

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM



Vlaanderen
is wetenschap

00_162_1
WL rapporten

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 1
Verbeteren van het modelinstrumentarium

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 1 – Verbeteren van het modelinstrumentarium

Michielsens, S.; Degrande, L.; Elyahyioui, J.; Vereycken, K.; Pereira, F.; Vanderkimpen, P.; 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/2021/3241/128

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Michielsens, S.; Degrande, L.; Elyahyoui, J.; Vereycken, K.; Pereira, F.; Vanderkimpfen, P.; Mostaert, F. (2021). Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 1 – Verbeteren van het modelinstrumentarium. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_162_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Vlaamse Overheid	Ref.:	WL2021R00_162_1
Trefwoorden (3-5):	Waterbalans; Waterschaarste; Hydrologie		
Kennisdomeinen	Waterbeheer > Waterkwantiteit > Waterbalans – Waterbeschikbaarheid > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	88	Bijlagen (p.):	32
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Michielsens, S.; Degrande, L.; Elyahyoui, J.; Vereycken, K.; De Boeck, K.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.	Getekend door:Fernando Pereira (Signat Getekend op:2021-07-01 16:42:25 +02:00 Reden:Ik keur dit document goed
	Vanderkimpfen, P.	Getekend door:Paul Vanderkimpfen (Signa Getekend op:2021-07-09 10:33:21 +02:00 Reden:Ik keur dit document goed
Projectleider:	Pereira, F.	Getekend door:Fernando Pereira (Signat Getekend op:2021-07-01 16:43:09 +02:00 Reden:Ik keur dit document goed

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door:Frank Mostaert (Signature Getekend op:2021-07-07 16:18:40 +02:00 Reden:Ik keur dit document goed
-----------------	--------------	--



Abstract

In deze deelopdracht zijn enerzijds 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. Bovendien is het model uitgebreid met een hydrologisch model van de Maas zodat de input in het model opwaarts het Albertkanaal en de Kempense kanalen niet afhangt van (in sommige gevallen herschaalde) meetreeksen, en bijgevolg ook over een periode van 45 jaar kan worden gemodelleerd.

Tot slot is ook het modelinstrumentarium zelf geactualiseerd en geëvalueerd op zijn geschiktheid voor toekomstig gebruik. Om lange simulaties uit te kunnen voeren is geopteerd om over te schakelen naar de meest recente versie van Mike Basin. Anderzijds is aangetoond dat de modelleringsaanpak voldeed om inderdaad van een waterbalansmodel te kunnen spreken. In deze fase is 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.

Na bovenvermelde aanpassingen, kan geconcludeerd worden dat het waterbalansmodel geactualiseerd is en klaar om gebruikt te worden voor de modellering van de huidige toestand en om de impact van klimaatveranderingen op de waterbalans van het Scheldebekken te begroten. Hierdoor is het model klaar om aan de nieuwe inzichten van de Europese Commissie te voldoen. Deze wijzen er op dat de uitdrukking van de waterbeschikbaarheid niet langer zal gebeuren aan de hand van indices maar aan de hand van soortgelijke waterbalansberekeningen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
1 Inleiding	1
2 Onbevaarbare waterlopen	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Methodologie	2
2.3 Studiegebied	3
2.4 Resultaten.....	5
2.4.1 Inventarisatie van het watergebruik	5
2.4.2 Vergelijking watergebruik ten opzichte van de netto oppervlaktewaterafvoer	6
2.4.3 Het herafijken van de hydrologische modellen.....	8
2.5 Conclusie.....	12
3 Grondwater	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Analyse van grondwateronttrekkingen in Vlaanderen.....	13
3.3 Drainerende werking van rivieren vs. de gemodelleerde basisafvoer uit de hydrologische modellen 17	
3.3.1 Simulatie met het Vlaams Grondwater Model.....	17
3.3.2 Vergelijking van de grondwatermodellen met de basisafvoer van NAM.....	20
3.4 Conclusies	21
4 Noord-Frankrijk	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Methodologie	23
4.3 Evolutie van de lozingen en onttrekkingen per sector.....	24
4.3.1 Industrie & landbouw	24
4.3.2 Rioolwaterzuiveringsinstallaties.....	28
4.3.3 Drinkwater	29
4.3.4 Waterbeheer/Scheepvaart.....	30
4.4 Recente debiet- en neerslaggegevens.....	36
4.4.1 Debiet	36

4.4.2	Neerslag.....	40
4.5	Conclusie.....	47
5	De interactie tussen de Maas en de kanalen	48
5.1	Inleiding	48
5.2	Beschrijving van de verdelingsknoop tussen Luik en Maastricht	48
	(bron: Pereira et al., 2016)	48
5.3	Verfijning van het waterbalansmodel	50
5.3.1	Reservoirkarakteristieken.....	51
5.3.2	Hydrologische input.....	51
5.3.3	De voeding van het Albertkanaal	52
5.3.4	De zijkanalen van Monsin, Haccourt-Visé, Lanaye en Briegden-Neerharen	56
5.3.5	De sluis van Genk.....	57
5.3.6	De Maas tot Borgharen	58
5.4	Conclusie.....	63
5.5	Validatie waterbalansmodel.....	63
5.6	Maasverdrag.....	63
5.6.1	Maas: Amay/Angleur	64
5.6.2	Haccourt	66
5.6.3	Kanne	70
5.6.4	St.-Pieters	73
5.6.5	Smeermaas	74
5.6.6	Lommel	75
5.6.7	Lozen.....	76
5.6.8	Borgharen	78
5.6.9	Bunde.....	79
5.7	Conclusie.....	80
6	Software voor het waterbalansmodel.....	81
6.1	Inleiding	81
6.2	Samenvatting van het uitgevoerde onderzoek	82
6.3	Conclusie.....	83
7	Conclusies	84
7.1	Onbevaarbare waterlopen	84
7.2	Grondwater	85
7.3	Noord- Frankrijk.....	85
7.4	Modellering van de Maas	85
7.5	Software problemen.....	86

7.6	Algemene conclusies	86
8	Referenties	87
Bijlage 1	Onbevaarbare waterlopen – Herafijking hydrologische modellen. Resultaten	B1
	Station V09DEM136000 (Demer te Hasselt)	B1
	Station V09GET152080 (Gete te Halen)	B7
	Station V09HER163010 (Spalbeek te Herk).....	B12
Bijlage 2	Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sectoren landbouw, industrie & drinkwater uit freatische lagen	B17
Bijlage 3	Onderzoek naar de meest geschikte software voor het waterbalansmodel	B20
	Inleiding	B20
	Achtergrond.....	B20
	Inleiding	B20
	De macro	B22
	Doelstelling.....	B22
	Software testen	B23
	Inleiding	B23
	Mike Basin 2011	B23
	Mike Basin 2012	B23
	Mike Hydro Basin 2014.....	B26
	Mike Hydro Basin 2016.....	B29
	Vergelijking Mike Basin 2011- Mike Hydro Basin 2014/2016	B29
	Conclusie.....	B32

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Vergelijking van de uitstroom uit het Vlaams Grondwater Model (BLKS) met de basisafvoer berekend via NAM modellering. (*)	21
Tabel 2 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk. Jaardebiten voor de periode 2000-2012	26
Tabel 3 – Histogram van de gezamenlijke afvoer van de Leie en de Schelde en het percentuele verlies van de sluis in Fontinettes.....	35
Tabel 4 – Afleidingstabel voor de voeding van het Albertkanaal.....	52
Tabel 5 – Waterverdelingsregels voor het Nederlandse en Vlaamse Watergebruik op basis van het Maasverdrag.....	64
Tabel 6 – Verschil tussen de modelresultaten uit 2012 , berekend met Mike Basin 2011 en de huidige modelresultaten, berekend met Mike Hydro Basin 2016, voor de periode 1967-1976 (Mike Basin 2011 - Mike Hydro Basin).	83
Tabel 7 – Verschil tussen de modelresultaten uit 2012 , berekend met Mike Basin 2011 en de huidige modelresultaten, berekend met Mike Hydro Basin 2016, voor de periode 1967-1976	B30

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Stroomgebied Demer deel onbevaarbare waterlopen	4
Figuur 2 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. knoop N348	6
Figuur 3 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. RWZI Diest	7
Figuur 4 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. RWZI Aarschot	8
Figuur 5 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt)	10
Figuur 6 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt)	11
Figuur 7 – Verdeling van het vergunde debiet over de grondwaterlichamen in Vlaanderen (2005)	14
Figuur 8 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector landbouw	15
Figuur 9 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector industrie	15
Figuur 10 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector drinkwater	16
Figuur 11 – Modeloutput van Centraal Kempisch systeem met een effectieve onttrekking van 75% van de vergunde debieten (resolutie 100mx 100m)	18
Figuur 12 – Modeloutput van Brulandkrijt systeem met een effectieve onttrekking van 75% van de vergunde debieten (resolutie 400mx 400m)	19
Figuur 13 – Infiltratie en drainage door de Kempische kanalen o.b.v. de Modflow model resultaten	19
Figuur 14 – Locaties van de drie geteste deelstroomgebiedjes, met de modeloutput van het BLKS als achtergrond	20
Figuur 15 – Debietvergelijking (2000-2009) van de simulatieresultaten met de metingen in Menen (Leie).	22
Figuur 16 – Debietvergelijking (2000-2009) van de simulatieresultaten met de metingen in Bossuit (Schelde).	23
Figuur 17 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk. Jaardebieten voor de periode 2000-2012	25
Figuur 18 – Onttrekkingen op de Leie in Frankrijk [m ³ /s]	27
Figuur 19 – Onttrekkingen op de (gekanaliseerde) Schelde te Frankrijk [m ³ /s]	27
Figuur 20 – Belangrijkste RWZI in de regio Nord-Pas-de-Calais (groen)	28
Figuur 21 – Tien belangrijkste RWZI in de regio Nord-Pas-de-Calais	29
Figuur 22 – Wateronttrekkingen t.b.v. drinkwaterproductie in het waterschap Artois-Picardië	29
Figuur 23 – Locaties van de belangrijkste sluizen in het Noord-Franse kanalenstelsel	31
Figuur 24 – Uitwisseling van water tussen de Leie en het kanaal Duinkerke-Schelde in het jaar 2011 & 2012. Neerslaggegevens van het station Lillers, 10 km van Aire-sur-la-Lys	32
Figuur 25 – Schematisch overzicht van de knoop van Aire-Sur-La-Lys	33
Figuur 26 – Jaargemiddelde sasdebieten aan de tien belangrijkste sluizen in het Noord-Franse kanalenstelsel tussen 2001 t.e.m. 2007	34

Figuur 27 – Foto van de sluis Fontinettes, genomen bij het terreinbezoek in mei 2014.....	35
Figuur 28 – Locatie van de vier gecontroleerde deelstroomgebieden	37
Figuur 29 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Robecq voor het deelstroomgebied van de Clarence	38
Figuur 30 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Clarence.	38
Figuur 31 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Thivencelle voor het deelstroomgebied van de Hogneau	38
Figuur 32 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Hogneau.	39
Figuur 33 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Mortagne voor het deelstroomgebied van de Scarpe	39
Figuur 34 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Scarpe	39
Figuur 35 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Aulnoy voor het deelstroomgebied van de Rhônele	40
Figuur 36 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Hogneau.	40
Figuur 37 – Simulatieresultaten uit fase 1 (oorspronkelijke neerslaggegevens) en fase 2 (opgevulde neerslaggegevens) vs. gemeten debiet, meetpost Robecq op de Clarence	41
Figuur 38 – Simulatieresultaten uit fase 1 (oorspronkelijke neerslaggegevens) en fase 2 (opgevulde neerslaggegevens) vs. gemeten debiet, meetpost Aulnoy op de Rhonelle	41
Figuur 39 – Gebruikte neerslagstations in het Noord-Franse deel van het Scheldebekken bij de hernieuwde simulaties van debieten per bekken opwaarts Menen (Leie) en Bossuit (Schelde).....	42
Figuur 40 – Thiessenpolygonen (rood) o.b.v. de gebruikte neerslagstations in de eerste fase vanaf 1/1/2003	43
Figuur 41 – Gecumuleerde neerslag van alle deelbekkens opwaarts de post Bossuit op de Schelde. Fase 1 is voor opvulling van de neerslagdata, fase 2 na actualisatie van de neerslagdatabank voor Noord-Frankrijk	44
Figuur 42 – Gecumuleerde neerslag van alle deelbekkens opwaarts de post Menen op de Leie. Fase 1 is voor opvulling van de neerslagdata, fase 2 na actualisatie van de neerslagdatabank voor Noord-Frankrijk.....	44
Figuur 43 – De Leie te Menen: gemeten debiet en gesimuleerd debiet voor fase 1 en fase 2	45
Figuur 44 – De Leie te Menen: verschil in het gesimuleerde debiet tussen fase 1 en fase 2	45
Figuur 45 – De Schelde te Bossuit: gemeten debiet en gesimuleerd debiet voor fase 1 en fase 2	46
Figuur 46 – De Schelde te Bossuit: verschil in het gesimuleerde debiet tussen fase 1 en fase 2	46
Figuur 47 – Schematisatie van de verdelingsknoop Luik-Maastricht.....	49
Figuur 48 – De waterverdelingsknoop tussen Luik en Maastricht	51
Figuur 49 – Relatie tussen de Maasaanvoer (Amay+Angleur) en de afvoer van het Albertkanaal (Haccourt) bij een Maasafvoer < 100 m ³ /s.	53
Figuur 50 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Haccourt op basis van de afleidingstabel in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.....	53

Figuur 51 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Haccourt op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.....	54
Figuur 52 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Kanne op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.....	55
Figuur 53 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Neerharen op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.....	56
Figuur 54 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Genk op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten.....	57
Figuur 55 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Visé op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011	58
Figuur 56 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Visé op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011.....	59
Figuur 57 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van St.-Pieter op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011	59
Figuur 58 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van St.-Pieter op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011.....	60
Figuur 59 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Borgharen op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011	60
Figuur 60 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Borgharen op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011.....	61
Figuur 61 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Bunde op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011	61
Figuur 62 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Smeermaas op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2008-2011	62
Figuur 63 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Smeermaas op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011	62
Figuur 64 – Vergelijking tussen de gemeten (blauw) en gesimuleerde Maasaanvoer (Amay+Angleur) met Mike11 (oranje) en met NAM (geel) voor 2011.	65
Figuur 65 – Vergelijking van de gemeten en gesimuleerde Maasaanvoer (Amay+Angleur) met Mike11 (oranje) en met NAM (geel) voor 2006-2013.....	65
Figuur 66 – Vergelijking van de modelresultaten te Haccourt met de metingen: verschil tussen de dagelijkse resultaten en het 3 daagse lopend gemiddelde.....	67
Figuur 67 – Vergelijking van het cumulatieve volume tussen de metingen en de berekende afvoer in Haccourt (2013).....	67
Figuur 68 – Vergelijking tussen de simulaties met en zonder het Maasverdrag (2013).....	68
Figuur 69 – Vergelijking tussen de simulaties met en zonder het Maasverdrag (2011).....	69
Figuur 70 – Gemeten en gemodelleerd debiet van de Maas in Luik (2011).	69
Figuur 71 – Modelopbouw van het 1 ^e pand van het Albertkanaal.....	70
Figuur 72 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Kanne (2013).	71
Figuur 73 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Kanne (2011).	72
Figuur 74 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in St.-Pieters (2013).....	73

Figuur 75 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in St.-Pieters (2011).....	73
Figuur 76 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Smeermaas (2013).	74
Figuur 77 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Smeermaas (2011).	74
Figuur 78 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lommel (2013).	75
Figuur 79 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2013).....	76
Figuur 80 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2011).....	77
Figuur 81 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2000-2013).....	77
Figuur 82 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Borgharen (2013).	78
Figuur 83 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Borgharen (2011).	78
Figuur 84 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Bunde (2013).....	79
Figuur 85 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor elke gebruiker tussen 1967 en 2009	82
Figuur 86 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B1
Figuur 87 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B2
Figuur 88 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B2
Figuur 89 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B3
Figuur 90 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B3
Figuur 91 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B4
Figuur 92 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B4
Figuur 93 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B5
Figuur 94 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B5
Figuur 95 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000	B6
Figuur 96 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B7
Figuur 97 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B7
Figuur 98 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B8
Figuur 99 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B8
Figuur 100 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B9
Figuur 101 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B9
Figuur 102 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B10
Figuur 103 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B10
Figuur 104 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B11
Figuur 105 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080.....	B11
Figuur 106 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B12
Figuur 107 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B12
Figuur 108 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B13
Figuur 109 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B13
Figuur 110 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B14

Figuur 111 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B14
Figuur 112 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B15
Figuur 113 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B15
Figuur 114 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B16
Figuur 115 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010.....	B16
Figuur 116 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector landbouw	B17
Figuur 117 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector industrie	B18
Figuur 118 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector drinkwater ...	B19
Figuur 119 – De gebruikte bouwstenen in het waterbalansmodel van het Scheldebekken.....	B20
Figuur 120 – Cycli in een testmodel dat de voeding van het kanaal Bossuit-Kortrijk weerspiegelt (a) en de configuratie voor de macro waarbij de gebruikers worden ontdekt (b).....	B21
Figuur 121 – Foutmeldingen bij aanvang van de eerste simulatie in MB2012	B24
Uit de vergelijking tussen de resultaten van de “Check model input” diagnose blijkt dat er tussen de twee versies (MB2011 & MB2012) geen verschil is. Figuur 122 toont de eerste vijf opmerkingen. Ook de rest van de opmerkingen komen overeen.	B25
Figuur 123 – Vergelijking tussen de resultaten van de “Check model input” diagnose van het Schipdonk00 model in MB2012 en MB2011.....	B25
Figuur 124 – Resultaat van de “Clean up and Repair Database” diagnose	B25
Figuur 125 – Bekkens die ontbreken in MHBasin 2014: Deelstroomgebieden voor de Demer opwaarts Diest. De bekkens die op knoop 348 aansluiten op het rivieren netwerk worden niet mee geconverteerd.	B27
Figuur 126 - Maximaal gesimuleerd watertekort voor elke gebruiker tussen 1967 en 2009	B29
Figuur 127 – Het verschil tussen de modelresultaten van Mike Basin 2011en Mike Hydro Basin 2014/2016ter hoogte van Bossuit.	B30
Figuur 128 – Het verschil tussen de modelresultaten van Mike Basin 2011en Mike Hydro Basin 2014/2016ter hoogte van Melle.....	B31

1 Inleiding

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

Deelopdracht 1 heeft als doel het modelinstrumentarium te verbeteren en daarbij maximaal rekening te houden met de geformuleerde opmerkingen en aanbevelingen. De voornaamste opmerkingen en aanbevelingen die zijn geformuleerd ter verbetering van het bestaande waterbalansmodel zijn hieronder samengevat:

- Er wordt enkel een waterbalans gemaakt van de bevaarbare rivieren en kanalen. Onbevaarbare waterlopen en grondwater zijn buiten beschouwing gelaten. Er wordt met andere woorden een belangrijk deel van de algemene waterbalans niet gemodelleerd.
- De informatie over het waterbeheer in Noord-Frankrijk is te beperkt waardoor er onzekerheid blijft bestaan omtrent de resultaten verder afwaarts in Vlaanderen.
- Voor het Maasbekken is geen hydrologisch model opgebouwd. Hierdoor blijft er onzekerheid bestaan omtrent de resultaten verder afwaarts in Vlaanderen. Omdat er bij opmaak van het waterbalansmodel geen debietmeters in het Albertkanaal en de Kempische kanalen aanwezig waren, zijn geen uitspraken gedaan voor dit kanalenstelsel. Gezien dit stelsel economisch belangrijk is en ook een belangrijk aandeel heeft in het watergebruik in Vlaanderen is het aanbevolen de modellering van het Maasbekken verder te verfijnen.
- Mike Basin, de software die gebruikt is om het waterbalansmodel te ontwikkelen, heeft een aantal technische beperkingen waardoor veel extra programmatie (onder de vorm van een macro in Visual Basic for Applications (VBA)) noodzakelijk is om langdurige en allesomvattende simulaties mogelijk te maken. Dit is nadelig voor de rekentijd en de verwerking van de resultaten in Mike Basin.

In Hoofdstuk 2 van dit rapport is het onderzoek naar de meerwaarde van een expliciete modellering van het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen voor de regionale modellering van de waterbalans van het Scheldestroomgebied beschreven. Daarna beschrijft Hoofdstuk 3 het onderzoek naar de invloed van het expliciet beschouwen van grondwateronttrekkingen voor het waterbalansmodel. Vervolgens zijn in Hoofdstuk 4 de aanpassingen die in het Noord-Franse deel van het model zijn uitgevoerd, toegelicht. Hoofdstuk 5 beschrijft de verfijning van het model in het Maasbekken en de gemodelleerde interactie tussen de Maas en de Kempische kanalen. In Hoofdstuk 6 wordt samengevat hoe het model is omgezet naar de meest recente versie van Mike Basin (Mike Hydro Basin versie 2016) en wat de voordelen en beperkingen van dit softwarepakket zijn. Tot slot zijn in Hoofdstuk 7 de algemene conclusies voor deze Deelopdracht 1 geformuleerd.

2 Onbevaarbare waterlopen

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft hoe onderzocht werd of een expliciete modellering van het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen een toegevoegde waarde heeft voor het huidige regionale waterbalansmodel. Het bestaande waterbalansmodel van de Schelde houdt impliciet rekening met de waterbalans van de onbevaarbare waterlopen door de hydrologische modellering van de bovenstroomse gebieden waarbinnen deze waterlopen liggen. Hydrologische modellen, of neerslag-afvoermodellen, vertalen neerslag naar afvoer in de waterlopen rekening houdend met de verschillende processen die op de neerslag ingrijpen alvorens die in de oppervlakkige afvoer terecht komt. Een hydrologische modellering bestaat er in een parameterset te bepalen die de wiskundige vertaling is van deze fysische processen. Aan de hand van deze parameterset kan een gemeten neerslagreeks omgezet worden naar een gesimuleerde debietreeks.

In het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied wordt de afvoer van de zijrivieren naar de hoofdwaterwegen berekend aan de hand van dergelijke hydrologische modellen. Het watergebruik langs deze kleinere waterlopen is bijgevolg enkel impliciet gemodelleerd. De hydrologische modellen zijn immers afgeijkt op basis van de gemeten afvoer die afwaarts op de zijrivieren gemeten wordt. Het watergebruik opwaarts van dit punt zit zo impliciet vervat in de afgeijkte parameters.

Een hydrologisch model is er specifiek op gericht een relatie te leggen tussen de neerslag en de oppervlakte-afvoer op een bepaald punt in de waterloop. Intrinsiek betekent dit dat het watergebruik binnen het gebied waarvoor een hydrologisch model wordt opgebouwd, in dat model is opgenomen. Omdat elke vorm van gebruik, of het nu om lozingen, innames, verdamping, infiltratie naar grondwater, ..., gaat, geregistreerd wordt door de debietmeetreeks die gebruikt wordt voor het bepalen van de parameterset van het hydrologisch model.

Alvorens het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen op te nemen in het waterbalansmodel moet het duidelijk zijn dat het expliciet modelleren hiervan een duidelijke meerwaarde is voor het waterbalansmodel en het doel waarvoor het is ontwikkeld; namelijk de berekening van regionale waterbalansen. Daarom is in dit hoofdstuk onderzocht wat het effect is van een expliciete modellering van het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie.

2.2 Methodologie

De bestaande hydrologische modellen werden afgeijkt ten opzichte van de debietmeetreeksen ter hoogte van bestaande limnigrafen. In deze debietmeetreeksen is het watergebruik opwaarts dus impliciet opgenomen en zoals hierboven reeds aangehaald, zit het watergebruik bijgevolg ook vervat in het hydrologisch model.

Wanneer het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen expliciet wordt gemodelleerd, dient het dus niet in rekening te worden gebracht bij de hydrologische modellering. Hiertoe wordt het van de beschouwde debietmeetreeks afgetrokken, alvorens de parameterset van het hydrologische model ten opzichte van deze meetreeks wordt afgeijkt.

Het effect van de expliciete modellering van het watergebruik kan dan worden nagegaan door het vergelijken van enerzijds de gesimuleerde neerslagafvoer gegenereerd door het oorspronkelijke hydrologische model (waarin het watergebruik impliciet in vervat zit), met anderzijds de som van het expliciet gemodelleerde watergebruik en de gesimuleerde neerslagafvoer van het hydrologische model dat is afgeijkt op de meetreeks waarvan het watergebruik is afgetrokken.

Het effect van een expliciete modellering van het watergebruik ten opzichte van een impliciete modellering wordt nagegaan door de vergelijking van de tijdreeks gegenereerd aan de hand van een hydrologisch model afgeijkt op een debietmeetreeks waar het watergebruik in zit vervat, ten opzichte van een tijdreeks op hetzelfde meetpunt, gegenereerd aan de hand van een hydrologisch model afgeijkt op een meetreeks waar het watergebruik van is afgetrokken, en waarbij, na afijking, dat watergebruik vervolgens terug is bijgeteld.

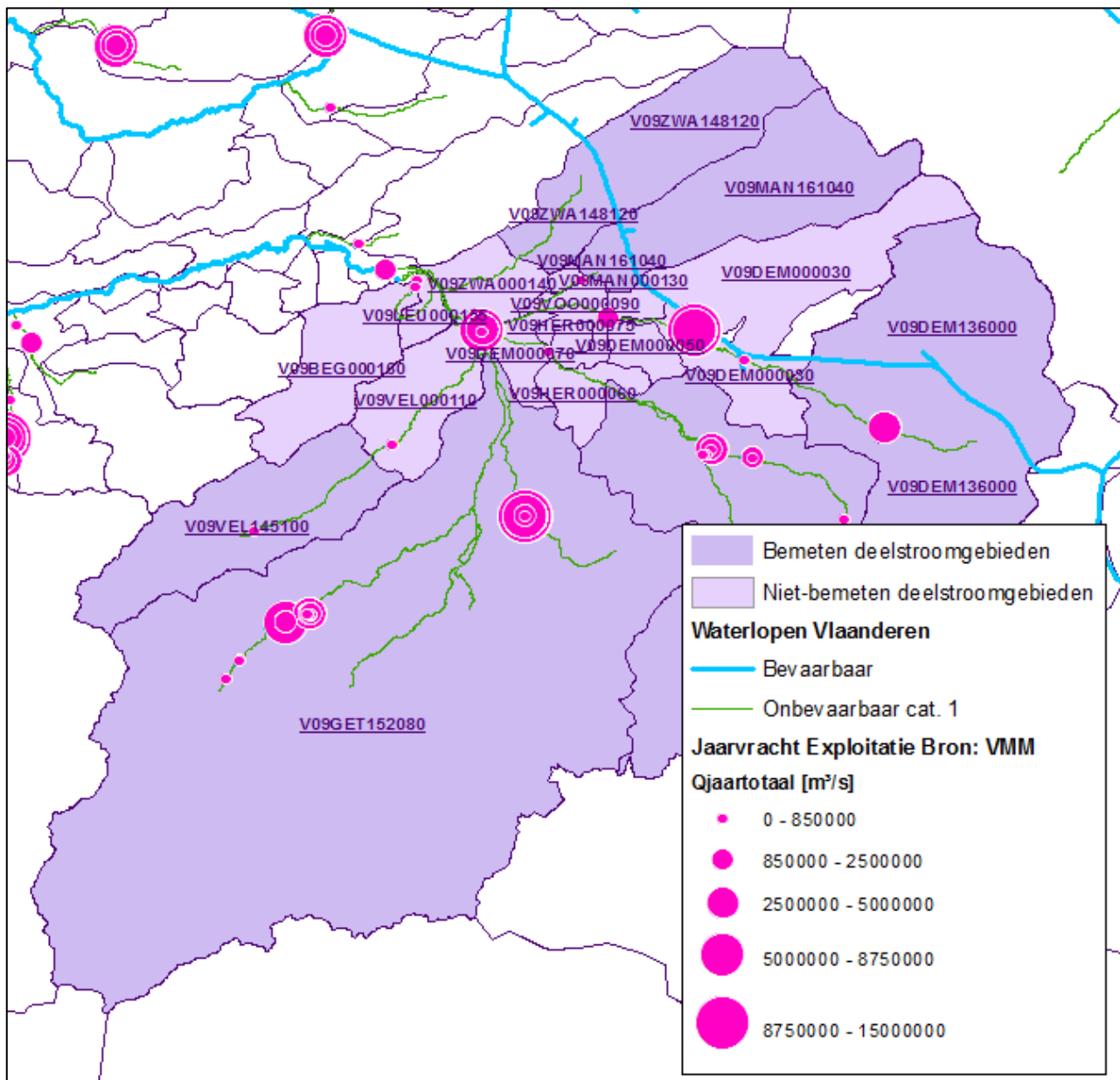
2.3 Studiegebied

Omdat binnen het stroomgebied van de Schelde heel wat onbevaarbare waterlopen zijn, is in eerste instantie gefocust op de waterlopen van 1^{ste} categorie binnen een beperkt studiegebied. Gezien in het opwaarts deel van het Demerbekken (zie Figuur 1) voldoende significant watergebruik geregistreerd wordt en een aantal bemeten deelstroomgebieden aanwezig zijn, wordt dit gebied als studiegebied geselecteerd.

De blauw ingekleurde waterlopen op Figuur 1 zijn de bevaarbare waterlopen die dus expliciet opgenomen zijn in het waterbalansmodel. De groen gemarkeerde waterlopen zijn de trajecten van de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie, waarop het onderzoek is gericht. Op deze figuur zijn ook de bemeten en onbemetendeelstroomgebieden aangeduid. Een bemeten deelstroomgebied is een afstroomgebied waarvan de neerslagafvoer geregistreerd wordt door een limnigraaf afwaarts in dit deelstroomgebied. Voor dergelijk deelstroomgebied kan dus een neerslagafvoermode worden afgeijkt.

De roze cirkels op Figuur 1 geven een beeld van de lozingen van de RWZI's en bedrijven [m^3/s] in de waterlopen in het beschouwde gebied (zie verder).

Figuur 1 – Stroomgebied Demer deel onbevaarbare waterlopen



2.4 Resultaten

2.4.1 Inventarisatie van het watergebruik

Net zoals voor onderzoek naar een waterbalans op de bevaarbare waterlopen, is het watergebruik een basisgegeven voor de waterbalans van de onbevaarbare waterlopen. De term watergebruik omvat zowel het onttrekken van, als het lozen naar de waterloop. Voor de inventarisatie van het watergebruik op de beschouwde onbevaarbare waterlopen zijn volgende deelaspecten beschouwd:

- de effectieve lozingen en onttrekkingen van het oppervlaktewater in de waterloop;
- het watergebruik door de landbouw;
- het watergebruik door insijpelen of drainage van het grondwater.

In onderstaande paragrafen wordt toegelicht wat deze verschillende deelaspecten inhouden.

Lozingen in en onttrekkingen uit het oppervlaktewater

De onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie worden beheerd door de Vlaamse MilieuMaatschappij (VMM). De Dienst Onbevaarbare Waterlopen van de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de VMM beschikt echter niet over informatie m.b.t. het watergebruik op de door hun beheerde onbevaarbare waterlopen. De informatie is echter wel ter beschikking gesteld door de Dienst Heffingen van de Afdeling Economisch Toezicht in de vorm van de zogenaamde heffingendatabank. Deze databank is gebaseerd op de informatie die vermeld wordt in vergunningsaanvragen voor het lozen van volumes water en stelt een overzicht ter beschikking van de volumes en de locaties van lozingen door bedrijven en RWZI's (rioolwaterzuiveringsinstallaties). De door VMM aangeleverde data, betreft een tabelrapport waarin lozingsdebieten zijn vrijgegeven van bedrijven en RWZI's die het oppervlaktewater belasten. Het rapport lijst de gemiddelde dagdebieten en het totale debiet (= periodedebiet) voor een bepaalde periode van het meetpunt op. Gezien de debietmeetreeks bestaat uit dagelijkse waarden, wordt ook met daggemiddelde lozingsdebieten verder gerekend.

Gegevens met betrekking tot de onttrekkingen van oppervlaktewater op de onbevaarbare waterlopen bestaan niet, vermits onttrekkingen niet meldings- noch vergunningsplichtig zijn. Onttrekkingen op de onbevaarbare waterlopen zijn dan ook niet in dit onderzoek geïntegreerd.

Landbouw als watergebruiker

Ook de landbouw wordt in deze fase van het onderzoek als watergebruiker gedefinieerd. Het volume dat uit de waterloop wordt gehaald om aanliggende akkers te bevoeien, komt slechts gedeeltelijk door afvloeiing terug naar het oppervlaktewater van de onbevaarbare waterlopen. Een niet te miskennen aandeel van het onttrokken volume uit de waterlopen komt immers via de bodem of via evapotranspiratie terug in de hydrologische kringloop terecht.

Omdat onttrekkingen uit onbevaarbare waterlopen niet geregistreerd worden geldt, net als voor andere sectoren, ook voor de landbouwsector dat men niet weet hoeveel water deze sector werkelijk onttrekt uit deze rivieren.

In 2007 is echter in opdracht van de afdeling MIRA (milieuraapportage) wel een studie uitgevoerd (D'hooghe et al., 2007) waarin enerzijds beschreven wordt welk volume per jaar nodig is om het landbouwareaal in Vlaanderen te onderhouden. Hierbij wordt een specifiek onderscheid gemaakt tussen het water nodig voor dieren en dat voor gewassen. Daarnaast wordt ook vermeld welk aandeel van dit volume afkomstig is van welke bron. Deze resultaten laten toe toch een grove inschatting te maken van het volume dat men uit de rivieren binnen het studiegebied onttrekt ten behoeve van de landbouw.

Interactie met grondwater

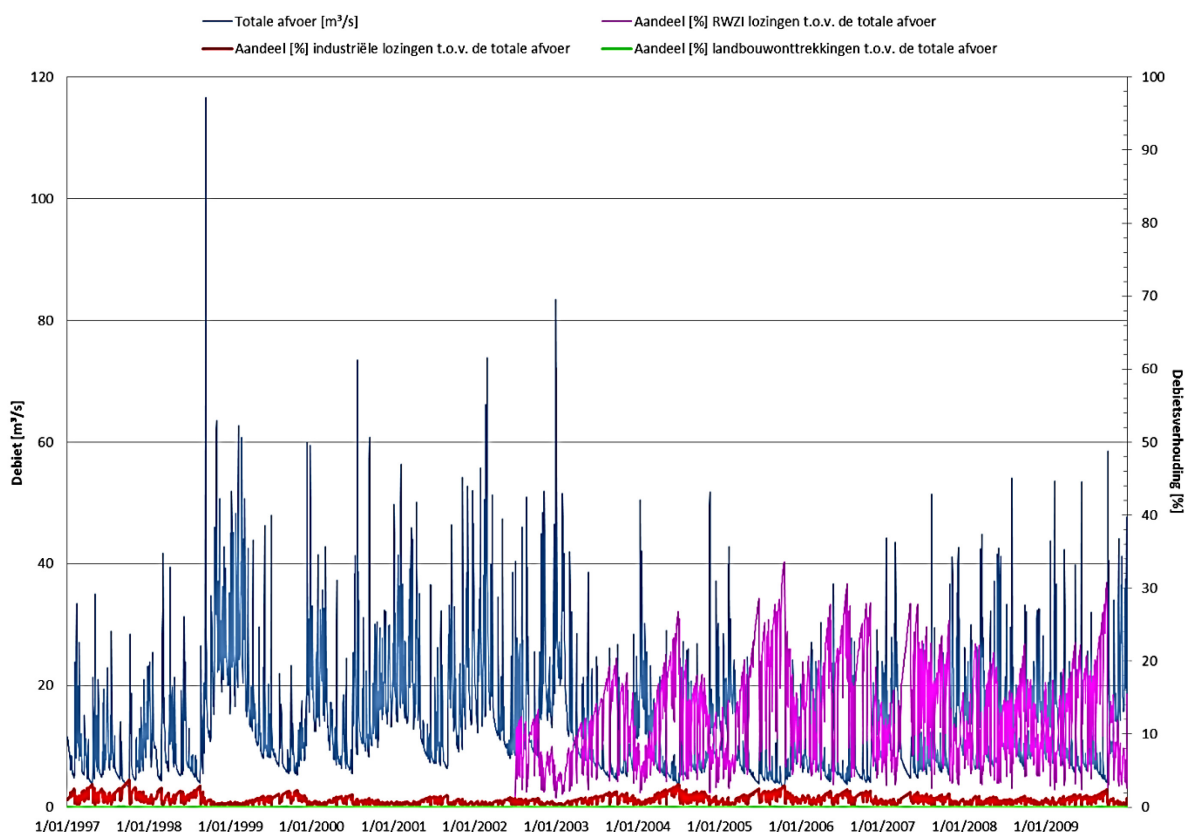
Dit onderwerp wordt hierna in §3.3 behandeld.

2.4.2 Vergelijking watergebruik ten opzichte van de netto oppervlaktewaterafvoer

Om het effectieve aandeel van het watergebruik ten opzichte van de afvoer in de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie te kennen, wordt in deze paragraaf een vergelijking gemaakt tussen beide. Figuur 2 toont de vergelijking van de RWZI lozingen (roze), de industriële lozingen (rood) en de landbouwonttrekkingen (groen) enerzijds ten opzichte van de totale afvoer (blauw) in het meest opwaarts gemodelleerde punt op de Demer in het waterbalansmodel (knoop N438 in het model). De met het waterbalansmodel gesimuleerde afvoer in dat punt, is enkel afkomstig van de hydrologische (NAM) modellen, en is aldus volledig representatief voor het voorliggend onderzoek.

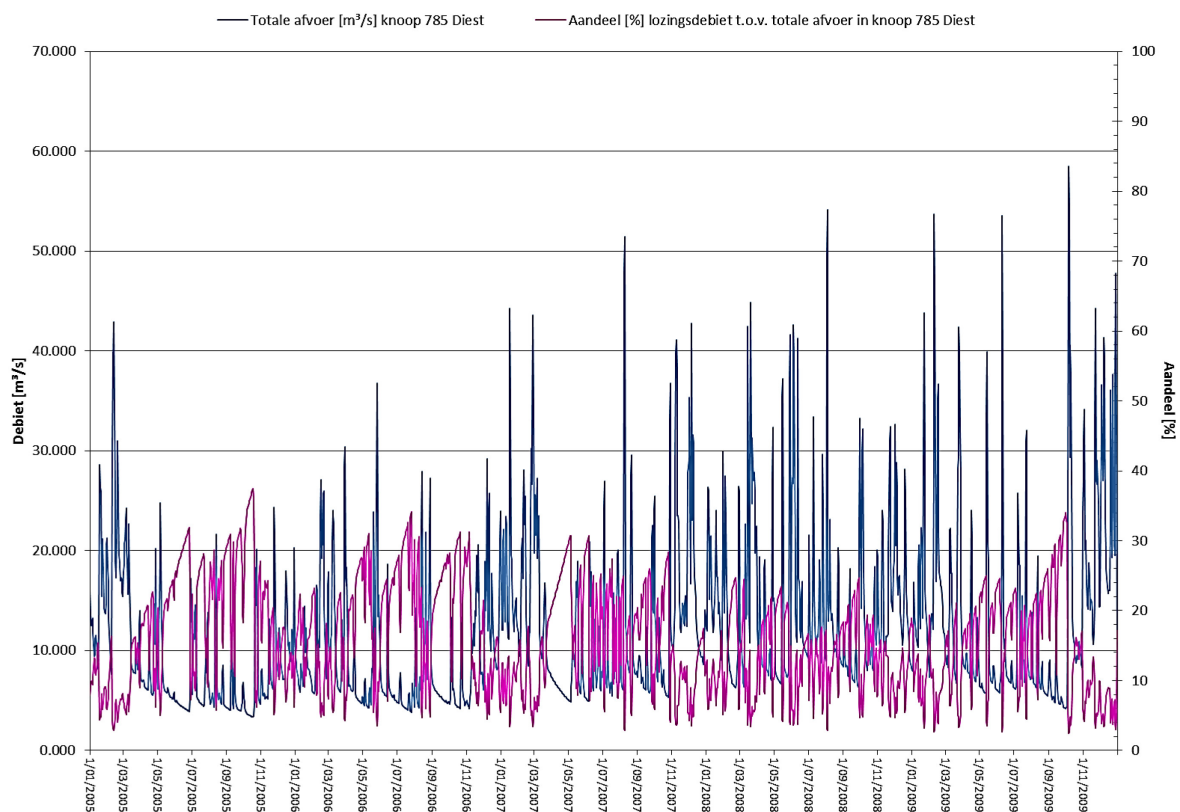
De grafiek laat zien dat voor de onderzoeksperiode het aandeel van de lozingen door RWZI's het grootst is. In droogweperperiodes loopt de verhouding van de gemeten hoeveelheden gezuiverd afvalwater in de Demer ten opzichte van de geregistreerde afvoer in de Demer op tot bijna 30%. Het aandeel industriële lozingen bedraagt ongeveer 2%, het aandeel door onttrekkingen ten behoeve van de landbouw is te verwaarlozen. De hoogste percentages doen zich voor in periodes met de laagste afvoer, de droogweperperiodes, die in kader van onderzoek naar waterbeschikbaarheid ook de grootste aandacht vereisen. Evenwel blijft het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen in grote mate een onbekende. Zoals eerder vermeld, kan enkel het geregistreerde gebruik geïnventariseerd worden, met name de lozingen.

Figuur 2 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. knoop N348 (NAM output, waterbalansmodel)

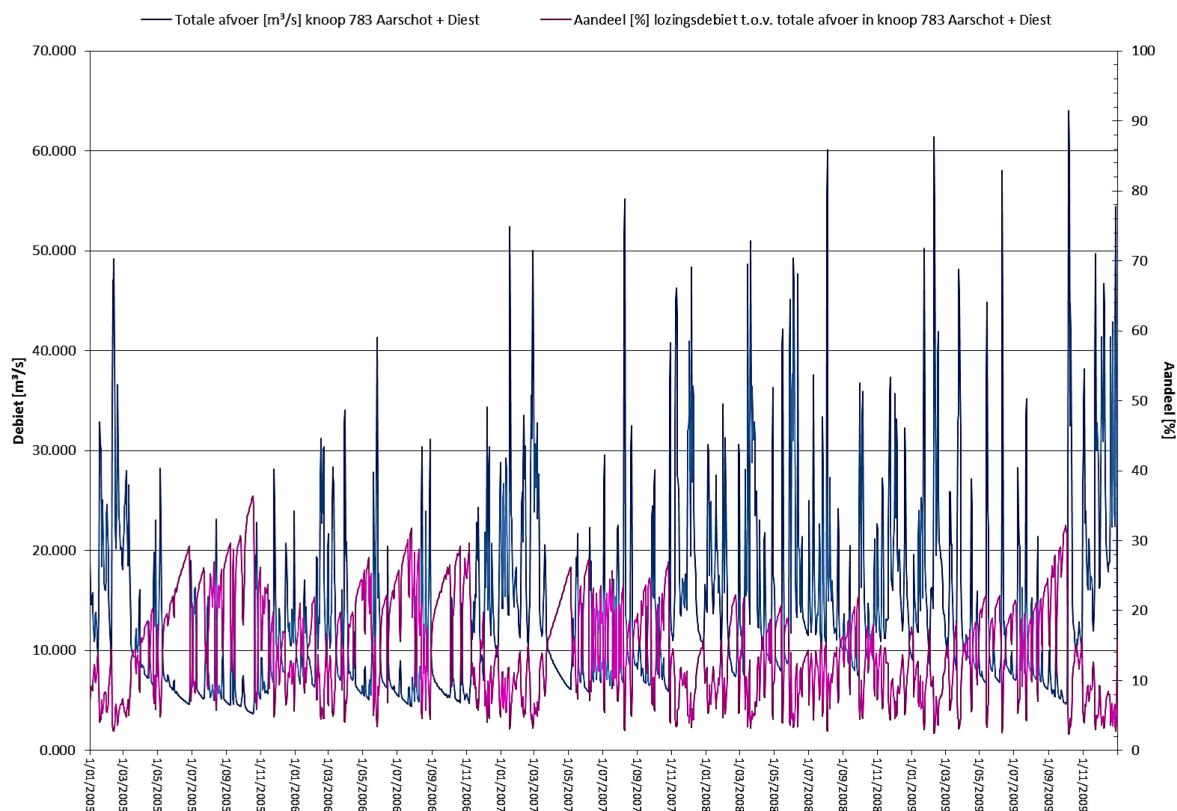


Om een idee te krijgen van de correctheid van deze begroting van het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie is dezelfde vergelijking gemaakt tussen de totale afvoer in een punt op het bevaarbare traject van de Demer en het geregistreerde en geïntariseerde watergebruik in het opwaarts traject van deze waterloop. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de inventarisatie van het watergebruik op de bevaarbare waterlopen nauwkeuriger in kaart gebracht is omdat langs deze waterwegen de registratie van lozingen en innames verplicht is. Deze vergelijking is uitgevoerd voor 2 locaties op het bevaarbare traject van de Demer. Figuur 3 toont het resultaat afwaarts het lozingspunt van het RWZI te Diest, terwijl op Figuur 4 dezelfde figuur voor een locatie afwaarts het lozingspunt van het RWZI te Aarschot toont. Het watergebruik vertoont een analoog patroon en blijft beperkt tot ongeveer één derde van de totale afvoer op de beschouwde locatie, waarbij het aandeel van het watergebruik maximaal wordt bij de lage afvoeren.

