmatig tekorten opgenomen in de droge maanden verspreid vanaf april tot oktober. Tijdens de ernstige droogte van het jaar 1976 werd de gesimuleerde beschikbaarheid lager dan de watervraag gedurende zeven maanden op een rij opgenomen.

Figuren geproduceerd met de Python Post processing tool worden berekend op basis van de nettostroom in het pand. Aldus wordt water afvoer uitgezet tegen watervraag van alle aangesloten watergebruikers. Aangezien de opstelling van dit pand om tekorten te berekenen in het kader van het NL-BE verdrag betreffend minimum debiet naar Terneuzen moet men deze figuren voorzichtig interpreteren. Figuur 105, gemaakt met de Post processing tool, toont aan watervraag en waterbeschikbaarheid in het pand van het Kanaal Gent Terneuzen. Echter wordt hier de watervraag van alle gebruikers in het pand opgenomen bij de watervraag (niet enkel afvoer naar Terneuzen dus) en alle teruglozingen van deze gebruikers bij de waterafvoer. Wanneer de waterafvoer onder de watervraag daalt worden er pieken in de watervraag veroorzaakt. Dit heeft te maken met de functie van de zoutverdringing watergebruiker (Sector Ozout) die tekorten ten opzichte van het NL-BE verdrag opneemt (zie §586.8.1 en §7.7). Deze pieken zijn eigenlijk de zoutverdringing tekorten in de afvoer naar Terneuzen. Figuur 61 is een gelijkaardig figuur als onderstaande Figuur 105 met enkel beschikbaar debiet voor scheepvaart en spuien naar Terneuzen vanuit Gent ten opzichte van gewenste debiet (13 m³/s) en effectieve gemodelleerde afvoer naar de drie sluizen in Terneuzen.

Figuur 106 laat afvoerduurlijnen zien van verschillende aggregatieniveaus van het beschikbaar debiet en de watervraagdrempels waarvan men kan aannemen dat er op wekelijks niveau vaker tekorten worden opgenomen. De maximale watervraagdrempel moet ook voorzichtig bekeken worden aangezien deze hoger ligt wegens de pieken van de Ozout gebruiker die spuitekortten opneemt.



Figuur 105 – Watervraag en waterbeschikbaarheid in het pand van het Kanaal Gent-Terneuzen voor de simulatie periode 1967 -2013.

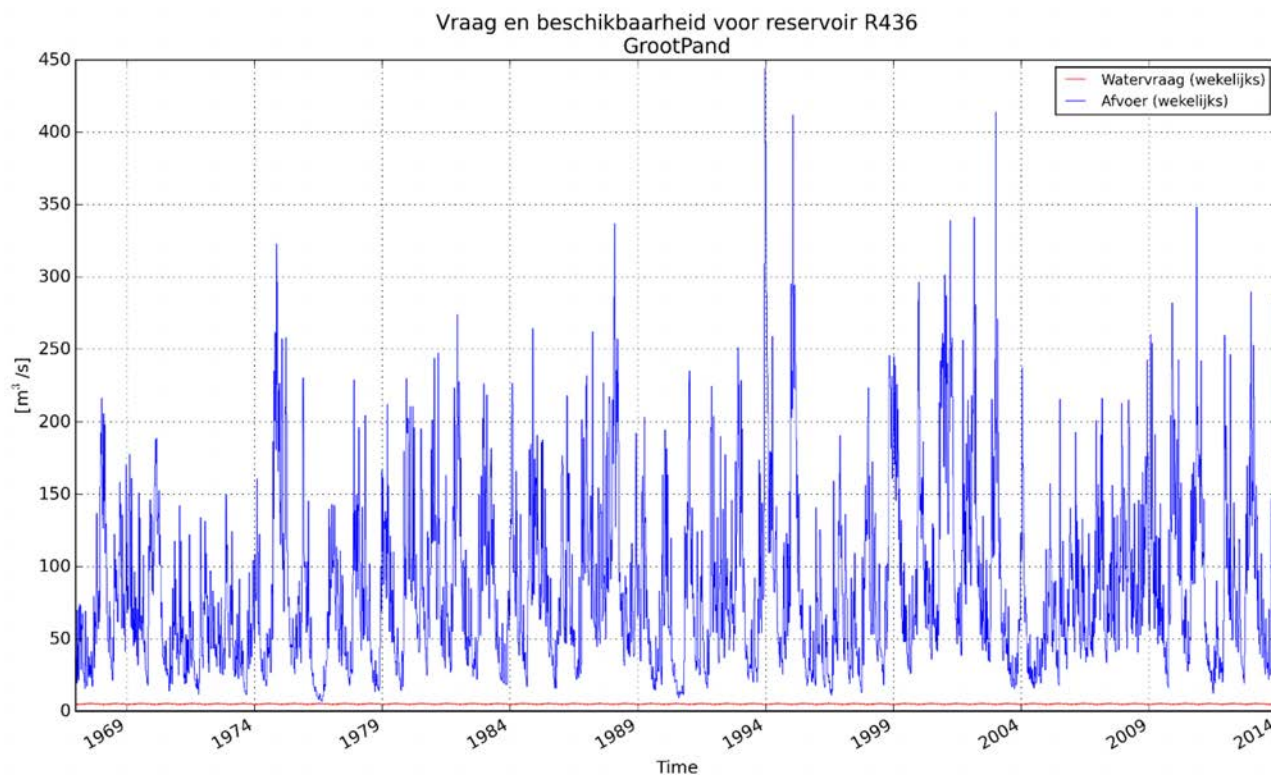


Figuur 106 – Afvoerduurlijn voor debiet langs het Kanaal Gent-Terneuzen en watervraag drempels

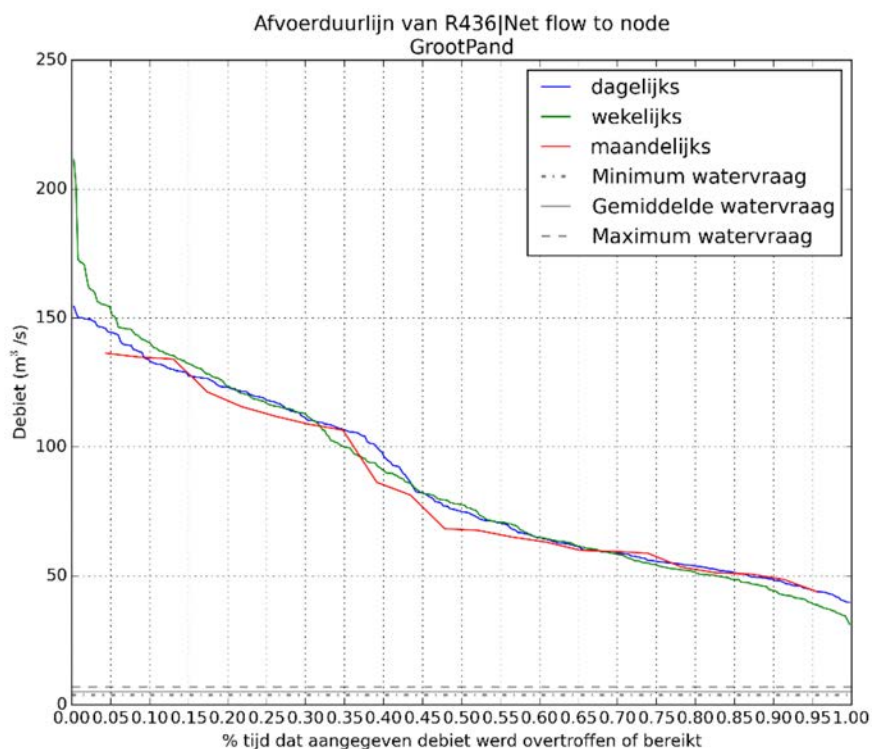
8.5.2 Groot Pand (Gent)

De kanalen rondom Gent worden samengevoegd om een pand te vormen waarvan alle gebruikers en afvoerkanalen water onttrekken, om deze reden “Groot Pand” genoemd. Op die manier worden kleine kanalen, zoals stedelijke kanalen binnen de ringvaart in Gent, gesimuleerd door watergebruikers. Overspoelend water in het Groot Pand wordt dan verdeeld gebruikmakend van een splitsingstabel om debiet langs Evergem of Melle te sturen.

Figuur 107 en Figuur 108 laten zien dat geen watertekort werd opgenomen in het Groot Pand voor de simulatie periode van 1967 tot 2013. Enkel in het jaar 1976 werd de waterbeschikbaarheid in het Groot Pand bijna overtroffen door de watervraag. Men kan dus aannemen dat een stijging van de watervraag in en rondom Gent kan leiden tot tekorten tijdens droogte periodes.