Figuur 3 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. RWZI Diest (knoop N785 waterbalansmodel)



Figuur 4 – Verhouding gemeten afvoeren t.o.v. watergebruik t.h.v. RWZI Aarschot (knoop N783 waterbalansmodel)



Bovenstaande resultaten laten toe te stellen dat het ingeschatte watergebruik op de onbevaarbare waterlopen zoals hierboven berekend, en waar verder onderzoek mee wordt uitgevoerd, voldoende representatief is voor het werkelijke watergebruik. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de inventarisatie van het watergebruik op de bevaarbare waterlopen nauwkeuriger in kaart gebracht is omdat langs deze waterwegen de registratie van lozingen en innames verplicht is.

Uit bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie niet te verwaarlozen is. Daarom is het voor het beschouwde studiegebied relevant verder onderzoek te verrichten naar het effect van het expliciet modelleren van het watergebruik op de onbevaarbare waterlopen.

2.4.3 Het herafijken van de hydrologische modellen

De afvoer in het meest opwaartse punt van het bevaarbare traject van de Demer van het bestaande waterbalansmodel, wordt bekomen door de sommatie van de afvoer van de verschillende deelstroomgebieden waarin het opwaarts gelegen deelstroomgebied is opgedeeld. Dit betekent dat er voor het bepalen van de afvoer in dat punt niet één enkel hydrologisch model bestaat dat de neerslag-afvoer relatie in dat punt bepaalt.

Opwaarts de opwaartse rand van het waterbalansmodel liggen 17 deelstroomgebieden. De totale afvoer ter hoogte van het meest opwaartse punt bestaat dus uit de som van de neerslagafvoer van deze 17 deelstroomgebieden. Van deze 17 deelstroomgebieden zijn er slechts 6 bemeten. Slechts voor 6 van die deelstroomgebieden kan dus een nieuwe parameterset worden afgeijkt.

Voor 2 van deze 6 bemeten deelstroomgebieden is er op de bijhorende onbevaarbare waterloop van 1^{ste} categorie geen watergebruik geregistreerd, met uitzondering van het geschatte aandeel voor de landbouw. Vermits dit aandeel te verwaarlozen is (<0,1%), is een herkalibratie voor deze deelstroomgebieden weinig zinvol.

Voor het deelstroomgebied van de Velpe, met als meetpunt Ransberg (L09_145), beperkt het geregistreerde watergebruik zich tot de lozing van de RWZI van Vissenaken, een vrij recente RWZI waarvan de lozingsgegevens slechts beschikbaar zijn voor de jaren 2012 en 2013. Vermits de onderzoeksperiode loopt over de jaren 1997-2009, valt ook een herkalibratie van dit deelstroomgebied weg.

Bijgevolg worden in het studiegebied onderstaande deelstroomgebieden geherkalibreerd:

- V09DEM136000, kalibratie ten opzichte van meetpunt L09_136 op de Demer te Hasselt;
- V09GET152080, kalibratie ten opzichte van meetpunt L09_152 op de Gete te Halen;
- V09HER163010, kalibratie ten opzichte van L09_163 op de Herk te Spalbeek.

Methodiek

De herafijking op de gereduceerde, of de netto-, afvoer op de voorvermelde meetlocaties op de onbevaarbare waterlopen van 1^{ste} categorie is gebeurd met behulp van de Hydr@ tool. Deze software tool, ondersteund door MS Office Excel en Visual Basic is in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkeld om de procedures voor hydrologische modellering zoals beschreven in de 'Algemene Methodologie' (Willems, 2007) te vereenvoudigen. De tool is er bovendien specifiek op gericht op een vlotte en efficiënte manier tijdreeksen in te laden, te analyseren en er mee te modelleren om de resultaten dan te kunnen toepassen in de modelleeromgeving van DHI (Mike pakketten).

Voorafgaand aan de herkalibratie zijn de gemeten debietreeksen verminderd met het bijhorende watergebruik. Deze gereduceerde afvoerreeksen zijn vervolgens in de Hydr@ tool ingeladen.

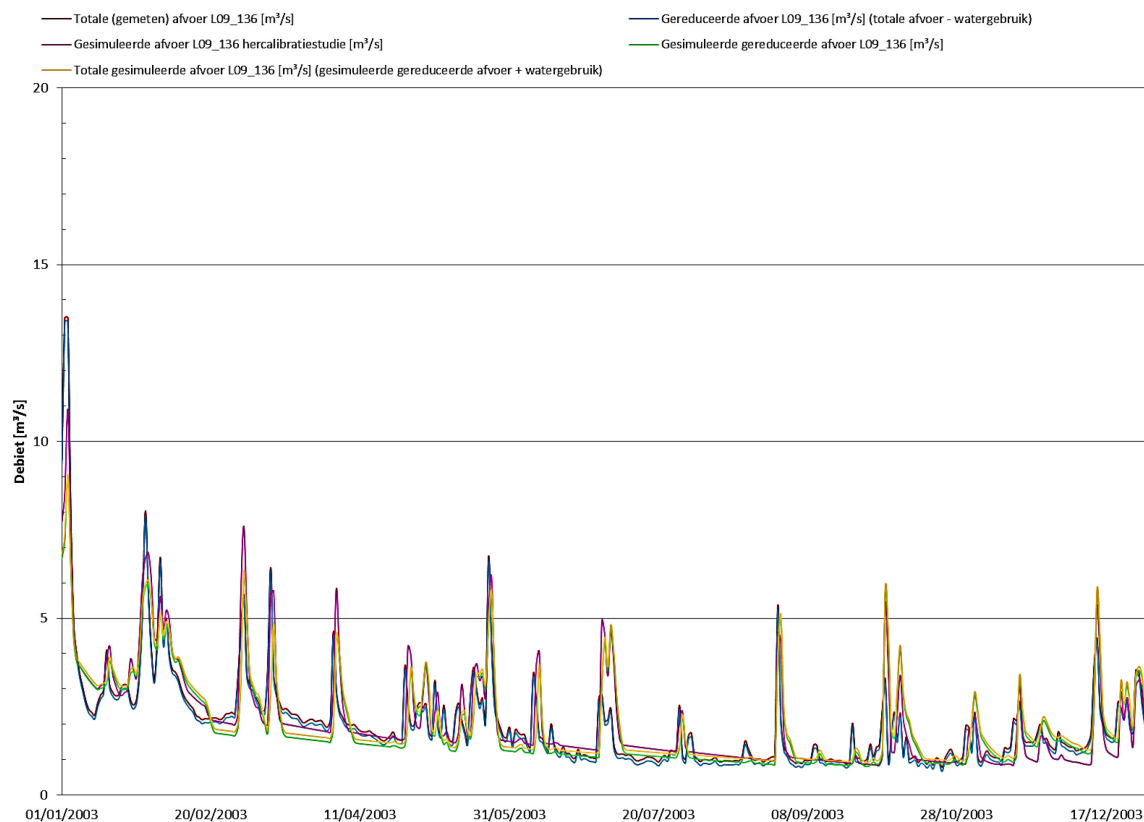
Als voorbereiding op de hydrologische modelkalibratie, wordt de gereduceerde afvoerreeks gesplitst in een basisafvoer, hypodermische afvoer en oppervlakkige afvoer. Deze deelstromen worden dan gebruikt voor de stapsgewijze kalibratiemethode, waarbij per deelstroomgebied gebruik wordt gemaakt van de overeenstemmende gebiedsneerslag en evapotranspiratie.

De benodigde inputtijdreeksen zijn gerecupereerd uit de vorige opdracht, de splitsingsparameters zijn gerecupereerd uit de studie van de herkalibratie van de hydrologische modellen van de Demer (Smets et al., 2010), die eerder is uitgevoerd in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium. Dit zijn ook de parameters waarmee de hydrologische afvoer in het Demerbekken in het oorspronkelijke waterbalansmodel is berekend.

Voor de herkalibratie van de modellen is in eerste instantie onderzocht wat het gebruik van de parameterset van voormelde studie oplevert. In een volgende fase is dan stapsgewijs een verfijning van de parameters doorgevoerd, waarna de resultaten zijn vergeleken.

Figuur 5 toont in rood de gemeten afvoer op de Demer te Hasselt voor het jaar 2003. Zoals gezegd is in eerste instantie een doorrekening gebeurd van het model met de parameters die zijn voortgekomen uit de studie van de herkalibratie van de hydrologische modellen van de Demer (Smets et al., 2010). Het resultaat daarvan is weergegeven door de roze lijn. Op deze figuur is ook de gereduceerde afvoer weergegeven in blauw. Dit is dus de gemeten afvoer, waarvan het watergebruik is afgetrokken. De gesimuleerde gereduceerde afvoer is in groen weergegeven, terwijl de gele curve het uiteindelijke resultaat is, met name de som van de gesimuleerde gereduceerde afvoer en het watergebruik.

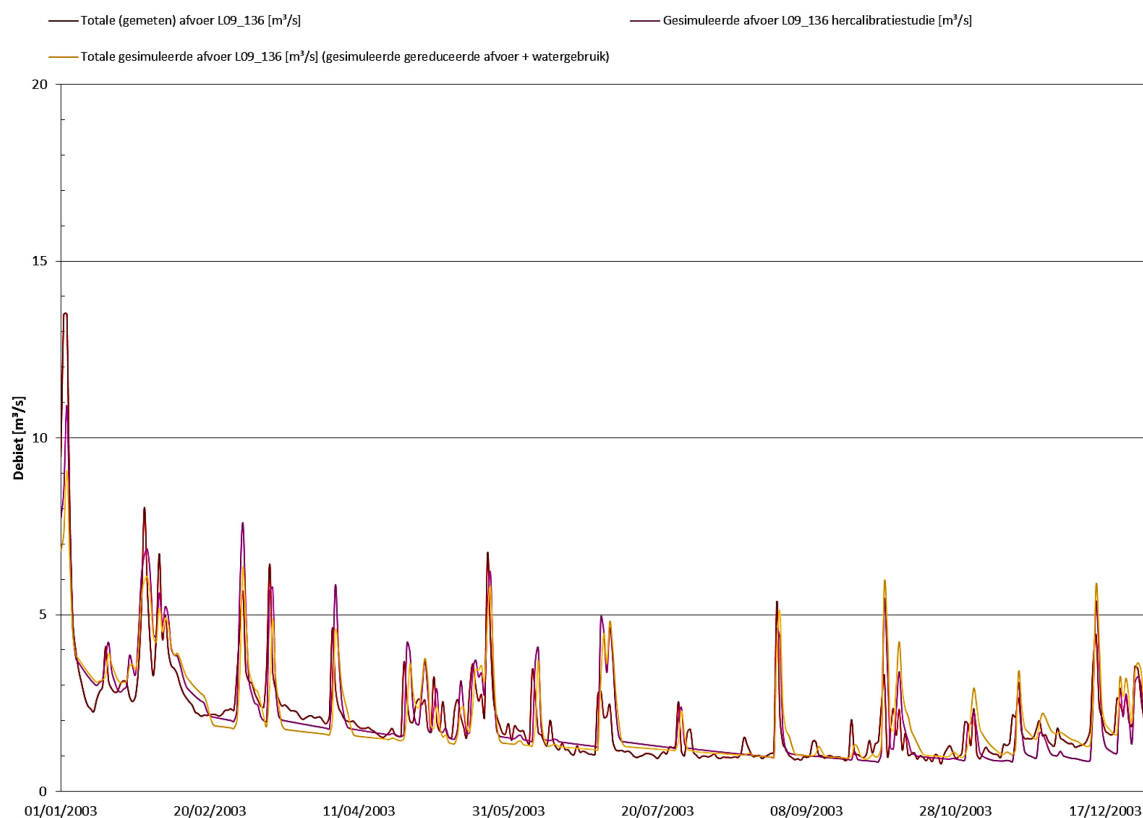
Figuur 5 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt)



Op Figuur 6 zijn enkel de gemeten afvoer (in rood) geplot, de oorspronkelijke gesimuleerde afvoer (roze) en de nieuwe gesimuleerde afvoer (geel). Deze nieuwe gesimuleerde afvoer is dus bekomen als de som van de hydrologisch gesimuleerde afvoer en het afzonderlijke watergebruik.

De vergelijking tussen de oorspronkelijk gemeten totale afvoer (rode lijn) en de nieuwe gesimuleerde afvoer (gele lijn) enerzijds, en de oude gesimuleerde afvoer (roze lijn) anderzijds toont dat de verschillen minimaal zijn. De meerwaarde van het expliciet modelleren van het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen is met andere woorden minimaal. Enkel in de zeer droge periodes geeft de nieuwe parameterset die gekalibreerd werd op de meetreeks waarvan het watergebruik werd afgetrokken een iets beter resultaat. Gezien de grootteorde van de verschillen, kan hieruit echter niet geconcludeerd worden dat dit een verbetering is ten opzichte van het impliciet modelleren. De verschillen die optreden tussen de totale afvoer en de gereduceerde afvoer zijn van eenzelfde grootteorde als de niet vermijdbare onzekerheden op het modelresultaat.

Figuur 6 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt)



Voor de resultaten van de overige jaren van de onderzoeksperiode wordt verwezen naar Bijlage 1.

2.5 Conclusie

In dit hoofdstuk is nagegaan of een expliciete modellering van het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen een toegevoegde waarde heeft voor het huidige regionale waterbalansmodel. Hiertoe is onderzocht of het expliciet in rekening brengen van het watergebruik voor een betere benadering van afvoer op de onbevaarbare waterlopen zorgt. Het onderzoek is uitgevoerd voor het Demerbekken, meer bepaald voor de bemeten deelstroomgebieden uit dit bekken waarvoor voldoende data beschikbaar was met betrekking tot het watergebruik.

Voor deze deelstroomgebieden is een nieuwe kalibratie van de hydrologische modellen uitgevoerd. Voorafgaand aan deze kalibratie, is het watergebruik afgetrokken van de gebruikte debietmeetreeks. De belangrijkste watergebruiker hierbij zijn de RWZI's langs de onbevaarbare waterlopen. Het hydrologische model is dan opnieuw afgeijkt ten opzichte van deze gereduceerde debietmeetreeks en het geregistreerde watergebruik is achteraf bij deze afvoer bijgeteld. De vergelijking van deze totale afvoer met de oorspronkelijk gesimuleerde hydrologische afvoer, toonde aan dat de meerwaarde van de expliciete modellering van het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen over het algemeen erg klein is. De afwijkingen die zich voordoen ten opzichte van het gemeten debiet, kunnen niet worden toegeschreven aan het al dan niet expliciet in rekening brengen van het watergebruik bij de hydrologische modellering. Dit gezien het verschil in gesimuleerd debiet voor beide methoden (impliciet t.o.v. expliciet in rekening brengen van het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen) van dezelfde grootteorde is als het watergebruik zelf. Voor periodes van lage afvoeren is het aandeel van het watergebruik vanzelfsprekend groter. Een nauwkeurige expliciete modellering van het totale watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen is evenwel onmogelijk omwille van het feit dat het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen niet geregistreerd wordt.

Voor waterbalansstudies op kleinere schaal, kan een expliciet in rekening brengen van watergebruik uiteraard wel nuttig zijn om bijvoorbeeld scenario's langs onbevaarbare waterlopen door te rekenen (bv. bouw van een nieuwe RWZI, extra lozingen van een bedrijventerrein, etc...). Voor dergelijke analyses is een lokale waterbalansstudie aangewezen.

Binnen de huidige studie, met name de studie naar de waterbalans binnen het Scheldebekken, is het aandeel van het watergebruik langs de onbevaarbare waterlopen verwaarloosbaar ten opzichte van de volumes verder afwaarts in de gemodelleerde bevaarbare waterlopen. Voor deze studie is de huidige manier van modelleren, waarbij het watergebruik van de onbevaarbare waterlopen impliciet vervat zit in de hydrologische modellering, bijgevolg voldoende nauwkeurig en betrouwbaar.

3 Grondwater

3.1 Inleiding

Grondwater maakt deel uit van de hydrologische kringloop. Door verschillende sectoren (landbouw, industrie, drinkwater, etc.) wordt uit verschillende watervoerende lagen grondwater onttrokken. Of een watervoerende laag al dan niet exploiteerbaar is hangt af van de doorlatendheid en de afmetingen van de laag en of de voeding van de laag groot genoeg is (Anoniem, 2006). De beschikbaarheid van grondwater is dus sterk afhankelijk van de opbouw van de ondergrond. Zo is in het zuiden van Oost- en West-Vlaanderen bijvoorbeeld veel minder grondwater beschikbaar omwille van de trage voeding, en zijn in de Kempen grote volumes beschikbaar. Vanzelfsprekend zal de grondwatertafel verlagen wanneer de grondwateronttrekking de aanvulling overtreft.

In het bestaande waterbalansmodel wordt echter niet expliciet rekening gehouden met grondwateronttrekkingen. Het grondwater (of wateraanbod) wordt met andere woorden in dit model niet expliciet gemodelleerd. Het beschikbare grondwater zit echter wel impliciet vervat in de hydrologische modellen die als input dienen voor het waterbalansmodel. Deze hydrologische modellen zetten de ingevoerde neerslag- en evapotranspiratiereeksen om naar neerslagafvoer, waarbij zowel de basisafvoer, interflow als oppervlakkige afvoer wordt gemodelleerd. Hierbij brengt de basisafvoer het beschikbare grondwater dus impliciet in rekening.

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

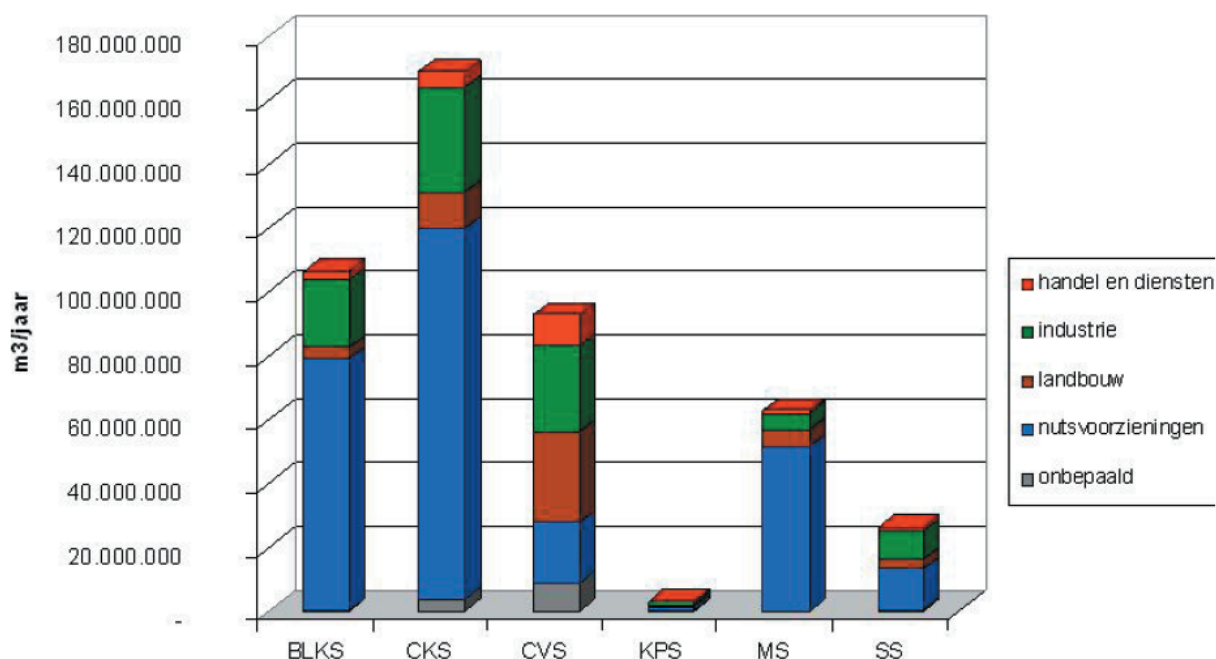
3.2 Analyse van grondwateronttrekkingen in Vlaanderen

In het rapport 'Grondwaterbeheer in Vlaanderen' (Anoniem, 2006) is op basis van meetgegevens, modellering en databeheer een overzicht gemaakt van de kwantitatieve en kwalitatieve grondwaterproblemen in Vlaanderen. In dit rapport wordt geraamd (anno 2006) dat in Vlaanderen jaarlijks ongeveer 750 miljoen m³ water wordt gebruikt. Nutsvoorzieningen (voornamelijk voor drinkwaterproductie) en industrie zijn daarbij de grootste waterverbruikers, met respectievelijk 36% en 48% van het totale gebruik. Ongeveer 290 miljoen m³ is afkomstig van grondwater en 410 miljoen m³ wordt verkregen uit beken, rivieren en kanalen. Het gebruik van regenwater en "ander water" (zoals hergebruik van RWZI-water en gerecupereerd afvalwater) wordt geraamd op 50 miljoen m³ per jaar. Dit is dus marginaal ten opzichte van het totale watergebruik (750 miljoen m³).

Het hoogste vergunde debiet situeert zich in het Centraal Kempisch Systeem (37%), gevolgd door het Brulandkrijtsysteem (23%), het Centraal Vlaams Systeem (20%) en het Maassysteem (14%). De kleinste vergunde debieten komen voor in het Sokkelsysteem (6%) en het Kust- en Poldersysteem (1%).

Onderstaande figuur (Anoniem, 2006) toont dat de sector nutsvoorzieningen (voornamelijk drinkwater) 60% in Vlaanderen het grootste vergunde debiet heeft, gevolgd door industrie (21%) en landbouw (12%). De sector handel en diensten heeft het kleinste vergund debiet (4%).

Figuur 7 – Verdeling van het vergunde debiet over de grondwaterlichamen in Vlaanderen (2005) (BLKS: Brulandkrijtsysteem, CKS: Centraal Kempisch Systeem, CVS: Centraal Vlaams Systeem, KPS: Kust- en Poldersysteem, MS: Maassysteem, SS: Sokkelsysteem)



In deze paragraaf wordt een overzicht opgebouwd van de grondwateronttrekkingen in Vlaanderen. Informatie met betrekking tot de vergunde grondwaterwinningen in Vlaanderen is bekomen via de Databank Ondergrond Vlaanderen (<https://dov.vlaanderen.be>).

Per vergunning is op dit portaal onder andere onderstaande informatie beschikbaar:

- xy coördinaten;
- adresgegevens;
- naam van de vergunningshouder;
- geldigheidsperiode van de vergunning;
- vergunde dagdebiet;
- vergunde jaardebiet;
- NACEBEL¹ codering en specifieke sector;
- uit welke formatie er water onttrokken wordt en of deze formatie aldaar freatisch of gespannen is.

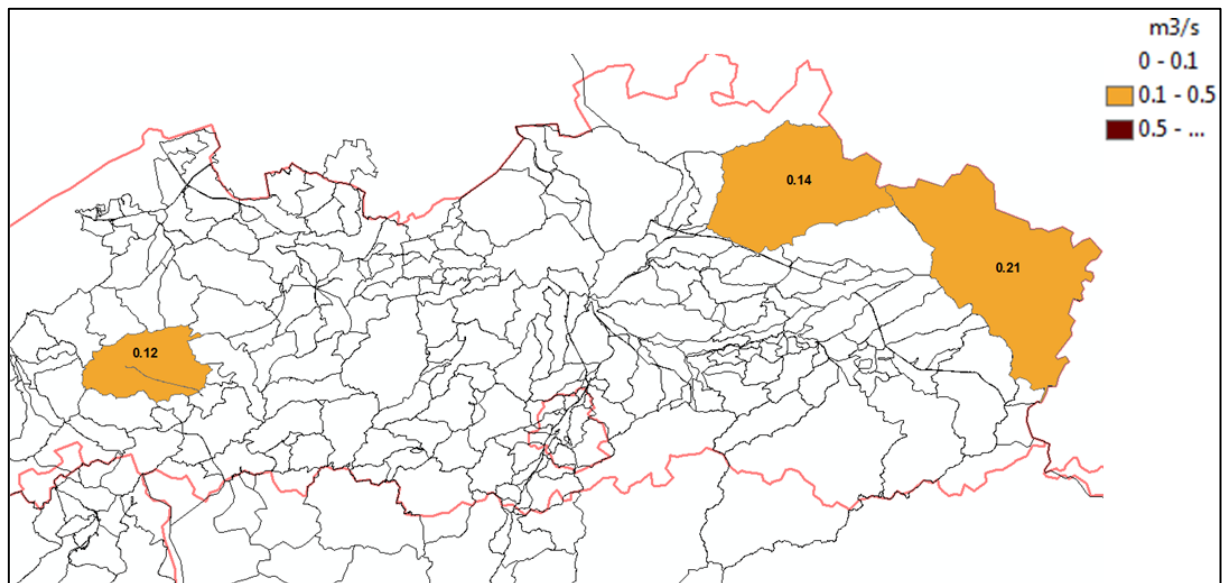
Hierbij wordt wel toegevoegd dat de vergunde debieten op het portaal steeds een overschatting zijn van het effectieve gebruik (bron: VMM). VMM rekent dat ongeveer $\frac{3}{4}$ van het vergunde debiet werkelijk onttrokken wordt. Anderzijds zijn er vermoedelijk ook nog illegale winningen. Op basis van de informatie uit de DOV-databank, zijn per stroomgebied en per NACEBEL sector alle jaar- en dagdebieten van de vergunde grondwaterwinningen geaggregeerd met behulp van de GIS-software ArcGis (©esri). De indeling van de grondwateronttrekkingen per NACEBEL sector komt overeen met deze van watergebruikers in de eerdere rapporten met betrekking tot het waterbalansmodel. Dit laat toe om het grondwatergebruik per sector (landbouw, industrie, energie, drinkwater,...) te beoordelen. Omdat de vergunde dagdebieten in [m³/s] zeer klein zijn, is hierna verder gewerkt met de geaggregeerde vergunde **jaar**debieten per deelstroomgebied.

¹ NACE is de Algemene Nomenclatuur van de Economische Activiteiten in de Europese Gemeenschap of de 'Europese activiteitenomenclatuur'. Deze code wordt gebruikt om bedrijven in te delen in sectoren. NACEBEL is deze code, toegepast voor België.

Op basis van de geaggregeerde figuren is een onderscheid gemaakt tussen significante en niet-significante vergunde jaardebieten. Hierbij is een debiet van $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ als grenswaarde genomen. Op onderstaande figuren zijn de stroomgebieden waar de geaggregeerde vergunde jaardebieten minder dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ bedragen transparant ingekleurd. Uit deze analyse blijken alleen de sectoren A (landbouw), C (industrie) en E (drinkwater) stroomgebieden te bevatten met grondwaterwinningen groter dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. De andere sectoren worden dan ook niet opgenomen in dit rapport.

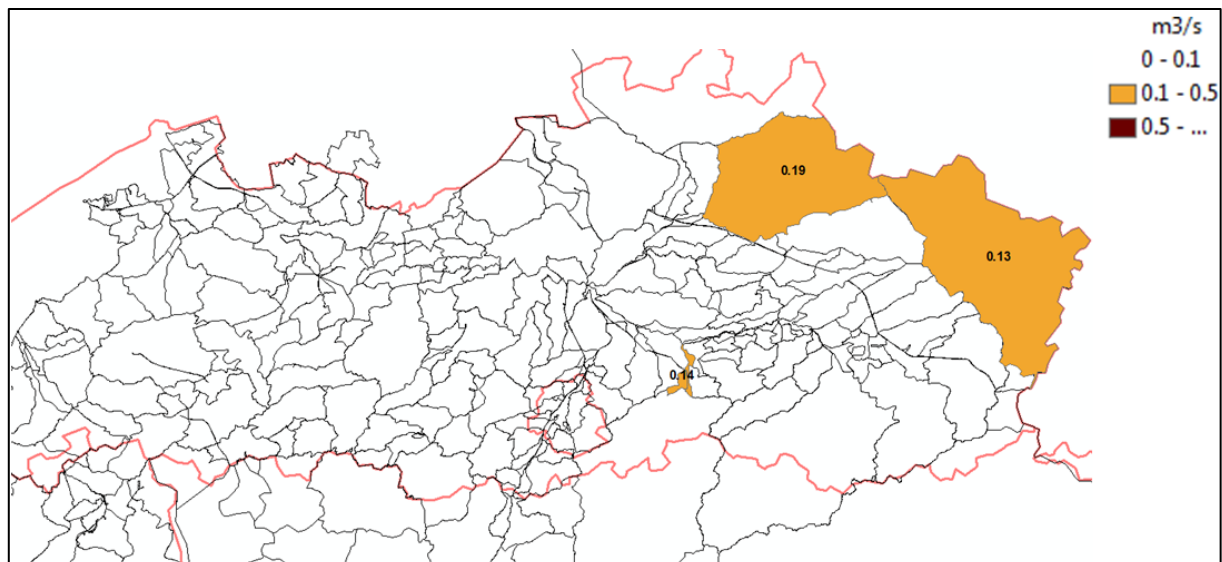
Figuur 8 toont de opgetelde vergunde jaardebieten voor de sector landbouw. Het betreft de vergunde debieten uit freatische en gespannen lagen. Slechts drie stroomgebieden hebben een debiet groter dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Het meest oostelijke stroomgebied watert dan nog eens af naar de Maas.

Figuur 8 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector landbouw (Bron data: DOV)



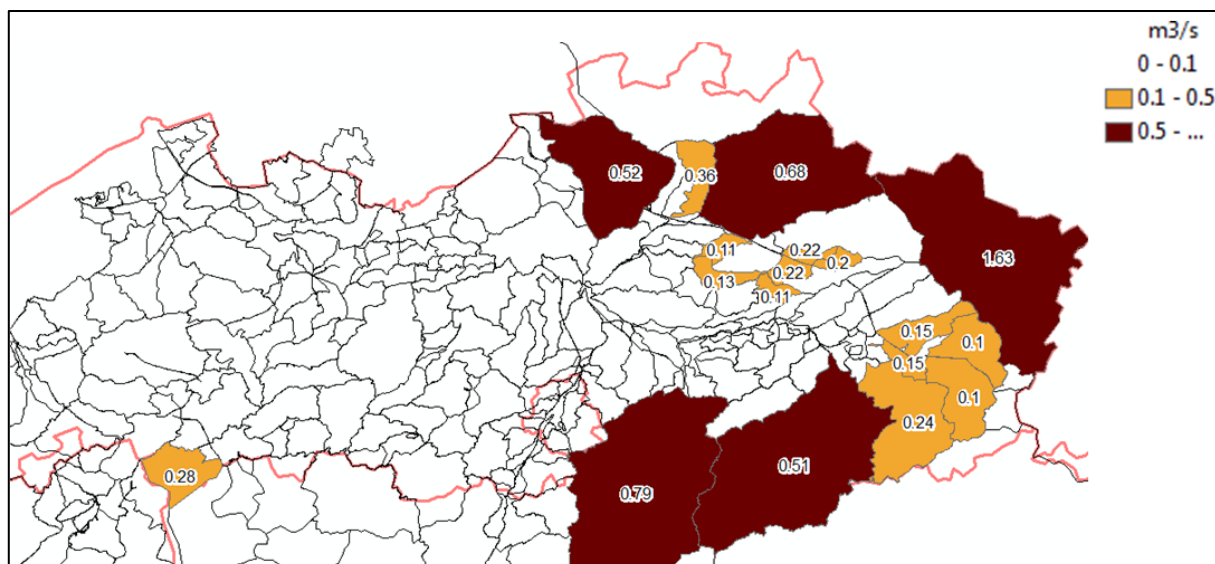
Figuur 9 toont eenzelfde overzicht voor de sector industrie. Voor deze sector zijn er in het studiegebied drie stroomgebieden waarvan de winningen groter zijn dan $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figuur 9 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector industrie (Bron data: DOV)



Figuur 10 toont de opgetelde vergunde jaardebieten voor de sector drinkwater. Hier liggen de debieten hoger, maar enkel in het oostelijke deel van het stroomgebied is dit vergunde debiet van betekenis.

Figuur 10 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector drinkwater (Bron data: DOV)



Samengeteld voor de drie sectoren worden in het betreffende oostelijke stroomgebied (deel van het Maasbekken) 2,07 m³/s aan vergunningen uit de freatische lagen toegekend (dit tegenover een gemiddeld jaardebiet van 8 m³/s). Daarna komt het Demerbekken met 1 m³/s aan vergunde debieten, waarbij het grootste aandeel wordt onttrokken voor drinkwaterproductie, wat overeenkomt met de analyses in het rapport 'Grondwaterbeheer in Vlaanderen' (Anoniem, 2006). Gezien het zomerdebiet op de Demer kan terugvallen naar ongeveer 5 m³/s (b.v. ter hoogte van de limnigraaf op de Demer te Molenstede), is dit tijdens droogweerstandigheden een aanzienlijk aandeel. Hierbij wordt wel herhaald dat normaalgesproken maximaal ¾ van de vergunde debieten effectief onttrokken worden (bron: VMM).

Bijlage 2 toont ter aanvulling ook de vergunde debieten uit enkel de freatische lagen. Samengeteld voor de drie sectoren worden in het oostelijke stroomgebied (deel van het Maasbekken) 1,66 m³/s aan vergunningen uit de freatische lagen toegekend. Het opwaartse deel van het Dijlebekken heeft het op één na grootste aandeel aan vergunde debieten uit de freatische lagen met een totaal van 0,36 m³/s aan vergunde debieten.

Grondwateronttrekkingen uit freatische lagen kunnen lokaal de grondwaterstand sterk verlagen. Deze zogenoemde standplaatsverdroging kan schade veroorzaken aan grondwaterafhankelijke ecosystemen (vooral in natte valleibodems), landbouwgewassen en gebouwen. Zeker in natte natuurgebieden kunnen grondwaterstanddalingen van enkele centimeters al aanzienlijke schade opleveren aan flora en fauna en aan landbouwgewassen.

Het grondwatersysteem wordt wel terug aangevuld door b.v. de infiltratie van regenwater en soms door drainage van rivieren. De infiltratie van regenwater wordt echter door allerlei antropogene ingrepen belemmerd. In Vlaanderen lopen op dit moment al tal van herstelprogramma's, mede in het licht van de Europese regelgeving (Kaderrichtlijn Water en Grondwaterrichtlijn) om de impact van grondwateronttrekkingen te verminderen. Zo wordt bijvoorbeeld het vergund debiet uit het Sokkelsysteem afgebouwd, wordt hergebruik van water gestimuleerd en wordt gebruik van alternatieven gestimuleerd.

Het hoeft niet gezegd dat een grondige opvolging en analyse van de grondwateronttrekking en –aanvulling in Vlaanderen dus uiterst belangrijk blijft.

In kader van het regionale waterbalansmodel echter, is de expliciete modellering van grondwateronttrekkingen minder noodzakelijk: de flux van water vanuit het grondwater naar de rivieren wordt impliciet gemodelleerd in de hydrologische modellen die de neerslagafvoer in het waterbalansmodel simuleren. Dit omdat in de debietmetingen die gebruikt worden voor de kalibratie van de hydrologische modellen, alle lozingen en onttrekkingen opwaarts dit meetpunt vervat zitten.

Gezien de regionale schaal, kan bovendien aangenomen worden dat de volumes die effectief verloren gaan uit het systeem eerder klein zijn in vergelijking met de fluxen binnen het systeem. Grondwater dat onttrokken wordt, moet in werkelijkheid namelijk volgens de VLAREM wetgeving in principe zoveel mogelijk lokaal terug in de grond worden ingebracht. Dit kan hetzij via infiltratie, of via afleiding naar de dichtstbijzijnde waterloop, of in het geval dat er een gescheiden riolering is, naar de regenwaterafvoer. Het is op de regionale schaal van het model onmogelijk om de exacte flux, gaande van grondwateronttrekking tot locatie waar het onttrokken grondwater terug in het watersysteem komt, te modelleren.

Er kan hoe dan ook verondersteld worden dat onttrekkingen voor de sector Landbouw, lokaal terug in het watersysteem terecht komen. Onttrekkingen voor drinkwaterproductie echter, kunnen wel worden geheralloceerd. Om deze flux expliciet in een waterbalansmodel te modelleren zou moeten nagegaan worden wat de doelgebieden van elke drinkwaterproducent zijn en op welke RWZI deze doelgebieden uiteindelijk zijn aangesloten. Indien de RWZI lozing buiten het Scheldestroomgebied ligt, zal dus water verloren gaan uit het systeem. Ook grondwater dat wordt gebruikt voor industriële producties die geëxporteerd worden, gaat verloren uit het watersysteem van het Scheldestroomgebied. Het hoeft ook niet gezegd, dat de inventarisatie van al deze verschillende deelstromen bijna onmogelijk volledig in kaart zal kunnen worden gebracht. Daarenboven zijn RWZI lozingen in de bevaarbare waterlopen expliciet in het waterbalansmodel opgenomen, met lozingen in de onbevaarbare waterlopen is dan weer impliciet rekening gehouden in de hydrologische modelleringen van deze waterlopen (zie Hoofdstuk 2).

In de volgende paragraaf wordt wel onderzocht in hoeverre de huidige hydrologische modellen van het waterbalansmodel de drainerende werking van rivieren benaderen. Op die manier wordt duidelijk of de huidige manier van het impliciet in rekening brengen van grondwater in het waterbalansmodel afdoende is.

3.3 Drainerende werking van rivieren vs. de gemodelleerde basisafvoer uit de hydrologische modellen

Hierna wordt een vergelijking gemaakt tussen flux tussen rivieren en grondwater die wordt gemodelleerd met behulp van een drie dimensionaal grondwatermodel enerzijds, en de gemodelleerde basisafvoer uit de hydrologische NAM modellen die als input in het waterbalansmodel worden gebruikt anderzijds. Deze vergelijking laat toe na te gaan of de fluxen tussen grondwater en rivieren in het waterbalansmodel voldoende gemodelleerd worden.

3.3.1 Simulatie met het Vlaams Grondwater Model

De Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) beschikt over grondwatermodellen die onder meer de flux tussen rivieren en grondwater berekenen. VMM heeft in kader van deze opdracht de gemodelleerde flux tussen grondwater en rivieren beschikbaar gesteld. Deze flux is tweërlei: enerzijds is er infiltratie van regen- en rivierwater naar de ondergrond (infiltrerende rivier). Anderzijds is er de drainage of het afvoeren van water uit de bodem over en door de grond, richting het oppervlaktewater (drainerende rivier).

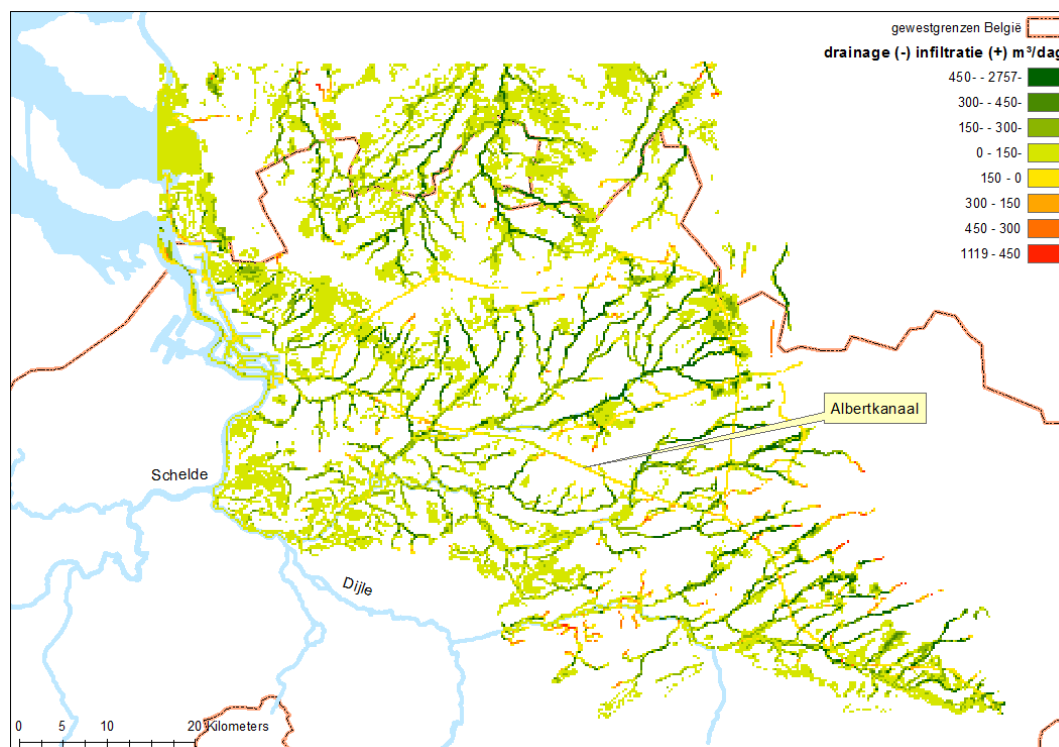
Het model waarmee deze fluxen zijn berekend is het stationaire Vlaams Grondwater Model (VGM), gemodelleerd in opdracht van VMM met behulp van het softwarepakket Modflow² (Haecon & Witteveen & Bos, 2007). Modflow berekent de fluxen per cel. Er zijn zowel simulatieresultaten beschikbaar gesteld waarbij wordt verondersteld dat 100 % van de vergunningen ook effectief wordt onttrokken, als resultaten waarbij wordt aangenomen dat 75 % en 0 % van de vergunningen wordt onttrokken. Op die manier kan ook het effect van grondwaterwinningen geanalyseerd worden. In de Modflow modellen is jaar 2000 het referentiejaar voor de grondwaterwinningen. De neerslag en PET in het model zijn langjarige gemiddelden.

De modellen worden gevoed door output van een WETSPASS model (Meyus et al., 2004). Dit is een ruimtelijk gedifferentieerd hydrologisch model dat rekening houdt met topografie, bodem, bodembedekking, neerslag, temperatuur en evapotranspiratie. Het berekent hoeveel water er naar de grondwatertafel migreert, het maakt ook een verschil tussen zomer- en winterperiodes. Ook WETSPASS is stationair. De neerslag- en PET reeksen zijn gemiddelde jaarlijkse gegevens in combinatie met contour kaarten (Meyus et al., 2004). Het betreft dus géén jaargegevens, maar gemiddelden bepaald o.b.v. van langjarige meetgegevens.

Figuur 11 en Figuur 12 tonen de gemodelleerde fluxen voor respectievelijk het Centraal Kempisch Systeem (CKS) en voor het Brulandkrijt Systeem (BLKS) met respectievelijke resolutie van 250m x 250m en 400m x 400m. Negatieve waarden zijn op deze kaarten in groen weergegeven en duiden op drainage [m³/dag] van het grondwater naar het oppervlaktewater, positieve waarden wijzen op infiltratie naar het grondwater [m³/dag]. Dit resultaat is gegenereerd met de veronderstelling dat 75 % van de vergunde grondwaterwinningen ook effectief is onttrokken.

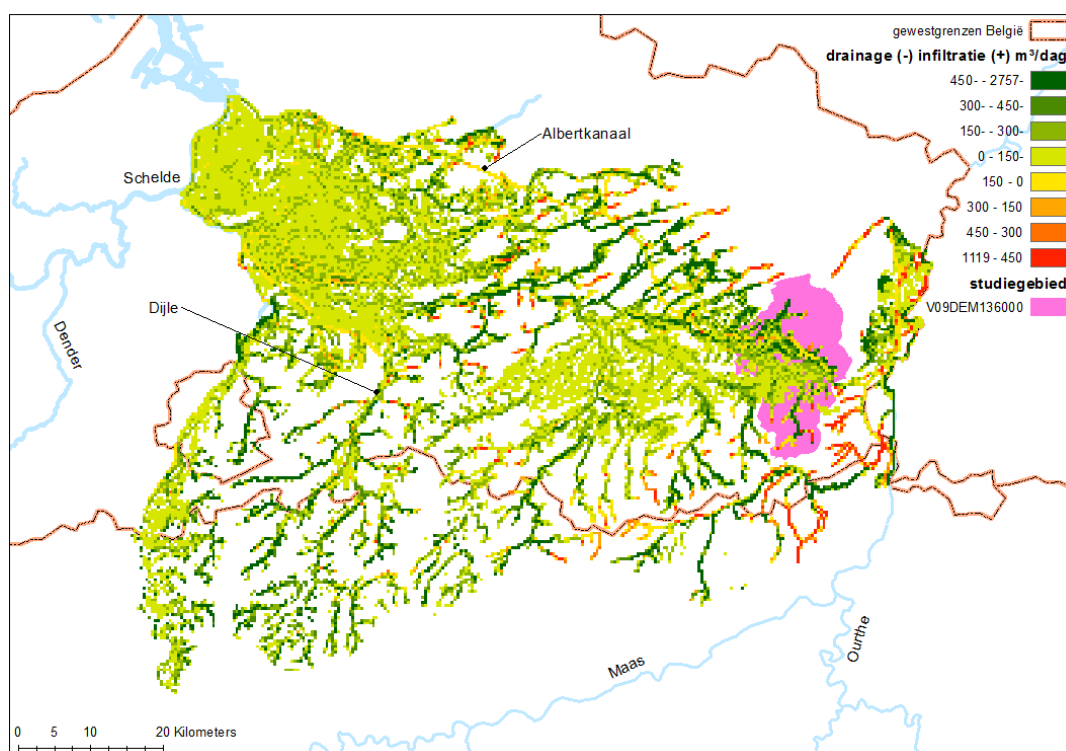
Op onderstaande kaarten vallen de rivier- en beekvalleien duidelijk op. De meeste waterlopen werken duidelijk drainerend, sommige infiltrerend. Er is sprake van infiltrerende rivieren wanneer het peil van de waterloop hoger is dan het grondwaterpeil (Haecon & Witteveen & Bos, 2007).

Figuur 11 – Modeloutput van Centraal Kempisch systeem met een effectieve onttrekking van 75% van de vergunde debieten (resolutie 100mx 100m)



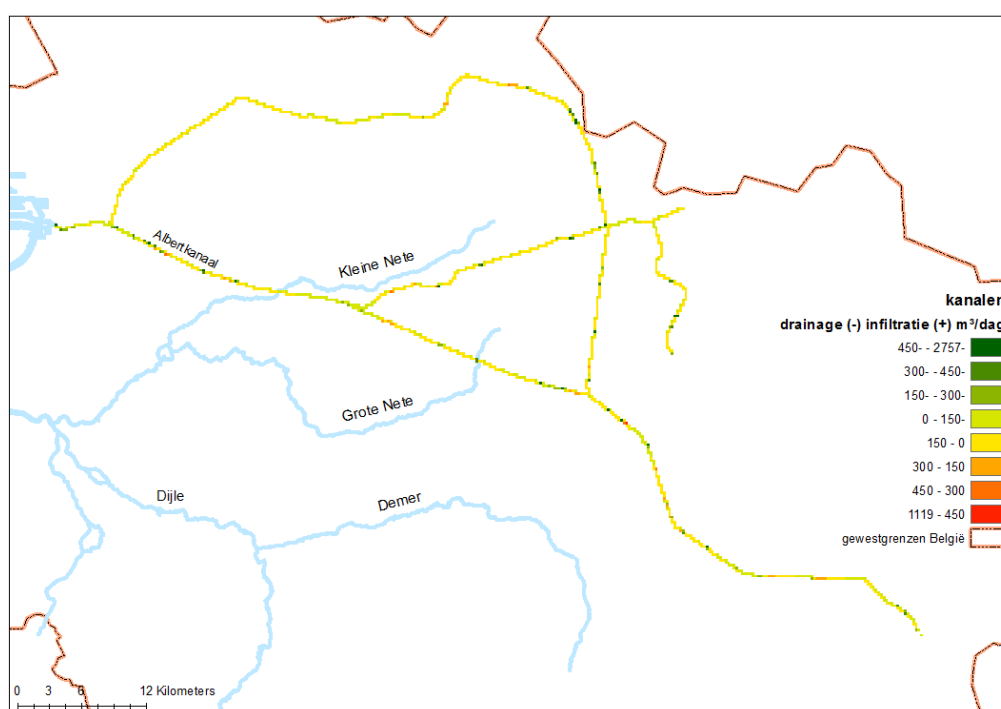
² USGS software (<http://water.usgs.gov/ogw/modflow/>)

Figuur 12 – Modeloutput van Brulandkrijt systeem met een effectieve onttrekking van 75% van de vergunde debieten (resolutie 400mx 400m)



Wanneer alleen de cellen geselecteerd worden die op de Kempische kanalen vallen, dan krijgt men het beeld van Figuur 13. Hoewel het verlies beperkt is, hebben de kanalen een infiltrerend karakter omdat ze vaak boven het omliggende maaiveld liggen (Haecon & Witteveen&Bos, 2007).

Figuur 13 – Infiltratie en drainage door de Kempische kanalen o.b.v. de Modflow model resultaten



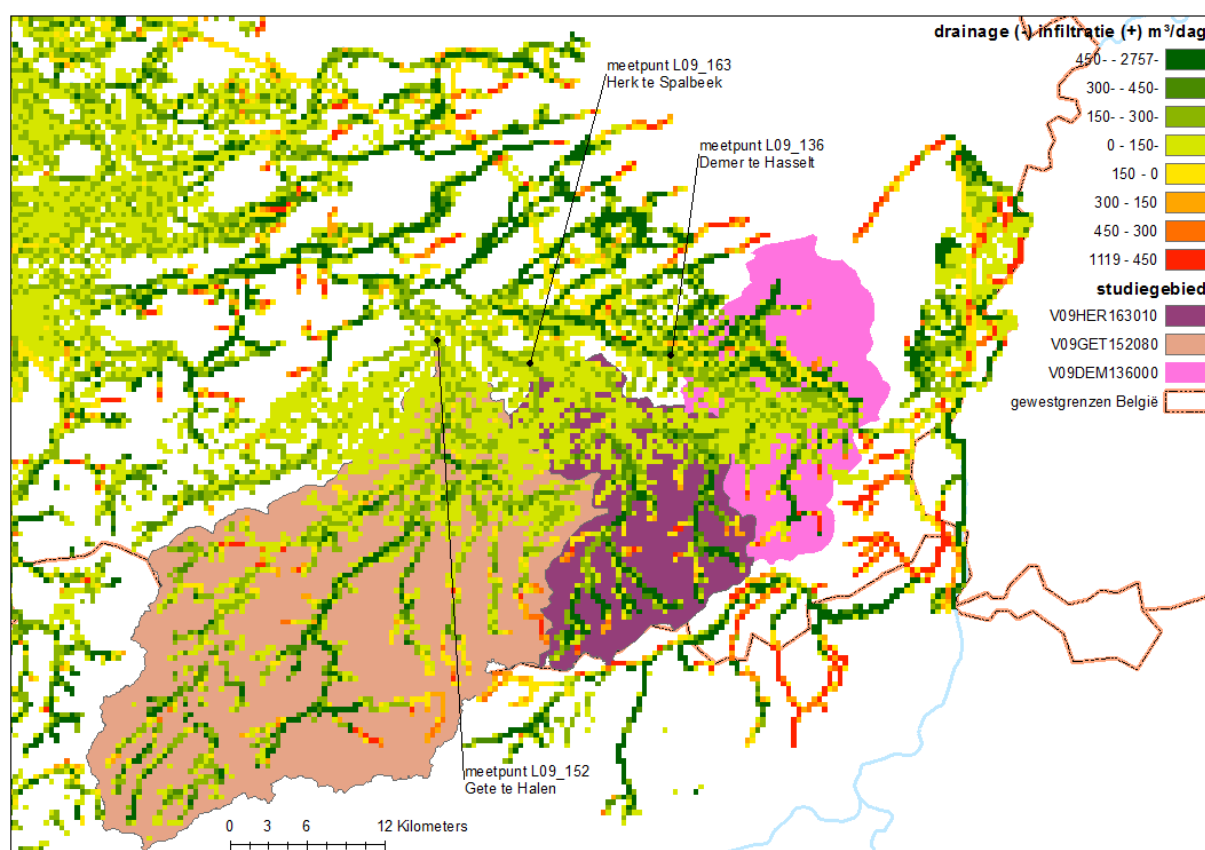
3.3.2 Vergelijking van de grondwatermodellen met de basisafvoer van NAM

Eerder in deze deelopdracht (§2.4.3) zijn in kader van het onderzoek naar de nood aan modellering van watergebruik op onbevaarbare waterlopen, de parameters van de NeerslagAfvoerModellen (NAM, ©DHI) voor een aantal hydrologische deelstroomgebieden opnieuw afgeijkt. Voor deze deelstroomgebieden wordt hierna de gesimuleerde basisafvoer vergeleken met de output van het Vlaams Grondwater Model (§3.3.1).

Om na te gaan wat voor een bepaald deelstroomgebied de totale flux van grondwater naar de rivieren is, kunnen de in Modflow gemodelleerde fluxen van cellen binnen deze polygoon worden opgeteld. Op Figuur 12 wordt zo bijvoorbeeld deelstroomgebied V09DEM136000 in roze aangeduid. De totale flux binnen deze polygoon is een maat voor de basisafvoer van dit stroomgebied. In §3.3.1 is reeds gesteld dat de gebruikte grondwatermodellen stationair zijn, dit wil zeggen dat het niet mogelijk is tijdreeksen met elkaar kan vergelijken. De Modflow modellen zijn gevoed met de output uit WETSPASS, dat gebruik maakte van langjarige neerslag- en evaporatiegemiddelden.

Op Figuur 14 worden de drie gecontroleerde stroomgebieden weergegeven. V09HER163010 betreft het stroomgebied van de Herk, V09GET152080 dat van de Gete en V09DEM136000 dat van de Demer opwaarts Hasselt.

Figuur 14 – Locaties van de drie geteste deelstroomgebiedjes, met de modeloutput van het BLKS als achtergrond.



Tabel 1 toont enerzijds de vergelijking van de output van de grondwatermodellen met de berekende NAM basisafvoer. Anderzijds kan uit de 3 grondwatersimulaties (geen grondwatervergunningen, 75% van de grondwatervergunningen en 100% van de grondwatervergunningen) afgeleid worden wat de invloed van grondwatervergunningen is. Deze verschilt van bekken tot bekken, gezien ook de onttrokken volumes verschillen voor de drie gecontroleerde bekkens.

Het tienjarig gemiddelde NAM debiet is afkomstig van NAM reeksen van het jaar 1999 tot 2009. De kleuren in de tabel geven een maat van overeenkomst weer. Hierbij is wijst groen op een goede overeenkomst, oranje op een slechtere overeenkomst en lichtgroen een matig goede overeenkomst.

Tabel 1 – Vergelijking van de uitstroom uit het Vlaams Grondwater Model (BLKS) met de basisafvoer berekend via NAM modellering. (*)

	meetpunt	L09_152	L09_163	L09_136
	stroomgebied	V09GET152080 Gete	V09HER163010 Herk	V09DEM136000 Demer
debiet (m³/s)	BLKS 0 %	3.81	2.33	1.78
	BLKS 75 %	3.22	2.08	1.73
	BLKS 100 %	3.08	2.01	1.73
	10-jarig NAM gemiddelde (*)	3.52	0.79	1.10
	standaardafwijking	3.63	0.56	0.40

De grootteordes van het basisdebiet uit NAM en de uitstroom van het Vlaams Grondwater Model zijn gelijklopend. Dit wijst er op dat de component “grondwater” die in NAM conceptueel gemodelleerd wordt als basisafvoer, de fysisch gebaseerde grondwateruitstroom globaal gezien voldoende benadert. Uiteraard zijn er verschillen, maar het is belangrijk hieruit te concluderen dat de grootteordes gelijkaardig zijn. Bovendien zijn deze verschillen mede veroorzaakt door het feit dat er grote verschillen zijn tussen de modellen onderling (dynamisch vs. Stationair; lumped vs. ruimtelijk gedifferentieerd; etc.), waarbij elk model aan modelonzekerheden onderhevig is.

3.4 Conclusies

In het waterallocatiemodel wordt grondwater niet in detail gemodelleerd. In de gebruikte NAM modellen zit het grondwatersysteem vevat als een conceptuele component. Grondwateronttrekkingen worden in het waterallocatiemodel niet expliciet opgenomen. In dit onderdeel van het rapport is onderzocht of deze benadering in het waterbalansmodel volstaat.

Uit literatuur en analyses op basis van de vergunde grondwateronttrekkingen die uit de Databank Ondergrond Vlaanderen zijn geëxtraheerd, blijkt inderdaad dat vooral in droogweerstandigheden de invloed van grondwateronttrekkingen lokaal relevant kan zijn. Het is op de schaal van het waterbalansmodel echter onmogelijk om de exacte flux, gaande van grondwateronttrekking tot locatie waar het onttrokken grondwater terug in het watersysteem komt, volledig in kaart te brengen en dus te modelleren. Gezien de regionale schaal van het model, kan bovendien worden aangenomen dat de volumes die effectief verloren gaan uit het systeem eerder klein zijn in vergelijking met de fluxen binnen het systeem. Bovendien worden ook grondwateronttrekkingen impliciet gemodelleerd in de NAM modellen gezien in de debietmetingen die gebruikt wordt voor de kalibratie, alle lozingen en onttrekkingen opwaarts dit meetpunt vevat zitten.

Ter controle zijn ook de resultaten van het Vlaams Grondwatermodel vergeleken met de basisafvoer die door NAM berekend wordt. De vergelijking is uitgevoerd voor drie bekkens in het zuidoosten van Vlaanderen. 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. Verschillen tussen de twee modellen kunnen bovendien grotendeels worden toegeschreven aan de onzekerheid die gepaard gaat met de verschillen tussen de modellen zelf.

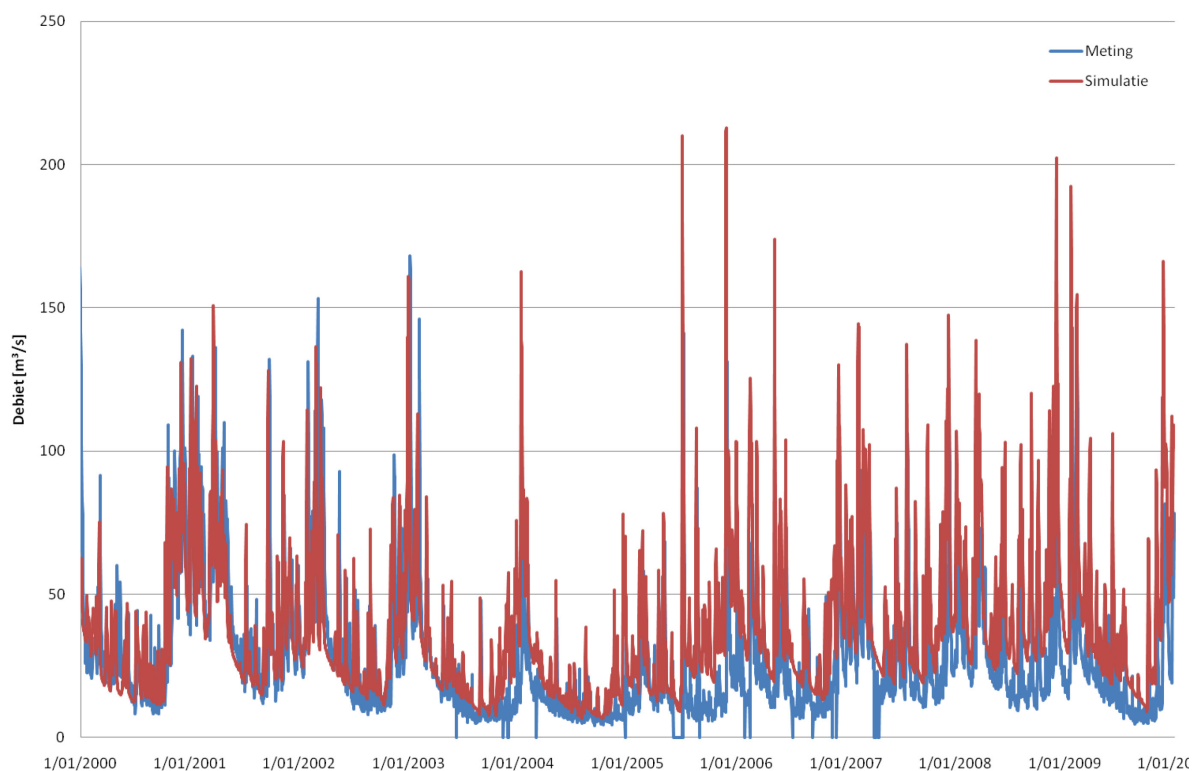
4 Noord-Frankrijk

4.1 Inleiding

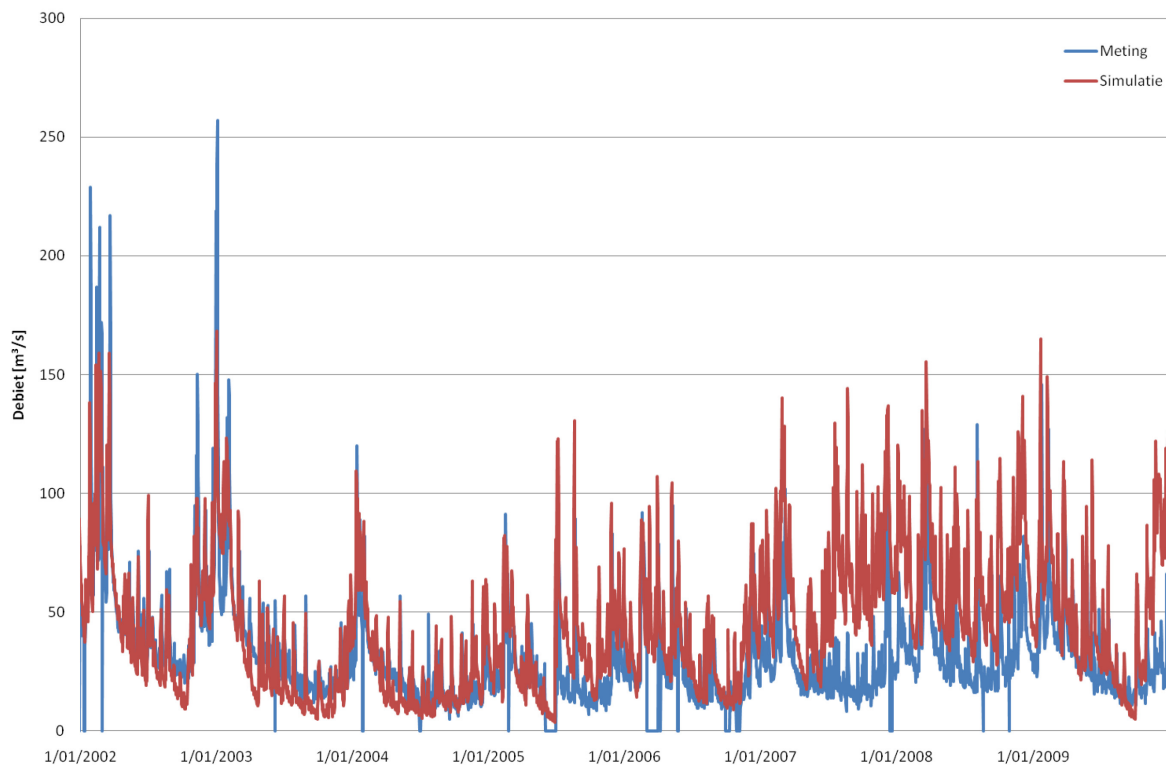
In vergelijking met het Vlaamse deel van het Scheldebekken is het Noord-Franse deel van het waterbalansmodel minder gedetailleerd. De belangrijkste structuren en kanalen zijn wel opgenomen in het model, maar de opvraging en implementatie van gegevens omtrent bijvoorbeeld de belangrijkste gebruikers in dit deel van het model is eerder beperkt gebleven. Bijgevolg is er een significant verschil in de graad van detail van het Noord-Franse deel van het waterbalansmodel in vergelijking met het Vlaams deel van het model.

Bovendien toonde de modelvalidatie dat de overeenkomst tussen de gesimuleerde afvoer en de gemeten afvoer ter hoogte van de meetposten op de Leie te Menen en op de Bovenschelde te Bossuit, beide gelegen aan de Frans-Belgische grens, vanaf 2004-2005 verminderde. Figuur 15 en Figuur 16 tonen nog eens de validatiegrafieken met het gemeten (blauw) ten opzichte van het gesimuleerde (rood) debiet te Menen en Bossuit respectievelijk. Deze figuren tonen duidelijk dat vanaf 2004 de afwijking van de gesimuleerde basisafvoer vergroot. Gezien het waterbalansmodel voornamelijk wordt gebruikt voor waterbeschikbaarheidsvraagstukken is het van groot belang om in de eerste plaats deze basisafvoer, of dus droogweerafvoer, goed te kunnen modelleren. De overeenkomst tussen gesimuleerde en gemeten hoogwaterpieken is van minder belang voor het toepassingsdomein van het model en daarom wordt hierop verder niet gefocust.

Figuur 15 – Debietvergelijking (2000-2009) van de simulatieresultaten met de metingen in Menen (Leie).



Figuur 16 – Debietvergelijking (2000-2009) van de simulatieresultaten met de metingen in Bossuit (Schelde).



De bovendebiten in Schelde en Leie ter hoogte van de Frans-Belgische grens zijn al dermate hoog, dat ze de resultaten stroomafwaarts aanzienlijk kunnen beïnvloeden. Net daarom is het belangrijk om de oorzaak van afwijkende resultaten te achterhalen en vervolgens ook de modellering van het Noord-Franse deel te verbeteren. Hierdoor kan de onzekerheid op de modelresultaten worden gereduceerd en wordt de toepasbaarheid van het model gevoelig vergroot. Daarom wordt in dit hoofdstuk onderzoek verricht naar de oorzaak van deze afwijking en wordt het Noord-Franse deel van het model vervolgens verbeterd.

4.2 Methodologie

Er zijn drie hypothesen die de verminderde overeenkomst tussen de gesimuleerde en bemeten afvoer kunnen verklaren.

1. Een eerste hypothese stelt dat in de beschouwde periode (2000-2010) er in werkelijkheid vanaf 2005 minder water geloosd of meer water onttrokken is, waardoor dus minder water beschikbaar is in het systeem. Hierdoor overschat het gesimuleerde debiet de meting. Het kan hierbij gaan over industriële lozingen en onttrekkingen, lozingen van RWZI's in het systeem, drinkwatercaptaties (b.v. overschakeling van grondwaterwinning naar oppervlaktewaterwinning), sluisverkeer en lekverliezen.
2. Een tweede hypothese stelt dat in de beschouwde periode structurele aanpassingen zijn gebeurd in het rivier- en kanalennetwerk, die niet gekend waren bij de modelopbouw. Deze aanpassingen kunnen een wijziging van het waterbeheer veroorzaken.
3. De derde en laatste hypothese stelt dat de input in het model, d.i. de neerslag en potentiële evaporatie, van mindere kwaliteit zijn vanaf een bepaalde periode.

Om na te gaan welk van deze hypothesen aan de basis ligt van de waargenomen afwijkingen, is in eerste instantie een diepgaande inventarisatie van het Noord-Franse deel van het studiegebied uitgevoerd. Hierbij zijn alle mogelijke lozingen en onttrekkingen opgevraagd. Op basis van deze informatie zijn de gemodelleerde

rivier- en kanaalstructuren dan geüpdatet. Naast een uitgebreide inventarisatie om het watergebruik beter in kaart te brengen, is ook nagegaan in hoeverre de hydrologische modellen konden worden verfijnd aan de hand van extra neerslag- en debietmeetreeksen.

Voor het verkrijgen van de nodige informatie zijn de belangrijkste Noord-Franse sectoren in de departementen Nord en Pas-de-Calais bevraagd:

- Voies Navigables de France, afdeling Nord – Pas-de-Calais (NPDC);
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières, afdeling NPDC;
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement NPDC
- Agence de l'eau Artois-Picardie.

Achtereenvolgens is dus een uitgebreide inventarisatie gedaan om het watergebruik in kaart te brengen. Daarna is de hydrologische input, het wateraanbod, herkend en tenslotte is het watergebruik en wateraanbod verwerkt in de nieuwe versie van het waterbalansmodel. Deze stappen worden in de hiernavolgende paragrafen beschreven.

4.3 Evolutie van de lozingen en onttrekkingen per sector

Hieronder worden de belangrijkste watergebruikers per sector besproken. Deze nieuwe informatie is bovendien ook in het waterbalansmodel opgenomen. Er wordt hierna een onderscheid gemaakt tussen de sectoren Industrie & Landbouw, RioolWaterZuiveringsInstallaties (RWZI), Drinkwater en Scheepvaart.

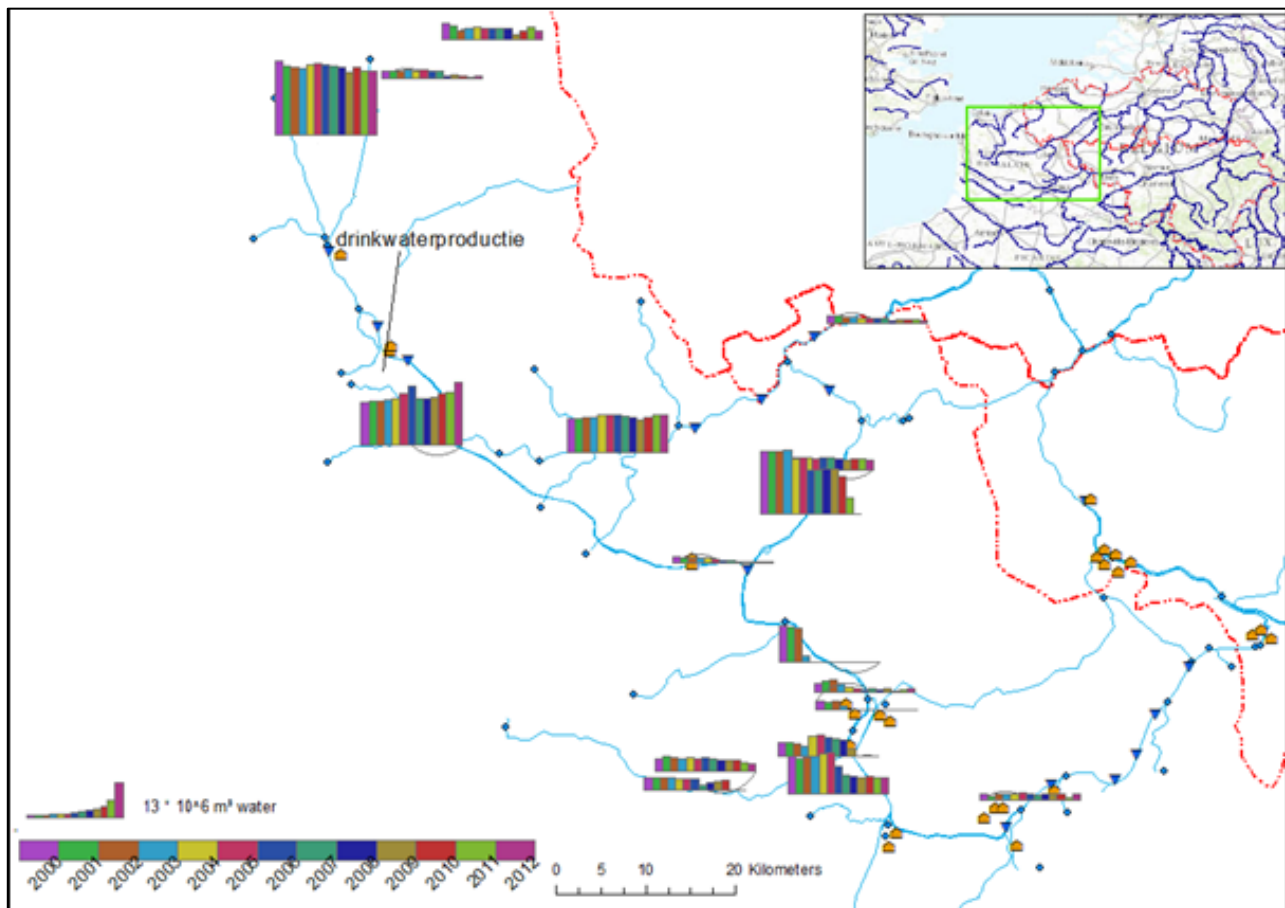
4.3.1 Industrie & landbouw

De lozingen en onttrekkingen voor de sector Industrie omvatten alle lozingen en onttrekkingen ten behoeve van bijvoorbeeld nijverheid, energievoorziening etc. Deze info is verkregen bij het agentschap Eau-Artois-Picardie (contactpersoon M. Martorana). Onttrekkingsgegevens zijn gehaald uit de taxatiedatabank. Gezien bedrijven betalen voor het water dat ze onttrekken, zijn de jaarlijkse onttrekkingsdebieten van deze bedrijven beschikbaar. Bovendien worden bedrijven ook belast voor de chemische stoffen die ze lozen. Daardoor zijn er dus ook lozingsgegevens voorhanden. Deze zijn echter enkel beschikbaar in massa-eenheden (bv. kg droge stof) en niet onder vorm van lozingsdebieten.

De haven van Duinkerke is afzonderlijk bevraagd, echter zonder respons. Gezien de gebruikers in de haven van Duinkerke in principe geen Leie- of Scheldewater onttrekken, is deze informatie voor de huidige toepassing van minder belang. Op Figuur 17 worden de belangrijkste industriële onttrekkingen in Noord-Frankrijk als jaardebieten getoond, van 2000 tot en met 2012. Daarnaast zijn op deze figuur het drinkwaterproductiecentrum in het gebied weergegeven om deze in grootteorde te kunnen vergelijken met de industriële onttrekkingen.

Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat het watergebruik voor industrie het grootst is op Leie en Deûle. Op de Schelde zijn er amper industriële onttrekkingen van formaat. Bovendien is er tijdens de periode 2000-2012 nauwelijks een trend te bespeuren. Dit betekent dus ook dat er vast en zeker geen stijgende trend is geregistreerd, die de waargenomen afwijking tussen het met het waterbalansmodel gesimuleerde debiet en gemeten debiet aan de Frans-Belgische grens zouden kunnen verklaren. Tabel 2 toont dezelfde gegevens in tabelvorm. De jaarlijkse debieten zijn hierin opgenomen in Mm^3 (10^6m^3).

Figuur 17 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk.
Jaardebieten voor de periode 2000-2012

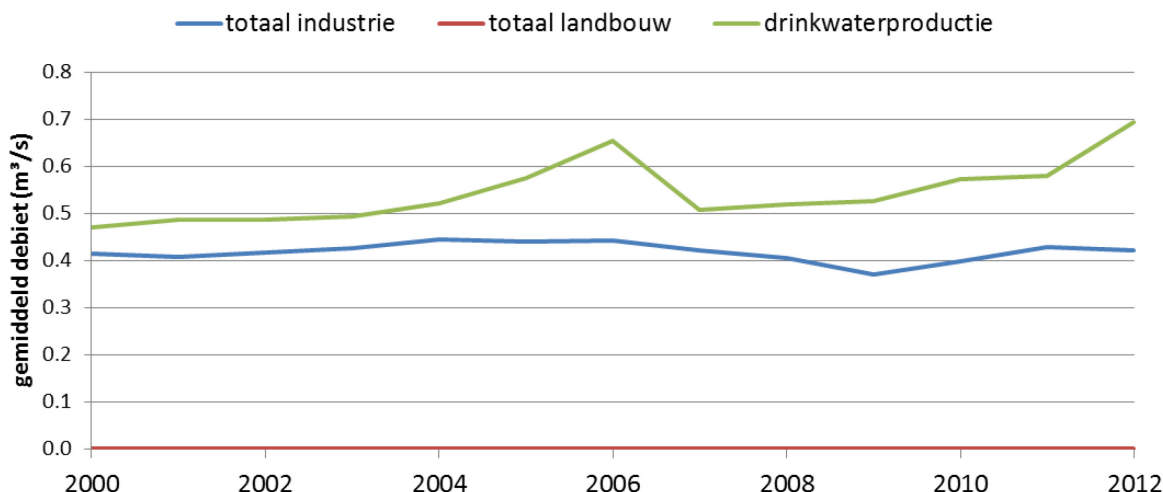


Tabel 2 – Belangrijkste industriële onttrekkingen en drinkwaterproducties in Noord-Frankrijk. Jaardebieten voor de periode 2000-2012

Station	X	Y	Gemeente	Waterloop	Gebruik	Jaarvolume [Mm ³]												
						2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ST PGE AIRE SUR LA LYS	653976.00	7060435.00	AIRE SUR LA LYS	LYS	ALIMENTATION EAU POTABLE	14.8	15.4	15.3	15.6	16.4	18.1	20.6	16.0	16.4	16.6	18.1	18.3	21.9
ST PGE BOURBOURG	643703.10	7094994.91	BOURBOURG	DELTA DE L'AA	INDUSTRIE	25.9	24.0	23.5	23.5	24.7	25.0	24.4	24.2	23.5	21.9	23.9	22.4	22.4
NYRSTAR FRANCE	705539.92	7034190.01	AUBY	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	3.3	2.9	3.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NYRSTAR FRANCE	705281.96	7034462.68	AUBY	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	3.3	4.1	4.4	3.4	2.1	1.6	1.0	1.3	1.0	1.3	0.7	1.2	1.6
ELECTRICITE DE FRANCE	724076.48	7021927.74	BOUCHAIN	Sensée & ESCAUT	PRODUCTION ENERGIE	2.3	1.5	2.2	2.5	2.4	2.8	2.4	2.0	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1
AHLSTROM SPECIALTIES	705938.00	7075113.76	BOUSBECQUE	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	2.6	2.4	2.2	2.3	1.8	1.7	1.7	1.5	1.0	1.1	1.4	1.1	0.6
LESIEUR	655462.91	7101633.09	CAPPELLE LA GRANDE	DELTA DE L'AA	INDUSTRIE	2.5	2.6	2.7	2.9	2.6	2.8	2.7	2.6	1.0	1.2	0.9	0.6	0.7
CARGILL HAUBOURDIN SAS	698865.75	7056482.97	HAUBOURDIN	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	21.9	21.7	21.8	22.4	19.4	19.6	15.2	15.4	15.7	15.6	13.4	6.0	0.1
ASCOMETAL	662185.41	7106089.57	LEFFRIN- CKOUCKE	DELTA DE L'AA	INDUSTRIE	5.5	4.8	3.2	4.0	4.6	3.8	4.1	3.9	4.0	1.9	3.1	4.5	3.0
PRODUITS CHIMIQUES DE LOOS	700236.26	7058564.39	LOOS	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	3.9	4.1	4.3	3.8	3.4	3.7	3.7	3.2
CECA SA	687676.65	7022454.63	ATHIES	SCARPE AMONT	INDUSTRIE	4.1	4.9	4.4	4.1	4.5	4.3	4.5	4.2	3.8	3.9	3.9	2.8	2.6
STORA ENSO CORBEHEM	702499.39	7026294.85	BREBIERES	SCARPE AMONT	INDUSTRIE	12.8	12.2	12.4	13.0	13.9	14.4	9.6	6.7	6.2	5.6	6.0	5.7	5.5
DYNEA RESINS FRANCE SAS	701355.98	7026466.04	BREBIERES	SCARPE AMONT	INDUSTRIE	5.0	5.0	4.5	3.5	6.9	7.4	6.7	6.2	5.8	2.6	0.2	0.2	0.0
FRANCAISE DE MECANIQUE	689195.10	7047863.57	DOUVVIN	LYS	INDUSTRIE	2.5	1.9	1.9	1.8	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
ROQUETTE FRERES	677090.62	7060017.61	LESTREM	LYS	INDUSTRIE	11.8	11.8	12.2	12.4	13.1	13.1	13.3	12.8	12.3	11.4	12.2	13.3	13.1
SITA NORD	701288.60	7037011.54	NOYELLES GODAULT	MARQUE DEULE	INDUSTRIE	12.5	12.4	12.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MERYL FIBER	686479.75	7022340.38	SAINT LAURENT BLANGY	SCARPE AMONT	INDUSTRIE	4.6	4.3	4.3	4.3	3.9	3.9	4.1	1.9	2.9	3.3	3.5	0.0	0.0

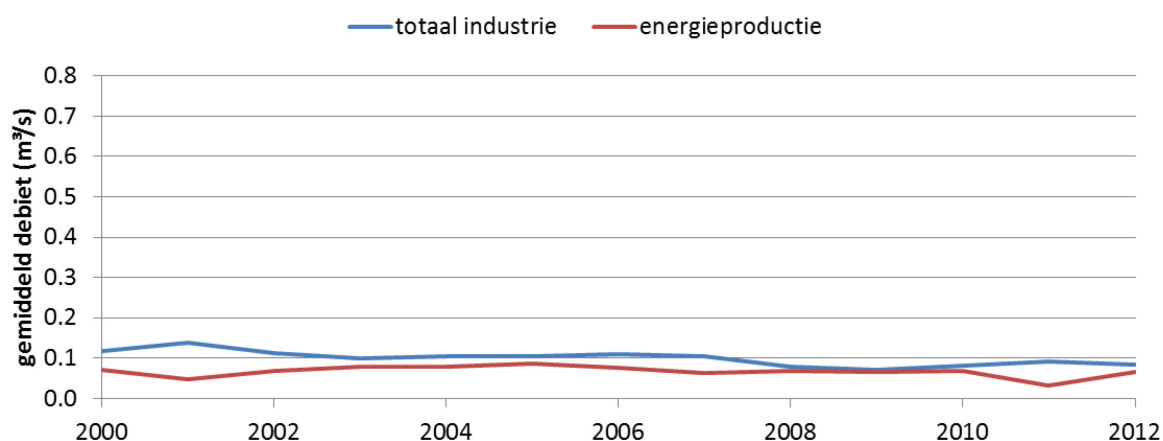
Op Figuur 18 worden de onttrekkingen op de Leie in Frankrijk geplot voor de periode 2000-2012. Om de vergelijking met de basisafvoer op de Leie mogelijk te maken, zijn deze onttrekkingen geplot als een gemiddeld debiet in m³/s. Ook hier blijkt dat er amper een trend kan worden waargenomen. Het totale industriële watergebruik is gemiddeld 0,4 m³/s. Dit is erg beperkt en weinig significant als men weet dat de Leie te Menen een gemiddeld debiet heeft van meer dan 10 m³/s. Het gemiddeld gerapporteerde debiet van de landbouwsector (irrigatie) is zéér laag en bijgevolg verwaarloosbaar voor de huidige studie.

Figuur 18 – Onttrekkingen op de Leie in Frankrijk [m³/s]



Figuur 19 toont dezelfde figuur voor de Schelde te Frankrijk. Ook hier zijn geen trends te bespeuren. Het gemiddeld watergebruik voor industriële doeleinden en energieproductie is nagenoeg constant. De onttrekkingen op de Schelde zijn ook zichtbaar kleiner dan deze op de Leie.

Figuur 19 – Onttrekkingen op de (gekanaliseerde) Schelde te Frankrijk [m³/s]

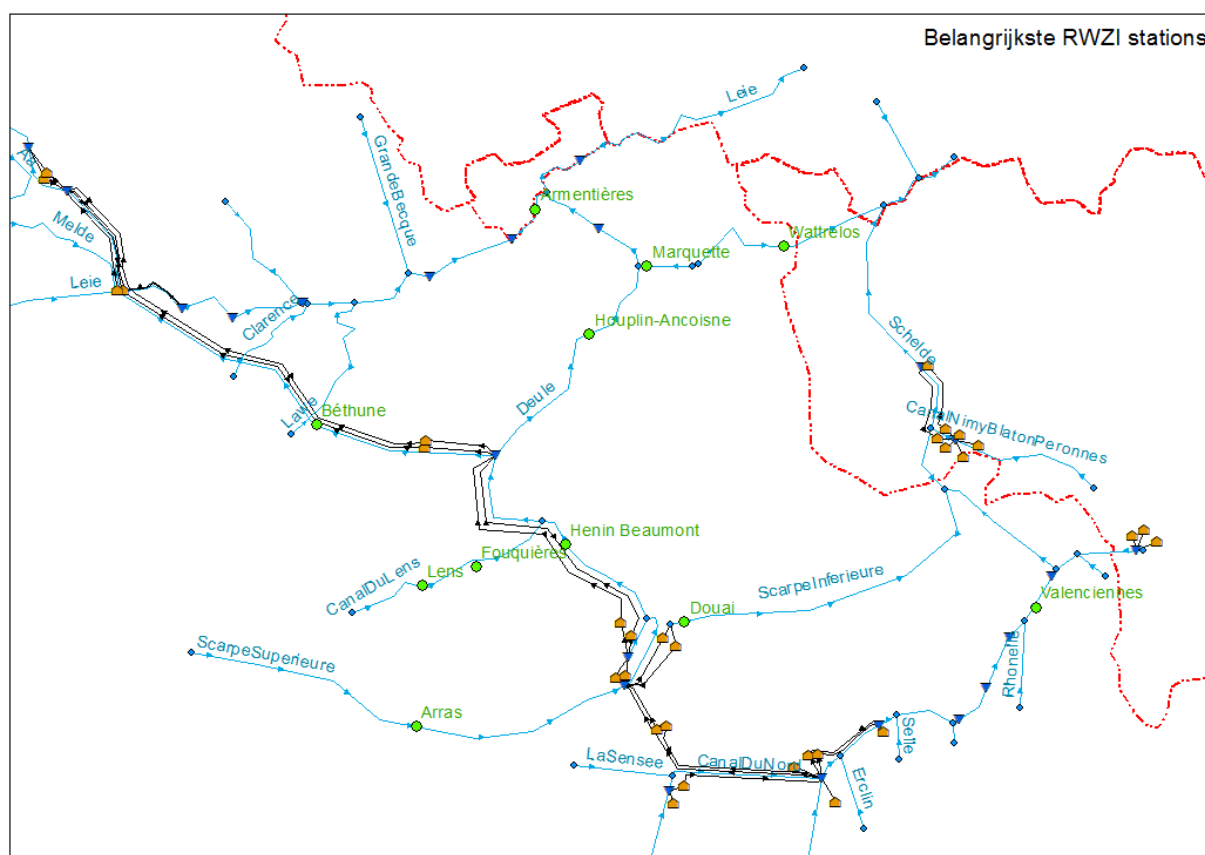


Uit bovenstaande analyse kan dus besloten worden dat de lozingen en onttrekkingen uit de industrie- en landbouwsector uitgesloten kunnen worden als oorzaak voor de afwijkende debieten aan de Frans-Belgische grens. Dit omdat de onttrekkingsdebieten relatief laag zijn in vergelijking met het gemiddeld basisdebiet en omdat er bovendien geen trends kunnen worden waargenomen die de overschatting van het gemeten debiet kunnen verklaren.

4.3.2 Rioolwaterzuiveringsinstallaties

Het beheer van de RioolWaterZuiveringsInstallaties (RWZI) valt in Frankrijk onder het Ministerie van Duurzame Ontwikkeling en Ecologie. Hier staan de "bureaux Directions départementales des territoires (DDT) en Directions départementales des territoires et de la mer (DDTM)" in voor het beheer van de RWZI's³. Deze instanties hebben echter enkel digitale gegevens beschikbaar vanaf het jaar 2008⁴, waardoor dus slechts vanaf dan gegevens konden worden aangeleverd. Vanuit de DDT(M) is wel schriftelijk meegedeeld dat er geen sprake is van trends in RWZI lozingen in de periode 2000-2010. Ook werd meegedeeld dat de rioolnetwerken in het studiegebied meestal nog niet gescheiden zijn. Figuur 20 toont de locaties van de belangrijkste RWZI's in het studiegebied.