Figuur 107 – Watervraag en -beschikbaarheid in het Groot Pand voor de simulatie periode 1967-2013



Figuur 108 – Afvoerduurlijn voor debiet in het Groot Pand en watervraag drempels

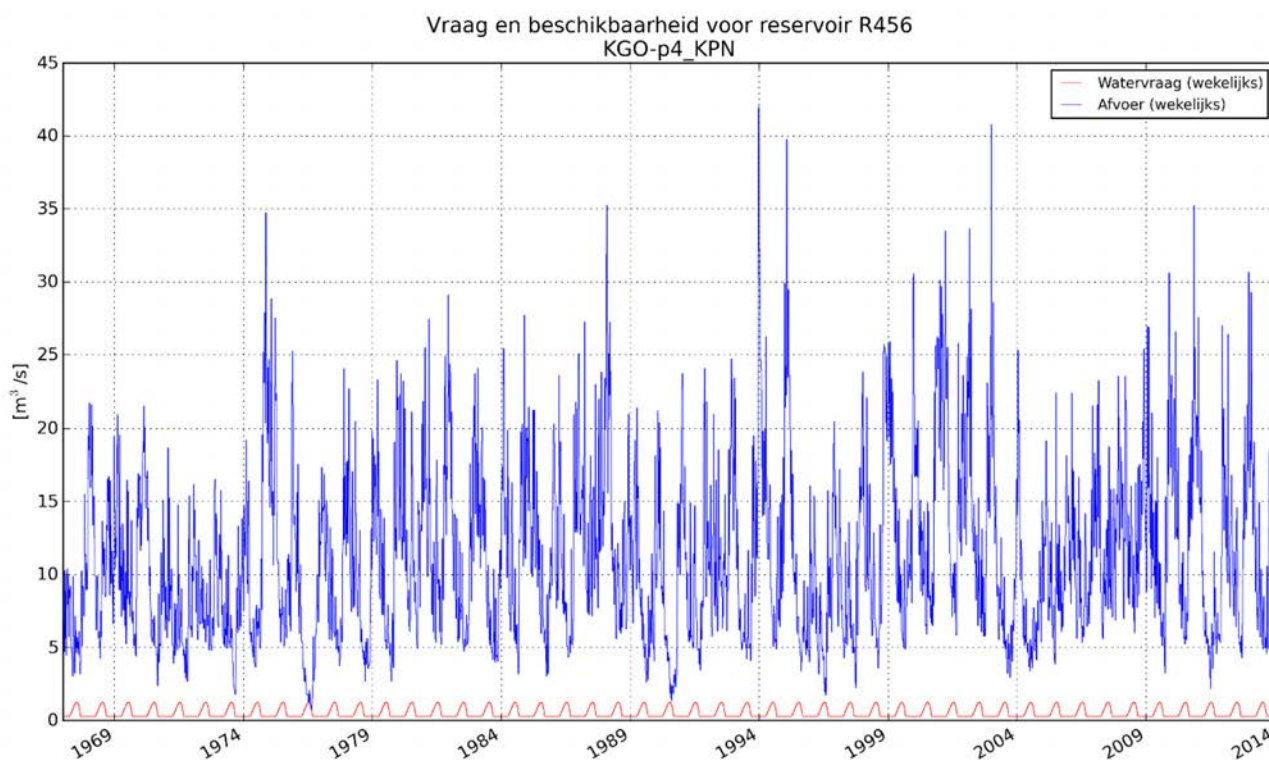
8.6 Brugse Polders

8.6.1 Kanaal Gent-Oostende / Kanaal Plassendale-Nieuwpoort

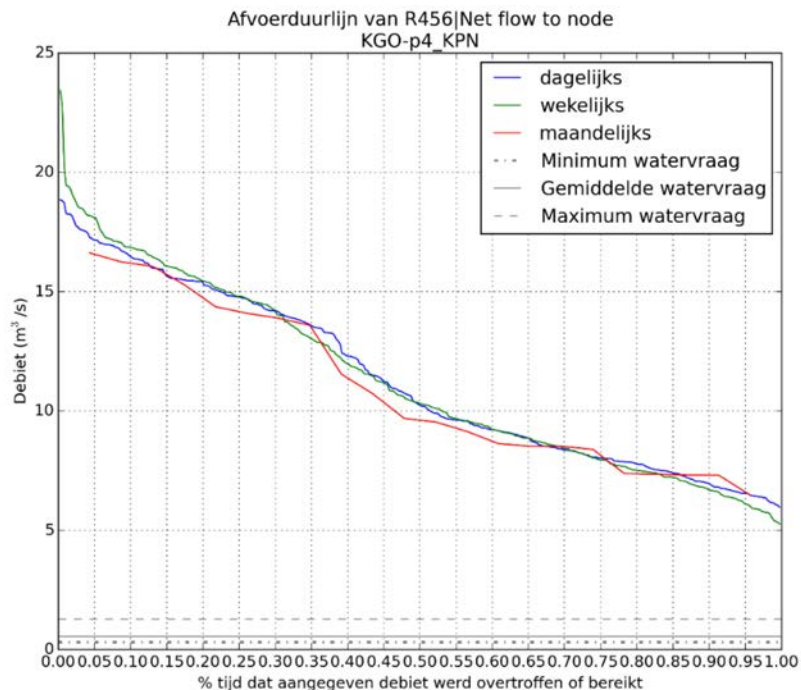
Het Kanaal Gent-Oostende kent zijn einde te Oostende waar het model reservoirknooppunt R456 zich bevindt. Vanuit dit pand onttrekt watergebruiker W792 het benodigde water voor het Kanaal Plassendale-Nieuwpoort. Daarenboven onttrekken gebruikers vanuit dit pand water voor industrie, groot- & detailhandel; reparatie van auto's en motorfietsen en voor menselijke gezondheidszorg en maatschappelijke dienstverlening.

Er werden geen watertekorten opgenomen tijdens de simulatie periode van 1967 tot 2013 in dit pand. Figuur 109 laat zien dat waterbeschikbaarheid in dit pand aanzienlijk groter is dan de watervraag. Niettemin stijgt de watervraag tijdens de zomermaanden tijdens wat ook de droge periode in het jaar is. Bijgevolg traden er bijna watertekorten op tijdens de droge periodes van 1976 en de zomer van 1990.

De afvoerduurlijn van dit pand wordt in beeld gebracht op Figuur 110. Hier wordt duidelijk getoond dat zowel dagelijks als geaggregeerde wekelijkse en maandelijkse resultaten zich tenminste $5 \text{ m}^3/\text{s}$ boven de maximum watervraagdrempel bevinden. De waterbeschikbaarheid is dus meer dan voldoende om de watervraag hierlangs te dienen.



Figuur 109 – Watervraag en –beschikbaarheid wekelijks geaggregeerd in het Kanaal Gent-Oostende



Figuur 110 – Afvoerduurlijn voor debiet en watervraag drempels in het pand van het Kanaal Gent-Oostende

8.7 IJzer

Er bevinden zich geen panden langs de IJzer in de vorm van reservoirknoppen in het waterbalansmodel. De reden hiervoor is dat er geen sluizen zich bevinden langs de IJzer tot aan in Nieuwpoort.

8.8 Dijle en Zenne

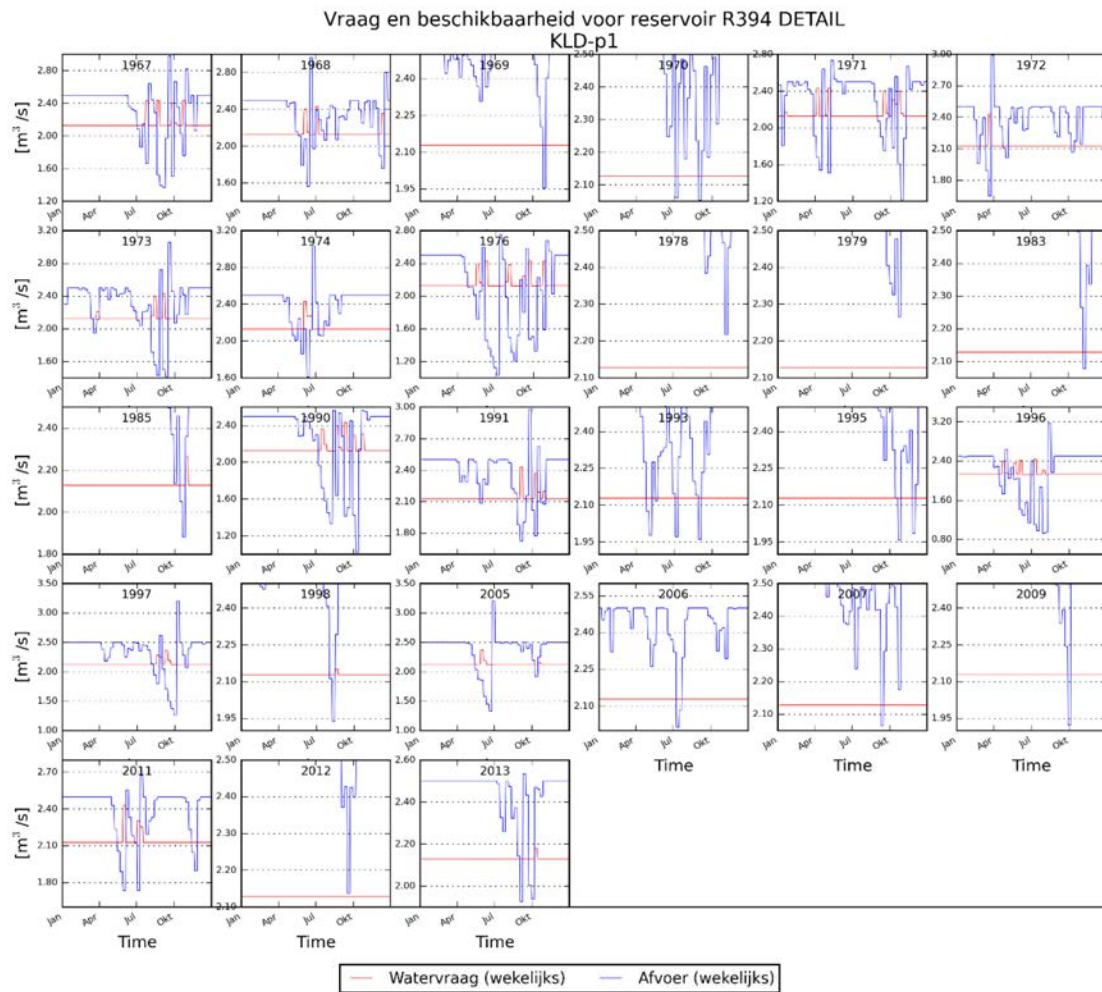
8.8.1 Tildonk

Het Kanaal Leuven-Dijle zorgt ervoor dat Leuven bereikbaar is door scheepvaart. Er bevinden zich vijf panden langs dit kanaal overeenkomstig met de sluizen hierlangs gelegen. Het meest opwaartse pand is Tildonk (KLD-p1). Dit pand ontvangt de voeding van het kanaal direct uit de Dijle gebruikmakend van watergebruiker W658. De voeding van het Kanaal Leuven-Dijle is geprogrammeerd en wordt berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