Figuur 20 – Belangrijkste RWZI in de regio Nord-Pas-de-Calais (groen)

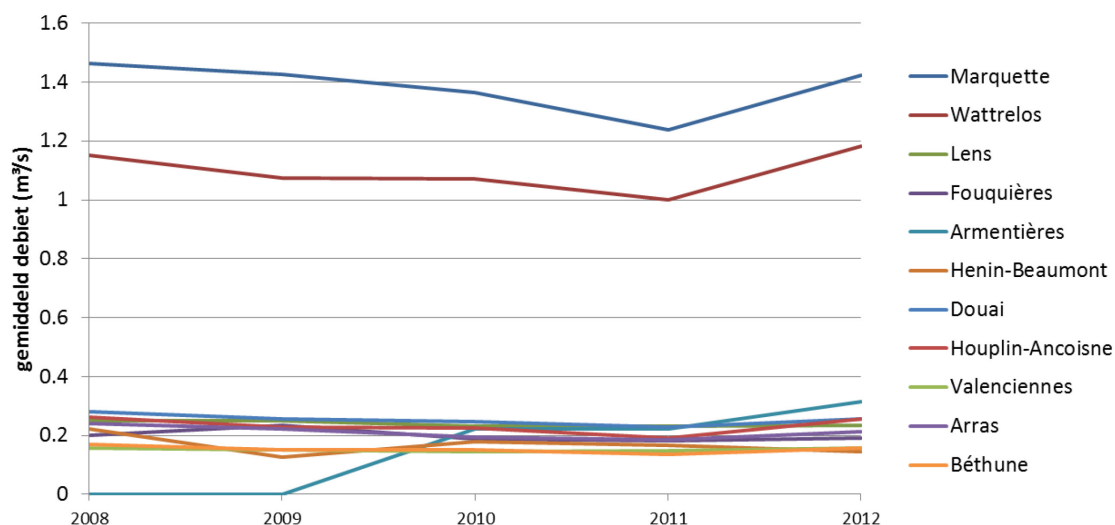


Figuur 21 toont de lozing van de tien belangrijkste RWZI's voor de periode 2008-2012. Op deze figuur is het gemiddeld debiet, berekend op basis van de jaargegevens, afgebeeld. De omzetting naar gemiddeld debiet is uiteraard een sterke vereenvoudiging, gezien er de schommelingen doorheen het jaar ten gevolge van variaties in het weer en het watergebruik niet worden in rekening gebracht. Desalniettemin geeft de grafiek een goed beeld van de grootteorde van de debieten. Het is duidelijk dat er slechts twee stations zijn die gemiddeld meer dan 1 m³/s in het systeem brengen. Niet toevallig zijn deze stations gelegen in de agglomeratie van Lille. De RWZI van Marquette loost water in de Deûle, terwijl de RWZI van Wattrelos loost in het Spierrekanaal, dat afwatert naar de Schelde. Het gemiddelde lozingsdebiet van de andere RWZI's in het systeem schommelt rond de 0,2 m³/s, maar bij geen van deze RWZI's kan een trend worden opgemerkt gedurende de geregistreerde periode.

³ De contactpersoon bij de DDT(M) van NPDC was David Masselot.

⁴ Al de RWZI gegevens van Frankrijk zijn raadpleegbaar op <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>

Figuur 21 – Tien belangrijkste RWZI in de regio Nord-Pas-de-Calais



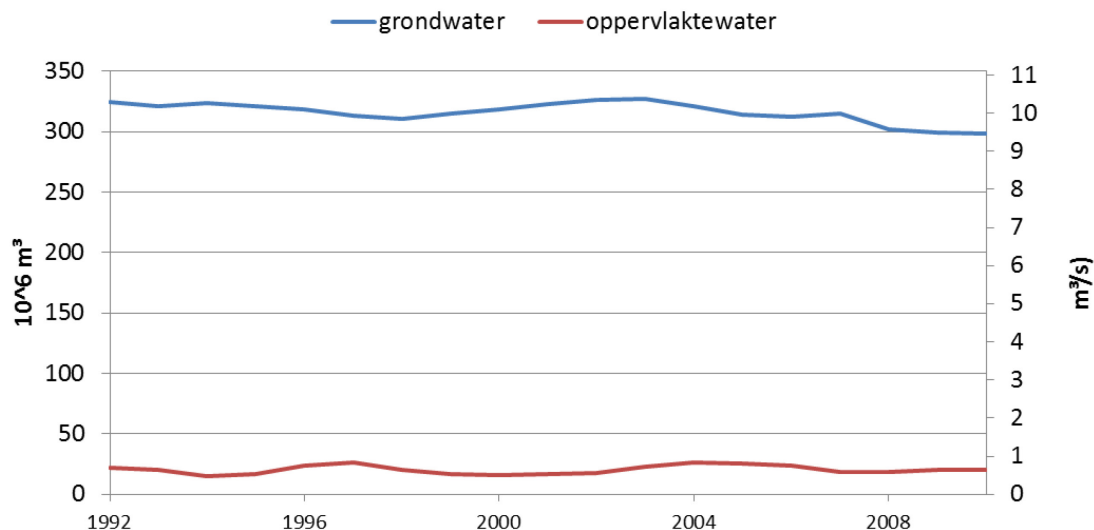
Uit bovenstaande gegevens kan geconcludeerd worden dat er wel 2 belangrijke RWZI's in het Noord-Franse deel van het Scheldebekken zijn, maar dat deze niet de oorzaak kunnen zijn voor de afwijking van de gesimuleerde debieten aan de Frans-Belgische grens. Dit omdat de geloosde debieten te klein zijn in vergelijking met de basisdebieten in Schelde en Leie.

4.3.3 Drinkwater

Figuur 22 toont het onttrokken watervolume voor de productie van drinkwater in het waterschap Artois-Picardië van 1992 t.e.m. 2010. De grenzen van dit waterschap vallen nagenoeg samen met de grenzen van NPDC. 90% van het drinkwater in deze regio is ontgonnen grondwater. Over de hele periode bedraagt het gemiddeld onttrokken debiet uit oppervlaktewater slechts 0,6 m³/s. Figuur 17 hierboven toonde al de locaties van de belangrijkste drinkwaterproductie. Deze bevindt zich opwaarts Aire-Sur-la-Lys en capteert dus water uit de Leie.

Deze drinkwatercaptatie wordt voor de volledigheid wel in het waterbalansmodel opgenomen. De invloed ervan op het watersysteem is echter verwaarloosbaar, zelfs bij droogteomstandigheden.

Figuur 22 – Wateronttrekkingen t.b.v. drinkwaterproductie in het waterschap Artois-Picardië (gegevens van Agence de l'eau Artois-Picardie en BRGM Nord-Pas-de-Calais)



4.3.4 Waterbeheer/Scheepvaart

De instantie VNF (Voies Navigables de France) beheert de kanalen en bevaarbare rivieren in Frankrijk en heeft een afdeling per regio in Frankrijk. In de loop van deze opdracht is de huidige modelstructuur ter controle voorgelegd aan deze instantie, en werden van hun kant extra gegevens aangeleverd. Hierbij gaat het om hydraulische gegevens van sluizen en kanalen en gegevens over het sluisverkeer. Dit liet toe de versaste volumes in het model beter te integreren.

In mei 2014 is een bezoek georganiseerd aan het knooppunt Aire-sur-la-Lys door VNF en enkele vertegenwoordigers van het Waterbouwkundig Laboratorium. Dit knooppunt is belangrijk in het wateropensysteem in Noord-Frankrijk, omdat de Leie hier (soms) in verbinding staat met het pand Cuinchy-Fontinettes, een onderdeel van het kanaal Schelde-Duinkerke. Hieronder zijn de voornaamste aspecten opgelijst die bij dit bezoek zijn toegelicht:

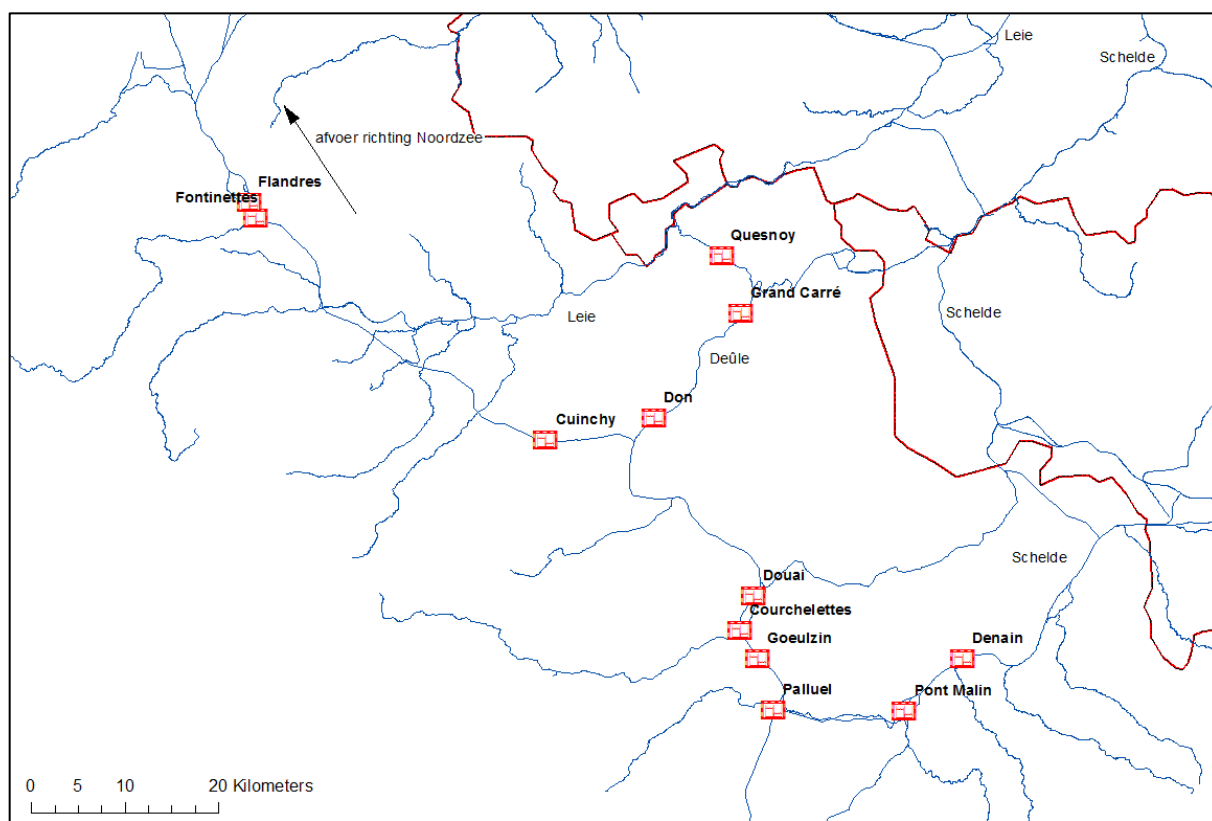
Het Noord-Franse kanalenstelsel is historisch gegroeid en is in feite een aaneenschakeling van gekanaliseerde rivieren en kanalen die die rivieren onderling verbinden. Figuur 23 toont het kanalenstelsel dat in het Schelde- en Leiebekken ligt met de locatie van de sluizen. Het waterbeheer van VNF bestaat erin om de kanalen op peil te houden zodat de scheepvaart zo lang mogelijk gehandhaafd kan worden.

Het meest opwaartse pand tussen de sluizen van Pont-Malin en Goeulzin is in feite de Sensée die tot haar monding in de Schelde gekanaliseerd is. Het overtollige water stroomt verder de Schelde af. In droge periodes is er geen overtollig water en wordt er water aan de sluis van Pont-Malin (op de Schelde) gerecycleerd door een deel van het water dat met de schepen me versast wordt terug te pompen. Aan de sluis van Goeulzin wordt er naast het water voor de versassing ook water doorgevoerd om afwaartse kanaalpanden op peil te houden. Dit is voornamelijk water aangevoerd door de Sensée.

Tussen Goeulzin en Courchelettes vormt het kanaal een deel van de gekanaliseerde Scarpe, ook een zijrivier van de Schelde. Het water dat door de Scarpe wordt aangevoerd wordt samen met het water dat aan de sluis van Goeulzin wordt versast of doorgevoerd net voor de sluis van Courchelettes verder naar de Scarpe afgevoerd. Aan de sluis van Courchelettes worden enkel versassingen verricht. Ook aan de sluis van de Douai, die even verder op het kanaal ligt worden er enkel schepen versast. In Douai wordt het water van de Scarpe afgeleid naar het kanaal en mondt er net afwaarts de sluis van Douai in uit. Op de verdere loop van de Scarpe wordt een debiet van 1m³/s gehandhaafd.

In het volgende pand mondt de Deûle in het kanaal uit. Ook hier is het kanaal in feite een deel van de gekanaliseerde Deûle. De Deûle is een zijrivier van de Leie wat betekent dat het kanaal zich ondertussen in het Leiebekken bevindt. Dit betekent dat er in normale omstandigheden dus voornamelijk water van de Scarpe afgeleid om het kanaal op peil te houden. In droge periodes zal er ook water van de Sensée en in mindere mate de Schelde zelf afgeleid worden richting het Leiebekken.

Figuur 23 – Locaties van de belangrijkste sluizen in het Noord-Franse kanalenstelsel



Nabij Don, waar de Deûle verder naar het noorden stroomt richting Rijsel, splitst het kanaal zich van de Deûle af en stroomt verder richting Duinkerke waar de sluis van Cuinchy het pand het pand afsluit. Aan de sluis van Cuinchy wordt er naast versassingen nog water aangevoerd om het afwaartse pand (Cuinchy-Fontinettes) op peil te houden. Het overige debiet wordt langs de Deûle verder afgevoerd. In droge periodes worden aan de sluis van Don (op de Deûle) enkel versassingen gedaan. Het water wordt dan voornamelijk gebruikt om het pand Cuinchy-Fontinettes op peil te houden. In normale omstandigheden stroomt het water van de Scarpe (Scheldebekken) via de Deûle naar de Leie. In droge omstandigheden stroomt het water van de Deûle, Scarpe, de Sensée en in mindere mate de Schelde naar het pand Cuinchy-Fontinettes waar het in Fontinettes het Leiebekken uit stroomt.

Het pand Cuinchy-Fontinettes, ook Canal d’Aire genoemd, is 42 km lang en heeft gemiddeld 2,5 tot 3 m³/s nodig om op peil gehouden te worden. Dit komt omdat de afwaartse sluis Fontinettes een verval heeft van 13m en per versassing 23 000m³ water verbruikt. Dit komt min of meer overeen met een waterstandsval van 1 cm op het pand. In augustus 2009 is bepaald dat de voornaamste aanvoer naar het pand Cuinchy-Fontinettes langs de sluis van Cuinchy moet gebeuren, hetzij via versassingen hetzij via een directe aanvoer. Dit is hoofdzakelijk water van de Deûle. Verder ontvangt het kanaal nog water van enkele kleinere zijrivieren van de Leie die rechtstreeks in het kanaal uitmonden. Ook de Leie kan in Aire-sur-la-Lys water lozen in het kanaal, hoewel dit gereguleerd is.

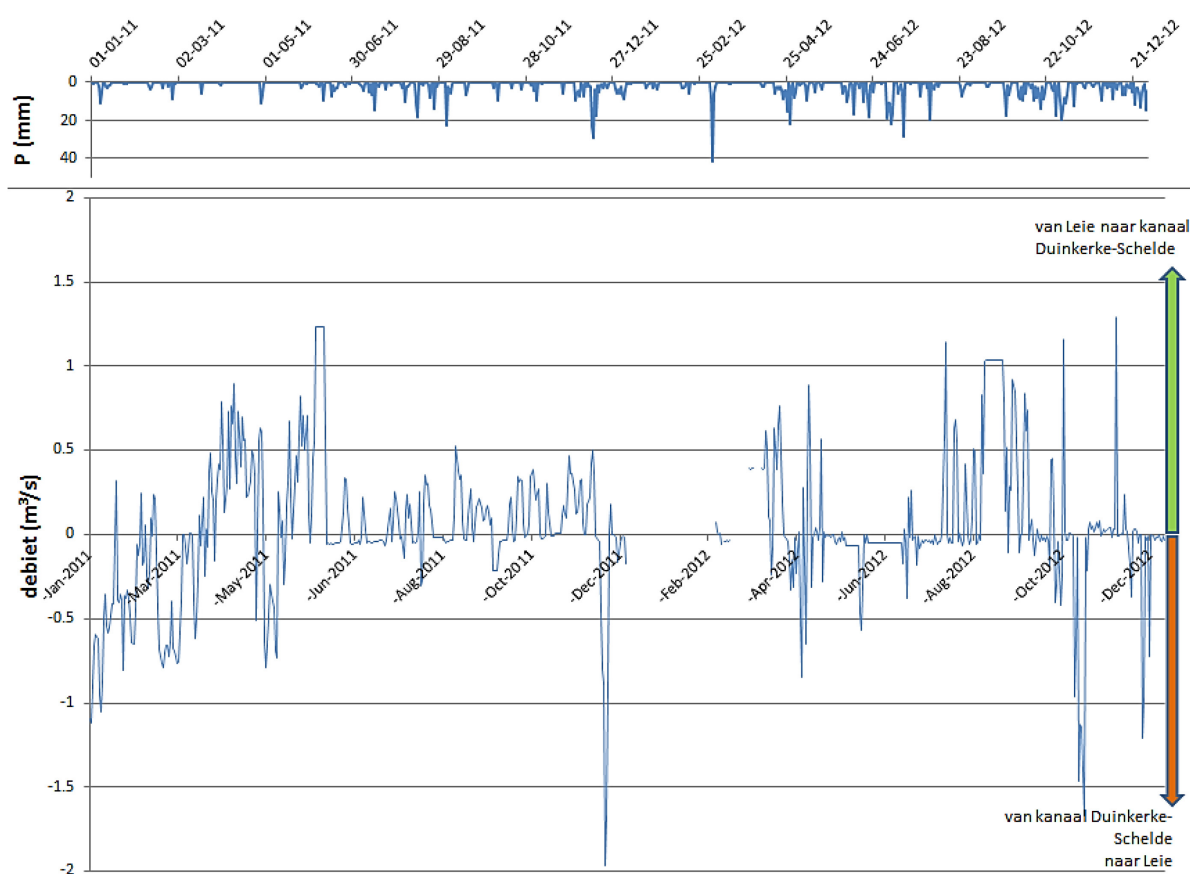
Het is ook in Aire-s/l-Lys dat het pand Cuinchy-Fontinettes op peil gehouden wordt. De Leie en het kanaal staan hier immers in verbinding met mekaar in de zogenaamde “knoop van Aire s/l Lys” (Figuur 25). De stuw “Grand Vannage” regelt het peil op de Leie. In normale omstandigheden stort de Leie over deze stuw en sifoneert vervolgens onder het kanaal om aan de andere oever van het kanaal verder richting België te stromen. Bij hoge afvoeren op de Leie kan er overtollig water via de “Porte de Garde” en het “Bassin d’Aire” op het kanaal gestoken worden. Het omgekeerde kan ook: als de waterstand op het kanaal te hoog wordt, en de Leie kan nog water afvoeren, kan er water van het kanaal via de stuw Grand Vannage naar de Leie afgevoerd worden. Ook in

droge periodes, wanneer het peil in het kanaal te laag is, kan er water van de Leie naar het kanaal afgevoerd worden. Dit mag echter enkel wanneer het debiet van de Leie op dat moment meer dan 10% van het gemiddelde Leiedebiet bedraagt (Symsagel, 2006)

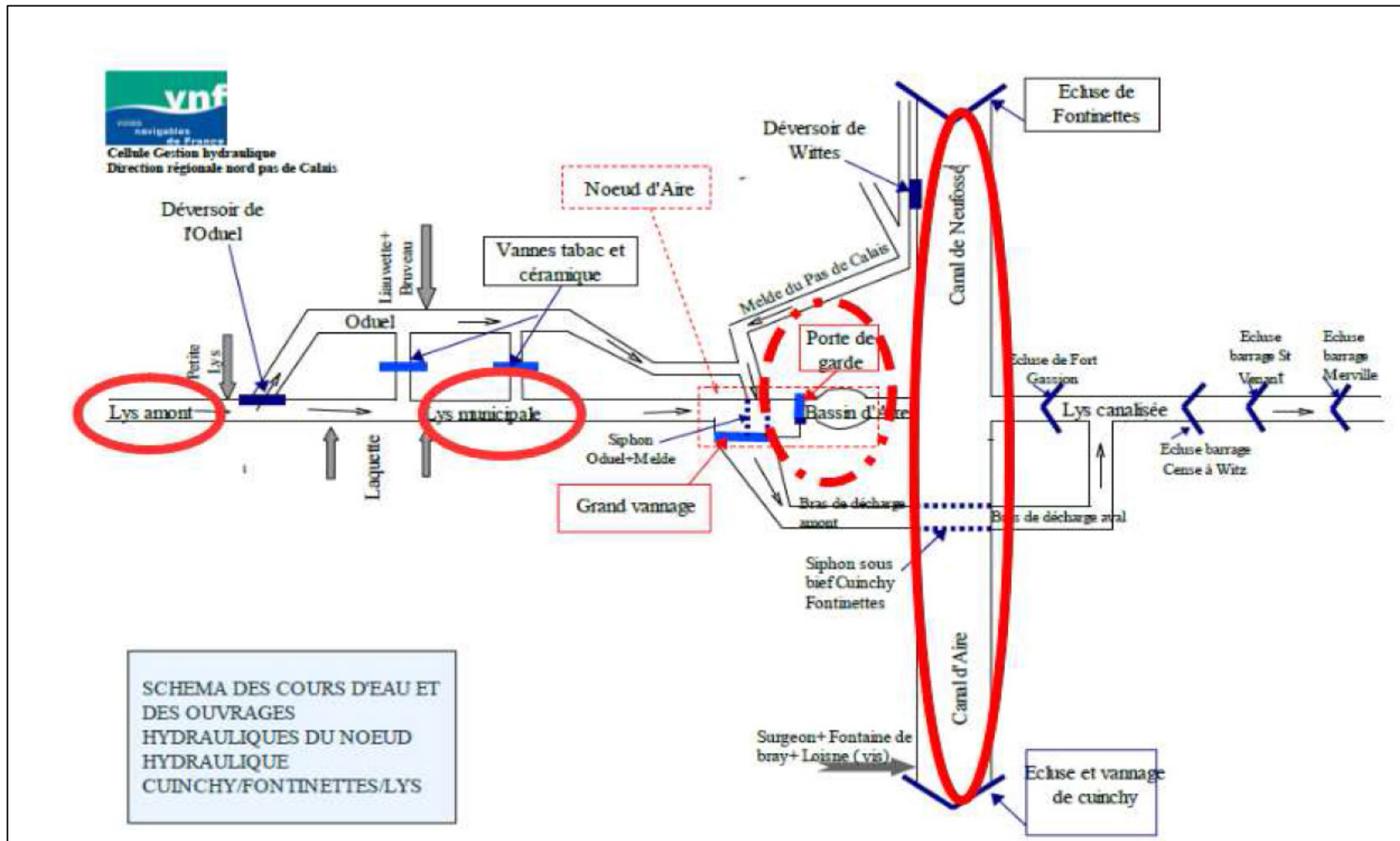
Sinds 2011 registreert een debietmeter hoeveel water er van de Leie wordt afgevoerd naar het kanaal Schelde-Duinkerke en omgekeerd. De gemeten debieten voor de periode 2011-2012 zijn weergegeven op Figuur 24. De figuur geeft een idee van de uitgewisselde volumes tussen de beide waterlopen. In de eerste maanden van 2011 werd voornamelijk water afgevoerd van het kanaal naar de Leie (negatief debiet). Voor de rest van het jaar werd vooral water van de Leie afgevoerd naar het kanaal met een gemiddeld debiet van $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in de lente. In de zomer en de herfst is $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ het maximum debiet. Het jaar 2011 was voornamelijk in de lente eerder droog. Dit weerspiegelt zich ook in de uitwisseling tussen de Leie en het kanaal. In droge periodes wordt meer Leiewater gebruikt om het kanaal op peil te houden.

Voor 2012 zijn de uitwisselingen grilliger. Ook hier kan men doorgaans wel afleiden dat bij kleine neerslaghoeveelheden meer water van de Leie naar het kanaal getransporteerd wordt.

Figuur 24 – Uitwisseling van water tussen de Leie en het kanaal Duinkerke-Schelde in het jaar 2011 & 2012.
Neerslaggegevens van het station Lillers, 10 km van Aire-sur-la-Lys (bron: VNF, 2014)

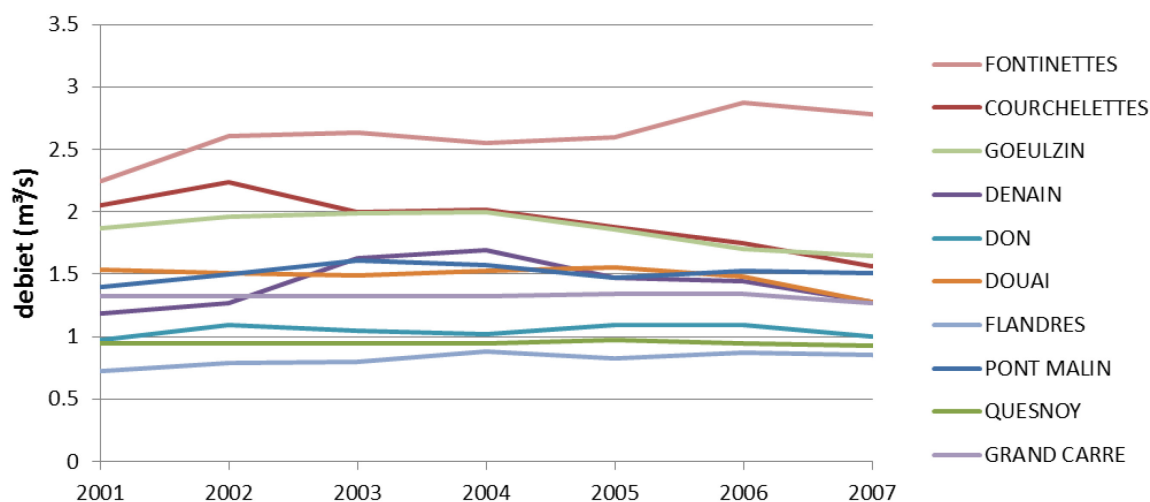


Figuur 25 – Schematisch overzicht van de knoop van Aire-Sur-La-Lys (bron: VNF, 2013)



Op de grafiek in Figuur 26 is het jaargemiddelde schutverlies bij het versassen van schepen aan deze sluizen tussen 2001 en 2007 geplot. Deze debieten zijn berekend op basis van het aantal versassingen per dag en het volume van de betreffende sluis.

Figuur 26 – Jaargemiddelde sasdebieten aan de tien belangrijkste sluizen in het Noord-Franse kanalenstelsel tussen 2001 t.e.m. 2007



De sluis van Fontinettes (Figuur 27) is de belangrijkste sluis, zowel wat betreft het versast volume als locatie. Het versast volume is significant, per versassing wordt een volume van 25 000 m³ van het opwaartse naar het afwaartse pand versluisd (mede door een hoogteverschil van 13 meter (VNF, 2013)). Rekening houdend met het aantal dagelijkse versassingen komt dit neer op een gemiddeld debiet van 2,5 à 3 m³/s. Geografisch is de sluis van Fontinettes belangrijk omdat deze de enige verbruiker van water is. Zo wordt via deze sluis water verbruikt van het Leie- en Scheldebekken dat via Duinkerke in de Noordzee verdwijnt. Er bestaan plannen om het 'verloren' water door versassing aan de sluis van Fontinettes te recupereren via 'L'étang de Batavia'. Op dit moment wordt een deel van het gesaste water afgevoerd via deze aanpalende vijver om het afwaartse pand tijdens een versassing niet teveel te belasten. Het water van deze vijver komt uiteindelijk meer geleidelijk in een afwaarts pand terecht (afwaarts de sluis Flandres). Mogelijks wordt in de toekomst een pomp geïnstalleerd die water van de vijver terug in het opwaartse pand pompt waardoor een derde van het versaste water gerecupereerd kan worden. Het is op moment van schrijven bij VNF echter nog niet bekend of deze aanpassing ook effectief zal gebeuren en indien zo op welke termijn dit zou plaatsvinden.

De andere sluizen in het Noord-Franse kanalenstelsel zijn watergebruikers. Het gebruikte water komt afwaarts terug in het systeem, afwaarts.

Figuur 27 – Foto van de sluis Fontinettes, genomen bij het terreinbezoek in mei 2014



Aan de hand van deze debieten zijn de bestaande sasvolumes in het model gecontroleerd en indien nodig aangepast.

Uit bovenstaande informatie met betrekking tot het waterbeheer en de scheepvaart in het Noord-Franse kanalenstelsel, kan worden geconcludeerd dat desondanks het grote waterverbruik van de sluis van Fontinettes, er slechts een beperkt debiet van het Scheldebekken (Leie-Bovenschelde) wordt afgeleid richting Duinkerke. Het verlies bedraagt 1,5 m³/s in droge periodes, en kan oplopen tot 3,5 m³/s.

Uit vergelijking van de gezamenlijke afvoer van de Leie en de Schelde in Menen respectievelijk Bossuit/Helkijn is het verlies in Fontinettes 33% op de dag dat de gezamenlijk afvoer het kleinst was. Dit was op 10/10/2004 toen er een gezamenlijke afvoer van 10,6 m³/s gemeten is. Tabel 3 toont het histogram van de gezamenlijke afvoer van de Leie en de Schelde gemeten in Menen en Bossuit/Helkijn tussen 1/1/2001 en 31/5/2016. Dit geeft een beeld van hoe vaak deze lage afvoeren voorkomen. In 5% van de tijd bedraagt het sasverlies in Fontinettes (3,5 m³/s aangenomen) 17,5 tot 35% van het totale gezamenlijk debiet van Leie en Schelde.

Tabel 3 – Histogram van de gezamenlijke afvoer van de Leie en de Schelde en het percentuele verlies van de sluis in Fontinettes (tussen 1/1/2001 en 31/5/2016)

Gezamenlijk debiet Leie + Schelde [m ³ /s]	Overeenkomstig verlies (3,5 m³/s) in Fontinettes [%]	Aantal dagen (cumulatief) [d]	% van de tijd (cumulatief) [%]
< 10	35,0	0	0,0
< 15	23,3	25	0,5
< 20	17,5	282	5,4
< 25	14,0	684	13,1
< 30	11,7	1101	21,0
< 50	7,0	2790	53,3
>50		5232	100

4.4 Recente debiet- en neerslaggegevens

In dit hoofdstuk wordt de neerslagafvoer van het Noord-Franse deel van het model in meer detail bestudeerd. De neerslagafvoer wordt berekend met behulp van hydrologische NAM modellen (DHI, 2011), die neerslag en evaporatiegegevens omzetten naar het debiet dat de input is van het waterbalansmodel. De hydrologische modellen zijn beschikbaar per deelstroomgebied.

Er wordt gecontroleerd of er meer neerslaggegevens kunnen gebruikt worden als input voor de hydrologische modellen, en er worden extra debietgegevens opgevraagd zodat extra controles kunnen worden uitgevoerd, waarbij de gesimuleerde neerslagafvoer voor de deelstroomgebieden in Noord-Frankrijk met deze metingen wordt vergeleken.

Hierna wordt met 'fase 1' het voorliggend project "Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied" (bestek WL-12-032) bedoeld. De hierna geactualiseerde gesimuleerde afvoer wordt vergeleken ten opzichte van de afvoer die berekend werd in dit vorige project, en met de metingen. Met 'fase 2' wordt het huidige project bedoeld, waarbij de neerslaggegevens zijn geactualiseerd.

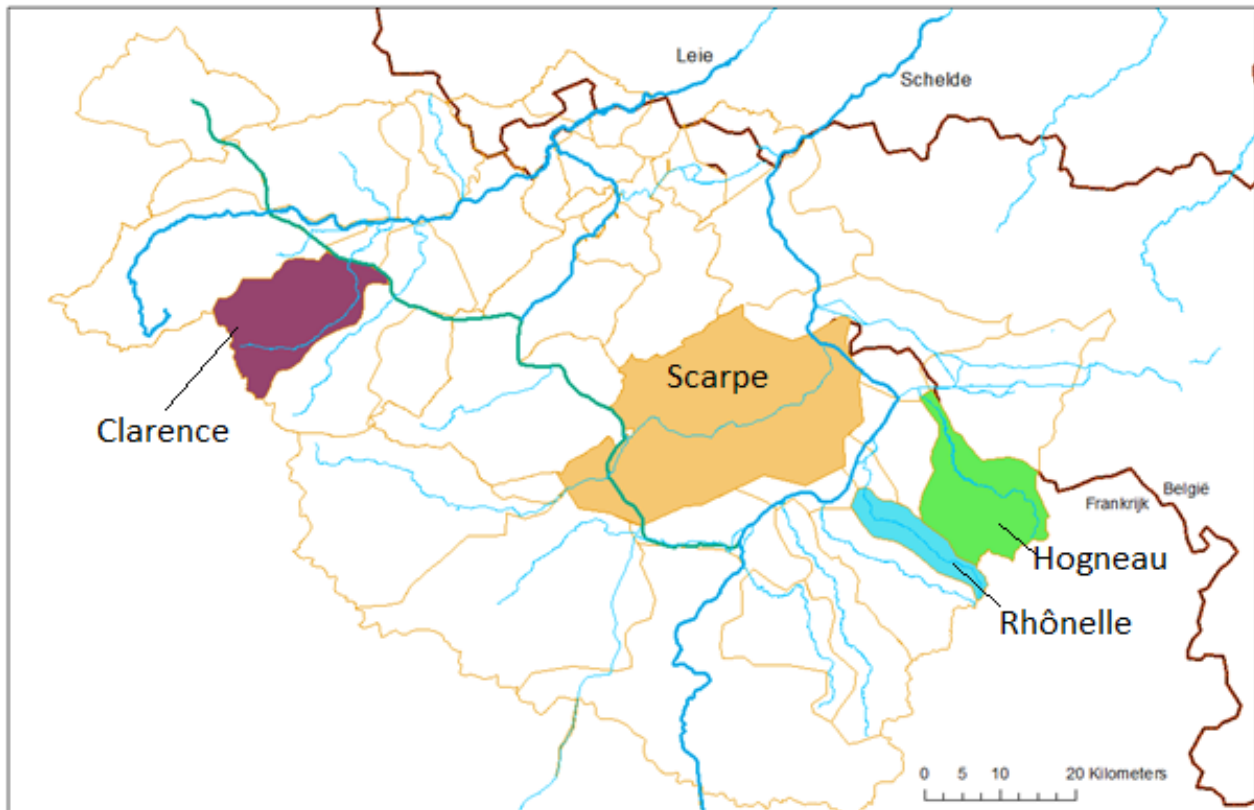
4.4.1 Debiet

Om extra debietcontroles mogelijk te maken, zijn metingen opgevraagd van alle beschikbare debietposten in het Noord-Franse deel van het stroomgebied van de Schelde en Leie. Deze debieten zijn gedownload via de databank hydro.eaufrance.fr en via contactpersoon Mélisande Van Belleghem van de 'Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement' (DREAL) NPDC.

De debietposten op de kanalen laten toe om de grote waterbewegingen in kaart te brengen, de debietposten aan de onbevaarbare rivieren zijn dan weer interessant om het berekende debiet van deelstroomgebieden te controleren. Voor de onbevaarbare rivieren zijn debietgegevens beschikbaar voor de periode 2000-2010, voor de kanalen zijn slechts debietposten geïnstalleerd vanaf 2005.

Op basis van de beschikbare debietmeetreeksen, kon het gesimuleerde debiet van 4 deelstroomgebieden worden gecontroleerd. Op Figuur 28 is de locatie van de gecontroleerde deelstroomgebieden aangeduid. Het betreft het deelstroomgebied van de Clarence opwaarts de meetpost aan de monding in de Leie te Robecq, het deelstroomgebied van de Hogneau opwaarts de meetpost aan de monding in de Schelde te Thivencelle, het deelstroomgebied van de Rhônelle opwaarts de meetpost aan de monding in de Schelde te Aulnoy en het deelstroomgebied van de Scarpe opwaarts de meetpost aan de monding in de Schelde Mortagne. Voor deze laatste meetpost te Mortagne zijn slechts gegevens vanaf september 2004 beschikbaar.

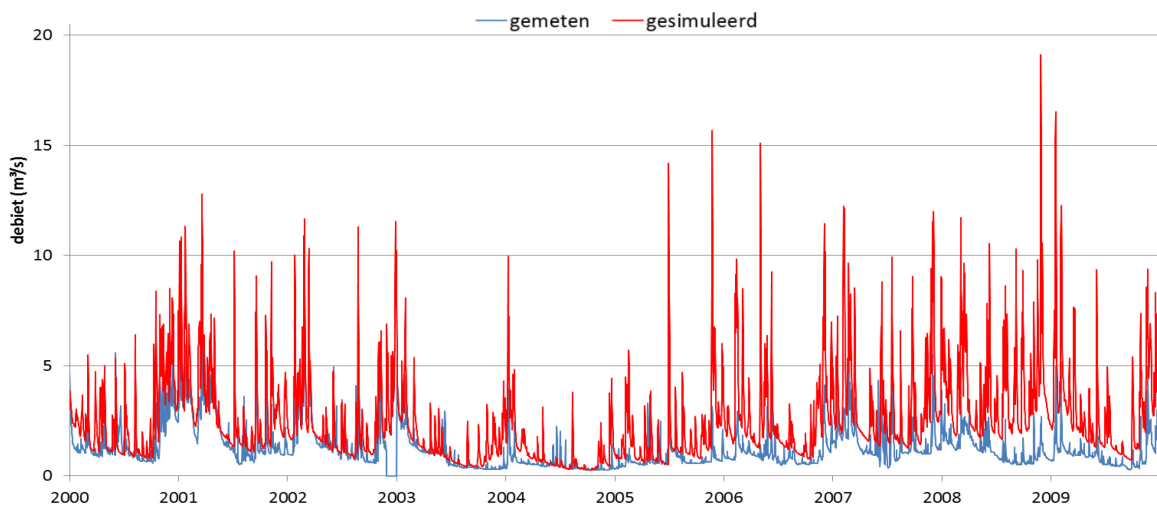
Figuur 28 – Locatie van de vier gecontroleerde deelstroomgebieden



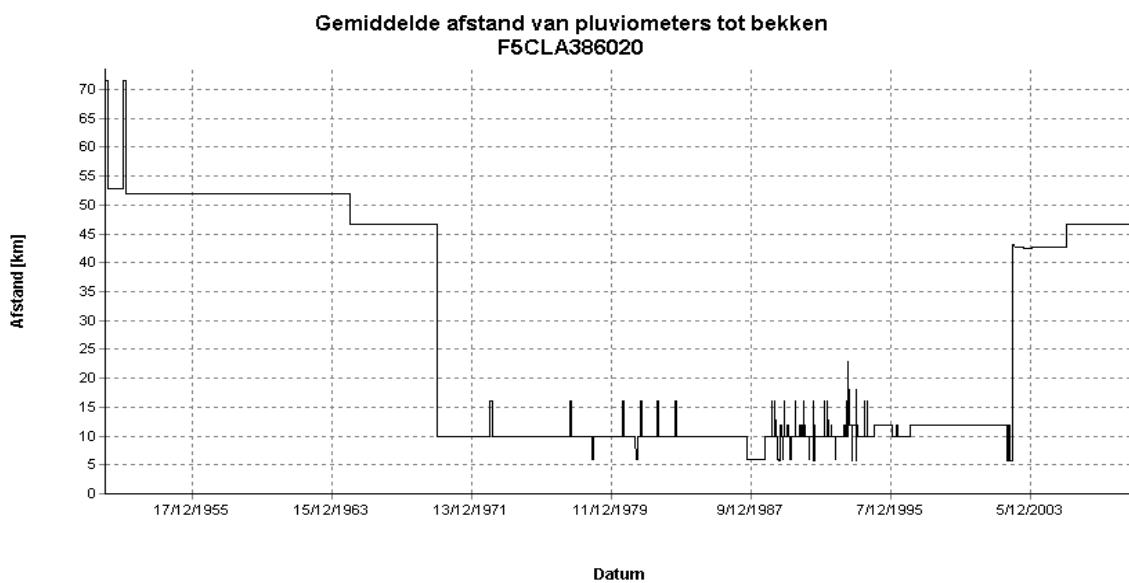
Figuur 29, Figuur 31, Figuur 33 en Figuur 35 tonen voor bovenstaande deelstroomgebieden telkens de gemeten afvoer in rood, en de gesimuleerde afvoer uit fase 1 (vorig bestek WL-12-032) in blauw. Analoog aan de globale trend (zie Figuur 15 en Figuur 16 eerder in dit hoofdstuk) vergroot voor elk van de gecontroleerde deelstroomgebieden de afwijking vanaf 2003-2004. De gebruikte deelstroomgebiedsneerslag voor de hydrologische modellen is berekend met behulp van Thiessen polygonen. Omdat voor het Noord-Franse deel sowieso minder neerslaggegevens zijn gebruikt dan voor Vlaanderen, werd in deze fase gecontroleerd of de kwaliteit van de gebruikte neerslaggegevens voldoende was. In Figuur 30, Figuur 32, Figuur 34 en Figuur 36 wordt daartoe telkens de gemiddelde afstand van de gebruikte pluviometers tot het centrum van het deelstroomgebied geplot voor de verschillende deelstroomgebieden. Hieruit kan worden afgeleid dat vanaf 2003 voor elk van de beschouwde deelstroomgebieden de afstand van de pluviometers aanzienlijk toeneemt. Zo bedraagt voor het bekken van de Clarence de gemiddelde afstand 10 km vanaf de jaren zeventig tot 2003, terwijl deze afstand daarna stijgt tot 40 km. Gezien dit bekken slechts 20kmx10km groot is, is deze afstand dus zeer groot. Dezelfde trends zijn zichtbaar bij de andere bekkens.

Bovenstaande vaststellingen doen vermoeden dat de beschikbaarheid aan neerslaginput de oorzaak is van de slechte overeenkomst tussen het gesimuleerd en het gemeten debiet. In de volgende paragraaf wordt nagegaan of dit effectief het geval is.

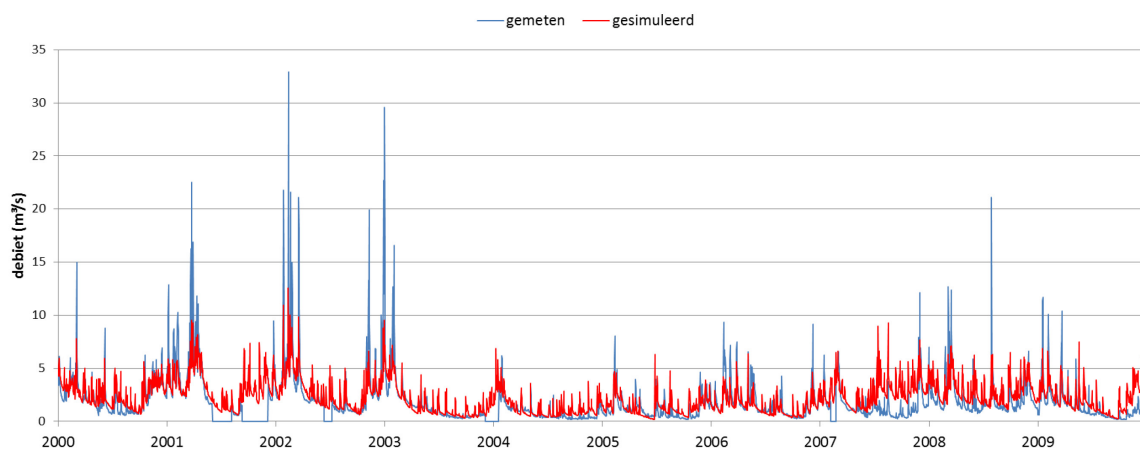
Figuur 29 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Robecq voor het deelstroomgebied van de Clarence



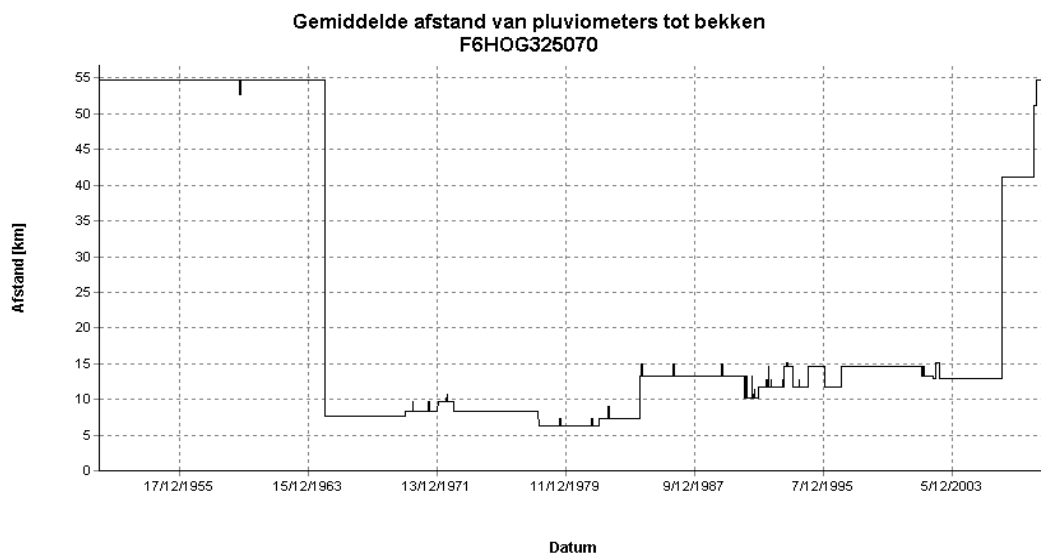
Figuur 30 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Clarence.