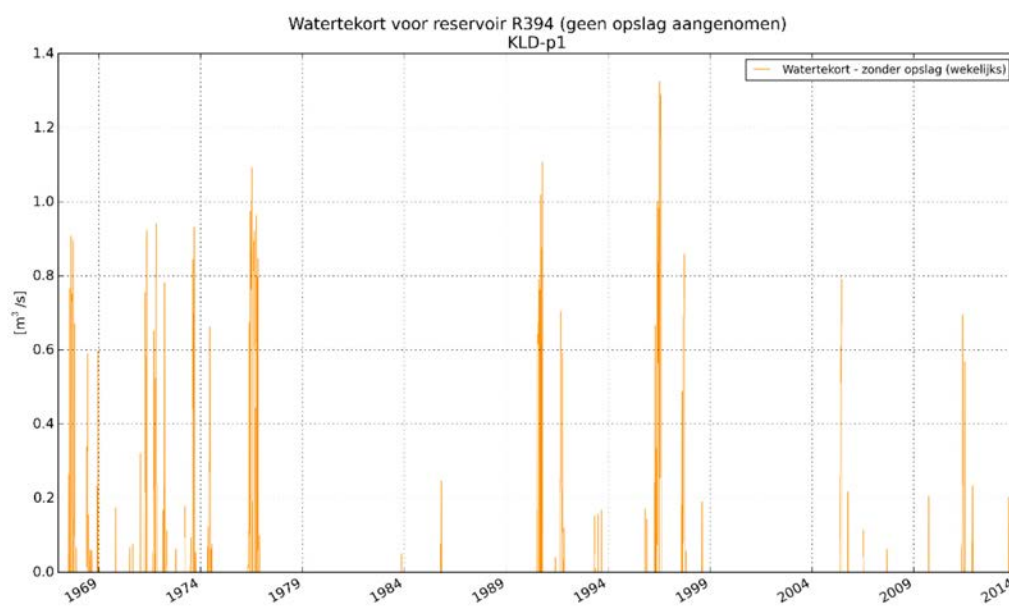
Figuur 111 toont de wekelijks geaggregeerde resultaten van watervraag en –beschikbaarheid in het Kanaal Leuven-Dijle in de jaren waarin tekorten worden waargenomen. Tekorten worden in beeld gebracht op Figuur 112. Grootste tekorten worden opgenomen in droge jaren zoals 1976 en 1996.

De afvoerduurlijnen voor dagelijkse resultaten en zijn aggregatie tot wekelijks en maandelijkse reeksen worden in beeld gebracht op Figuur 113. Opmerkelijk hier is dat de maximum watervraagdrempel nooit wordt overtroffen terwijl alle afvoerduurlijnen de gemiddelde watervraag drempel overtreffen. Dat wil zeggen dat de watervraag grotendeels wordt voldaan hoewel de kans van tekorten redelijk hoog is tijdens droogte toestanden.

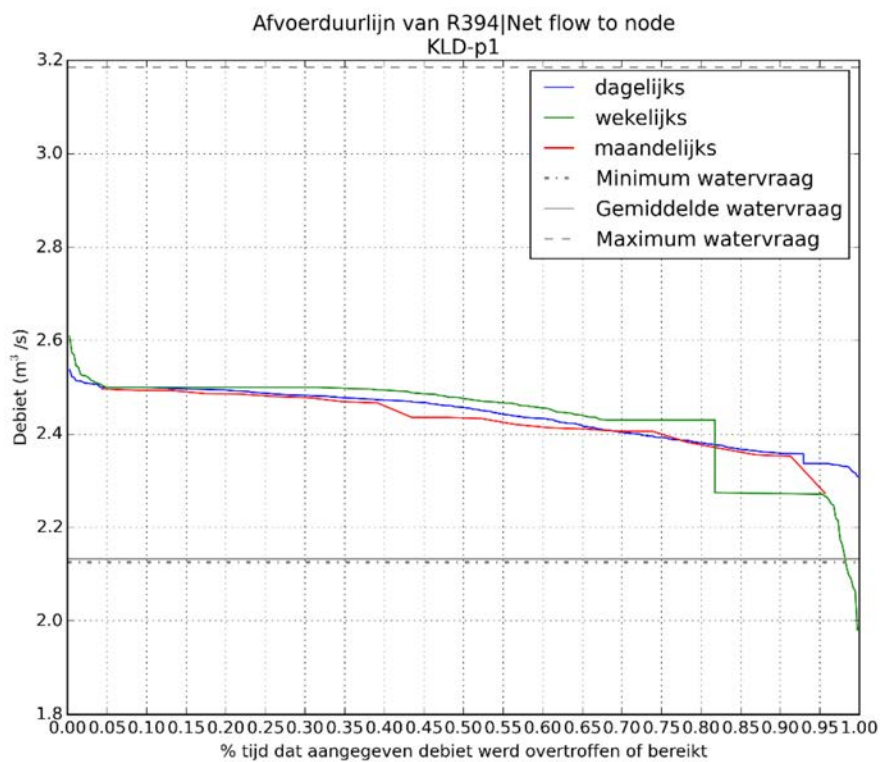
De watervraag en –beschikbaarheid toestand van dit pand wordt herhaald in afwaartse panden van het Kanaal Leuven-Dijle. Een zacht toenemende verslechtering van deze toestand wordt opgemerkt afwaarts van Tildonk die te wijten is aan waterverbruik door verschillende gebruikers langs dit kanaal.



Figuur 111 – Watervraag en -beschikbaarheid in de sluis van Tildonk (KLD-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 112 – Watertekorten in de sluis van Tildonk (KLD-p1) getoond voor de simulatie periode 1967-2013



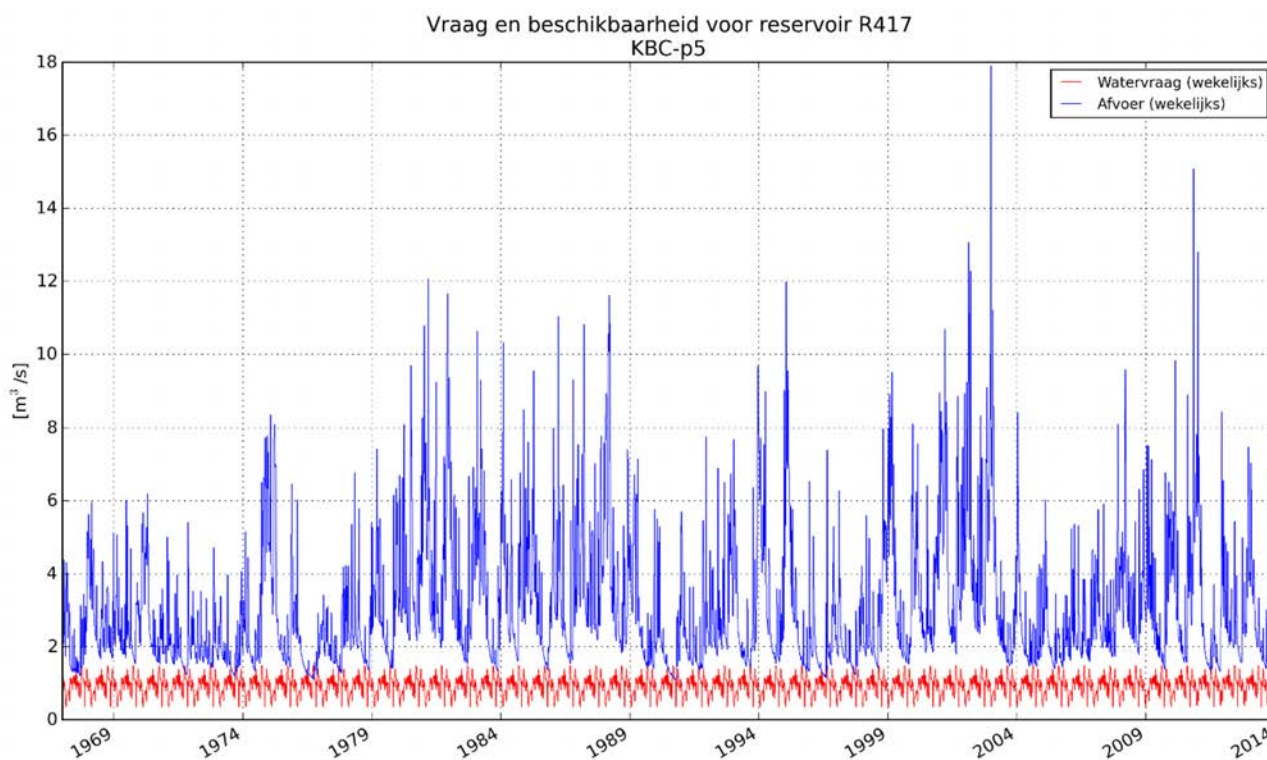
Figuur 113 – Afvoerdurlijn voor debiet in de sluis van Tildonk (KLD-p1) en watervraag drempels

8.8.2 Ittre

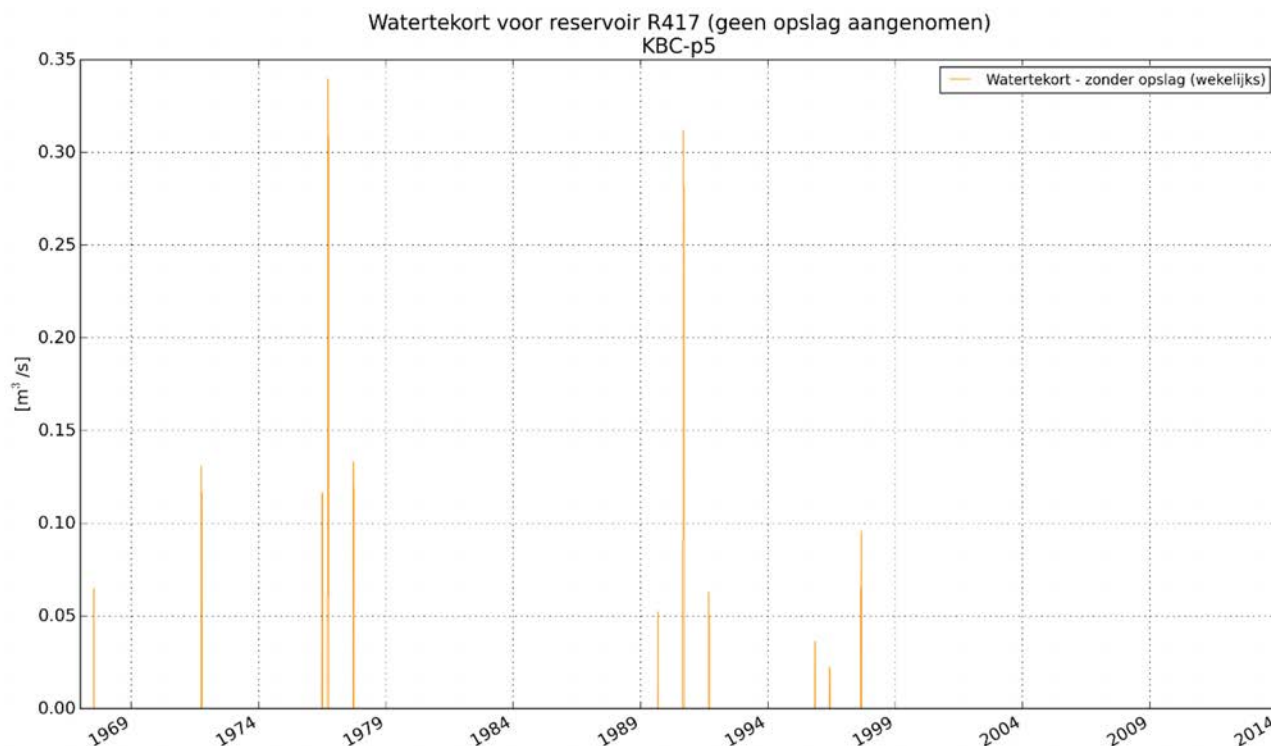
Het Kanaal Brussel-Charleroi vormt een belangrijk noord-zuid verbinding voor scheepvaart tussen de Zeeschelde, het Canal du Centre en de Samber. Langs dit traject bevindt zich de hellende lift van Ronquieres en hier afwaarts tot de sluis van Ittre wordt een pand (KBC-p5) in het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel gevormd. Apart van scheepvaart, wordt water vanuit dit pand onttrokken in kleine mate voor industrie. Het pand aan de sluis van Ittre wordt gevoed door scheepvaart vanuit Ronquieres maar het peil wordt gehouden, gebruikmakend van Pomp Ittre. Deze pompt water uit het afwaartse pand als het peil onder een drempel zakt. Dit debiet wordt geprogrammeerd en berekend door de VBA macro (zie §3.1.6).

Figuur 114 toont de wekelijks geaggregeerde resultaten van watervraag en –beschikbaarheid in het Kanaal Brussel-Charleroi voor de simulatie periode van 1967 tot 2013. Watertekorten opgenomen gedurende deze periode staan op Figuur 115. Weinig tekortgebeurtenissen treden op in het pand van de sluis van Ittre met relatief laag maximale watertekort in droge jaren zoals 1976 en 1990.

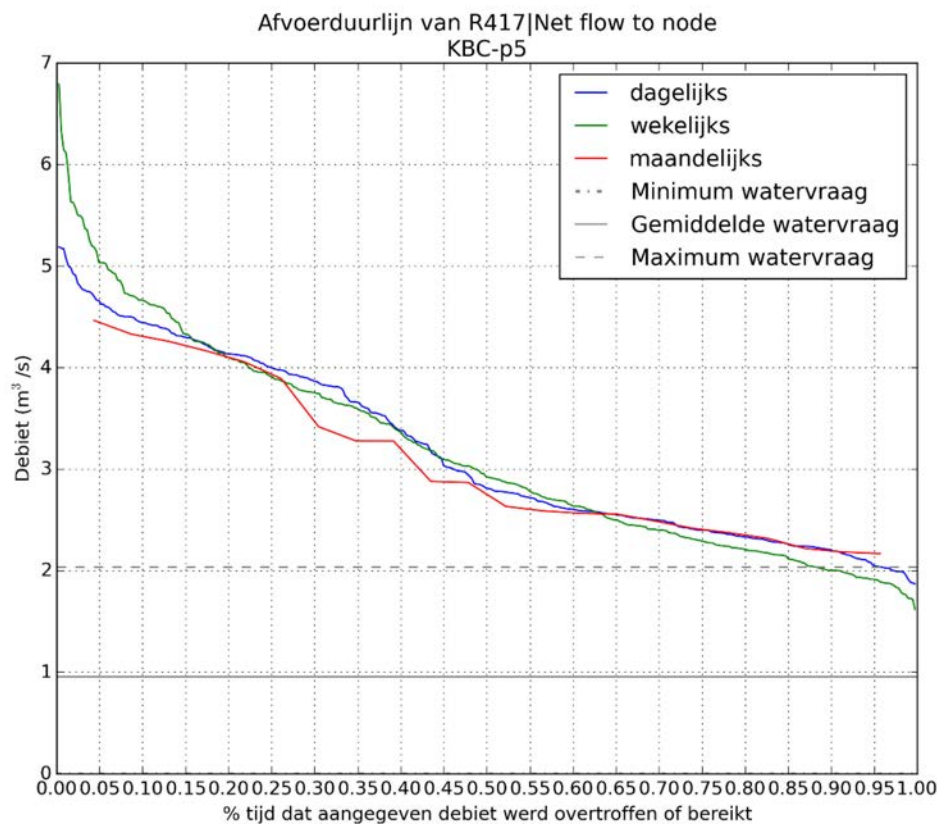
De afvoerduurlijnen voor dagelijkse resultaten en zijn aggregatie tot wekelijks en maandelijkse reeksen getoond op Figuur 116 laten zien dat de gemiddelde watervraagdrempel altijd wordt overtroffen in dit pand.



Figuur 114 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Ittre (KBC-p5) in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 115 – Watertekorten in de sluis van Ittre (KBC-p5) getoond voor de simulatie periode 1967-2013



Figuur 116 – Afvoerduurlijn voor debiet in de sluis van Ittre (KBC-p5) en watervraag drempels