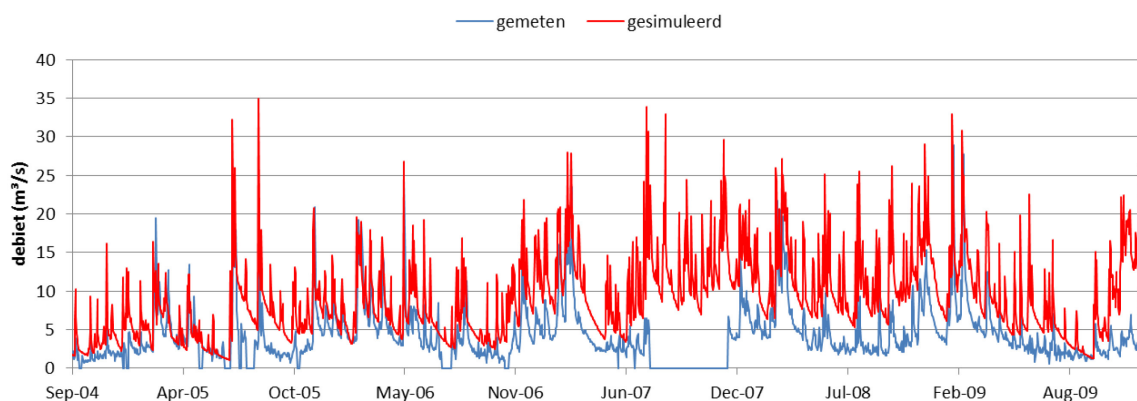
Figuur 31 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Thivencelle voor het deelstroomgebied van de Hogneau



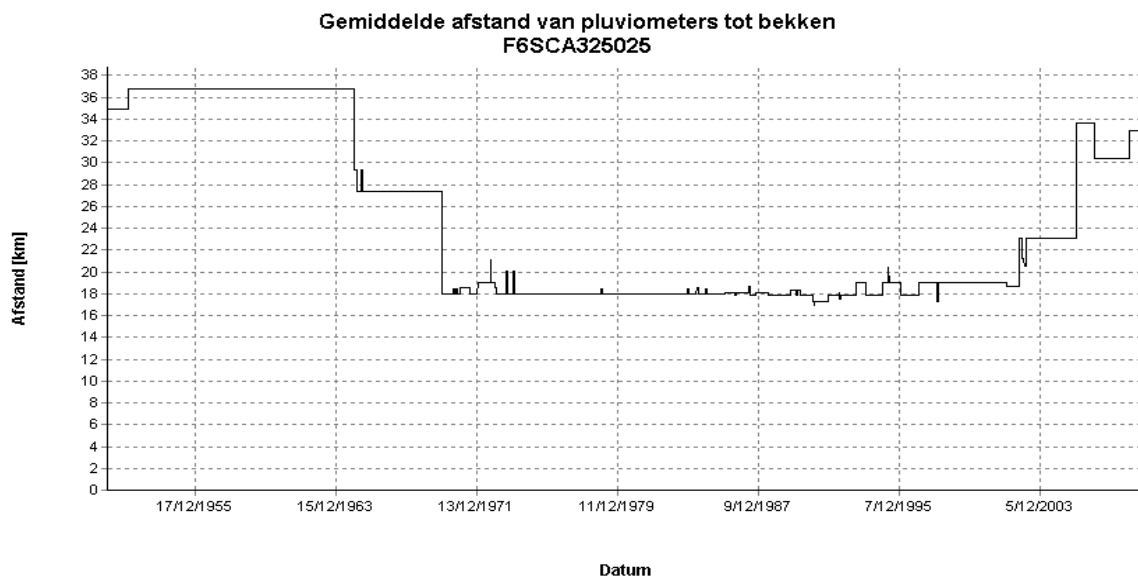
Figuur 32 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Hogneau.



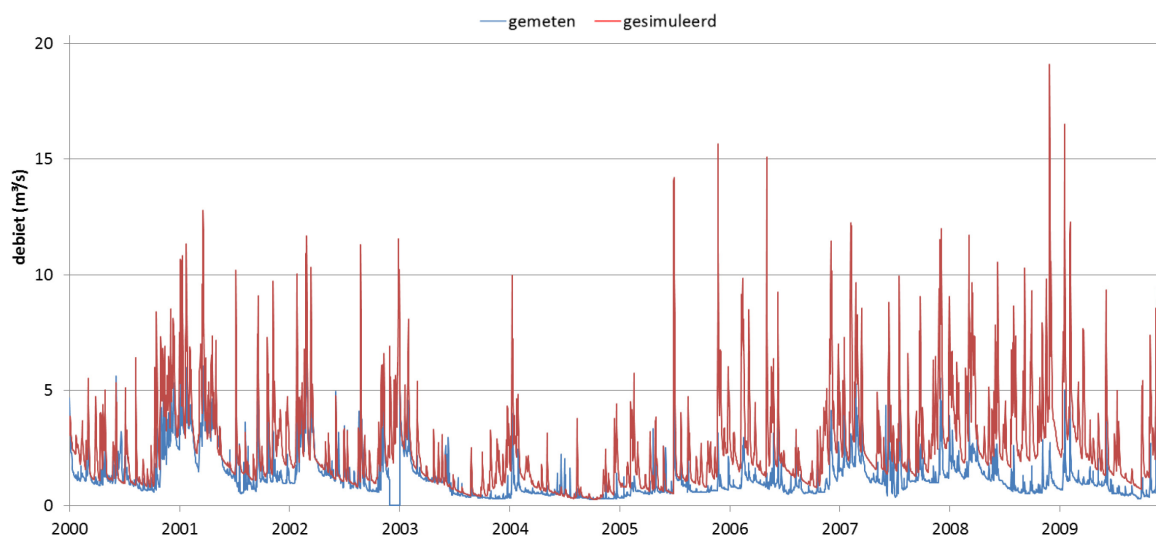
Figuur 33 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte vande meetpost Mortagne voor het deelstroomgebied van de Scarpe



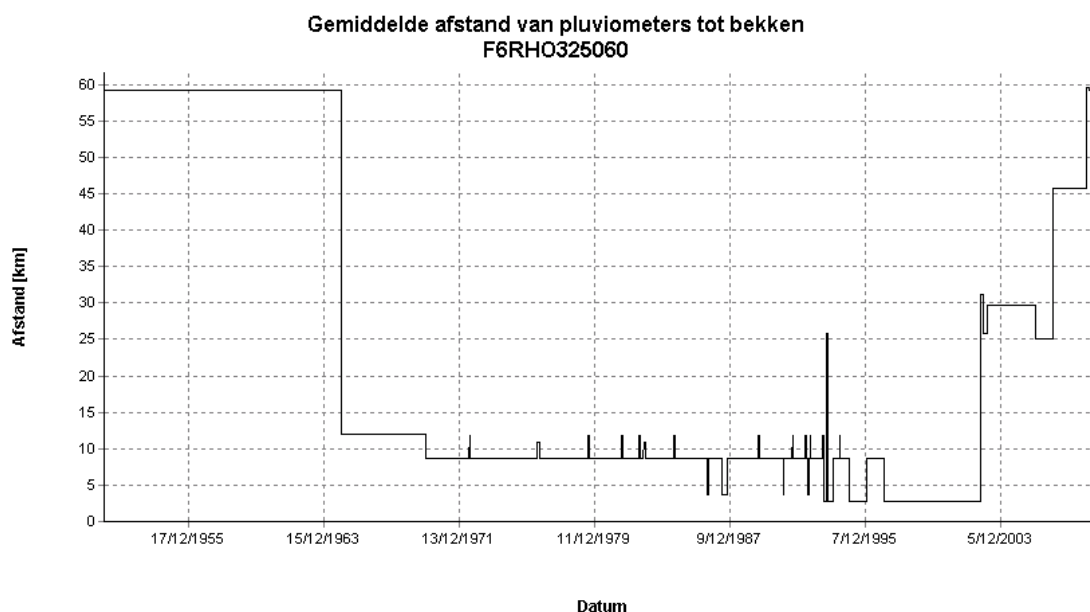
Figuur 34 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Scarpe



Figuur 35 – Gemeten vs. gesimuleerd debiet ter hoogte van de meetpost Aulnoy voor het deelstroomgebied van de Rhône



Figuur 36 – De gemiddelde afstand van pluviometers tot het centrum van het stroomgebied van de Hogneau.



4.4.2 Neerslag

Neerslaghypothese testen voor enkele deelstroomgebieden

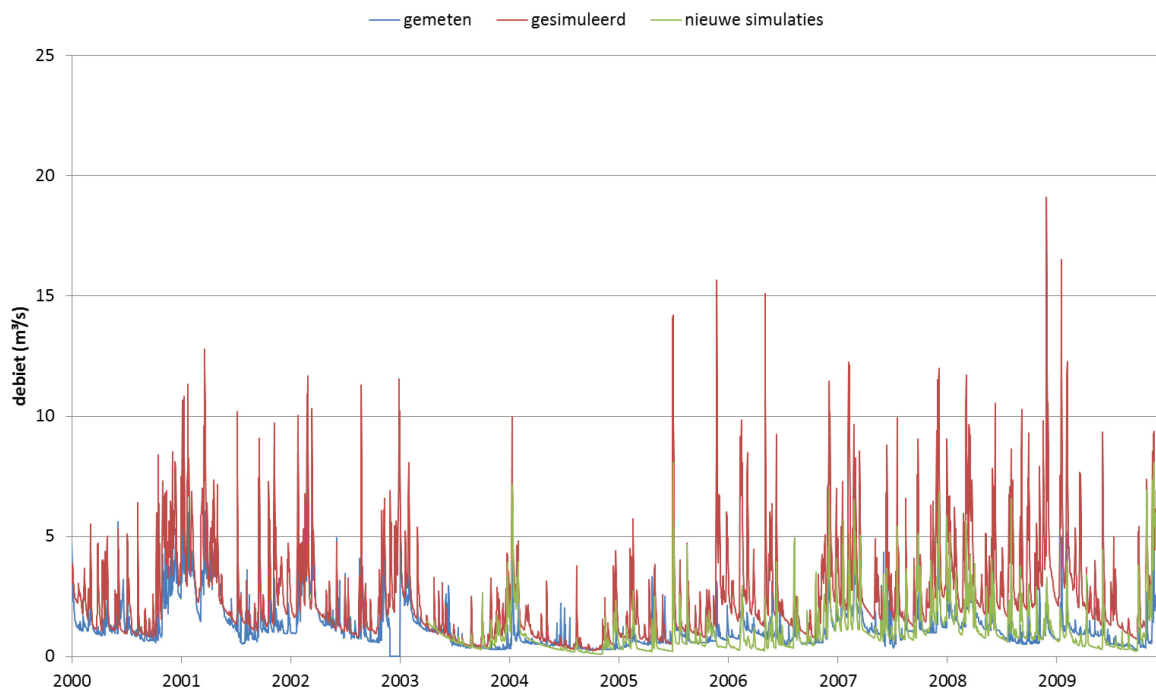
In het kader van het huidige project (fase 2) is de neerslag databank uitgebreid met alle beschikbare stations van Météofrance tot en met 2013.

Na uitbreiding van de databank verlaagt de gemiddelde afstand tussen de pluviometers en het centrum van het deelstroomgebied voor de 4 beschouwde deelstroomgebieden na 2003 van ongeveer 50km tot ongeveer 15km. Om na te gaan of deze verfijning van de gebruikte neerslagmetingen leidt tot een verbetering van de gesimuleerde neerslagafvoer, wordt in deze fase 2 een nieuwe simulatie gedaan met de geactualiseerde neerslaggegevens. Deze nieuwe simulatieresultaten liggen merkkelijk dichter met de gemeten debieten. Figuur 37 en Figuur 38 tonen de resultaten voor de deelstroomgebieden van de Clarence en de Rhône. Op

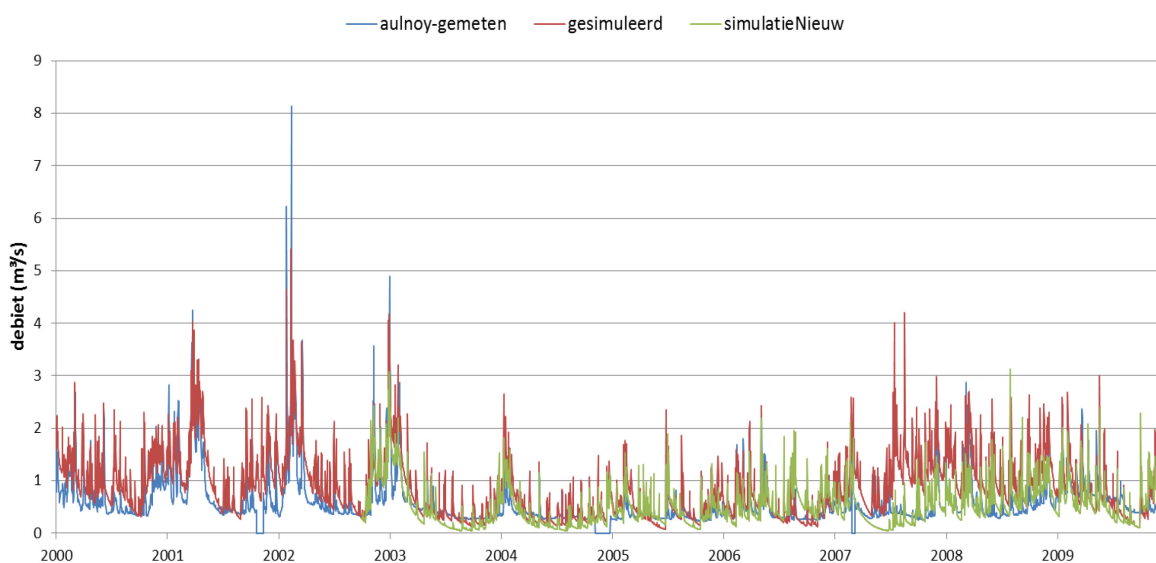
deze figuren is in blauw het gemeten debiet geplot, in rood het gesimuleerde debiet uit fase 1 en in groen het gesimuleerde debiet uit fase 2, na een actualisatie van de neerslaggegevens. Bij deze simulaties in fase 1 en fase 2 is het enige verschil de gebruikte neerslaginput. Het gebruik van geüpdatete neerslaggegevens zorgt dus inderdaad dat de simulatieresultaten de gemeten debieten goed benaderen.

De beschouwde deelbekkens zijn ongeveer 80 km van elkaar gescheiden en de hypothese dat de neerslaginput de oorzaak van de eerder gerapporteerde afwijking is wordt bevestigd voor beide deelbekkens.

Figuur 37 – Simulatieresultaten uit fase 1 (oorspronkelijke neerslaggegevens) en fase 2 (opgevulde neerslaggegevens) vs. gemeten debiet, meetpost Robecq op de Clarence



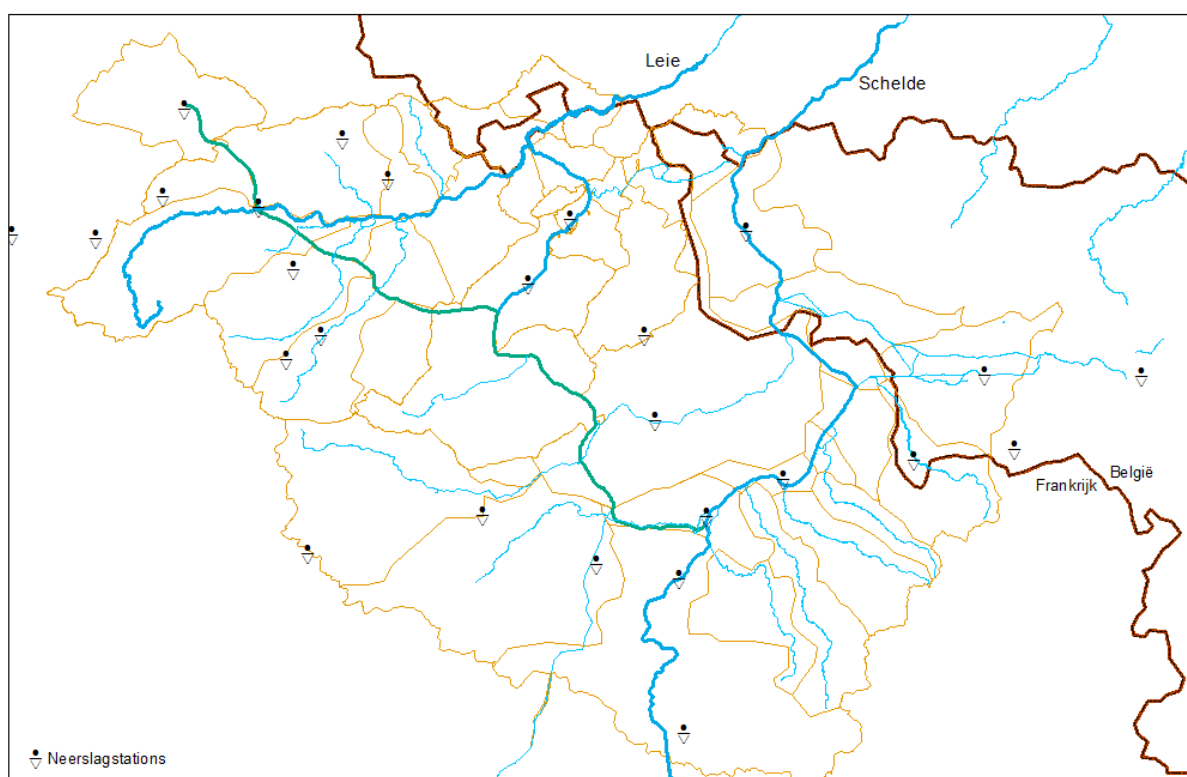
Figuur 38 – Simulatieresultaten uit fase 1 (oorspronkelijke neerslaggegevens) en fase 2 (opgevulde neerslaggegevens) vs. gemeten debiet, meetpost Aulnoy op de Rhonelle



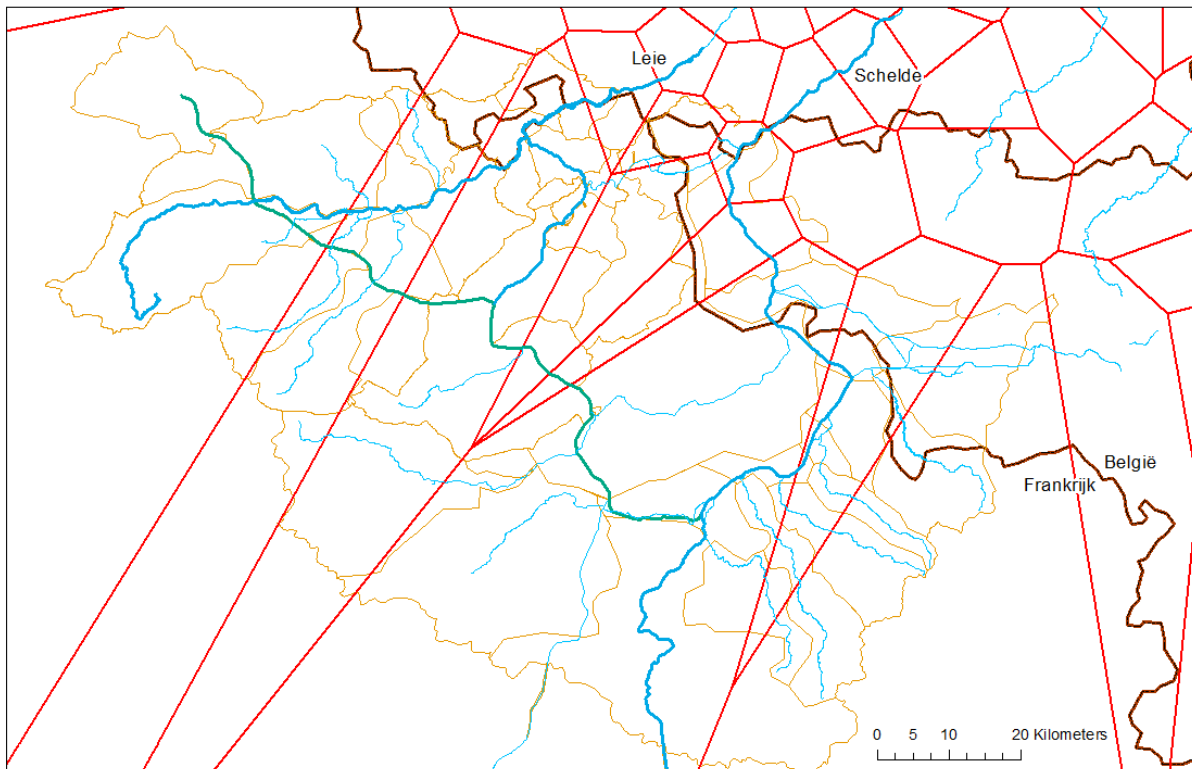
Resultaten opwaarts Menen en Bossuit

Na de hierboven beschreven testcase is een update uitgevoerd van de berekende gebiedsneerslag voor alle deelstroomgebieden opwaarts de Frans-Belgische grens. Het gaat hier om alle deelstroomgebieden opwaarts de Leie te Menen en opwaarts de Bovenschelde te Bossuit. Figuur 39 geeft een overzicht van alle uiteindelijk beschikbare (en dus gebruikte) neerslagstations in het Noord-Franse deel van het studiegebied. De dichtheid van stations in bekkens die afwateren naar de Leie is groter dan voor deze die afwateren naar de Schelde. Figuur 40 toont de Thiessenpolygonen die gebruikt zijn voor het berekenen van de gebiedsneerslag tijdens fase 1 van dit project. Dit toont aan dat bij deze simulatie vanaf 2003 voor geen enkel van de toen beschikbare neerslagstations gegevens voorhanden waren uit Noord-Frankrijk.

Figuur 39 – Gebruikte neerslagstations in het Noord-Franse deel van het Scheldebekken bij de hernieuwde simulaties van debieten per bekken opwaarts Menen (Leie) en Bossuit (Schelde)



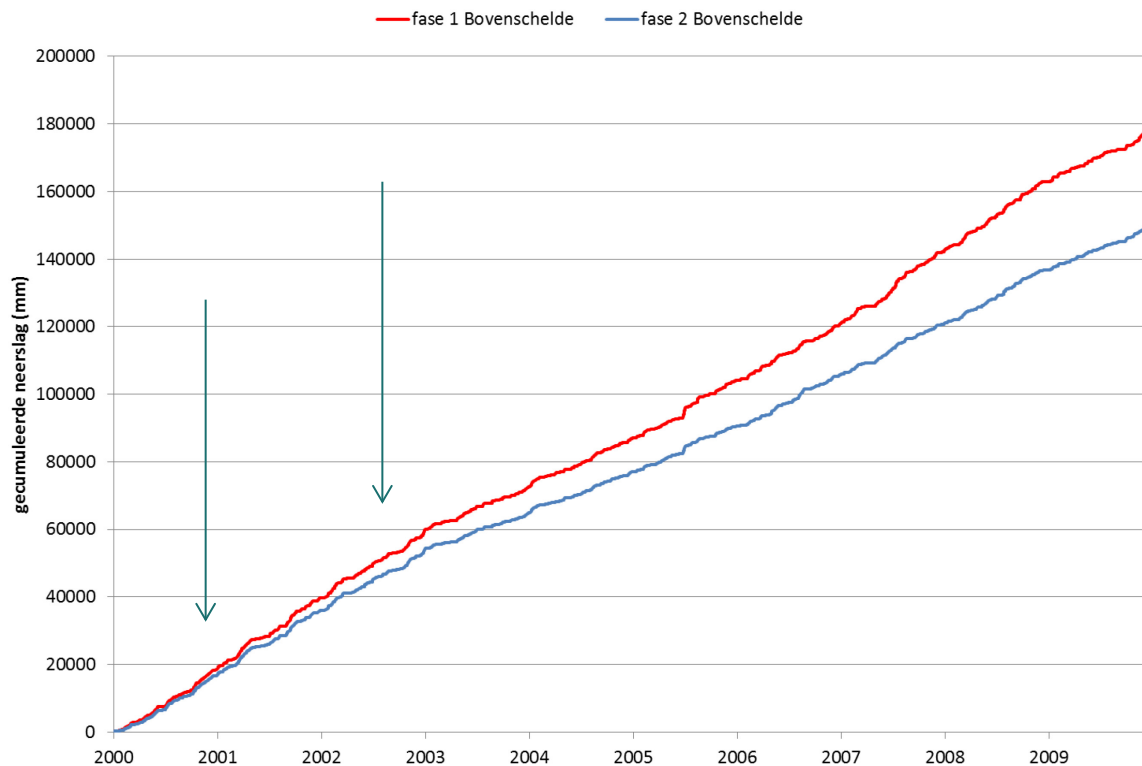
Figuur 40 – Thiessenpolygonen (rood) o.b.v. de gebruikte neerslagstations in de eerste fase vanaf 1/1/2003



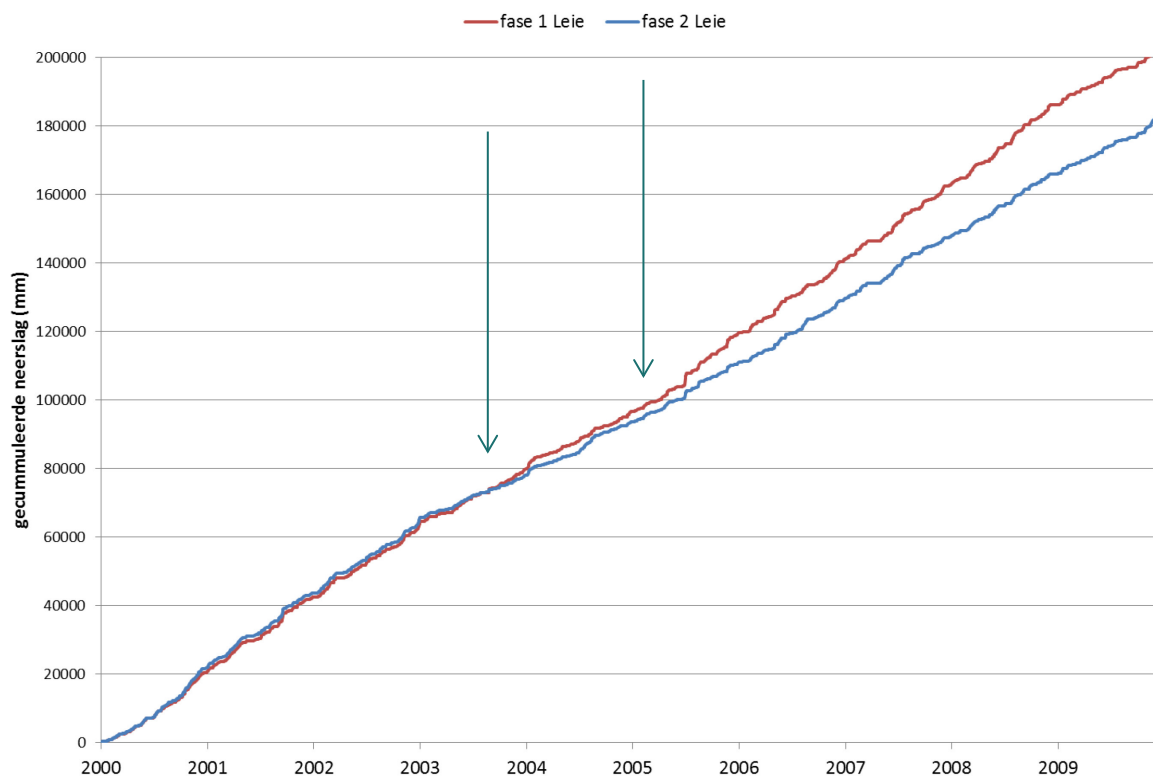
Figuur 41 en Figuur 42 tonen het verschil in cumulatieve neerslag tussen de neerslaggegevens die tijdens fase 1 gebruikt zijn en tijdens fase 2, dus na de actualisatie voor de bekkens opwaarts Menen (Leie) en opwaarts Bossuit (Bovenshelde) respectievelijk. Voor de bekkens opwaarts Bossuit zijn twee knikken in deze curve: één in het jaar 2001 en één in het jaar 2003. Voor de bekkens opwaarts de Leie te Menen is er een knik in 2004 en één midden 2005.

Zowel voor de Leie als voor de Bovenshelde is het zo dat er na aanvulling van de neerslaggegevens in fase 2 minder neerslag in het systeem terecht komt. Minder neerslag in het systeem betekent dat er uiteindelijk minder afvoer naar de rivier plaatsvindt. Dit verklaart bijgevolg ook de overschatting van debieten door het waterbalansmodel voor de meetposten Menen en Bossuit tijdens fase 1 verklaart.

Figuur 41 – Gecumuleerde neerslag van alle deelbekkens opwaarts de post Bossuit op de Schelde. Fase 1 is voor opvulling van de neerslagdata, fase 2 na actualisatie van de neerslagdatabank voor Noord-Frankrijk

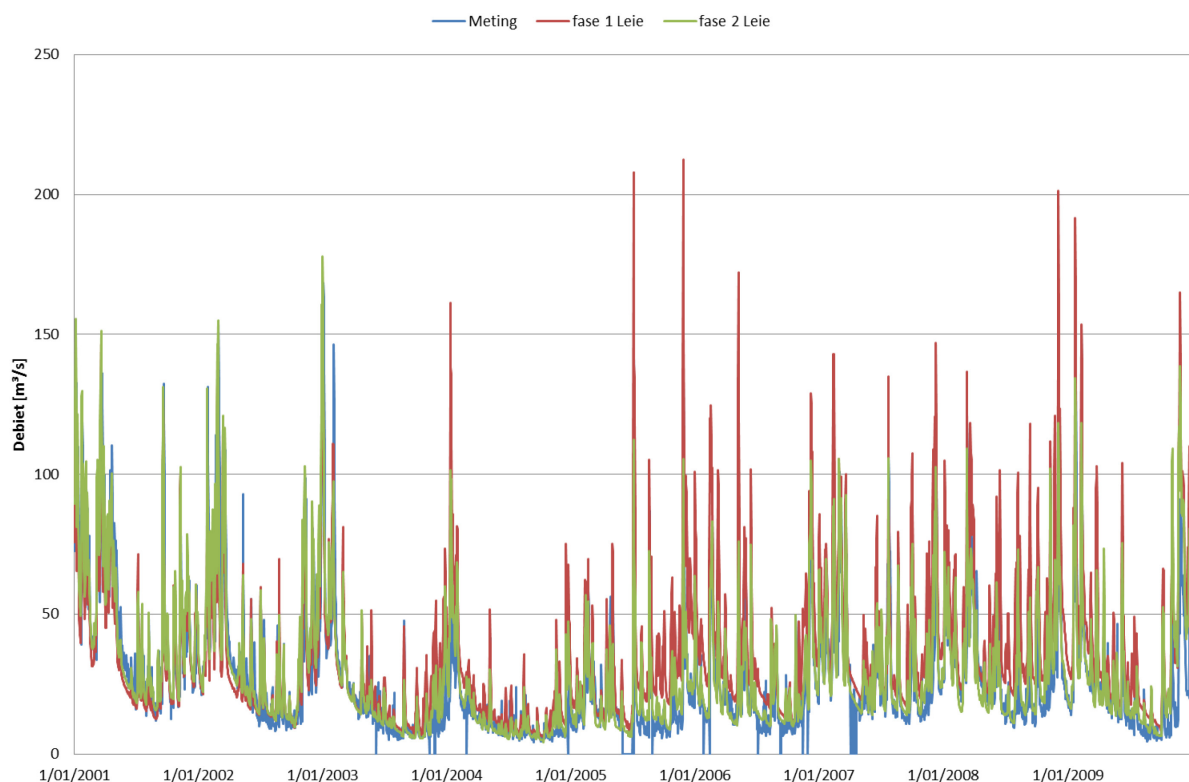


Figuur 42 – Gecumuleerde neerslag van alle deelbekkens opwaarts de post Menen op de Leie. Fase 1 is voor opvulling van de neerslagdata, fase 2 na actualisatie van de neerslagdatabank voor Noord-Frankrijk

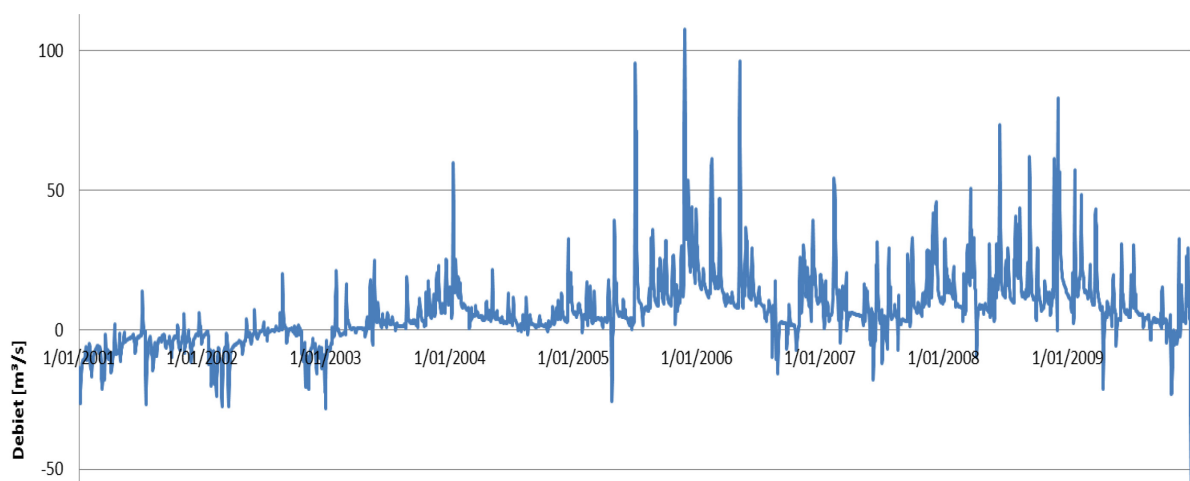


Uiteindelijk is het volledige waterbalansmodel opnieuw doorgerekend, waarbij de hydrologische afvoer is berekend na opvulling van de neerslagdatabank voor Noord-Frankrijk (fase 2). Figuur 43 en Figuur 45 tonen het resultaat van deze nieuwe simulatie. De simulatie met het geactualiseerde model benadert de metingen op de Leie goed tot zeer goed, zeker wat de lage afvoeren betreft. Op de Schelde is er nog een overschatting van de lage debieten desalniettemin is er een enorme vooruitgang ten opzichte van de simulaties in fase 1. Dit is duidelijk in Figuur 44 en Figuur 46. Ze tonen het totale verschil in gesimuleerde neerslagafvoer van alle deelbekkens opwaarts Menen resp. Bossuit bij fase 1 en fase 2 (na actualisatie neerslagdatabank). Het verschil van de cumulatieve neerslag zet zich duidelijk door in de gesimuleerde afvoer van de deelbekkens.

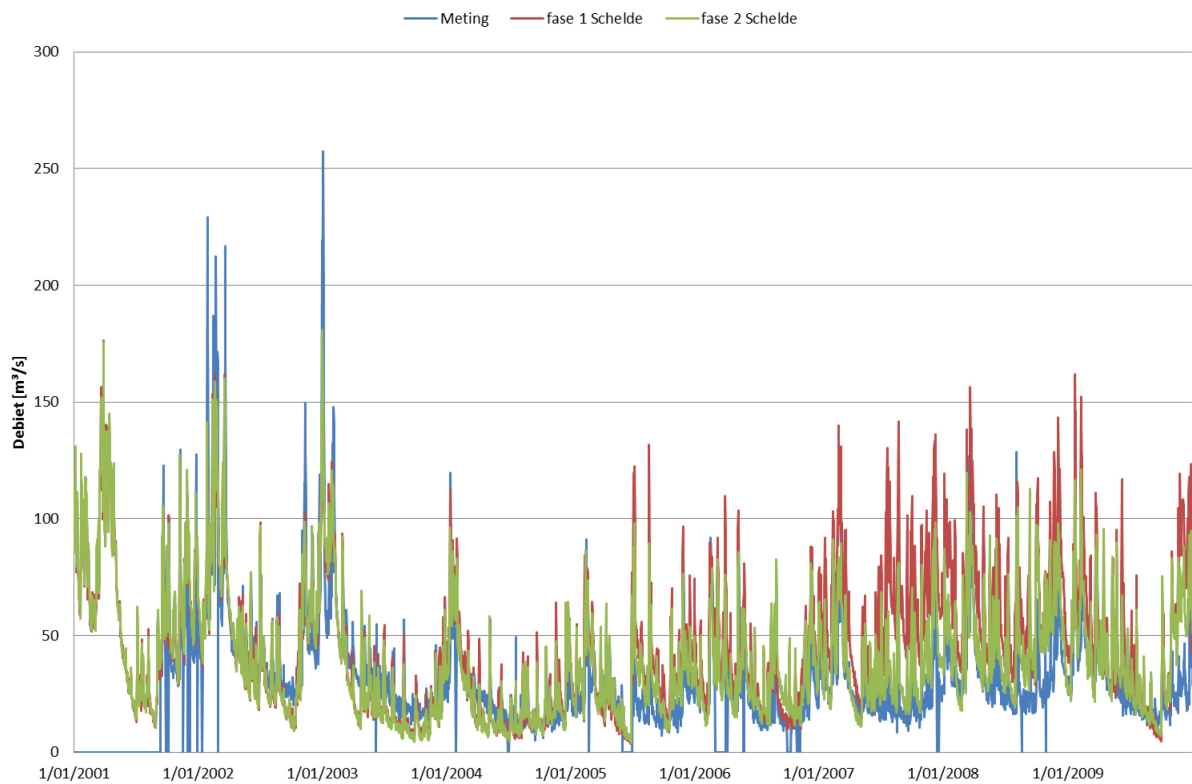
Figuur 43 – De Leie te Menen: gemeten debiet en gesimuleerd debiet voor fase 1 en fase 2 (na opvulling neerslagdatabank)



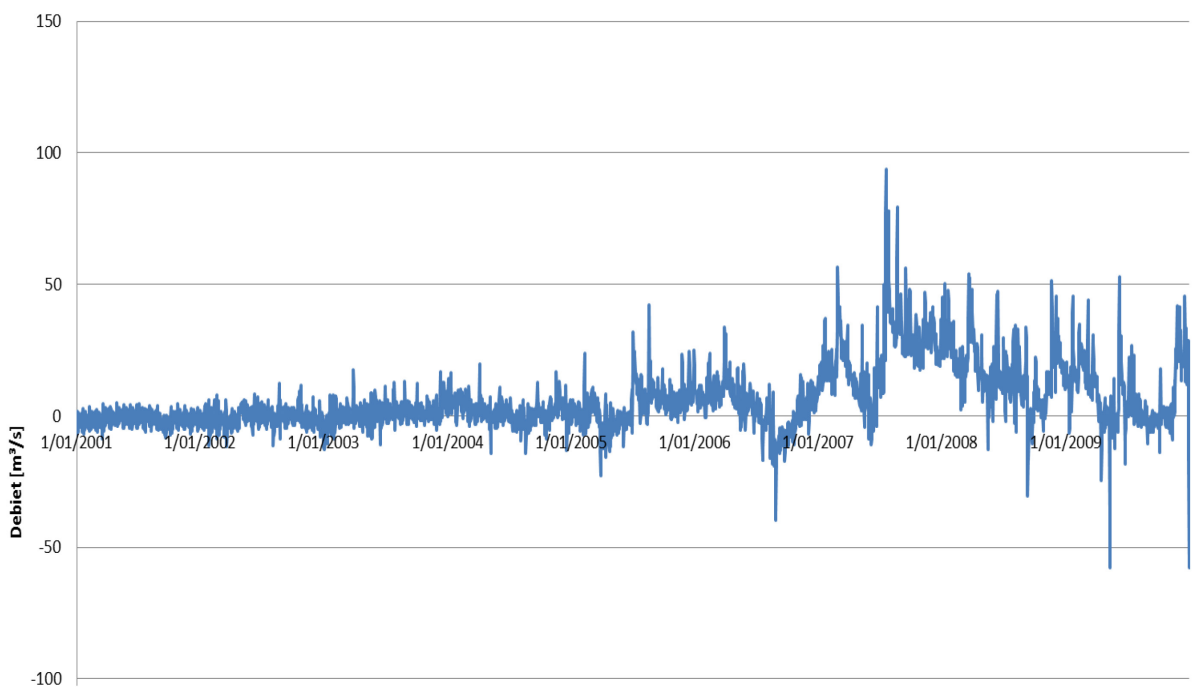
Figuur 44 – De Leie te Menen: verschil in het gesimuleerde debiet tussen fase 1 en fase 2 (na actualisatie neerslagdatabank)



Figuur 45 – De Schelde te Bossuit: gemeten debiet en gesimuleerd debiet voor fase 1 en fase 2 (na opvulling neerslagdatabank)



Figuur 46 – De Schelde te Bossuit: verschil in het gesimuleerde debiet tussen fase 1 en fase 2 (na actualisatie neerslagdatabank)



4.5 Conclusie

In vergelijking met het Vlaamse deel van het Scheldebekken is het Noord-Franse deel van het waterbalansmodel minder gedetailleerd. Bovendien toonde de modelvalidatie dat de overeenkomst tussen de gesimuleerde afvoer en de gemeten afvoer ter hoogte van de meetposten op de Leie te Menen en op de Bovenschelde te Bossuit, beide gelegen aan de Frans-Belgische grens, vanaf 2004-2005 verminderde. Daarom is het Noord-Franse deel van het model in dit hoofdstuk onder de loep genomen en verder geactualiseerd.

Daartoe is het Noord-Franse deel van het Scheldestroomgebied op een zelfde niveau geïnventariseerd als het Vlaamse deel. Alle nieuwe gegevens werden gebruikt om het waterbalansmodel te actualiseren. Gezien de onttrokken en geloosde volumes in het Noord-Franse deel van het model amper significant zijn, leidt deze extra informatie nog niet tot een betere benadering van de gemeten debieten ter hoogte van de Frans-Belgische grens.

Naast een update van het watergebruik, zijn ook de structuren in het model (systeem van rivieren en kanalen, sluizen en stuwen) gecontroleerd en geactualiseerd, mede op basis van extra informatie van de Franse overheid (Voies navigables de France of VNF). Dit leidde tot kleine aanpassingen in het model, maar over het algemeen waren de reeds gemodelleerde structuren al voldoende nauwkeurig in het model geïmplementeerd.

Na de update van het waterbalansmodel voor Noord-Frankrijk, is onderzocht of een actualisatie van de neerslaginput voor dit opwaarts deelgebied tot een verbetering van de modelresultaten leidt. Als testcase werd eerst een actualisatie van de berekende gebiedsneerslag uitgevoerd voor een aantal deelstroomgebieden. Hiertoe is eerst de neerslagdatabank uitgebreid met extra metingen uit Noord-Frankrijk. Gezien deze update leidde tot een significante verbetering van de gemodelleerde neerslagafvoer, is ook voor de andere deelstroomgebieden opwaarts de Frans-Belgische grens de neerslagafvoer herberekend met nieuwe gebiedsneerslag. Voor de berekening van deze gebiedsneerslag is beroep gedaan op de aangevulde neerslagmetingen voor Noord-Frankrijk. Na deze actualisatie is uiteindelijk een zeer goede overeenkomst bereikt tussen de gesimuleerde en gemeten afvoer aan de Frans-Belgische grens van het model.