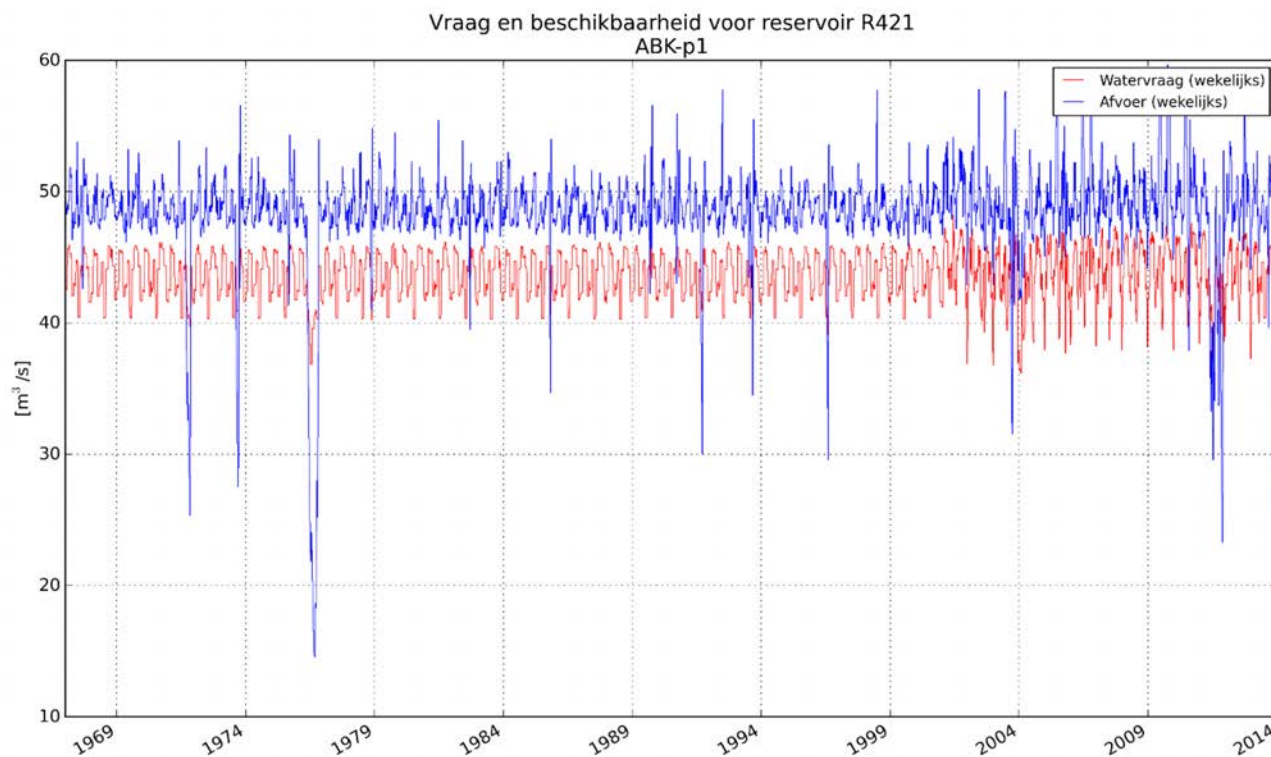
8.9 Demer

8.9.1 Genk

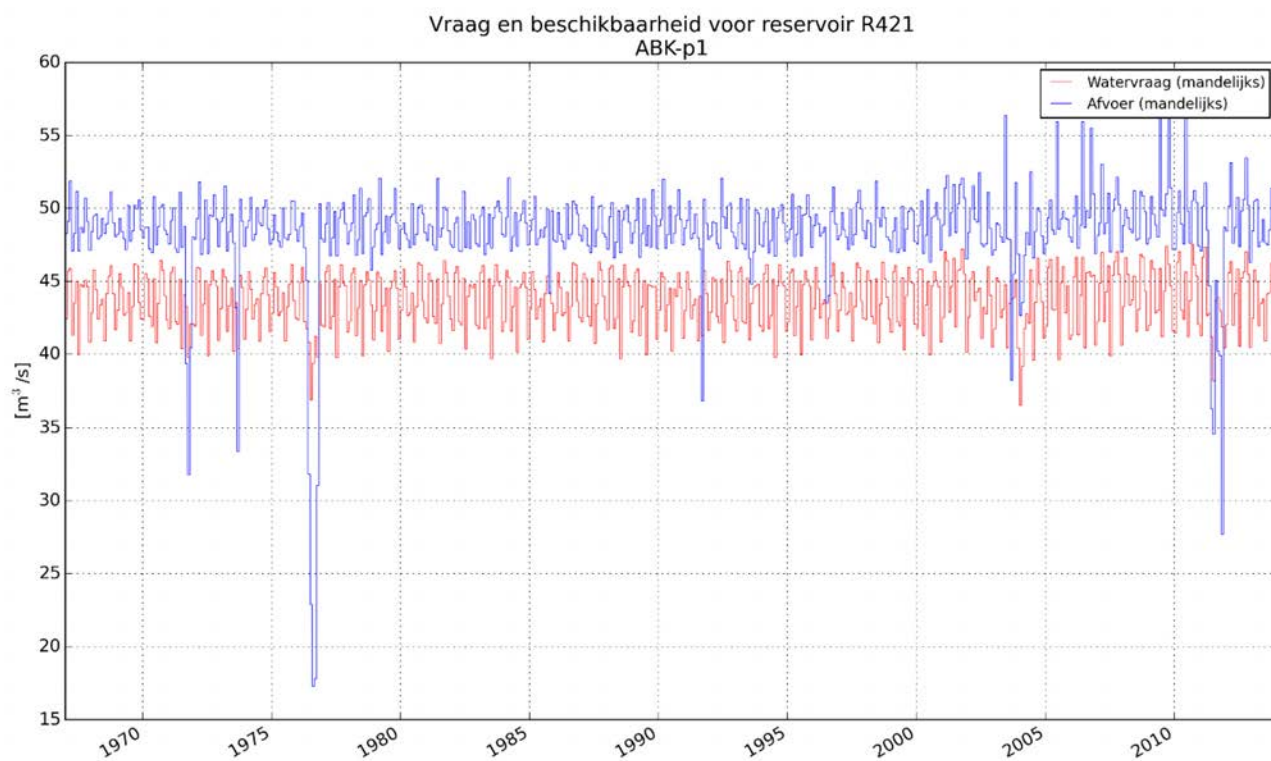
Hoewel op het grondgebied van het stroomgebied van de Demer, het Albertkanaal en het pand gevormd door de sluis van Genk hydrologisch gezien niet verbonden zijn met deze rivier. Het Albertkanaal wordt gevoed door de Maas te Monsin en voordat het de sluis van Gent bereikt loost het water terug aan de Maas in Monsin, Haccourt-Vise en Lanaye. Daarenboven voedt het Albertkanaal het Kanaal Briegden-Neerharen opwaarts van de sluis van Genk. De interactie tussen het Albertkanaal, de Maas en het Kanaal Briegden-Neerharen wordt gemodelleerd, gebruikmakend van watergebruikers die water uit het pand van de sluis van Genk onttrekken en respectievelijk terug lozen aan de Maas of het Kanaal Briegden-Neerharen. Deze interactie wordt nauwkeuriger gemodelleerd vanaf 2001 wegens beschikbaarheid van dagelijkse data van teruglozing te Lanaye.

Figuur 117 en Figuur 118 laten het verschil zien tussen de wekelijkse en maandelijkse aggregatie van de resultaten voor het eerste pand in het Albertkanaal. Hoewel de oscillaties van afvoer en vooral de watervraag worden verkleind, wordt het detail van deze interactie gehinderd. Niettemin laten beide figuren zien dat water grotendeels beschikbaar is gedurende de simulatieperiode met een aantal tekortgebeurtenissen in droge jaren namelijk 1976 en 2011 (Zie Figuur 119).

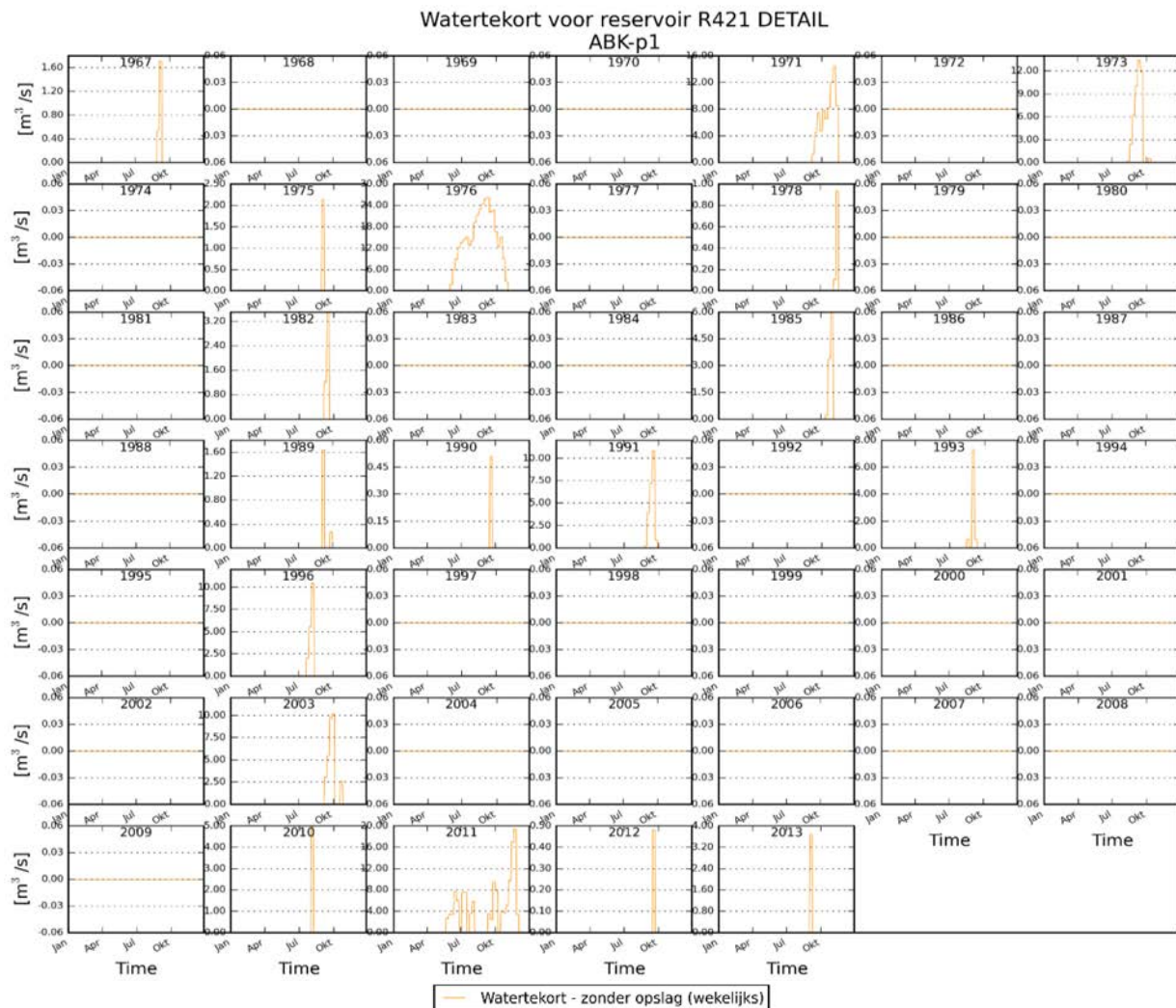
De afvoerduurlijnen voor dagelijkse resultaten en hun aggregatie tot wekelijks en maandelijkse reeksen getoond op Figuur 120 laten zien dat de gemiddelde watervraagdrempel altijd wordt overtroffen in dit pand, hoewel dit ten opzichte van de maximum watervraag drempel is dat nooit.



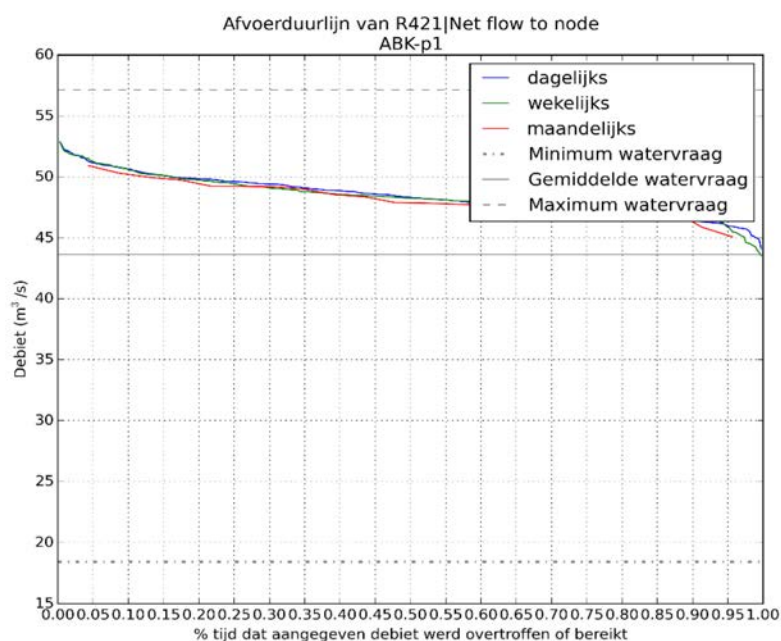
Figuur 117 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Genk (ABK-p1) in de simulatie periode 1967-2013 (dagelijks)



Figuur 118 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Genk (ABK-p1) in de simulatie periode 1967-2013 (wekelijks)



Figuur 119 – Watertekorten in de sluis van Genk (ABK-p1) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 120 – Afvoerdurlijn voor debiet in de sluis van Genk (ABK-p1) en watervraag drempels

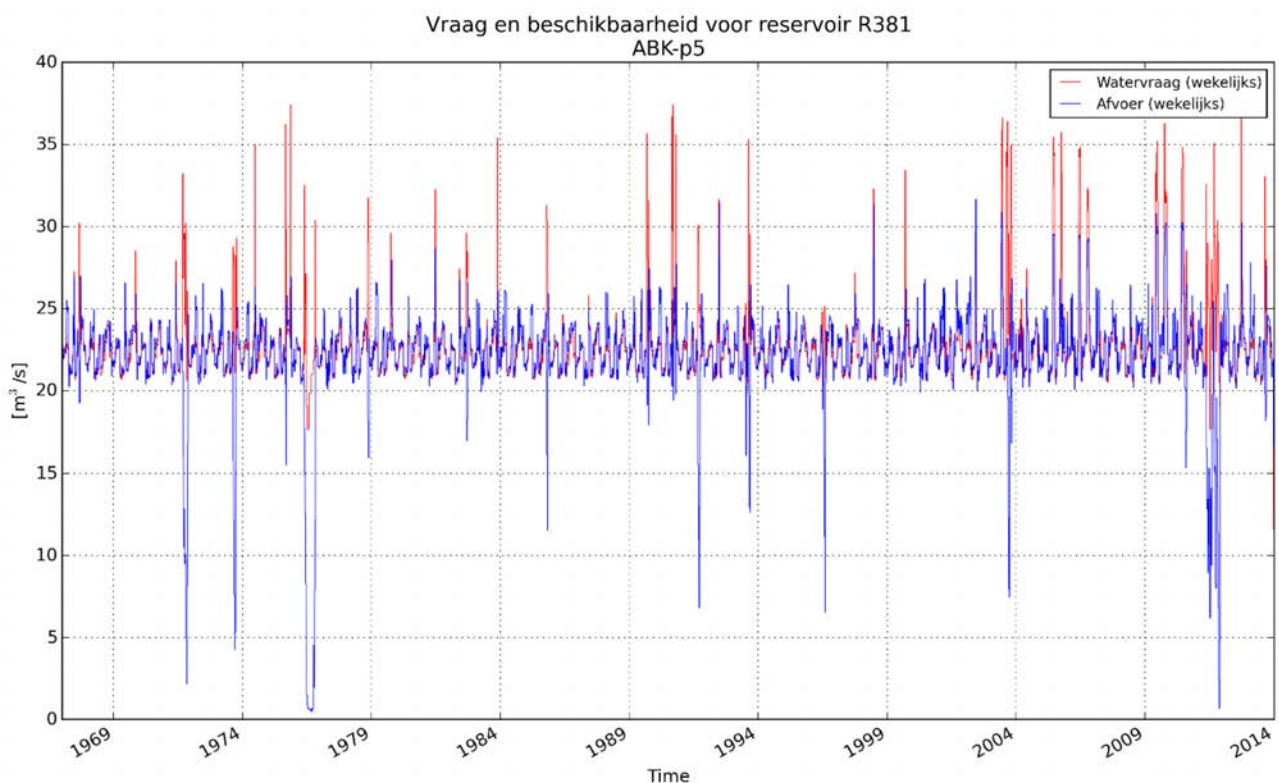
8.10 Nete

8.10.1 Olen

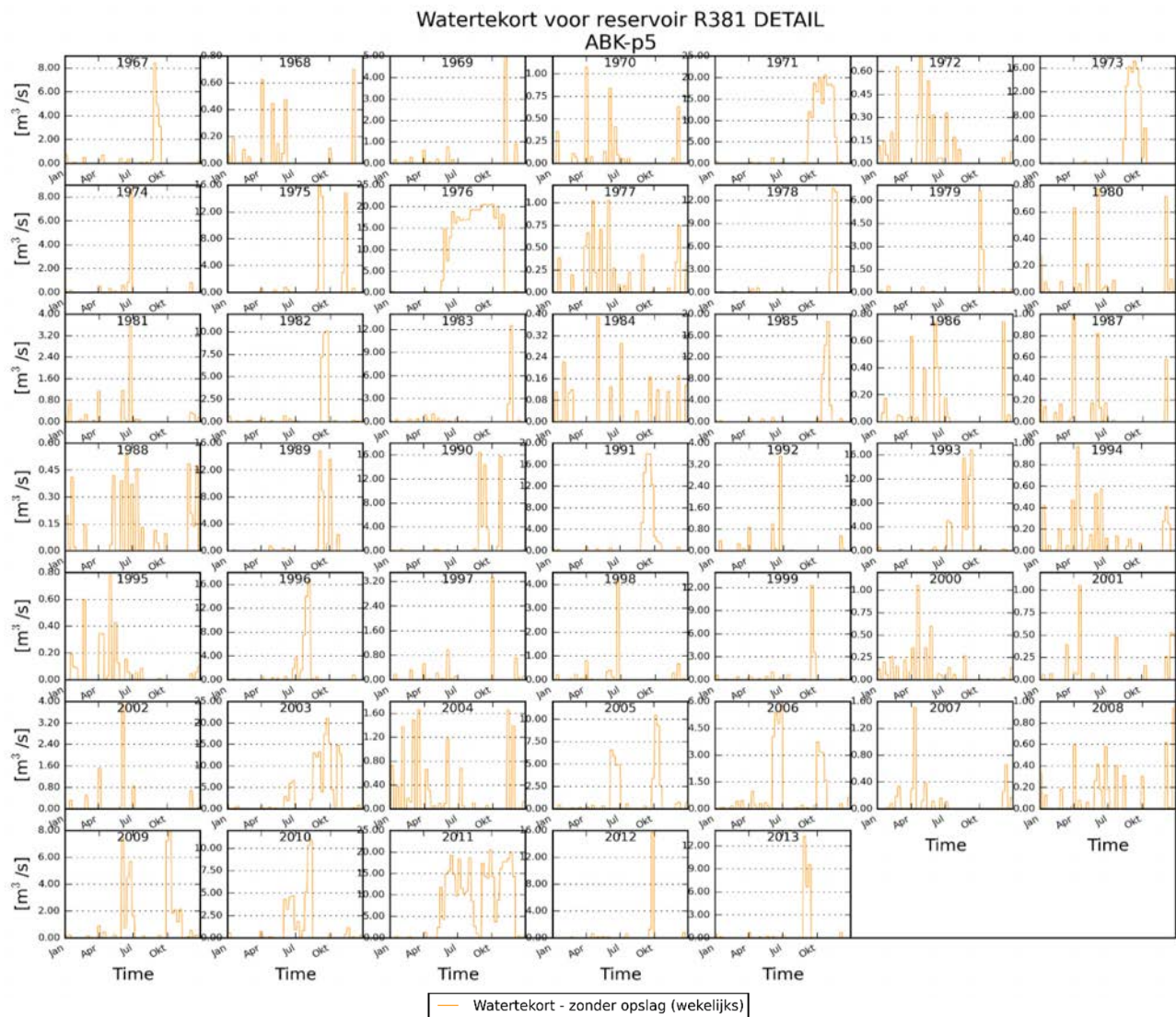
Alhoewel het Albertkanaal en de sluis van Olen gelegen zijn op het stroomgebied van de Nete, zijn ze hydrologisch gezien niet gebonden met deze rivier. Het Albertkanaal wordt gevoed door de Maas te Monsin. Het Albertkanaal wordt intensief gebruikt door scheepvaart met een watervraag tot 27 m³/s. Boven deze wordt water onttrokken voor de industrie, openbaar bestuur/defensie en waterbeheer. Deze laatste, de watervraag van waterbeheer, zorgt ervoor om het peil van het afwaartse pand op streefpeil te houden en wordt berekend door de VBA macro (Zie §3.1.6). Langs dit pand zijn de grootste watertekorten gemodelleerd in het MIKE HYDRO Basin waterbalansmodel voor de simulatieperiode van 1967 tot 2013.

Figuur 121 toont de wekelijks geaggregeerde resultaten van watervraag en –beschikbaarheid in het vijfde pand van het Albertkanaal aan. De watervraag wordt vaak hoger dan de afvoer langs dit pand waardoor tekorten regelmatig ontstaan (Zie Figuur 122). Deze worden het ergst tijdens droge jaren zoals 1976 en 2011 toen de afvoer ook sterk daalde.