Er kan dus geconcludeerd worden dat de kennis omtrent het Noord-Franse deel van het model in deze fase van de deelopdracht sterk is uitgebreid en dat deze kennis ook leidt tot betere resultaten voor het waterbalansmodel. Gezien het aandeel van de neerslagafvoer uit Noord-Frankrijk aanzienlijk is, is dit dus een sterke verbetering van het waterbalansmodel voor het Scheldestroomgebied.

5 De interactie tussen de Maas en de kanalen

5.1 Inleiding

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

De doelstelling van dit onderdeel van de deelopdracht is om de verdeling van dit knooppunt op een meer realistische en dynamische manier te modelleren. Samen met de hydrologische modellering van het Maasbekken (onderdeel van Deelopdracht 4 van dit project, Maroy et al., 2016) leidt dit ertoe dat het, net als voor het Scheldestroomgebied, ook mogelijk zal zijn de watervraag van het Albertkanaal en de Kempense kanalen voor de voorbije 55 jaar te simuleren.

5.2 Beschrijving van de verdelingsknoop tussen Luik en Maastricht (bron: Pereira et al., 2016)

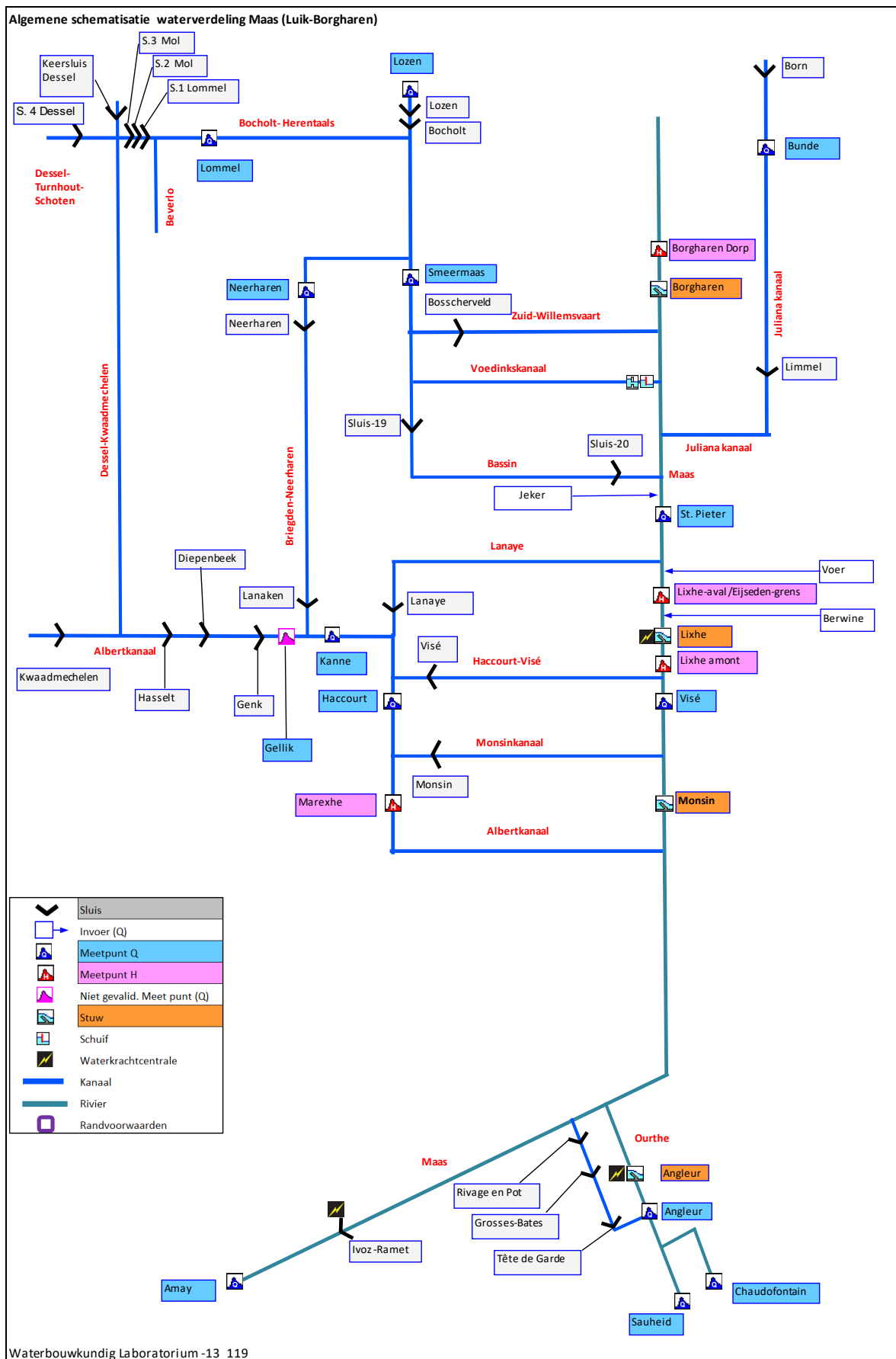
Het bestudeerde gebied omvat naast een gedeelte van de Maas en een stuk van het Albertkanaal ook het opwaartse deel van het Julianakanaal, een gedeelte van de Zuid-Willemsvaart, het kanaal Bocholt-Herentals, het kanaal van Beverlo, het kanaal Dessel-Kwaadmechelen, een klein stuk van het kanaal Dessel-Turnhout-Schoten, het kanaal Briegden-Neerharen, de twee kanalen tussen de Zuid-Willemsvaart en de Maas, het Monsinkanaal, het kanaal Haccourt-Visé, het kanaal van Lanaye en het meest afwaartse deel van de Ourthe en de Amblève

Voor wat de Maas betreft, loopt het interessegebied vanaf de meetpost te Amay (opwaarts) tot de stuw van Borgharen (afwaarts). In dit pand monden drie zijrivieren uit in de Maas: de Jeker, de Voer en de Berwinne.

Figuur 48 geeft een schematisatie van het studiegebied weer met de belangrijkste structuren, waterlopen, kanalen en verbinding weergegeven. Deze schematisatie toont hoe complex het systeem is. Ter hoogte van Luik kan water van de Maas afgeleid worden naar het Albertkanaal. Die verdeling wordt bepaald door de interactie van de werking van de stuw van Monsin, de waterkrachtcentrale in Monsin en de sluizen van Monsin, Lanaye, Visé, Lanaken en Genk. Water kan dus op drie manieren terug stromen naar de Maas opwaarts het meetpunt van Sint-Pieter.

Afwaarts Sint-Pieter wordt het water van de Maas afgeleid richting Zuid-Willemsvaart langs drie mogelijke wegen, maar dit gebeurt voornamelijk langs het voedingskanaal. Bovendien wordt het debiet verder verdeeld richting het Julianakanaal en het resterende debiet stroomt langs Borgharen, wat de natuurlijke loop van de Maas is. Zelfs in deze laatste locatie is de menselijke invloed bepalend door de interactie met de vistrappen, de pompen en de bediening van de stuw van Borgharen. De Zuid-Willemsvaart zal verder het volledige systeem van de Kempische kanalen voeden en het Albertkanaal zal verder afwaarts stromen richting Antwerpen.

Figuur 47 – Schematisatie van de verdelingsknoop Luik-Maastricht (bron: Pereira, 2016)



5.3 Verfijning van het waterbalansmodel

Tussen Luik en Maastricht zijn uitwisselingen tussen de Maas, het Albertkanaal, de Zuid-Willemsvaart en het Julianakanaal. Deze transfers zijn mogelijk via verschillende sluizen, stuwen en kanalen. Dit complex knooppunt van waterwegen is reeds ingebouwd in een hydrodynamisch 1D-model (software Mike 11, ©DHI) om in staat te zijn de droge zomer van 2011 te simuleren en bestuderen (Pereira et al., 2016). In deze zomer daalde de waterstand in het Albertkanaal met meer dan 1 meter tussen Luik en Genk zonder dat er op het eerste zicht een duidelijke verklaring voor was.

In dit hoofdstuk is nagegaan of het mogelijk is dit knooppunt in meer detail te modelleren met het waterbalansmodel (Mike Basin), om zo resultaten te genereren die aansluiten met de simulatieresultaten van het Mike 11 model. Daartoe wordt een deelmodel ontwikkeld voor dit deel van het studiegebied. Als de resultaten van dit verfijnde model aanvaardbaar zijn, kan dit deelmodel in het totale waterbalansmodel worden geïntegreerd.

De kennis die bij de ontwikkeling van het hydrodynamische Mike 11 model is opgedaan, vormt de basis voor de implementatie van dit knooppunt in het overeenkomstige waterbalansmodel. Het is wel zo dat de gedetailleerde regeling van de controlestructuren in het hydrodynamisch model sowieso niet één op één vertaald kan worden naar het waterbalansmodel, dat eerder conceptueel is. De vertaling van het Mike 11 model naar Mike Basin brengt dus een zekere vereenvoudiging met zich mee. Voor zeer gedetailleerde analyses met betrekking tot dit knooppunt, zijn verdere verfijningen met bijvoorbeeld de met het Mike 11 doorgerekende klepstanden als tijdreeks voor de belangrijkste structuren aangewezen.

Figuur 48 toont het beschouwde knooppunt en dus het gedeelte van het model dat in dit hoofdstuk is verfijnd. De opwaartse rand van het deelmodel ligt ter hoogte van de limnigraaf te Amay. De opwaartse randvoorwaarde is de som van het gemeten debiet te Amay en dit te Angleur (Ourthe).

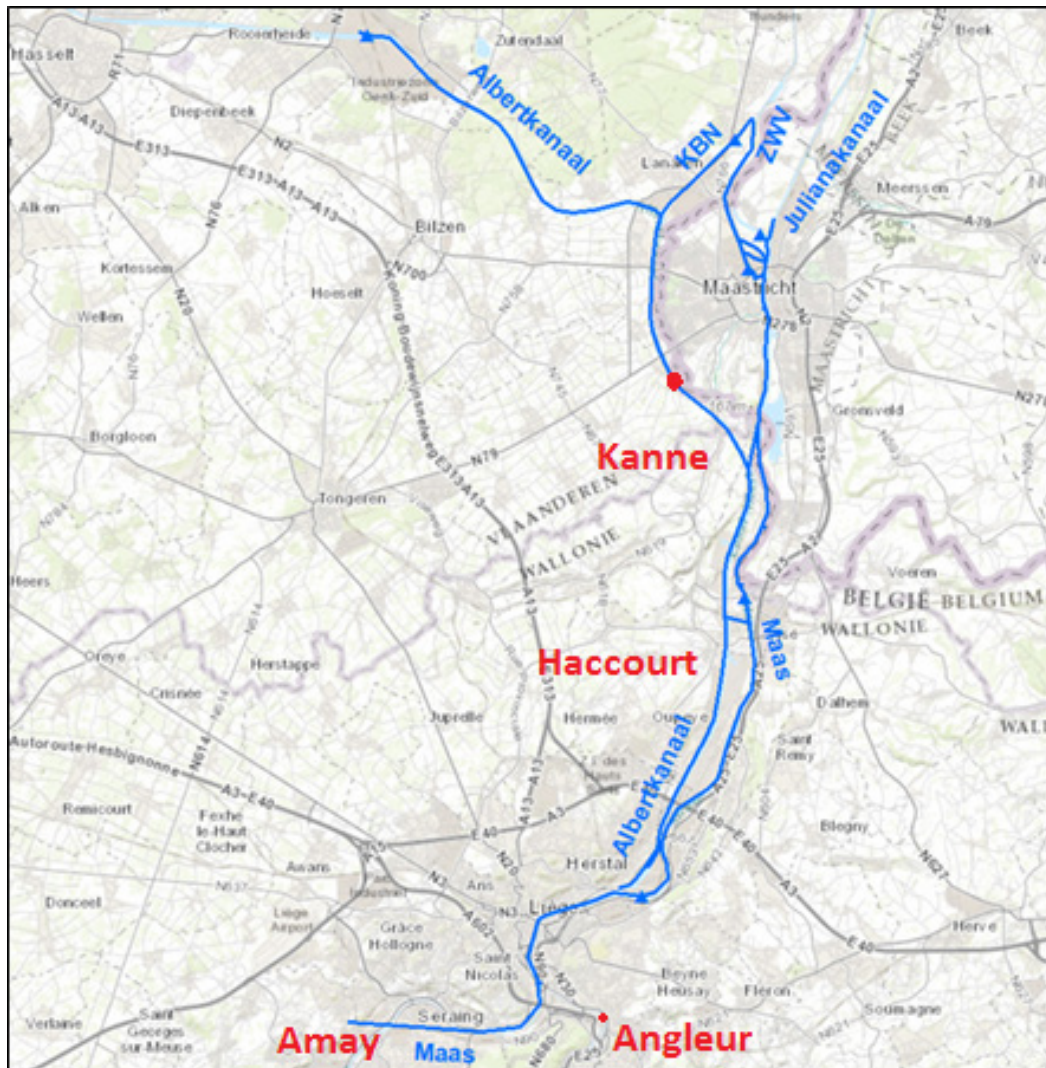
Stroomafwaarts is het model aan de volgende randen geknipt om overbodige simuleringen van de afwaartse panden en het Scheldebekken te vermijden:

- Maas tot de stuw van Borgharen
- Julianakanaal tot Bunde
- Albertkanaal tot de sluis in Genk
- Zuid-Willemsvaart tot het meetstation in Smeermaas
- Kanaal Briegden-Neerharen tot de sluis van Neerharen

Om eenduidige vergelijking tussen het Mike 11 model en het waterbalansmodel mogelijk te maken, wordt dezelfde simulatieperiode doorgerekend (2011). Bovendien wordt het watergebruik ter hoogte van de sluizen in het Mike Basin model gemodelleerd aan de hand van de gesimuleerde debieten in het Mike 11 model.

Hierna zijn de afzonderlijke modelcomponenten meer in detail besproken.

Figuur 48 – De waterverdelingsknoop tussen Luik en Maastricht



5.3.1 Reservoirkarakteristieken

Er zijn drie nieuwe reservoirs langs de Maas ingevoerd (opwaarts Monsin, Lixhe en Borgharen) en één ter hoogte van “het Bassin” in Maastricht. De reservoirs van het eerste kanaalpand van het Albertkanaal, de Zuid-Willemsvaart en het kanaal Briegden-Neerharen zijn geüpdatet op basis van de dwarsprofielen uit het beschikbare Mike 11 model. Deze profielen zijn geïntegreerd in het Digitaal Hoogte Model en op basis daarvan zijn de hoogte-volume-oppervlakte relaties van de reservoirs geüpdatet.

5.3.2 Hydrologische input

In Deelopdracht 4 van dit project is de hydrologische modellering voor het Maasbekken uitgevoerd (Maroy et al. 2016). Deze resultaten worden gebruikt om de neerslagafvoerdebieten van de onbemeten zijrivieren die tussen Luik en Maastricht in de Maas uitmonden te modelleren. Het betreft de Jeker (452 km²) en de Voer (63 km²). Zoals hierboven al aangehaald, wordt de gemeten afvoer op de Ourthe (in Angleur) bij de gemeten afvoer te Amay geteld aan de opwaartse rand van het model.

5.3.3 De voeding van het Albertkanaal

Er zijn verschillende mogelijkheden getest om de open verbinding tussen de Maas en het Albertkanaal te modelleren. In het origineel model werd deze verbinding gemodelleerd door een watergebruiker die water onttrekt uit de Maas overeenkomstig met de meting in Kanne. Kanne ligt langs het Albertkanaal afwaarts de kanalen van Monsin, Haccourt-Visé en Lanaye. Door deze manier van modelleren is het model afhankelijk van de meetreeks te Kanne die beperkt is in tijd (metingen vanaf 1998) waardoor MikeBasin automatisch het eerste jaar herhaalt voor simulaties die starten voor 1998. Wat natuurlijk niet realistisch is. Om dit te vermijden wordt de meetreeks vervangen door een expliciete modellering van dit knooppunt.

De voeding is in eerste instantie gemodelleerd door een “bifurcation node”, of een knoop die de verdeling van het aangevoerde water naar afwaartse takken modelleert. De verdeling wordt op deze manier bepaald door het opwaarts debiet. De toevoer naar het Albertkanaal is op die manier een functie van de aanvoer vanuit de Maas. De geïmplementeerde verdeelsleutel (Tabel 4) is afgeleid uit een lineaire regressie op de som van de metingen in Amay + Angleur en Haccourt:

$$Q_{Haccourt}(t) = f(Q_{Amay}(t) + Q_{Angleur}(t))$$

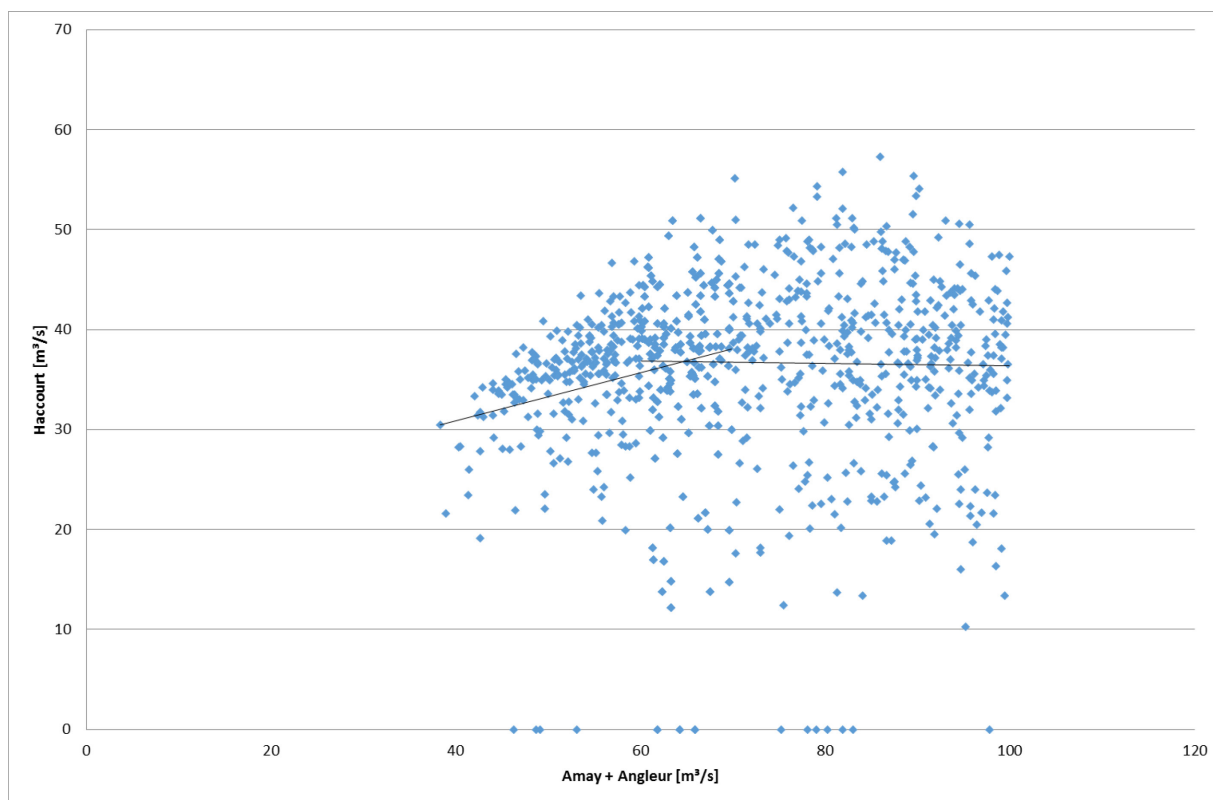
De tabel is iteratief bijgestuurd, en dit eindresultaat geeft de beste simulatieresultaten. De geïmplementeerde relatie tussen het debiet op de Maas en het afgevoerde debiet naar het Albertkanaal zorgt ervoor dat de afvoer richting het Albertkanaal een zeer grote fractie van het aangevoerde debiet is bij een lagere aanvoer tot ongeveer 60 m³/s.

Tabel 4 – Afleidingstabel voor de voeding van het Albertkanaal

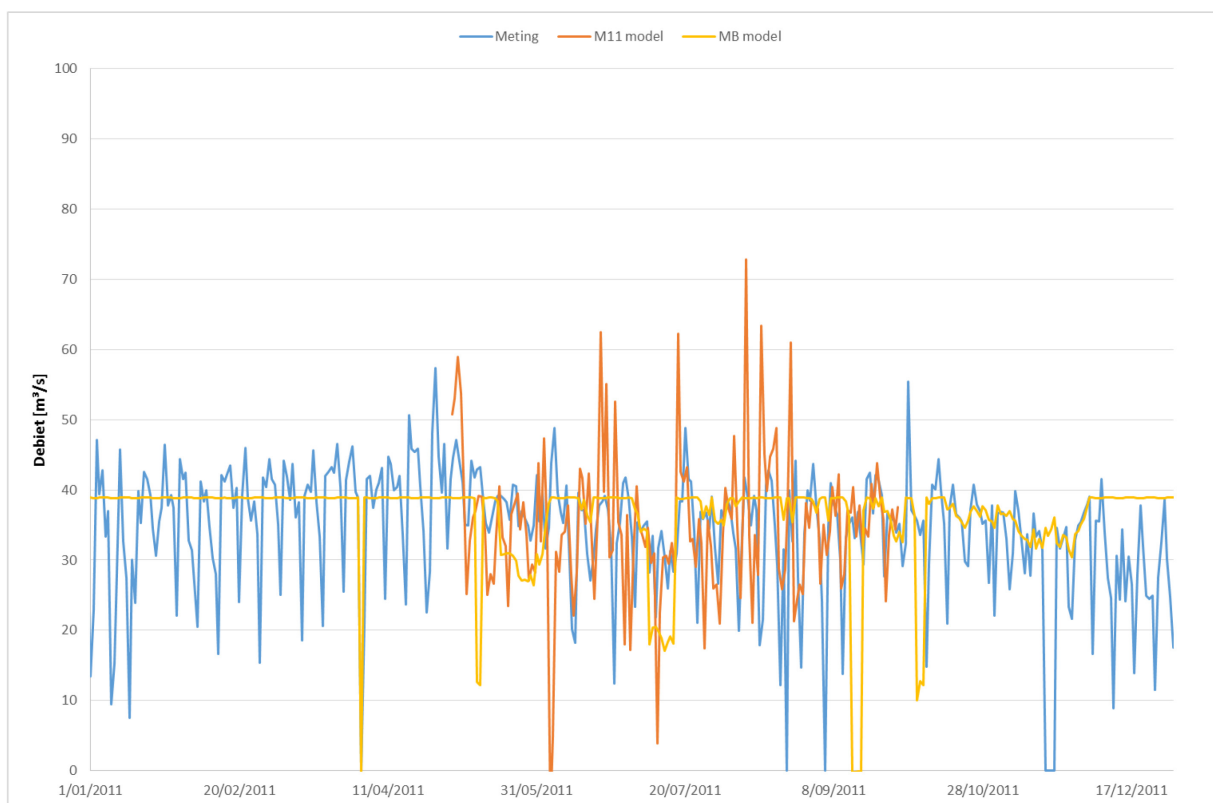
Maasaanvoer [m ³ /s]	Afvoer naar het Albertkanaal [m ³ /s]
0	0
30	27
60	39
∞	39

Uit Figuur 49 blijkt echter dat de relatie tussen de Maasaanvoer en de afvoer in het Albertkanaal verre van eenduidig is. Dit heeft ook als gevolg dat de benadering door lineaire regressie nooit voor alle afvoercondities voldoende nauwkeurig zal zijn. Op basis van de afgeleide relatie zal het gesimuleerde debiet dat naar het Albertkanaal wordt afgeleid gemiddeld altijd 39m³/s bedragen wanneer het debiet op de Maas hoger is dan 60m³/s, zoals ook getoond wordt in de modelresultaten waarbij deze “bifurcation node” het verdeelpunt modelleert (Figuur 50).

Figuur 49 – Relatie tussen de Maasaanvoer (Amay+Angleur) en de afvoer van het Albertkanaal (Haccourt) bij een Maasafvoer < 100 m³/s.



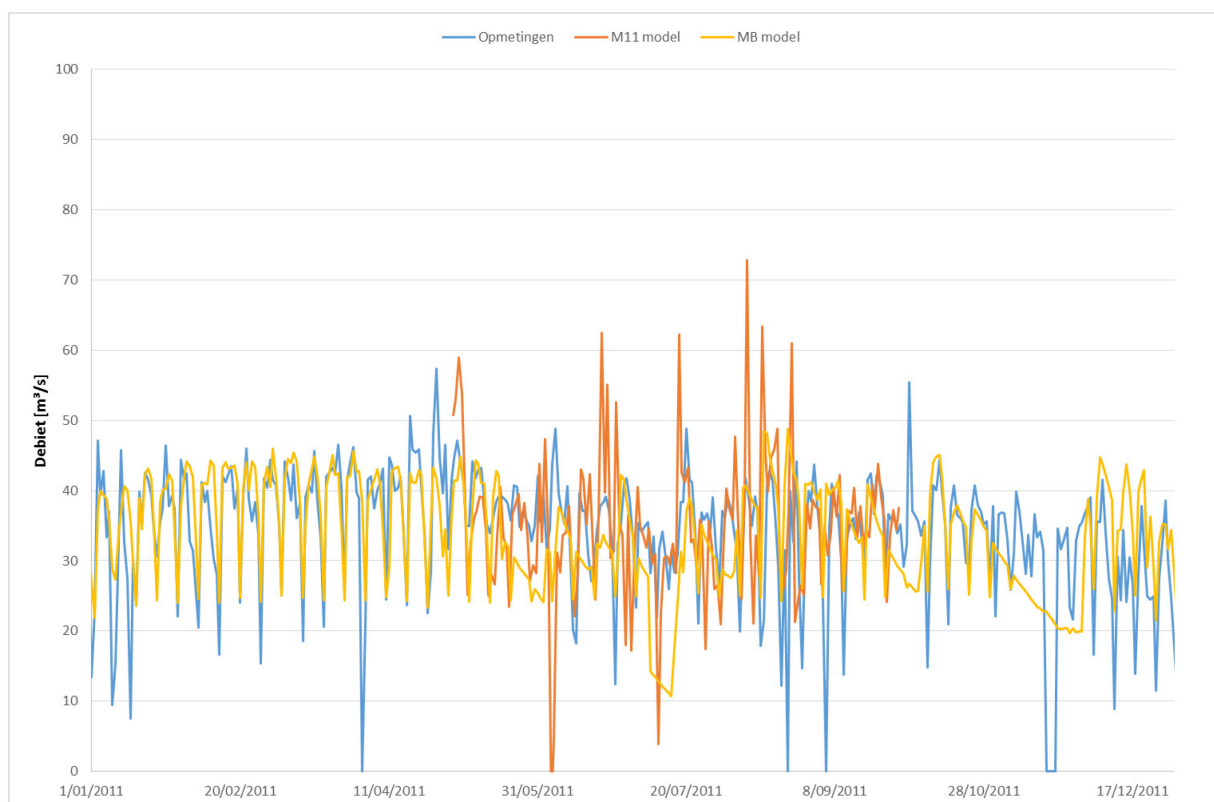
Figuur 50 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Haccourt op basis van de afleidingstabel in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.



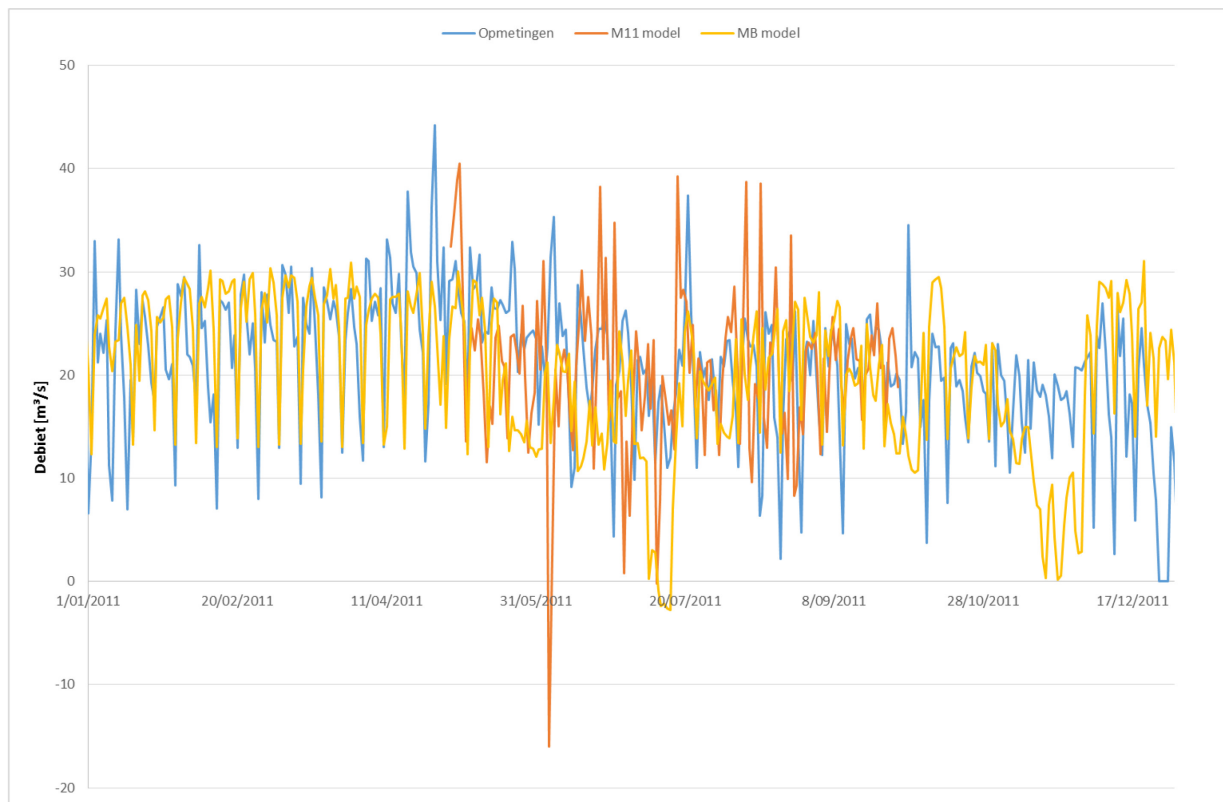
In realiteit is er echter een enorme variatie in het debiet dat naar het Albertkanaal wordt afgeleid. Deze variatie wordt voornamelijk bepaald door de activiteiten langs het Albertkanaal. Hoe meer water er wordt gebruikt door het versassen van schepen, het opnemen van water voor industriële activiteiten of het produceren van drinkwater, hoe meer water er als het ware wordt “aangezogen” door het Albertkanaal. Dit aanzuigeffect is duidelijk merkbaar aan het verloop van de metingen in Haccourt (Figuur 51) en Kanne (Figuur 52). Er is een duidelijk wekelijks patroon zichtbaar met een verminderde aanvoer op zondag, de dag dat er minder scheepvaart is op het kanaal en de sluis van Genk bijgevolg ook minder water verbruikt.

Daarom wordt er geopteerd om de toevoer naar het Albertkanaal in het waterbalansmodel niet te laten afhangen van de aanvoer van de Maas, maar door de watervraag van het Albertkanaal. Uit de nieuwe modelresultaten blijkt dat dit inderdaad een betere oplossing is (Figuur 51 en Figuur 52). Zowel de wekelijkse variatie als de orde van grootte zijn realistisch. Enkel de zondagse debieten zijn in realiteit vaker lager dan gesimuleerd. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat de watervraag van het Albertkanaal in deze simulatie met het “geknipte” model gemodelleerd wordt op basis van de met het Mike 11 gemodelleerde resultaten op het kanaal. Dit maakt ook de vergelijking met de Mike 11 resultaten mogelijk. Wanneer het werkelijk verbruik berekend zou worden, zullen ook de laagste afvoeren beter gesimuleerd worden.

Figuur 51 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Haccourt
op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.



Figuur 52 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Kanne
op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.



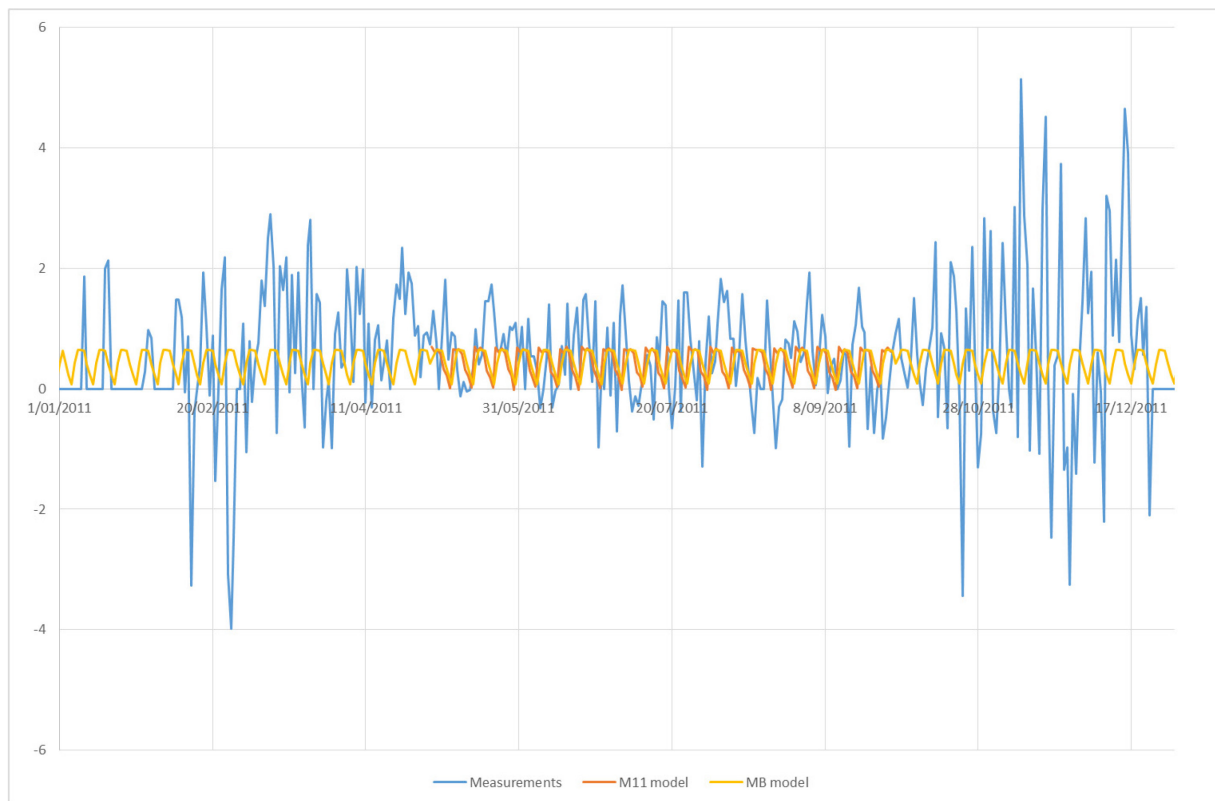
5.3.4 De zijkanalen van Monsin, Haccourt-Visé, Lanaye en Briegden-Neerharen

Wanneer het water naar het Albertkanaal wordt afgeleid, stroomt er een deel ervan terug naar de Maas via de kanalen van Monsin, Haccourt-Visé en Lanaye die elk uitgerust zijn met een sluis die de afvoer naar deze kanalen bepaalt. Verder afwaarts in Vlaanderen vormt het kanaal Briegden-Neerharen de verbinding tussen het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart via twee sluizen.

De kanalen worden in het model voorgesteld als riviertakken waarnaar geen water wordt afgeleid. Het water wordt immers via watergebruikers die de sluizen in het model voorstellen gemodelleerd. Het watergebruik door de sluizen is afgeleid van de hydraulische modellering, maar herrekend naar dagelijkse volumes.

De afvoer in het kanaal Briegden-Neerharen is in realiteit veel grilliger. De simulatieresultaten (zowel die van de hydraulische Mike11 als de Mike Basin modellen) zijn daarentegen veel regelmatig en minder extreem. Gezien de beperkte grootte van het debiet ten opzichte van de debieten in het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart is het minder relevant dat dit grillige debiet in dit kanaal exact wordt gemodelleerd.

Figuur 53 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Neerharen
op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten en de metingen.



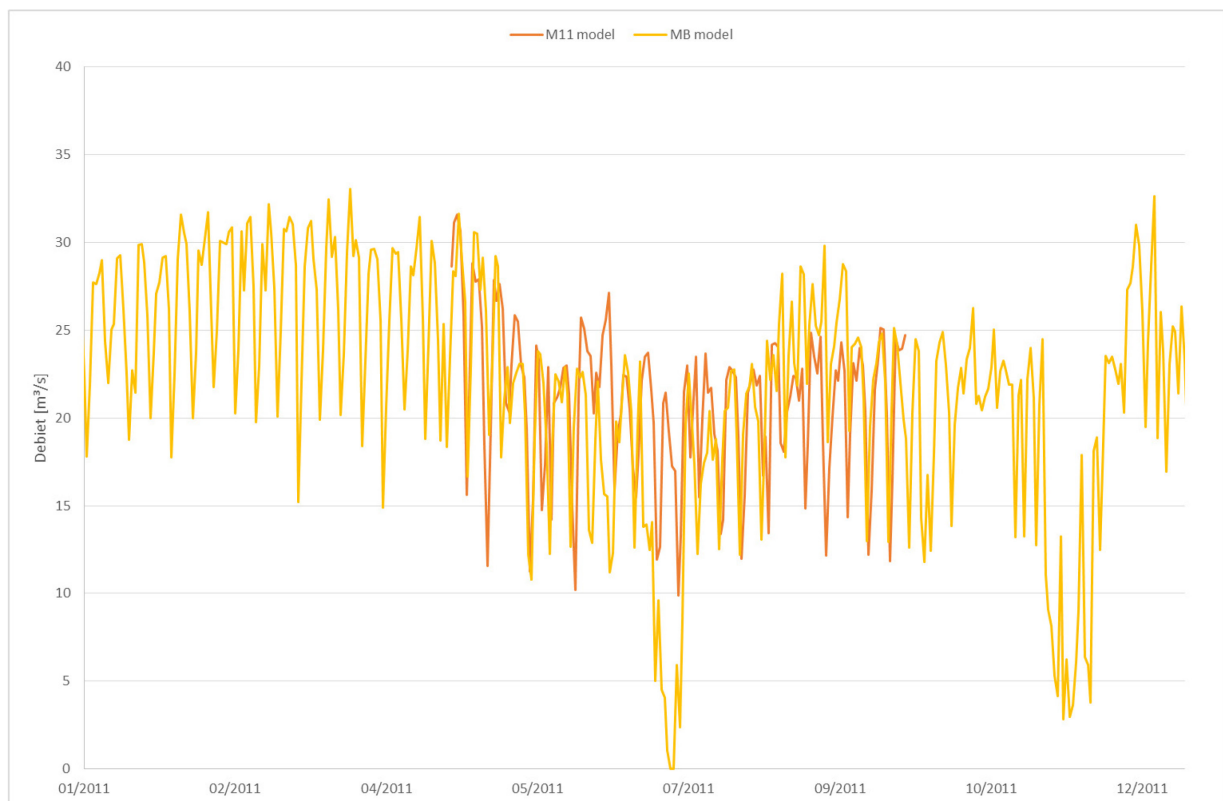
5.3.5 De sluis van Genk

De eerste sluis op het Albertkanaal is de sluis van Genk die voorgesteld wordt door twee watergebruikers: één voor het schutverlies en één voor de omloopriolen waarlangs water naar het volgende pand kan worden afgevoerd. Het schutverlies is berekend op basis van de aangeleverde schutgegevens. Het debiet door de omloopriolen is berekend op basis van de relatie tussen beide reeksen in het hydraulische Mike11 model. De afgeleide relatie is:

$$Q(t) = 3.995 - 0.395 * (Q_{schut}(t) - 17.329)$$
$$Q(t) = 0 \text{ when } Q_{schut}(t) \geq 28.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Verder blijft de watervraag voor de overige sectoren (industrie, energie, RWZI, scheepvaart) langs het eerste kanaalpand van het Albertkanaal behouden zoals in het oorspronkelijke allocatiemodel.

Figuur 54 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Genk
op basis van de watervraag in vergelijking met de hydraulische Mike11 resultaten.



5.3.6 De Maas tot Borgharen

Tussen Luik en Borgharen monden naast de eerder vermelde kanalen, ook de Berwine, de Voer en de Jeker uit in de Maas. In Maastricht zijn er drie afleidingen naar de Zuid-Willemsvaart en één naar het Julianakanaal.

Afwaarts de splitsing met het Albertkanaal blijft de afvoer in de Maas relatief hoog en zijn de afwijkingen tussen de modelresultaten en de metingen relatief beperkt. In Visé zijn er in de zomer van 2011 geen metingen, maar de Mike Basin modelresultaten stemmen goed overeen met de resultaten van de hydraulische modellering (Figuur 55). Voor Sint-Pieter (Figuur 57) en Borgharen (Figuur 59) geldt hetzelfde.

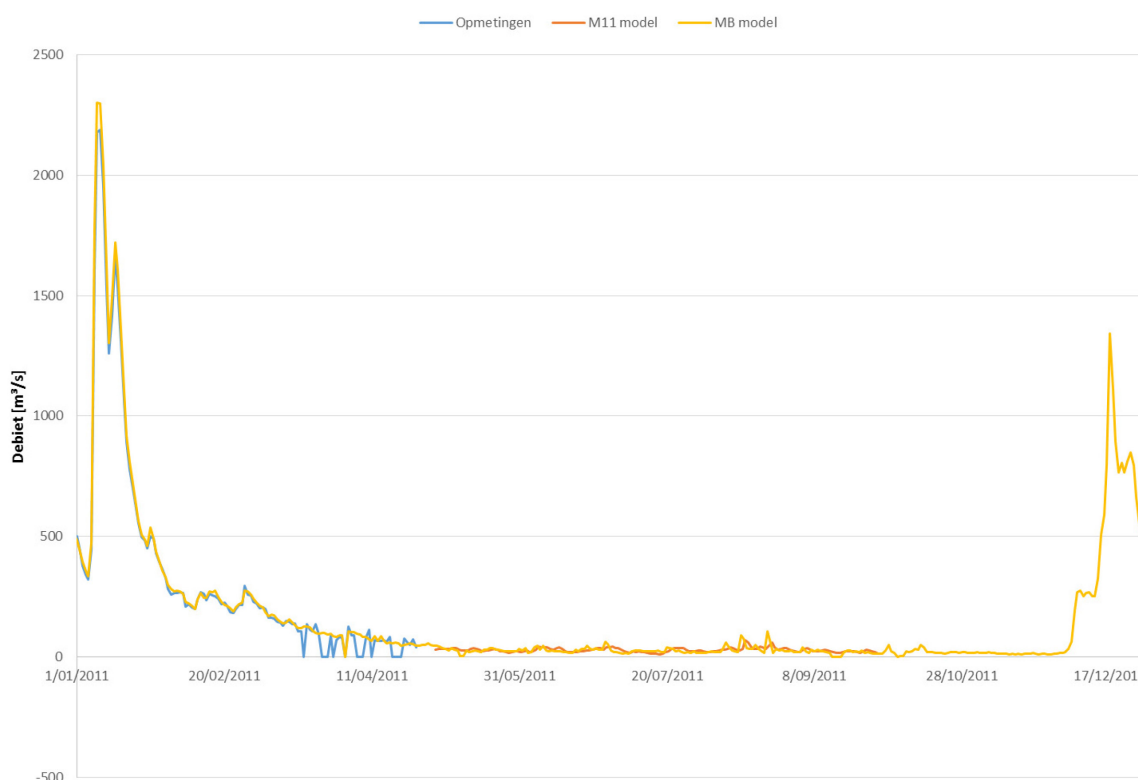
De modelresultaten ter hoogte van Bunde zijn dezelfde als de meetreeks (Figuur 61) gezien voor dit testmodel de debietmeetreeks van Bunde is opgelegd als afwaartse randvoorwaarde. Bovendien zijn de scheepvaartgegevens ter hoogte van de sluis van Limmel niet voorhanden.