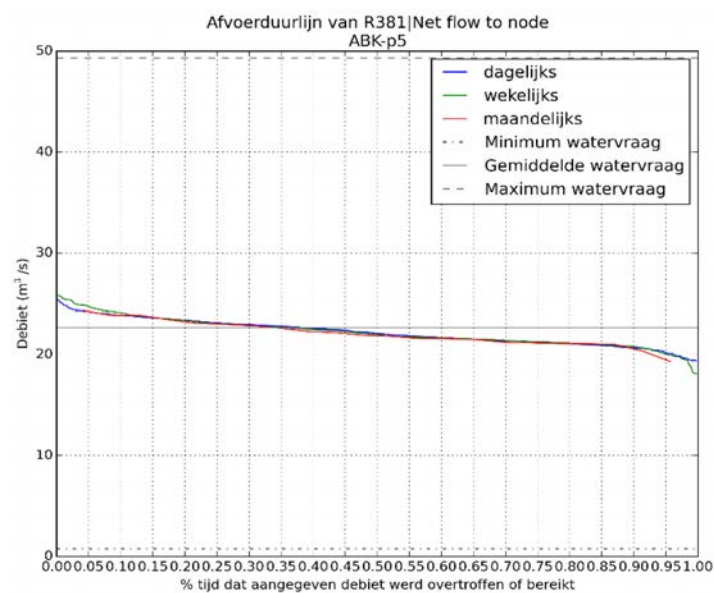
De afvoerduurlijnen voor dagelijkse resultaten en hun aggregatie tot wekelijks en maandelijkse reeksen getoond op Figuur 123 laten zien dat de gemiddelde watervraagdrempel 35% tijd van de simulatie periode wordt overtroffen in dit pand.



Figuur 121 – Watervraag en –beschikbaarheid in de sluis van Olen (ABK-p5) in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 122 – Watertekorten in de sluis van Olen (ABK-p5) getoond per jaar in de simulatie periode 1967-2013



Figuur 123 – Afvoerdurlijn voor debiet in de sluis van Olen (ABK-p5) en watervraag drempels

8.11 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk werd watergebruik per pand geanalyseerd. Panden ontstaan als reservoirs gevormd door sluizen langs kanalen in het studiegebied. Aldus hebben panden een opslag en een streefpeil die bepalen de waterbeschikbaarheid hoewel opslag capaciteit wordt niet inbegrepen in de berekeningen van dit hoofdstuk.

De Post processing tool leverde drie soort figuren op om watergebruik per pand te analyseren. Watervraag wordt uitgezet tegen afvoer naar het pand voor de hele periode zowel als per jaar of jaren van belang. Als er een of meer watertekorten optreden kunnen deze ook worden gevisualiseerd als het negatieve verschil tussen afvoer en watervraag. Bovendien wordt een afvoerduurlijn opgemaakt met dagelijks, wekelijks en jaarlijkse aggregatie van resultaten. Deze laat een visualisatie van de afvoer met drempels van maximum, gemiddelde en minimum watervraag van elk pand toe zien.

Resultaten van de analyse van waterbeschikbaarheid per pand worden in Tabel 9 samengevat. Wegens de grote schaal van de modellering van de huidige watervraag op regionaal niveau, worden alleen de meest relevante panden in dit hoofdstuk gerapporteerd. Bij deze wordt het grotendeels gemerkt dat er geen ernstige problemen ontstaan door gebrek aan water. Niettemin komen enkele knelpunten in zicht.

De meest gehinderde panden in het studiegebied zijn Bossuit, Wintam, Genk en Olen. Bij deze wordt er zo goed als nooit genoeg water om een eventuele maximale watervraag te voldoen. Ook de aantal jaren met watertekorten opgenomen loopt tot de 47 jaren van de simulatieperiode met de uitzondering van Olen. Het probleem in Bossuit heeft te maken met de hoge watervraag langs het Kanaal Bossuit-Kortrijk dat gevoed wordt door pompen vanuit de Schelde. In Wintam wordt water dat binnengelaten vanuit de Zeeschelde niet opgenomen in het model waardoor deze resultaten eerder incorrect zijn. In Genk en Olen worden tekorten veroorzaakt door lage afvoer aan de Maas en hoge watervraag langs het Albertkanaal. Het Kanaal Gent-Terneuzen toont ook problemen met waterbeschikbaarheid in mindere mate. Het kan dus geconcludeerd worden dat de analyse van waterbeschikbaarheid per pand bevestigt voorafgaande analyses waar voornaamste knelpunten zijn het Albertkanaal en het Kanaal Gent-Terneuzen.

Om een simulatie die nauwkeuriger en dichter bij de realiteit ligt te kunnen uitvoeren wordt het aanbevolen om het gebruik van water tijdens lage afvoeren in Wintam verder te onderzoeken. De nieuwe pompinstallaties langs alle sluizen in het Albertkanaal zullen ook de waterbeschikbaarheid sterk beïnvloeden. Het is dus noodzakelijk om deze toe te voegen aan een toekomstige versie van het waterbalansmodel.

Tabel 9 – Samenvatting van resultaten uit de analyse van waterbeschikbaarheid per pand in de simulatieperiode 1967-2013

Percentage tijd (%) afvoer groter dan:											
		Aantal jaren met watertekort	Maximale Watervraag			Gemiddelde watervraag			Minimale watervraag		
			Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks	Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks	Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks
Leie	Wielsbeke	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Kanaal Roeselare-Leie	Geen*	42	27.5	46	42	27.5	46	42	27.5	46
Bovenschedde	Denain	27	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Doornik	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Kluisbergen	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Bossuit	47	0	0	0	46	74	84	100	100	100
	Pont Malin	35	85	80	87	100	100	100	100	100	100
	Schoten	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Benedenschedde	Wintam	47	1	3	0	54	54	52.5	100	100	100
	Haven van Antwerpen	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Kanaal Gent-Terneuzen	44	44	44	40	97	92.5	97	99	95	100
Gentse Kanalen	Groot Pand	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Kanaal Gent-Oostende	Geen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Brugse Polders	Tildonk	24	100	98	100	100	98	100	100	98	100
	Ittre	10	95	88	100	100	100	100	100	100	100
Dijle en Zenne	Genk	18	0	0	0	100	99	100	100	100	100
	Olen	47	0	0	0	38	37	35	100	100	100
Demer											
Nete											

*Er treden geen tekorten op in KRL dankzij de opslag capaciteit van het pand en de werking van Pomp Ooigem. Percentages zijn berekend op basis van enkel afvoer en watervraag

9 Samenvatting en Conclusies

De huidige waterbeschikbaarheid langs de bevaarbare waterlopen en kanalen in het stroomgebied van de Schelde is gemodelleerd met behulp van een regionaal waterbalansmodel. Gezien de complexiteit van het systeem en de interactie met aanpalende bekkens in Wallonië, Noord-Frankrijk en de Maas is de focus van het model uitgebreid tot het ganse Scheldestroomgebied inclusief de kanalen die het Scheldestroomgebied met aanpalende stroomgebieden verbinden alsook een aantal rivieren uit deze aanpalende bekkens. Het gemodelleerde gebied beslaat zo bijna 49 500 km².

De resultaten van deze simulatie worden gepresenteerd voor een publiek van deskundigen die direct betrokken zijn bij watervoorzieningsproblemen in Vlaanderen. De resultaten uit de vorige deelopdrachten zijn gebundeld en in dit regionaal waterallocatiemodel geïmplementeerd. Op basis van de verbetering van het modelinstrumentarium in Deelopdracht 1 en de actualisatie van de watervraaggegevens in Deelopdracht 2 is een nieuwe versie van het waterbalansmodel op regionaal niveau opgesteld in MIKE HYDRO Basin. Het studiegebied is ook uitgebreid om het Maasbekken te omvatten. De uitbreiding van het studiegebied heeft vooral te maken met het feit dat het systeem van waterwegen en kanalen in de Kempen, inclusief het zeer relevant Albertkanaal, grotendeels water uit de Maas onttrekt.

Rekening houdend met de regionale schaal van het model, de onzekerheid van sommige invoerinformatie, de betrouwbaarheid van de metingen bij lage afvoeren en het belang van de droge periodes kan gesteld worden dat het model er behoorlijk goed in slaagt de huidige situatie te simuleren. Aldus de hoofddoelstelling van de studie is bereikt: de uitbreiding en verfijning van een regionaal model dat rekening houdt met het grootste deel van het watergebruik en wateraanbod van de bevaarbare rivieren en kanalen in het Scheldestroomgebied en aanpalende bekkens.

Uit de globale analyse van de resultaten en analyse per sector, bekken en pand worden de volgende conclusies getrokken:

- Resultaten en conclusies omtrent de vroegere versie van het waterbalansmodel voor het Scheldestroomgebied op regionale niveau (De Boeck et al, 2011) worden in de huidige versie bevestigd.
- Hoewel treden watertekorten op bij verschillende gebruikers tijdens de simulatie van 1967 tot 2013 heeft de grote meerderheid van geïnventariseerde watergebruikers in Vlaanderen geen significante problemen van watertekort.
- Het Albertkanaal en het Kanaal Gent Terneuzen vormen de vooraanstaande knelpunten in het studiegebied.
- Watertekorten getoond langs het Kanaal Leuven Dijle worden veroorzaakt door een laag gemodelleerde hydrologische afvoer van de Dijle net opwaarts het kanaal die te wijten is aan schaarse data en de grootte van het deelbekken van de Dijle.
- Wintam toont in werkelijkheid geen watertekorten zoals in de simulatie. Dit kan te wijten zijn aan water dat vanuit de Zeeschelde wordt binnengelaten tijdens lage afvoeren in het Kanaal Brussel Schelde. Hoge gemodelleerde tekorten kunnen ook te wijten zijn aan een overdreven werking van fictieve Pomp Zemst.
- Scheepvaart wordt duidelijk het meest problematische sector waar watertekorten op regelmatige en ernstige wijze zich voordoen. Het grootste knelpunt hieraan is het Albertkanaal.
- Het Kanaal Gent Terneuzen neemt een grote watervraag op om het verdrag tussen Nederland en België omtrent het minimaal debiet hierlangs te voldoen waarvoor op bijna jaarlijkse wijze niet genoeg water beschikbaar is.
- Hoewel tijdens de zomermaanden de minimale hoeveelheid zoet voedingswater niet geleverd wordt, worden tijdens wintermaanden voldoende hoge debieten afgevoerd zodat het zoutgehalte in het

kanaal beperkt blijft (gemiddeld 2,42 g/l chloride in het controlepunt) en er dus geen geleidelijke verzilting van het kanaal is.