Er kan langs drie kanalen water naar de Zuid-Willemsvaart afgeleid worden. Langs “het bassin”, langs de sluis van Bosscherveld en langs het voedingskanaal. De sluizen van het bassin worden als watergebruikers in het model voorgesteld en krijgen dezelfde waarden als in het hydraulisch model. De voeding langs de sluis en het voedingskanaal zijn samen genomen en berekend aan de hand van metingen en input van de hydrologische modellering van de Jeker:

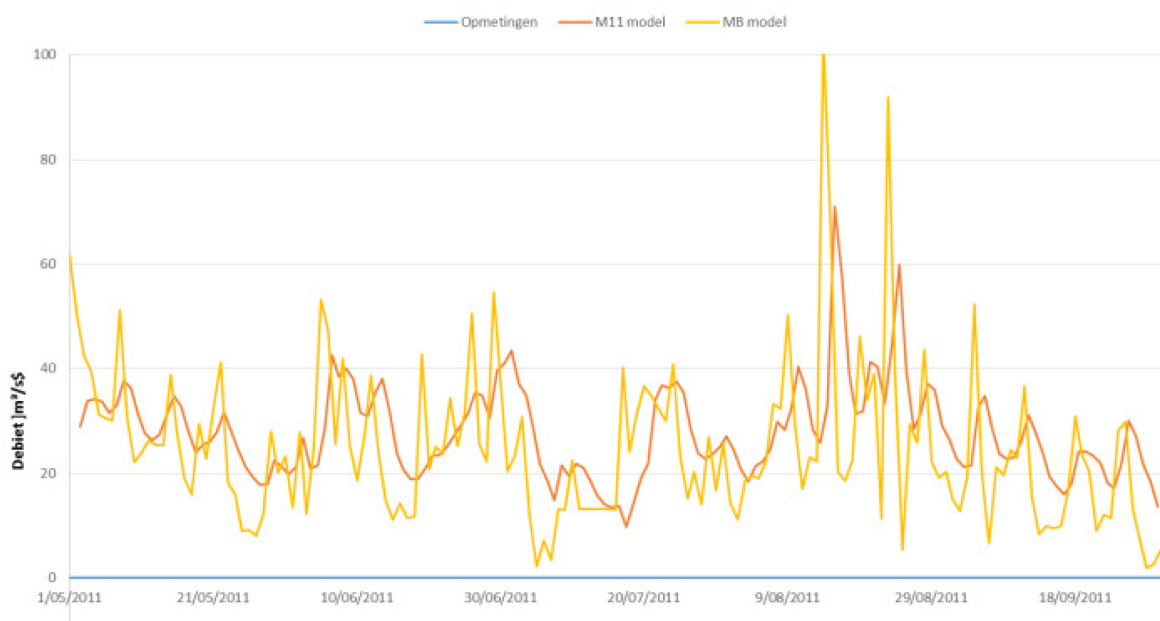
$$Q_{MAA-p3_{bosscherveld}-voedingsK} = Q_{St-Pieters} + Q_{Jeker} - Q_{Sluis Limmel} - Q_{Bunde} - Q_{Borgharen}$$

Voor 2011 is het resultaat van deze benadering redelijk. Dit is echter niet altijd zo (Figuur 62). Wanneer ook hier de effectieve watervraag van het kanaal wordt berekend en dit volume afgeleid wordt van de Maas, zoals dat ook gebeurt bij het Albertkanaal, zullen de resultaten verbeteren. Terzijde dient er ook vermeld te worden dat er geen zekerheid bestaat over de kwaliteit van de metingen in Smeermaas.

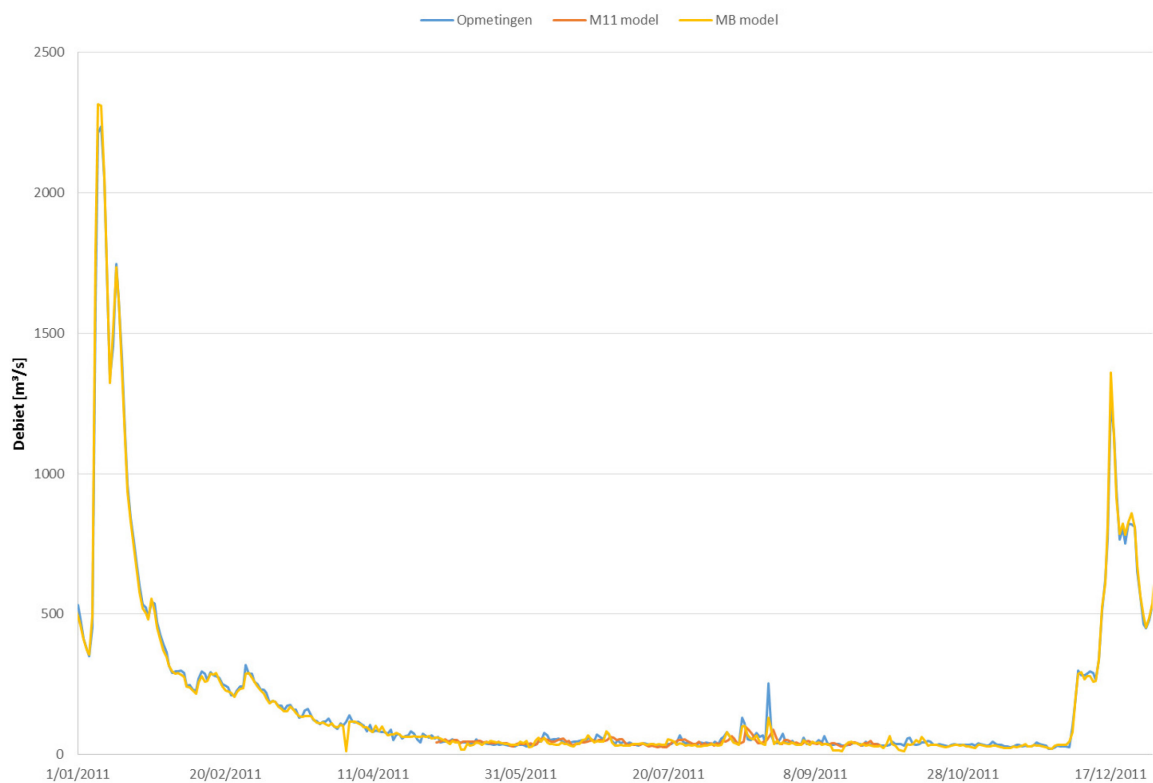
Figuur 55 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Visé
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011



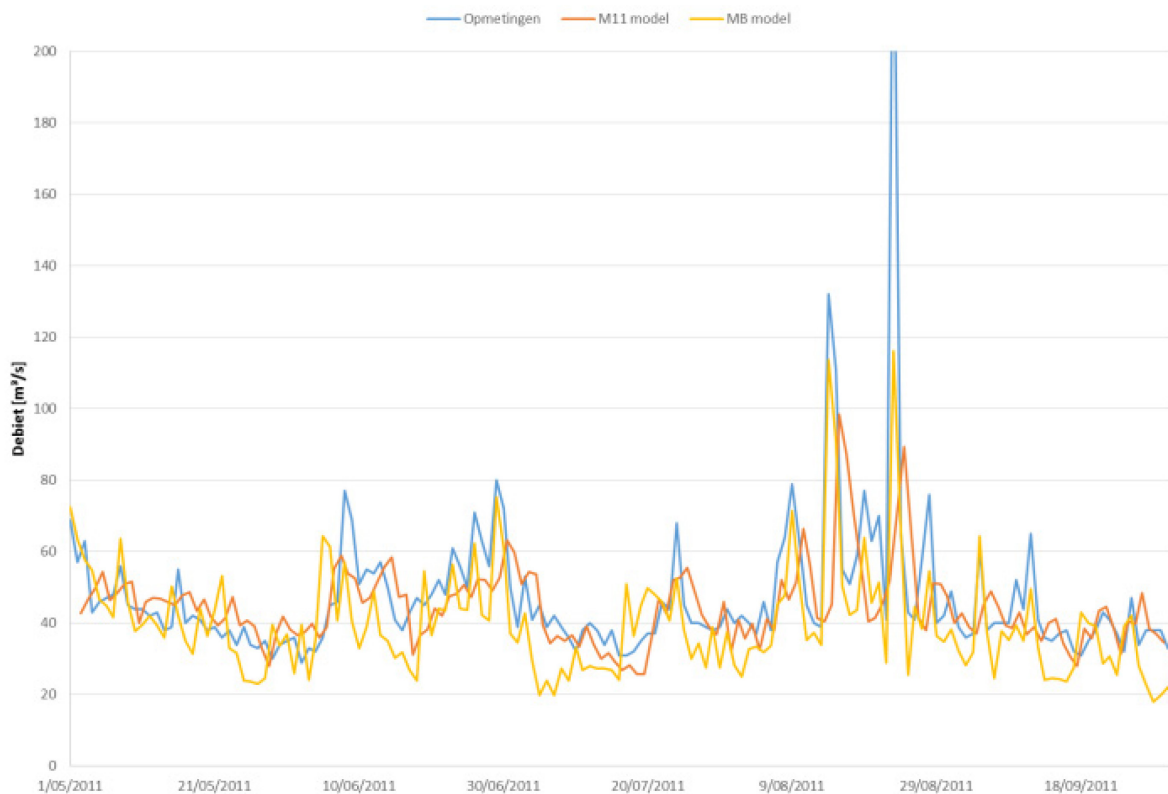
Figuur 56 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Visé
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011



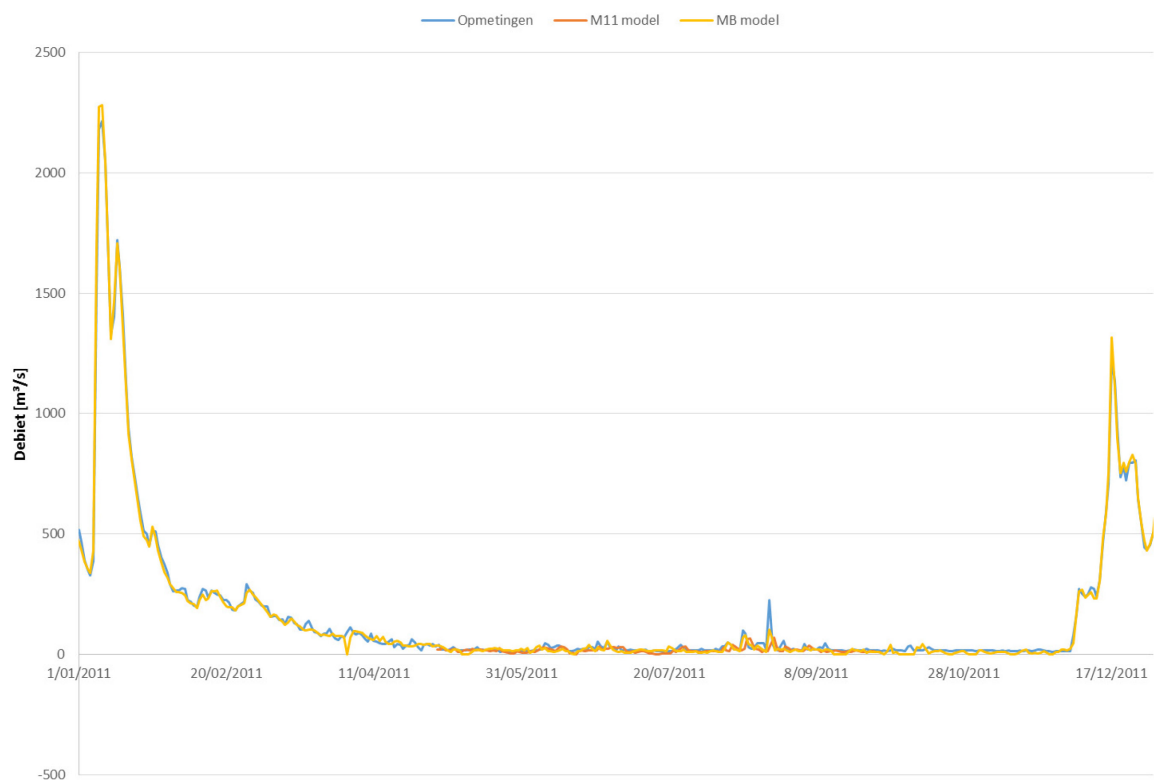
Figuur 57 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van St.-Pieter
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011



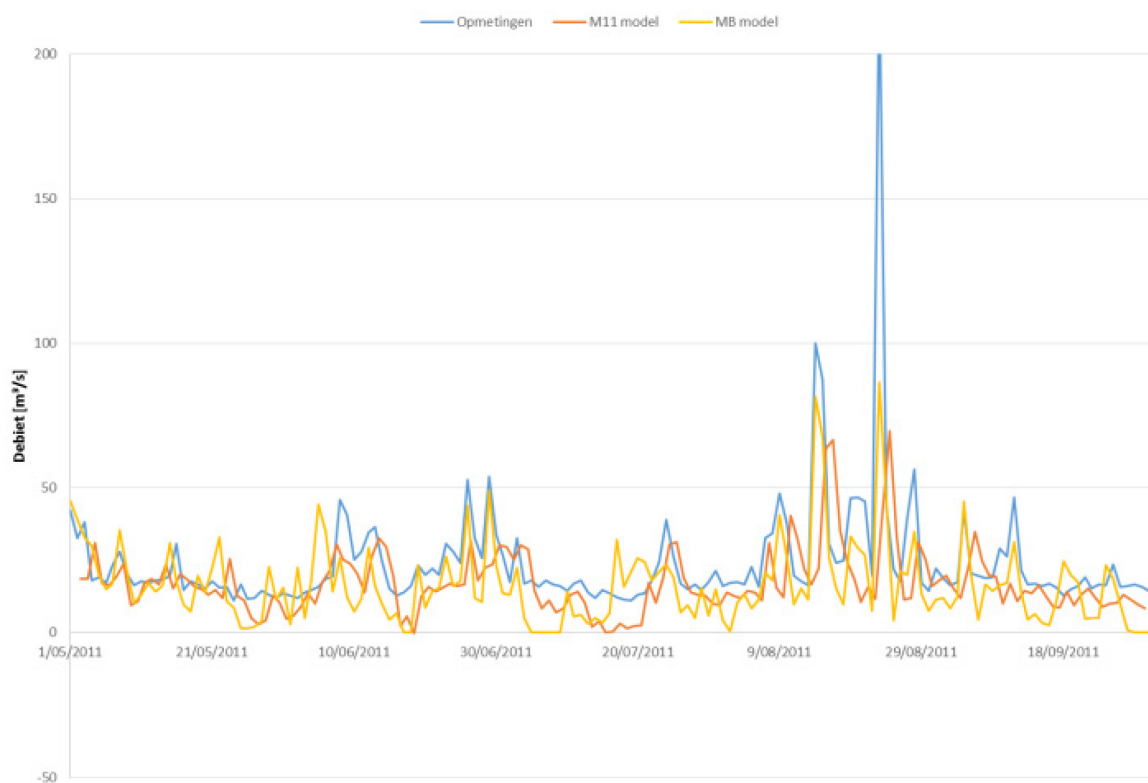
Figuur 58 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van St.-Pieter
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011



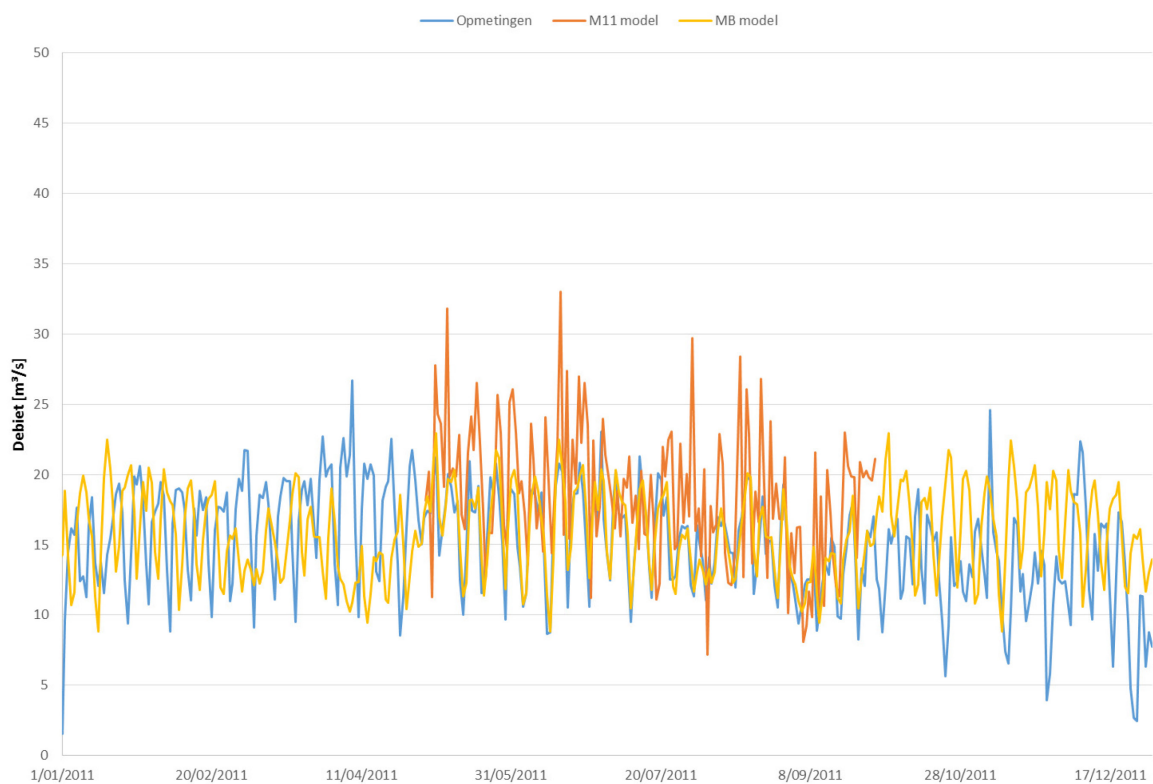
Figuur 59 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Borgharen
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011



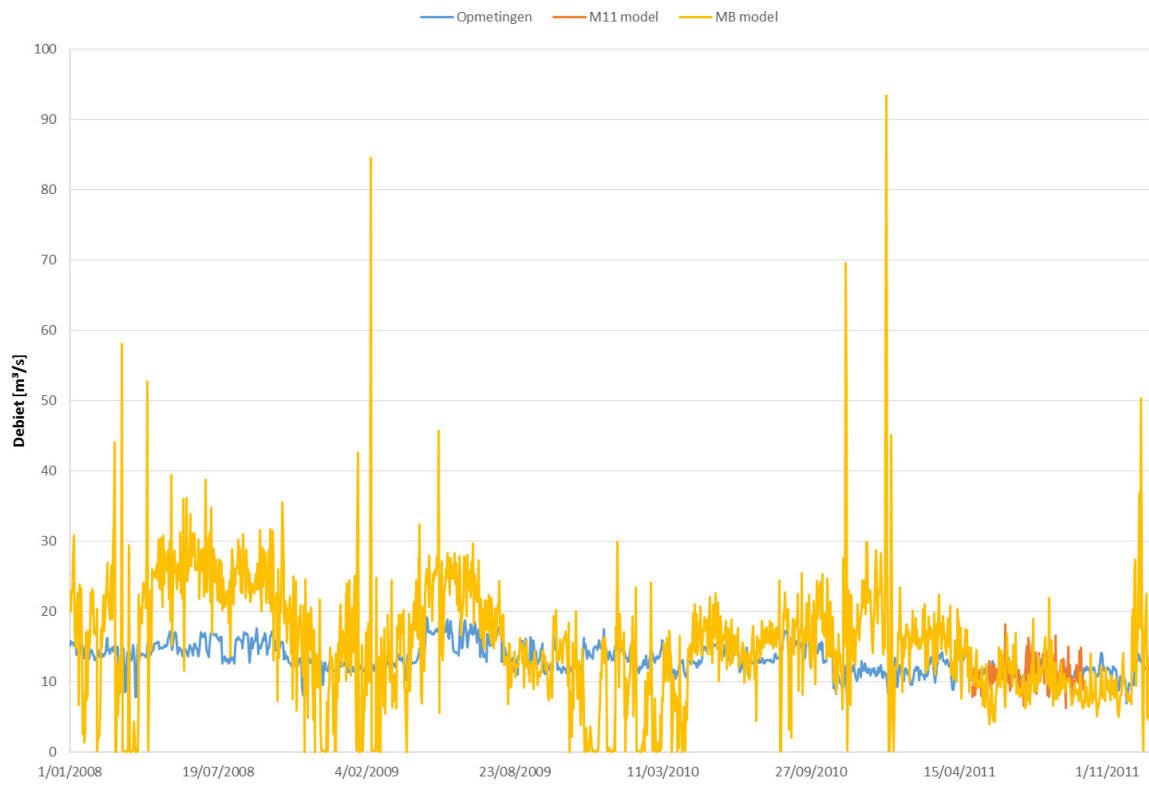
Figuur 60 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Borgharen
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor de zomer van 2011



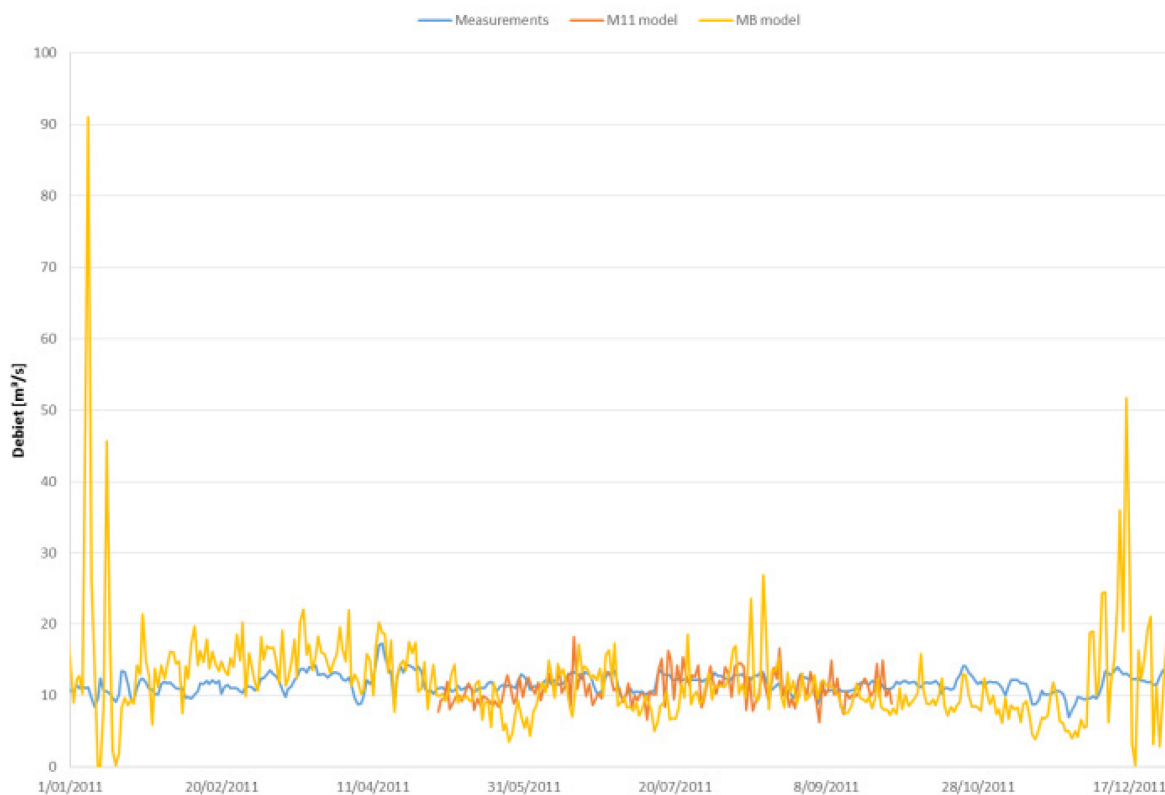
Figuur 61 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Bunde
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011



Figuur 62 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Smeermaas
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2008-2011



Figuur 63 – Mike Basin modelresultaten berekend ter hoogte van Smeermaas
op basis van de watervraag, Mike11 resultaten en gemeten debiet voor 2011



5.4 Conclusie

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 door de scheepvaart en andere industriële actoren. Door de watervraag van het kanaal te berekenen en dit volume van de Maas af te leiden is het modelresultaat realistischer. Op deze manier wordt een waterbalansmodelletje verkregen, waarvan de resultaten in dezelfde lijn liggen als deze 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.

5.5 Validatie waterbalansmodel

De conclusie van het kleinere testmodel uit de vorige paragrafen dat de voeding van het Albertkanaal in Luik bepaald door de watervraag van het kanaal, is vervolgens toegepast in het grote waterbalansmodel. Het watergebruik dient nu voor het ganse kanalenstelsel berekend te worden. Per pand is de balans gemaakt tussen de onttrekkingen en lozingen door de watergebruikers langs dat pand. Wanneer de onttrekkingen groter zijn dan de lozingen, zal er water van het opwaartse pand gevraagd worden. Wanneer door het grote verbruik de waterstand van het pand met meer dan 10 cm daalt, zal er extra water gevraagd worden bij het opwaartse pand zodat het pand weer op peil is.

Zo gebeurt dit voor elk pand in het kanalenstelsel van afwaarts naar opwaarts. Uiteindelijk eindigt dit in twee watervragen aan de Maas nl. in Luik voor het Albertkanaal en in Maastricht voor de Zuid-Willemsvaart.

De validatie (vergelijking met de metingen) is uitgevoerd voor het jaar 2013 omdat van dit jaar, bij uitvoering van deze validatie, de meest recente watergebruiksgegevens beschikbaar zijn. Omdat de variatie in het watergebruik doorheen de jaren niet al te groot is, is het model ook geëvalueerd aan de hand van de metingen van de voorbije 15 jaren.

Tijdens de validatie zijn er twee scenario's gesimuleerd en met de metingen vergeleken. In het ene scenario is er geen rekening gehouden met de harde randvoorwaarde van het Maasverdrag. De aanvoer naar het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart is dus enkel bepaald door de waterbehoefte van het kanalenstelsel. In het tweede scenario is er wel rekening gehouden met het Maasverdrag. Met andere woorden: bij een lage aanvoer op de Maas in Luik zal de aanvoer naar het kanalenstelsel beperkt worden, ondanks de waterbehoefte van de kanalen die hierdoor misschien groter zou kunnen zijn dan de aanvoer (§5.4.1).

5.6 Maasverdrag

De verdeling van het Maaswater is bij lage afvoeren vastgelegd in het Maasverdrag. Vanaf een afvoer lager dan 100 m³/s in Luik gelden er drie fases met een 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 5 toont de regels die in het model gebruikt worden om de waterbeschikbaarheid voor elk kanaal te berekenen (Baetens et al., 2006). Het toegestane Vlaamse gebruik moet worden verdeeld over het Albertkanaal in Luik en het kanaal Bocholt-Herentals in Bocholt. Omdat het waterverbruik langs de eerste drie panden van het kanaal Bocholt-Herentals vrij beperkt is, is er aangenomen dat het toegestane volume voor het Albertkanaal bepaald wordt door het “Toegestaan Vlaams gebruik” in Tabel 5 te verminderen met de watervraag voor de eerste drie panden van het kanaal Bocholt-Herentals.

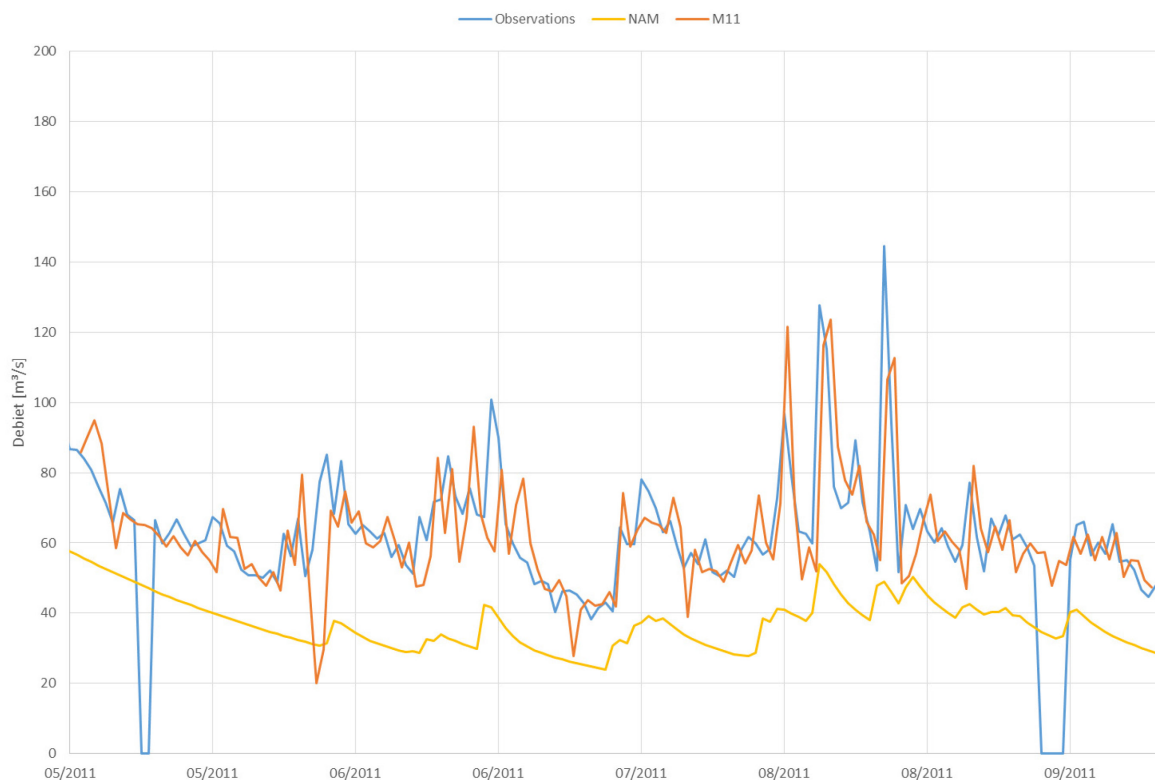
Tabel 5 – Waterverdelingsregels voor het Nederlandse en Vlaamse Watergebruik op basis van het Maasverdrag.

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	$35 - ((130 - Q_{\text{Monsin}})/3)$
20 – 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	$Q_{\text{Monsin}}/3$

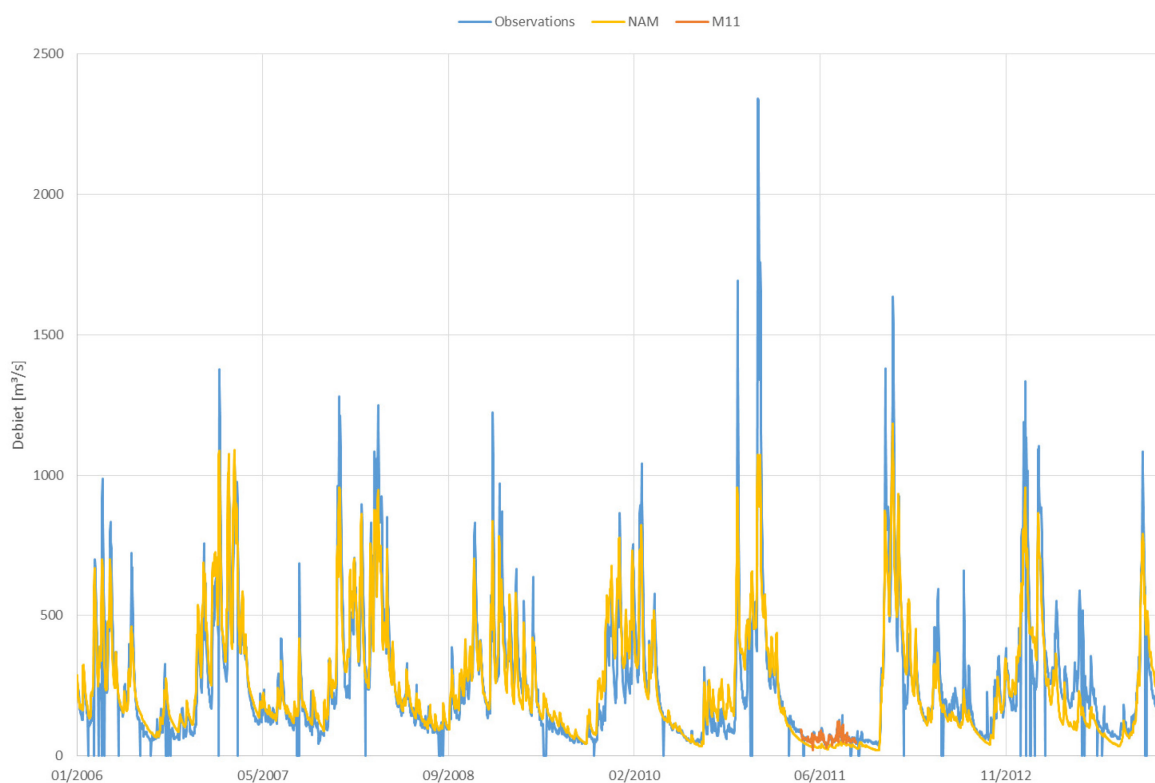
5.6.1 Maas: Amay/Angleur

In het waterbalansmodel is, in tegenstelling tot het testmodel, de aanvoer van de Maas niet de som van de metingen in Amay (Maas) en Angleur (Ourthe) maar is deze hydrologisch berekend met NAM (Maroy et al., 2016). Figuur 64 toont de vergelijking tussen de gemeten Maasaanvoer en de berekende (zowel in Mike11-gemeeten als in NAM). Deze figuur toont enkel de zomer van 2011, omdat het hydraulische Mike11 model enkel deze periode heeft gemodelleerd. Het valt op dat het debiet sterk onderschat wordt. Dit geldt in mindere mate ook in de andere jaren (Figuur 65). In het algemeen is het debiet, bij lage Maasafvoer, onderschat door de hydrologische modellering. Dit moet in het achterhoofd gehouden worden bij de evaluatie van de resultaten van het waterbalansmodel.

Figuur 64 – Vergelijking tussen de gemeten (blauw) en gesimuleerde Maasaanvoer (Amay+Angleur) met Mike11 (oranje) en met NAM (geel) voor 2011.



Figuur 65 – Vergelijking van de gemeten en gesimuleerde Maasaanvoer (Amay+Angleur) met Mike11 (oranje) en met NAM (geel) voor 2006-2013.



5.6.2 Haccourt

De meetpost in Haccourt ligt opwaarts in het Albertkanaal. Het debiet dat hier gemeten wordt is de aanvoer van het Albertkanaal.

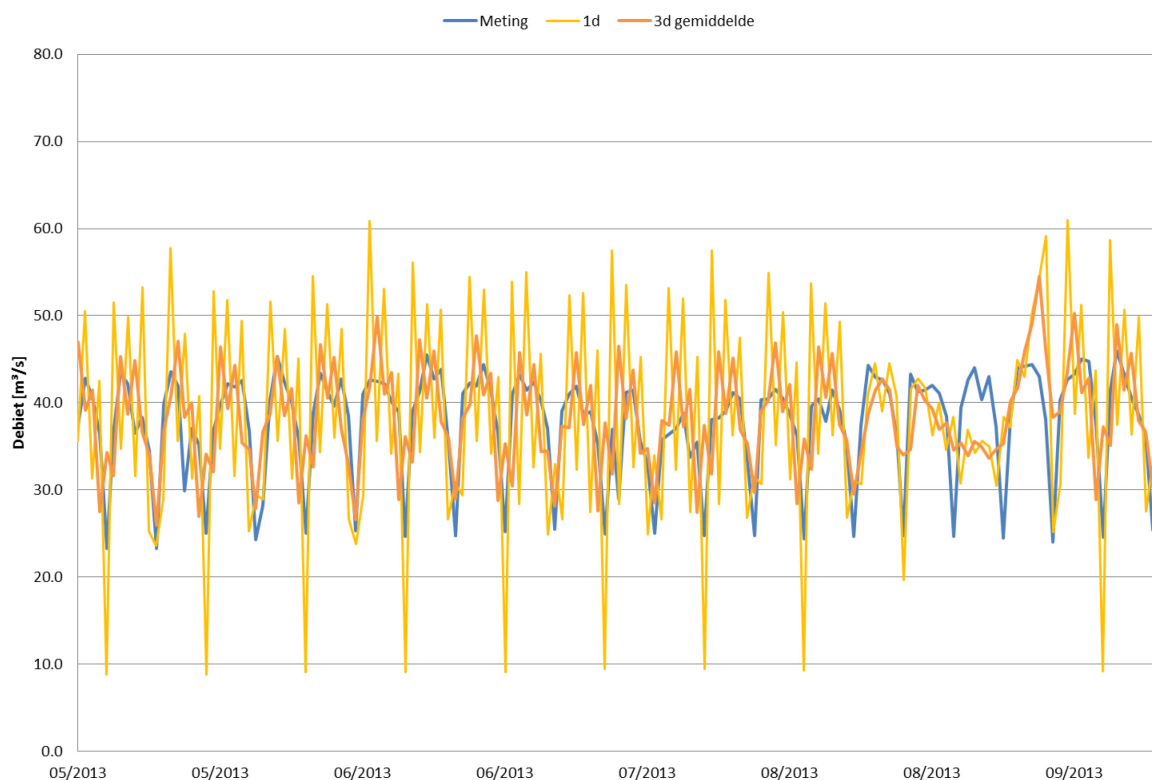
Uit de modelresultaten blijkt dat het gesimuleerde debiet hier, in vergelijking met de metingen, een veel grilliger verloop heeft. Het vertoont een gelijkaardig wekelijks patroon met een lagere afvoer op zaterdag en vnl. zondag en een hogere afvoer tijdens de weekdays. Het verschil tussen opeenvolgende dagen is echter wel extremer in de modelresultaten.

Deze schommelingen zijn te verklaren door de tijdstap waarmee het model rekt, die is 1 dag. Gezien de grote bedrijvigheid in en langs het kanaal is er ook een gelijkaardig watergebruik. Voornamelijk in het pand tussen Hasselt en Kwaadmechelen waarin ook de aftakking naar het kanaal Dessel-Kwaadmechelen en het daar aan gekoppelde kanaal Dessel-Schoten is. Door de grootte van de onttrekkingen ten opzichte van de lozingen daalt het peil er in 1 dag meer dan 10 cm waardoor er bijkomend water aangevoerd moet worden via de omloopriolen van de opwaartse sluizen. Uiteindelijk komt deze bijkomende watervraag bij de Maas terecht. Omdat het model met een dagelijkse tijdstap werkt, wordt dat aanzienlijke volume in 1 dag geleverd zodat het pand terug op peil is. Dit verklaart de hoge gemodelleerde afvoerpieken in Haccourt. De dag erop is er geen extra waterbehoefte want er is voldoende water om aan de behoefte te voldoen zonder dat het peil meer dan 10cm zakt. De dag daarna is het peil tot 10cm onder het streefpeil gezakt waardoor er weer extra water aangevoerd worden.

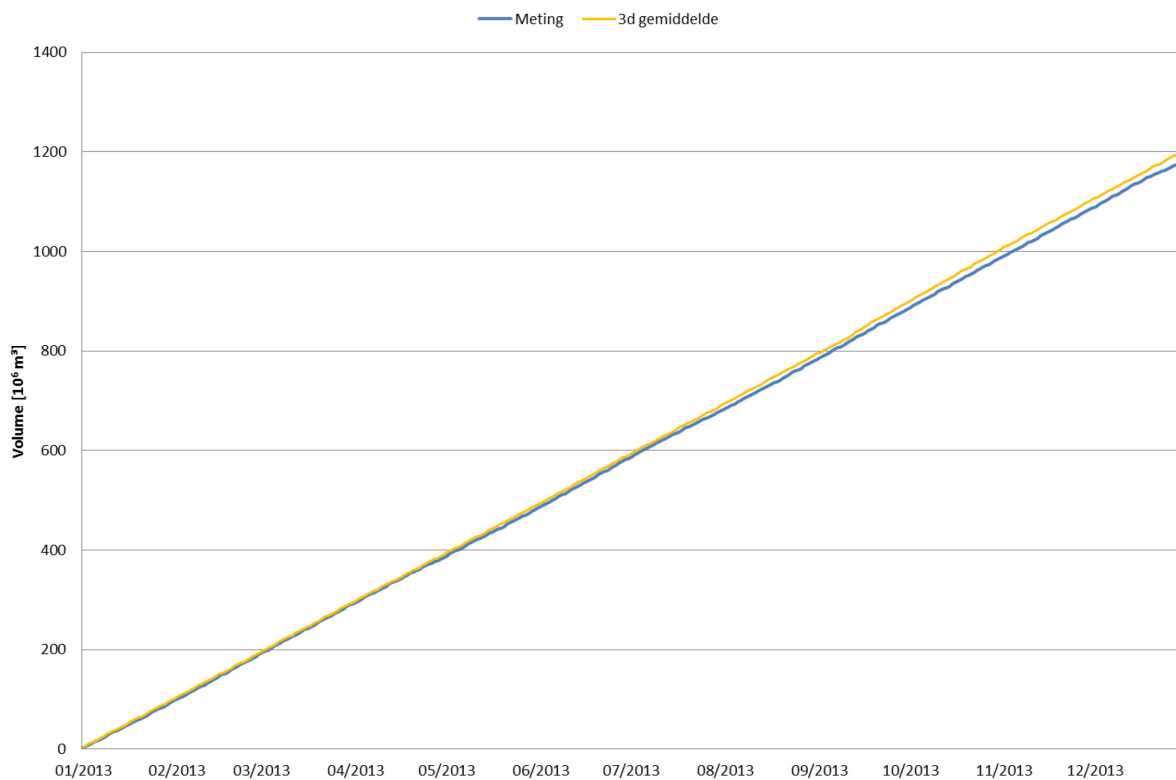
Door de tijdstap te verkleinen zou dit verholpen kunnen worden. Maar deze oplossing heeft echter een aantal praktische bezwaren. Er moet meer gerekend worden voor eenzelfde simulatieperiode. Om met een dagelijkse tijdstap 50 jaar te simuleren is het model nu al ruim 8u aan het rekenen. Bij een verkleining van de tijdstap loopt dat al snel op tot bijna een dag voor één simulatie. Bovendien wordt ook het output bestand ettelijke malen groter. Dit heeft weer gevolgen voor de verwerking van de modelresultaten. Daarom is ervoor gekozen om een 3-daags gemiddelde te nemen van de dagelijks modelresultaten zodat de extremen uitgemiddeld worden en de resultaten beter overeenkomen met de metingen (Figuur 66). Deze optie is toegepast op de modelresultaten van het ganse model, niet enkel voor Haccourt. Al de resultaten in de volgende paragrafen zijn dus gemiddelden.

Globaal gezien komt het gemiddelde goed overeen met de metingen. Enkel in augustus en september 2013 is er een verschil: onderschatting in augustus en overschatting in september. De onderschatting is te wijten aan de beperkte afvoer in de Maas. De waterbehoefte van het Albertkanaal is groter dan de berekende afvoer van de Maas waardoor er dus minder water onttrokken kan worden. In werkelijkheid is de afvoer van de Maas hoger, maar ze wordt onderschat door de hydrologische modellering die gebruikt is in het waterbalansmodel (§5.4.2, Figuur 65). Omdat de vraag naar water in het Albertkanaal groter is dan het aanbod van de Maas dalen de peilen in het Albertkanaal. Wanneer er weer voldoende aanbod is zal er meer water uit de Maas onttrokken worden om het kanaal weer op peil te krijgen. Dit verklaart het verhoogde debiet in september.

Figuur 66 – Vergelijking van de modelresultaten te Haccourt met de metingen:
verschil tussen de dagelijkse resultaten en het 3 daagse lopend gemiddelde.