- Globale analyse per bekken laat gevoelige bekkens identificeren met toegewezen waarden per bekken gemiddeld van alle gebruikers binnen het bekken. Niettemin veroorzaakt dit dat het detail van het watergebruik per bekken verloren gaat. Bijgevolg wordt het noodzakelijk om watergebruikers per bekken individueel te analyseren
- Het verdrag tussen Nederland en België omtrent toegestane Vlaams gebruik van water van de Maas om het Albertkanaal en de Kempische kanalen te voeden wordt in werkelijkheid niet altijd voldaan. Metingen van debiet in de Maas te Monsin en langs Kanne richting het Albertkanaal bevestigen deze conclusie.
- De onlangs gebouwd en aan het bouwen pompinstallaties voor alle sluiscomplexen langs het Albertkanaal zullen de tekorten hierlangs helpen verminderen of volledig vermijden.
- Resultaten en conclusies omtrent de vroegere versie van het waterbalansmodel voor het Scheldestroomgebied op regionale niveau (De Boeck et al, 2011) worden in de huidige versie bevestigd.
- Dit model is geschikt voor het evalueren van analyses van de huidige toestand en om de impact van klimaatveranderingen op de waterbalans van het Scheldebekken te begroten.

Uit de analyse van de simulatie tussen 1967 en 2013 (op basis van de huidige watervraag) blijkt dat er voor nagenoeg alle gebruikers aan de waterbehoefte voldaan kan worden. Langs enkele waterwegen komen er wel tekorten voor, waaronder ook een aantal economisch belangrijke (Kanaal Gent-Terneuzen, Albertkanaal, Kanaal Schelde-Duinkerke). Deze tekorten blijven echter, op een paar uitzonderingen na, beperkt tot maximum een aantal dagen en dat gedurende maximum een maand.

Het waterbalansmodel is uitgebreid en verder verfijnd. Deze modelactualisatie houdt rekening (impliciet) met de belangrijkste interactie met grondwater, modelleert de situatie in Noord Frankrijk en in het Maas bekken (en zijn interactie met de Schelde) op een meer gedetailleerde manier. Met deze instrumentarium kunnen langdurige simulaties worden uitgevoerd en de resultaten daarvan kunnen worden geanalyseerd met behulp van een zelfontwikkelde postprocessing tool.

10 Aanbevelingen

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

- Hoewel het model goed presteert zijn er bepaalde zwakke punten in de validatie. Meer specifiek Bossuit, Melle en Varsenare. Het wordt aanbevolen nauwkeurigheid van metingen te beoordelen.
- Gesimuleerde hydrologische afvoer van de Dijle 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.
- Om een simulatie die nauwkeuriger en dichter bij de realiteit ligt te kunnen uitvoeren wordt het aanbevolen om het gebruik van water tijdens lage afvoeren in Wintam of de opstelling van de fictieve Pomp Zemst verder te onderzoeken.
- Aandacht moet besteed worden aan sectoren van hoge maatschappelijk belang zoals Sector E (drinkwater) die hebben te kampen met watertekorten in de simulatieperiode van deze studie. Meer specifiek waterproductiecentrums Blankaart, Oelegem en Kluizen.
- De onlangs gebouwd en aan het bouwen pompinstallaties voor alle sluiscomplexen langs het Albertkanaal zullen de tekorten hierlangs helpen vermijden. Aangezien de sterke invloed deze zullen hebben op de afvoer van deze waterweg wordt het aanbevolen dat ze worden geïnventariseerd en toegevoegd in een toekomstige versie van het waterbalansmodel in MIKE HYDRO Basin.
- Aangezien de recente droogte toestanden aan de IJzer (zomer 2017) niet opgenomen worden in deze studie maar wel van groot belang zijn in het waterbeheer, is het aanbevolen om waterbeschikbaarheid in dit deelbekken te bestuderen onder extreme condities. Het is ook noodzakelijk om te formuleren hoe ongepermitteerde onttrekkingen vanuit de IJzer zouden kunnen gekwantificeerd worden.
- Bepalen de Ecologische afvoer (E-flow) van de belangrijkste waterlopen.
- Onderzoeken hoe moet het watergebruik aangepast worden tijdens situaties van extreme droogte en uitzonderlijk watergebruik.
- Uitbreiden de waterbalans met watergebruik en wateraanbod van grondwater.
- Uitbreiden de waterbalans rekening houden niet alleen met de watergebruik maar let de waterbehoeftes van de verschillende gebruikers.
- Bepalen het afvoerregime die nodig is om geen morfologische veranderingen te brengen in de Zeeschelde.

Tenslotte, moet deze soort studies (waterbeschikbaarheid) aangevuld worden met droogte studies. Deze huidige studie houdt geen rekening met de waterbehoeftes van gewassen of natuurgebieden. Bovendien is er geen rekeningen gehouden met de waterbehoeftes van de gebruikers maar met het huidige watergebruik.

11 Referentielijst

Baetens J.; Peeters P.; Van Eerdenbrugh K.; Mostaert F. (2006). Watersysteem van het Albertkanaal en de Kempense kanalen: Opmaak van een modelinstrumentarium voor de ontwikkeling van laagwaterstrategieën. WL Rapporten, 724_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

De Boeck, K.; Michielsens, S.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2011). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en - allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 4 - Modellering van de huidige toestand op regionaal niveau. Versie 2_1. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Gupta, Hoshin V.; Kling, Harald; Yilmaz, Koray K.; Martinez, Guillermo F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology 377: 80 – 91.

Huysentruyt, S.; Michielsens, S.; Nossent, J.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2021). Modelling water availability and water allocation strategies in the Scheldt basin: Sub report 2 – Development of a methodology for updating the water demand of the water allocation model. Version 1.1. FHR Reports, 00_162_2. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Michielsens, S.; Degrande, L.; Elyahyoui, J.; Vereycken, K.; Pereira, F.; Vanderkimpen, P.; Mostaert, F. (2021). Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 1 – Verbeteren van het modelinstrumentarium. Versie 1.1. WL Rapporten, 00_162_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Michielsens, S.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2001). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en –allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 1 – Inventarisatie. Versie 2_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Moriasi, D.; Arnold, J.; Van Liew, M.; Bingner, R.; Harmel, R.; Veith, T. (2007). Model Evaluations Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Soil & Water Division. Transactions of the ASABE. Vol. 50(3): 885–900.

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.

Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10 (3): 282–290.

Pereira, F.; Nossent, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Verlaging van de waterstanden in het Albertkanaal in juli 2011: Advies. Versie 4.0. WL Adviezen, 14_074. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Bijlage 1: Geprogrammeerde Pompinstallaties

		Normaalpei I	Aanslagpei I 1	Aanslagpei I 2	Aanslagpei I 3	Aanslagpei I 4
Kanaal Bossuit-Kortrijk (KBK)						
Pomp Zwevegem	mTAW	17.2	17.25	17.3		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	1.5	2		
Pomp Moen	mTAW	25.35	25.25	25.2		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.6	5.2		
Pomp Bossuit	mTAW	20.75	20.7	20.65		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.77	5.54		
Kanaal Roeselare-Leie (KRL)						
Pomp Ooigem	mTAW	15.5	15.44	15.39	15.34	15.3
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.3	4.6	6.9	9.2
Kanaal Brussel Charleroi (KBC)						
Pomp Marchienne	mTAW	106.55	106.45	106.4		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.5	5		
Pomp Gosselies	mTAW	113.8	113.65	113.6		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.5	5		
Pomp Viesville	mTAW	121.25	121.1	121.05		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.5	5		
Pomp Ittre	mTAW	53.65	53.6	53.55		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.5	5		
Canal du Centre (CdC, Wallonië)						
Pomp Havre	mTAW	48.05	48	47.95		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	3.33	6.66		
Pomp Obourg	mTAW	38.15	38.1	38.05		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.78	5.56		
Canal Pommeroeul-Condé (CPC, Wallonië)						
Fictieve Pomp Pommeroeul	mTAW	19.5	19.65	19.7		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	3.06	6.12		
Canal Nimy-Blaton-Peronnes (NBP, Wallonië)						
Pomp Maubray	mTAW	33.15	33.1	33.05		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2.5	5		
Pomp Peronnes	mTAW	20.65	20.6	5.56		
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	20.55	11.12		
Canal du Nord (CdN, Frankrijk)						
Pomp Palluel	mTAW	41.85	41.8			
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	2			
Kanaal Brussel-Schelde (KBS)						
Fictieve Pomp Zemst	mTAW	13.3	13.2999			
	Max pompdebiet (m³/sec)	0	3.6			

Bijlage 2: nace-bel codering

Deze codering is aangevuld met drie extra sectoren die niet in NACE-BEL zijn opgenomen.

- Scheepvaart (aangeduid met "SCH")
- Watervangen langs het Albertkanaal en de Kempense kanalen waarvan het water door gebruikers die tot verschillende sectoren behoren, gebruikt wordt (aangeduid met "WV")
- Onbekende gebruikers, van wie het onmogelijk is na te gaan tot welke sector ze behoren (aangeduid met "ONB")

Code	Beschrijving
A	Land-, bosbouw & visserij
B	Winning van delfstoffen
C	Industrie
D	Productie & distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht
E	Distributie van water, afval- en afvalwaterbeheer en sanering
F	Bouwnijverheid
G	Groot- & detailhandel; reparatie van auto's en motorfietsen
H	Vervoer & opslag
O	Openbaar bestuur en defensie; verplichte sociale verzekering Ozout : Spuien Olek : Lekken
ONB	Onbekend
Q	Menselijke gezondheidszorg en maatschappelijke dienstverlening.
R	Kunst, amusement en recreatie
S	Overige diensten
SCH	Scheepvaart
T	Huishoudens als werkgever; niet-gedifferentieerde productie van goederen en diensten door huishoudens voor eigen gebruik
WV	Watervangen in het stelsel van het Albertkanaal en de Kempense kanalen (gebruik door meerdere sectoren)

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