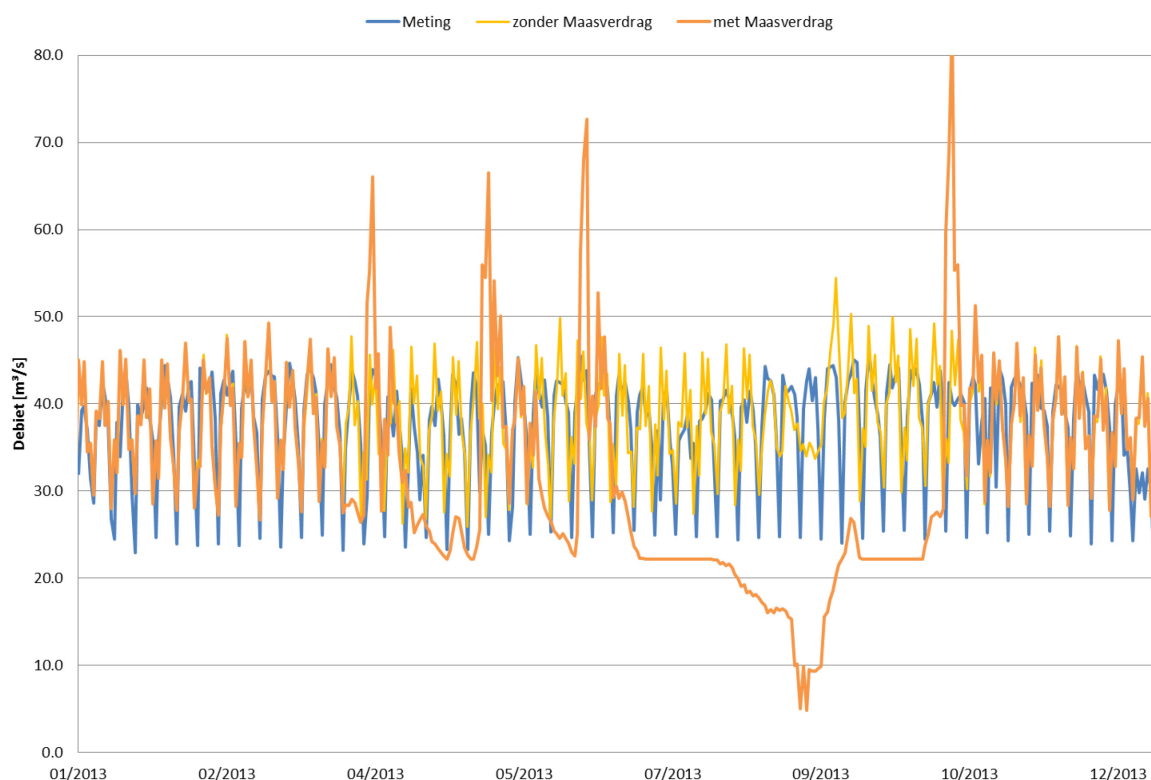
Figuur 67 – Vergelijking van het cumulatieve volume tussen de metingen en de berekende afvoer in Haccourt (2013)



Tabel 5 toont de verdelingsregels van het Maasverdrag zoals ze in het waterbalansmodel zijn toegepast. Deze regels zijn afhankelijk van de Maasafvoer in Luik. Als deze bepaalde drempels onderschrijdt heeft dat onmiddellijke gevolgen voor de aanvoer naar het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart. Er is geen overgang voorzien tussen de verschillende fases waardoor het effect onmiddellijk zichtbaar is in het debiet van de kanalen (Figuur 68). Dit is vrij kunstmatig. In realiteit gebeurt dit geleidelijk aan omdat er langer op voorhand geanticipeerd kan worden en het waterbeheer zich aanpast aan de verwachte afname in Maasafvoer. Figuur 68 toont duidelijk het effect van de invoering van de regels van het Maasverdrag in het waterbalansmodel.

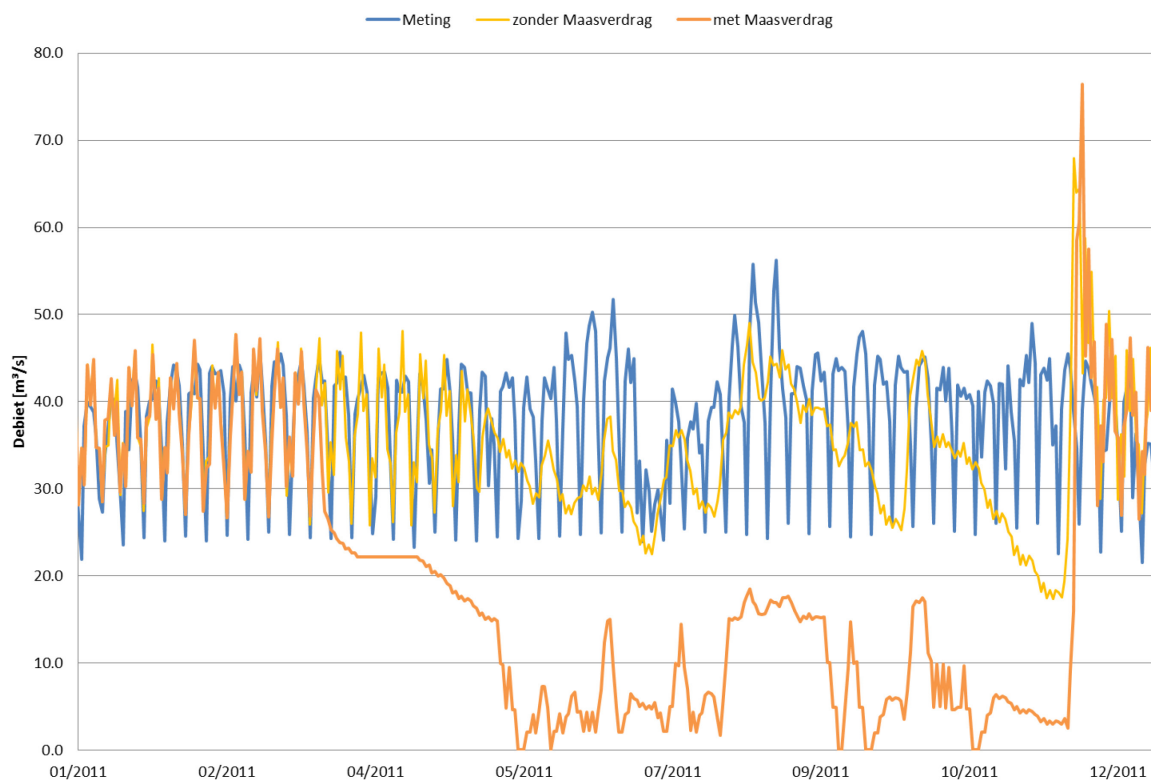
Volgens de metingen zou de Maasafvoer van eind juli tot begin oktober 2013 in de alarmfase verkeren. Dit is niet echt zichtbaar in de metingen van Haccourt. Er is wel een verlaagde afvoer van begin juli tot eind augustus wat eerder veroorzaakt wordt door de verminderde scheepvaarttrafiek (en dus kleinere schutvolumes) in de zomerperiode. Het Maasverdrag bepaalt enkel de verdeling tussen Vlaanderen en Nederland. Het debiet in Haccourt omvat ook het volume dat nodig is voor het Waalse watergebruik. Dit is gemiddeld 12,5 m³/s. Hierdoor is waarschijnlijk dat het effect van de toepassing van het Maasverdrag minder zichtbaar in de metingen van Haccourt. Dit zou duidelijker moeten zijn wanneer de metingen in Kanne (net afwaarts de taalgrens) bekeken worden (§5.4.4).

Figuur 68 – Vergelijking tussen de simulaties met en zonder het Maasverdrag (2013).

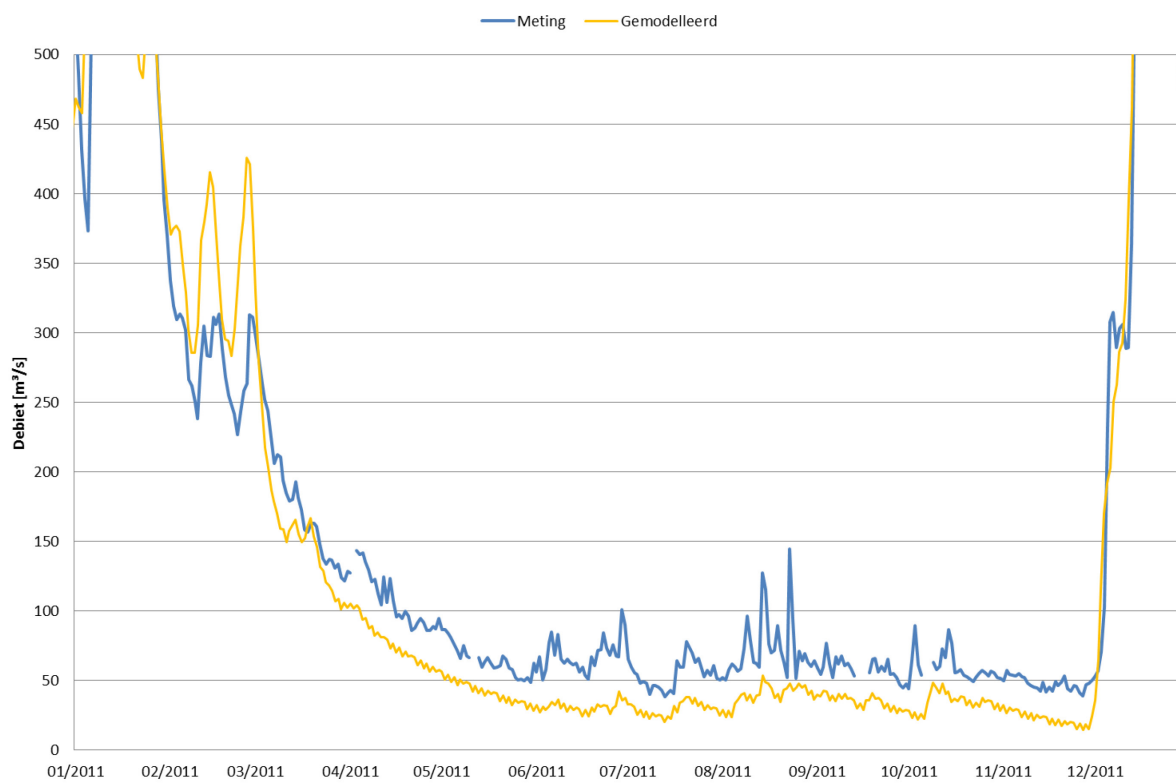


2011 kende een veel langere en strengere droge periode dan 2013. De afvoer van de Maas was toen van half april tot eind november bijna continu in aanloop- (60-100 m³/s) of in alarmfase (30-60 m³/s). Dit is ook duidelijk zichtbaar in de metingen waar in de loop van juli een ernstige vermindering was van het debiet in het Albertkanaal (Figuur 69). Gezien de lengte van de aanloop- en crisisfases is deze periode met verminderd debiet wel vrij beperkt. De modelresultaten vertonen wel gedurende de ganse periode een verlaagd debiet omdat er niet meer water beschikbaar is in de Maas (Figuur 70).

Figuur 69 – Vergelijking tussen de simulaties met en zonder het Maasverdrag (2011).



Figuur 70 – Gemeten en gemodelleerd debiet van de Maas in Luik (2011).

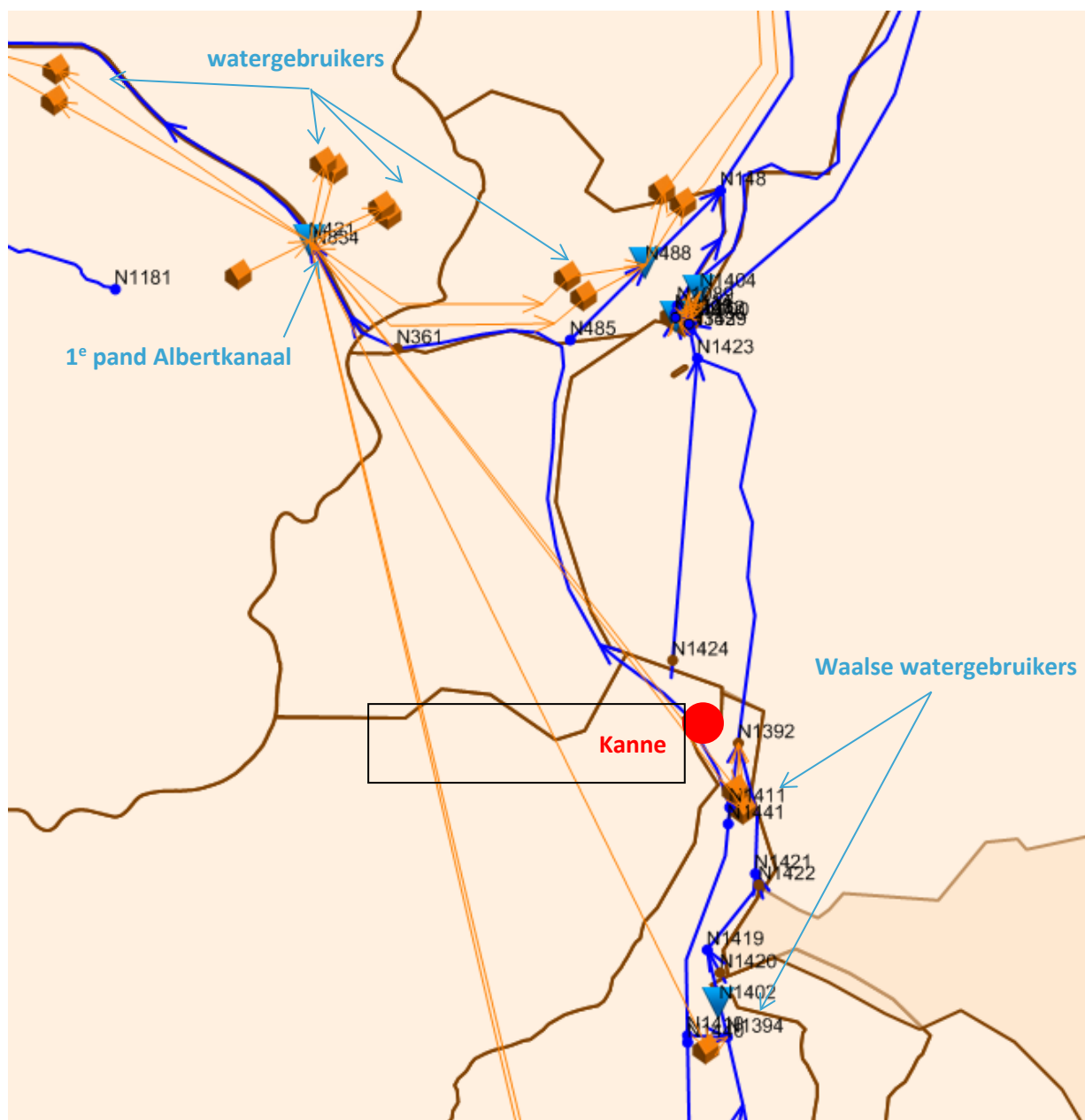


5.6.3 Kanne

Kanne is de eerste debietpost langs het Albertkanaal in Vlaanderen. De post ligt afwaarts het kanaal van Ternaaien (Lanaye) dat het laatste kanaal is waarlangs er water van het Albertkanaal terug naar de Maas vloeit. Het debiet dat hier wordt gemeten is dus het debiet dat het Vlaamse deel van het Albertkanaal binnenstroomt.

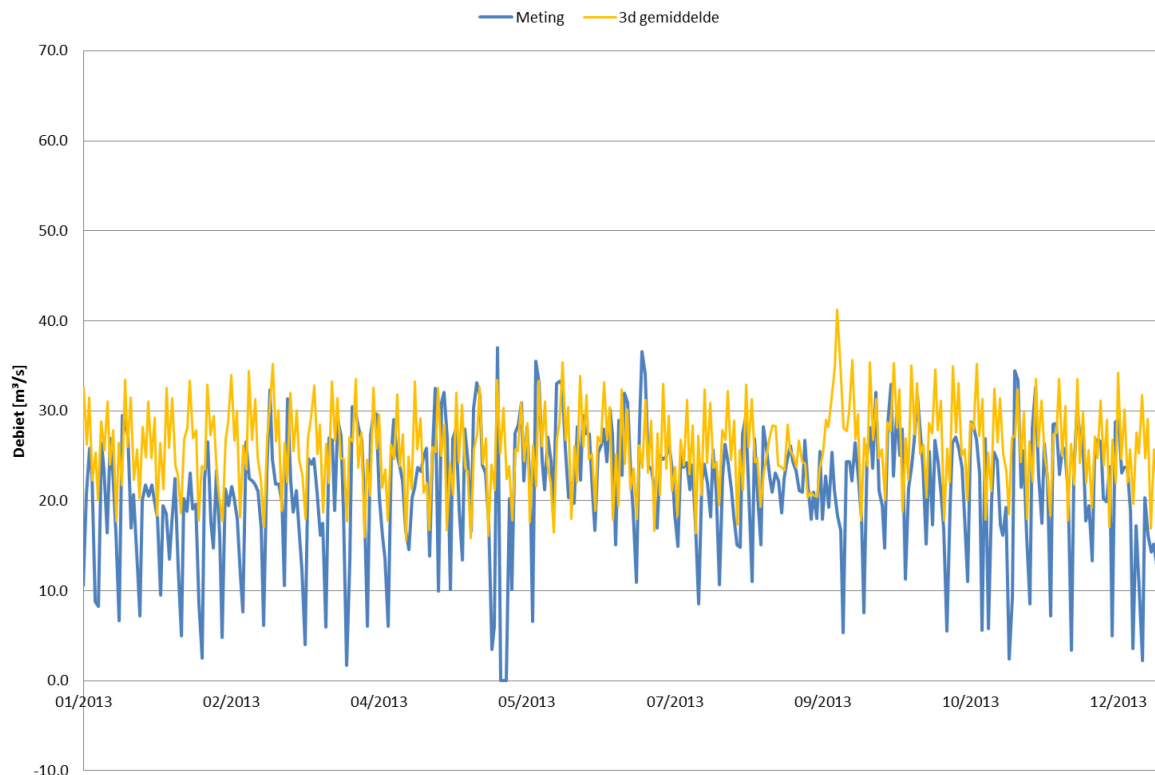
Even technisch: in het model wordt elk kanaal of rivierpand door een reservoir voorgesteld waaruit de watergebruikers die zich langs dat pand bevinden water onttrekken of (weer) in lozen. Ook het eerste pand van het Albertkanaal wordt zo voorgesteld en de gebruikers erlangs, dus ook de Waalse gebruikers, onttrekken hier water uit of lozen er water in (Figuur 71). Om het gemeten debiet in Kanne te vergelijken met de modelresultaten, moet het debiet voor de Waalse gebruikers (sluizen van Monsin, Visé & Ternaaien, lekverliezen) van het debiet dat naar het reservoir stroomt afgetrokken worden.

Figuur 71 – Modelopbouw van het 1^e pand van het Albertkanaal



De modelresultaten ter hoogte van Kanne tonen dat er systematisch bijna 5 m³/s te veel afgevoerd wordt, ondanks dat de modelresultaten in Haccourt wel een goede overeenkomst met de metingen vertonen (Figuur 72). Dat wil zeggen dat er tussen Haccourt en Kanne te weinig water terug naar de Maas vloeit. Dit zou toegeschreven kunnen worden aan de aannames die genomen zijn rond watergebruik langs dit tracé. B.v. het debiet dat gebruikt wordt door de scheepvaart aan de sluis van Monsin is gebaseerd op het debiet van 2012 omdat enkel die gegevens voorhanden zijn. Het verschil in watergebruik door de jaren heen is echter kleiner dan de 5 m³/s die gemodelleerd is.

Figuur 72 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Kanne (2013).



Ook Pereira et al. (2016) stelde dit vast. Om de simulatie te kunnen laten overeenstemmen met de waarnemingen in de zomer van 2011 is er een correctie gebeurd van 11 m³/s. Voor deze periode is er in het hydrodynamische model dus aangenomen dat er 11 m³/s meer water richting de Maas moet terug vloeien. Dit was een zeer extreme periode met een zeer lage afvoer in de Maas. Daarom is ervoor gekozen om, naar analogie met het hydrodynamische model, ook in het waterbalans extra water richting de Maas te laten afvoeren. De extra afvoer langs het kanaal van Ternaaien is verhoogd van 3 m³/s naar 4,5 m³/s, zo stemt het ook overeen met het debiet dat in het hydrodynamische model gebruikt is. Daarnaast is er 3 m³/s extra afvoer voorzien langs het kanaal van Monsin. In totaal is er dus 4,5 m³/s dat extra naar de Maas wordt afgevoerd opwaarts van Kanne. De opbouw van het model, met de watergebruikers die water uit het reservoir onttrekken, is niet veranderd. Enkel de invoertijdreeksen van de watergebruikers die het extra verlies in Monsin en Ternaaien vertegenwoordigen zijn gewijzigd.

Dit leidde tot een betere benadering van de gemeten afvoer in Kanne, maar zorgde wel voor een verhoogde afvoer in Haccourt. De verklaring hiervoor is dat door de afvoer van de Waalse gebruikers te verhogen de watervraag van het Albertkanaal ook verhoogt en er dus meer water van de Maas onttrokken wordt. Om dit op te lossen is in de berekening van de watervraag van het Albertkanaal geen rekening gehouden met de verhoogde afvoer van de Waalse gebruikers. Dit was ook geen oplossing. Omdat de vraag van de Waalse watergebruikers verhoogd was, maar hier geen rekening mee gehouden is bij de berekening van de watervraag van het Albertkanaal – maw de vraag steeg, maar het aanbod bleef hetzelfde – zakt het peil in

het Albertkanaal sneller. Wanneer het peil meer dan 10 cm zakt, moet er water bij gevraagd worden. De watervraag van het Albertkanaal verhoogde onrechtstreeks dus toch waardoor het berekende debiet ook in dit scenario hoger was dan de metingen.

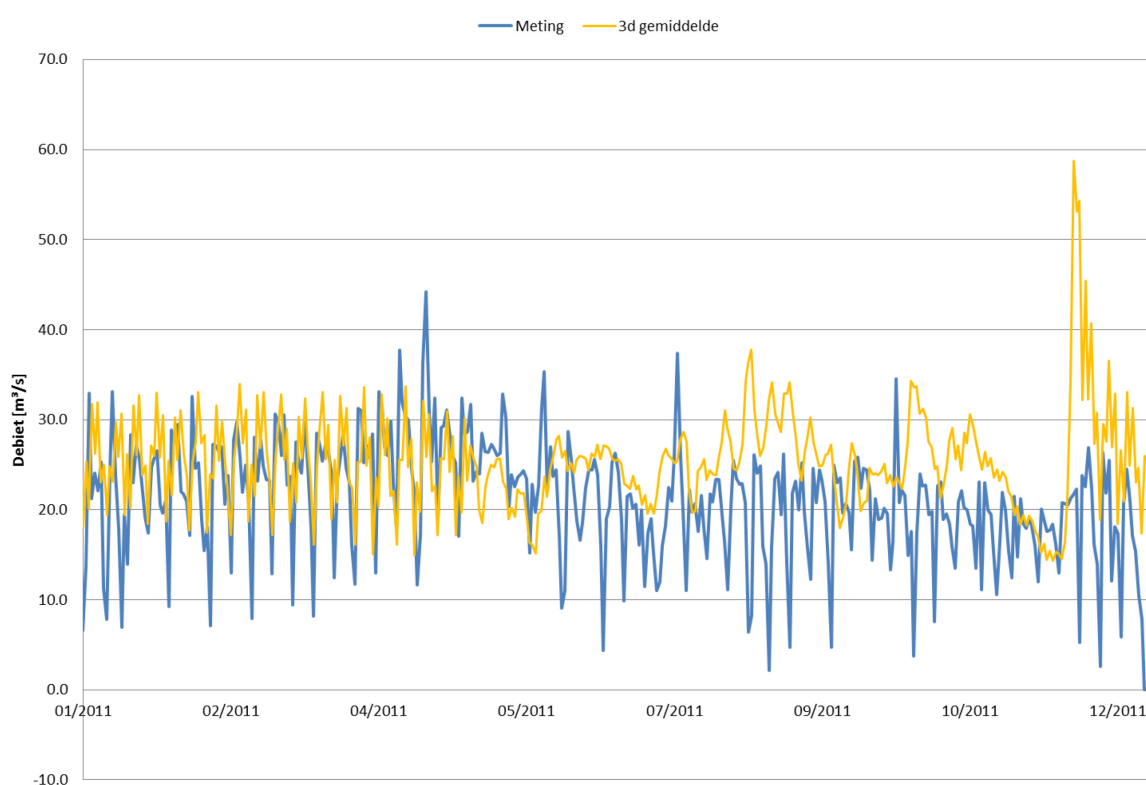
Een derde alternatief was om de Waalse gebruikers niet meer uit het reservoir dat het eerste kanaalpand voorstelt te laten onttrekken (met verhoogd debiet), maar rechtstreeks uit het kanaal zelf, ter hoogte van hun werkelijke locatie. Om het berekende debiet in Haccourt te handhaven werd de originele berekening van de watervraag van het Albertkanaal behouden. Hierdoor bleven de debieten in Haccourt in overeenstemming met de metingen, maar stemden ze in Kanne niet meer overeen. De berekende afvoer was hier te laag waardoor ook het waterpeil in in het reservoir te snel afnam.

Hierdoor licht de oorzaak vrijwel zeker bij de dimensionering van het reservoir. Vervolgens zijn er twee scenario's getest: de afmetingen van het reservoir uit Baeten et al. (2006) zijn overgenomen, de oppervlakte van het kanaalpand werd in Google Earth opnieuw gemeten gekoppeld aan een aangenomen diepte van 5m. In beide gevallen was het volume van het reservoir groter, maar toch onvoldoende om de ongewenste effecten te vermijden.

Daarom is besloten om de oorspronkelijke configuratie te behouden. Maw. alle gebruikers (incl. de Waalse) onttrekken uit het reservoir. Er dient wel rekening gehouden te worden dat het volume van de Waalse watergebruikers waarschijnlijk onderschat is.

In globa komen de resultaten (voor 2013) goed overeen met de metingen in Kanne (Figuur 72). Enkel voor de periode tussen april en juni is er een onderschatting. Ook op het einde van de zomer, eind augustus – begin september, is er een onderschatting. Deze onderschatting vertoont zich ook tijdens andere droge periodes zoals de zomer van 2011, die ernstiger was dan in 2013. Omdat de aanvoer van de Maas in droge periodes onderschat wordt, kan er bijgevolg ook minder water dan werkelijk naar het Albertkanaal afgevoerd worden. Een periode met een verminderde afvoer wordt stevast gevolgd door een debietpiek. Het model compenseert het tekort onmiddellijk vanaf het moment dat er weer water beschikbaar is.

Figuur 73 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Kanne (2011).

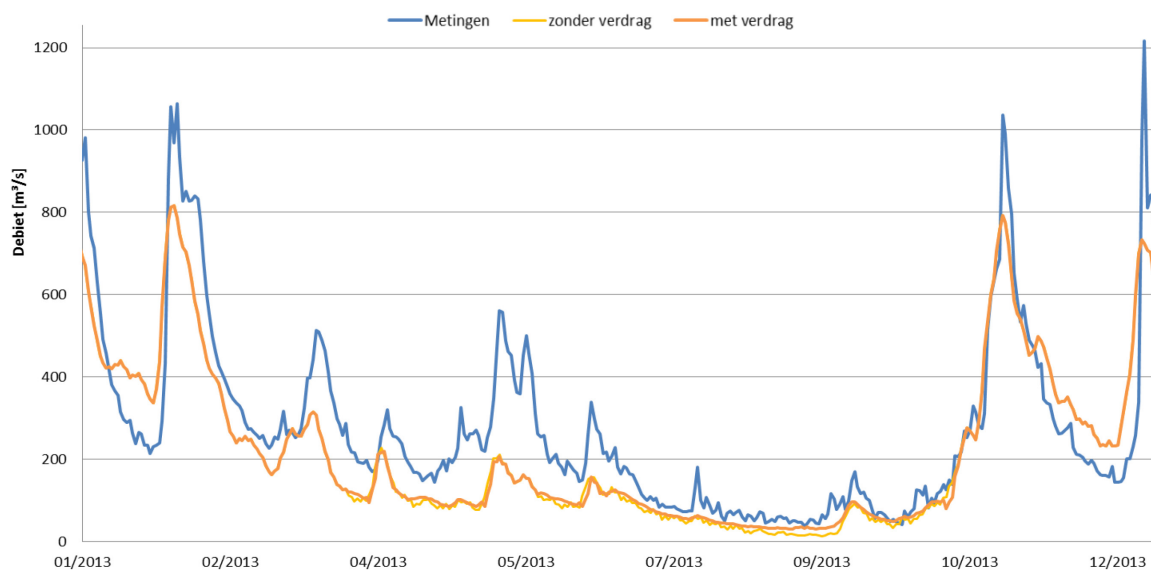


5.6.4 St.-Pieters

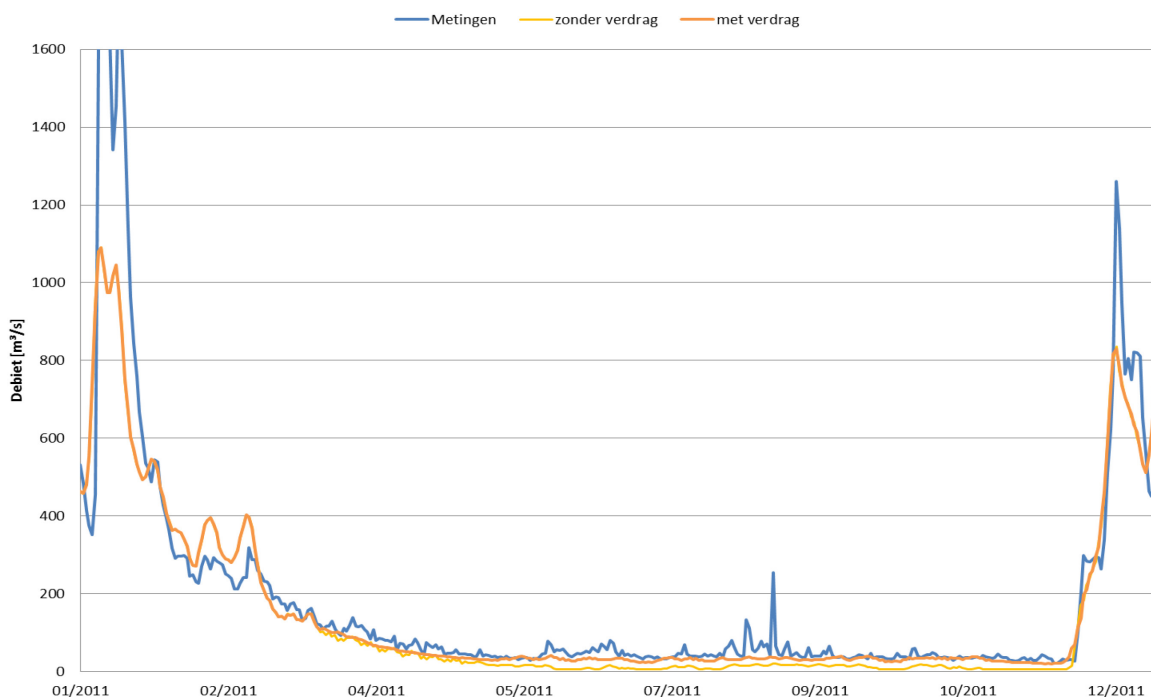
Het meetstation St.-Pieters bevindt zich aan de Maas net afwaarts de Belgisch-Nederlandse grens en afwaarts de monding van het kanaal van Ternaaien.

Het spreekt voor zich dat ook hier de berekende afvoer de werkelijke onderschat (Figuur 74). Het debiet ter hoogte van St.-Pieters wordt voornamelijk bepaald door de bovenafvoer van de Maas. Zoals reeds een aantal keren is aangehaald is deze in 2013 onderschat. In het algemeen zijn ook de laagste Maasafvoeren onderschat. Het effect van het Maasverdrag zorgt er wel voor dat de laagste afvoeren hoger komen en ze beter aansluiten bij de metingen. Dit is goed zichtbaar in het droge jaar 2011 (Figuur 75)

Figuur 74 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in St.-Pieters (2013).



Figuur 75 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in St.-Pieters (2011).



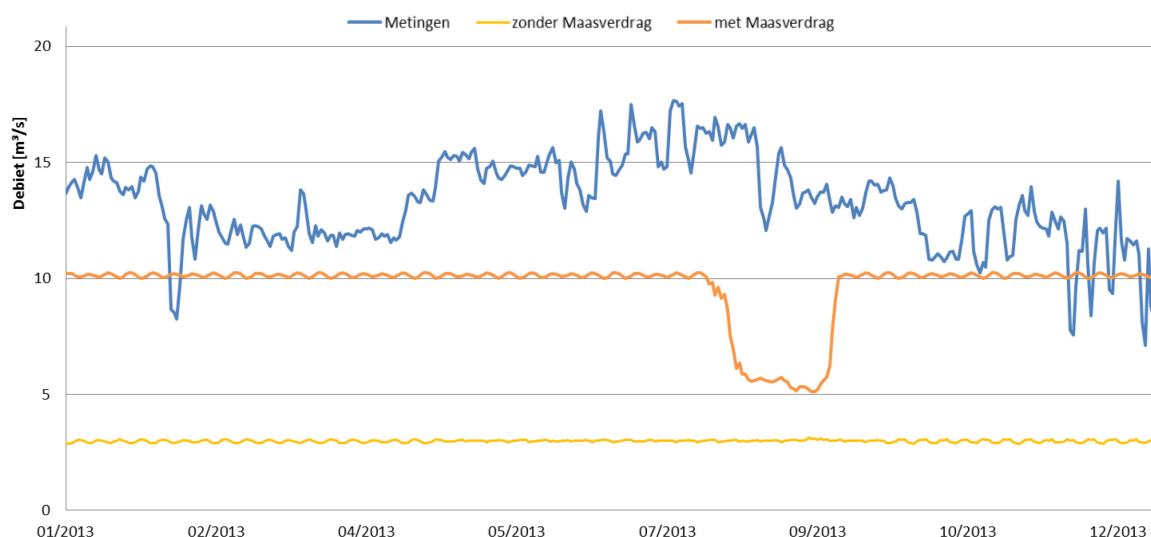
5.6.5 Smeermaas

Het meetstation Smeermaas bevindt zich langs de Zuid-Willemsvaart, opwaarts tussen de afsplitsing met de Maas en de monding van het kanaal Briegden-Neerharen.

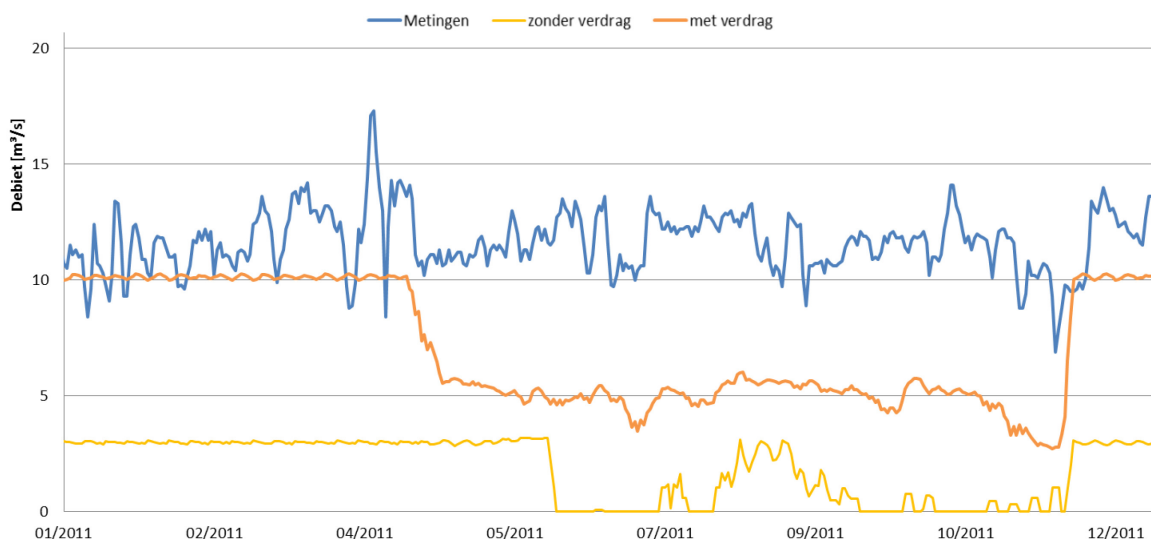
De berekening van de waterbehoefte van het kanaal is analoog aan die van het Albertkanaal waarbij de behoefte van het meest afwaartse pand (het 3^e pand van het aansluitende kanaal Bocholt-Herentals) tot opwaarts wordt bepaald. De behoefte van de gebruikers langs de kanalen is vrij beperkt (gemiddeld bijna 3 m³/s). Wanneer de regels van het Maasverdrag worden toegepast ligt de afvoer in de kanalen beduidend hoger (10 m³/s) wat het werkelijke debiet benadert. Enkel wanneer de afvoer in de Maas verder afneemt en men zou verwachten dat ook de metingen een lagere afvoer zouden vertonen, blijkt dit in realiteit niet te gebeuren.

De huidige regeling in het waterbalansmodel houdt geen rekening met het Maasverdrag. De berekende afvoer voor de Zuid-Willemsvaart is dus zo'n 10m³/s lager dan gemeten.

Figuur 76 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Smeermaas (2013).



Figuur 77 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Smeermaas (2011).



5.6.6 Lommel

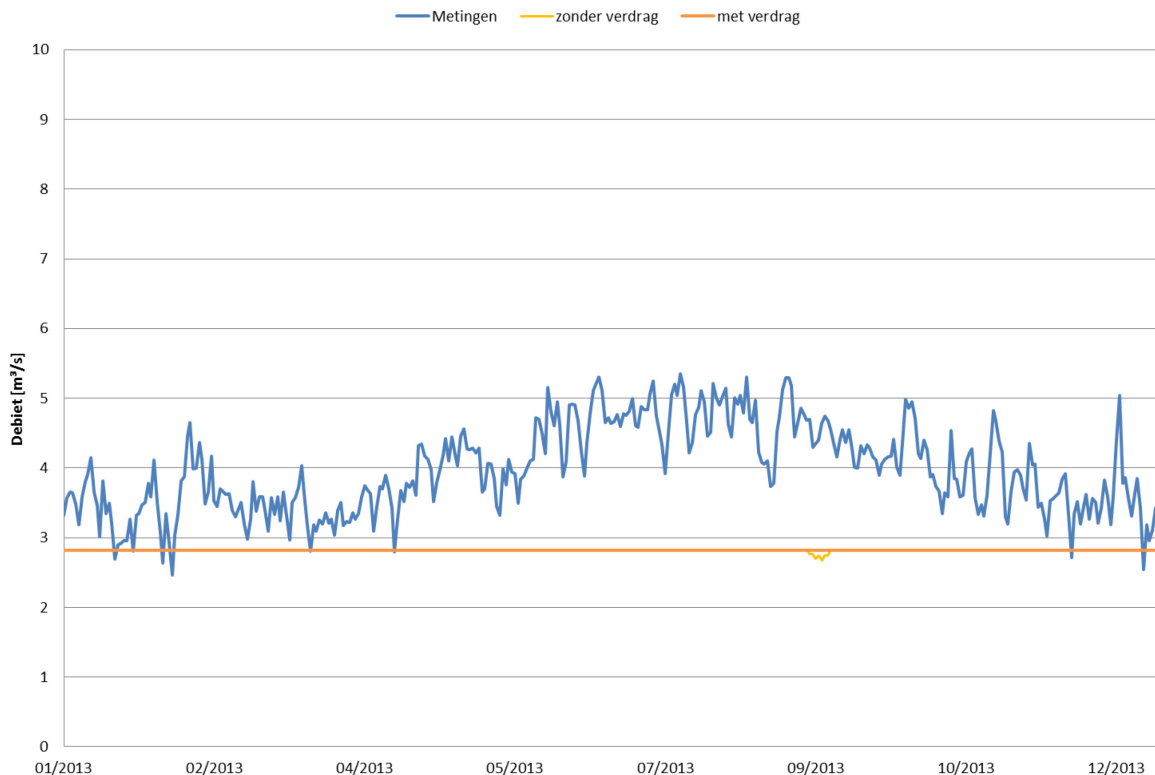
De debietmeting in Lommel meet het debiet in het kanaal Bocholt-Herentals dat van de Zuid-Willemsvaart wordt afgeleid.

Het model leidt enkel het volume af dat nodig is om aan de behoefte ($2,8 \text{ m}^3/\text{s}$) op het tracé tussen Bocholt en Dessel te voldoen. Dit komt overeen met de minimale afvoer dat er wordt gemeten. In de zomer is de afvoer er de laatste jaren $2 \text{ m}^3/\text{s}$ hoger (Figuur 78).

Het water dat langs deze weg wordt aangevoerd zorgt voor de verdere voeding van het kanaal Bocholt-Herentals en het kanaal Dessel-Schoten. De behoefte van deze twee kanalen is respectievelijk maximaal $1,30$ en $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Omdat de metingen niet betrouwbaar zijn, kunnen deze gemodelleerde debieten niet met metingen vergeleken worden. Het berekende debiet dat aan Sluis 3 in Dessel wordt versast bedraagt $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$. Dat is onvoldoende om beide kanalen van water te kunnen voorzien.

In het model is het grote pand dat uit het Albertkanaal tussen Hasselt en Kwaadmechelen, het kanaal Dessel-Kwaadmechelen en het eerste pand van het kanaal Dessel-Schoten bestaat door 1 reservoir voorgesteld. Dit reservoir ontvangt voornamelijk water vanuit de opwaartse panden van het Albertkanaal en in mindere mate vanuit het kanaal Bocholt-Herentals door de versassingen aan de sluizen in Dessel ($0,35 \text{ m}^3/\text{s}$). De voeding van de afwaartse panden van het kanaal Bocholt-Herentals en Dessel-Schoten gebeurt ook vanuit dit reservoir. In het model worden deze kanalen dus via het Albertkanaal gevoed. Omdat het slechts over een beperkt debiet gaat ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ tov een totale aanvoer van ongeveer $20 \text{ m}^3/\text{s}$) heeft dit nauwelijks effect op de gesimuleerde afvoer door het Albertkanaal.

Figuur 78 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lommel (2013).

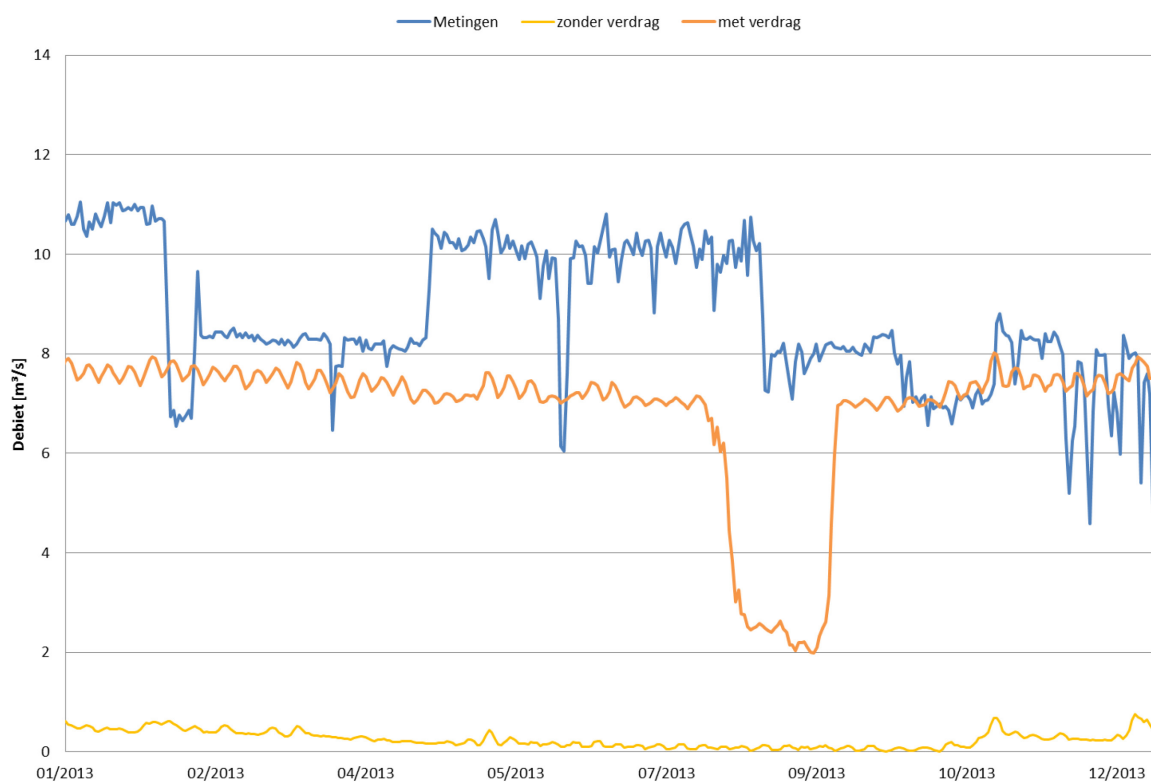


5.6.7 Lozen

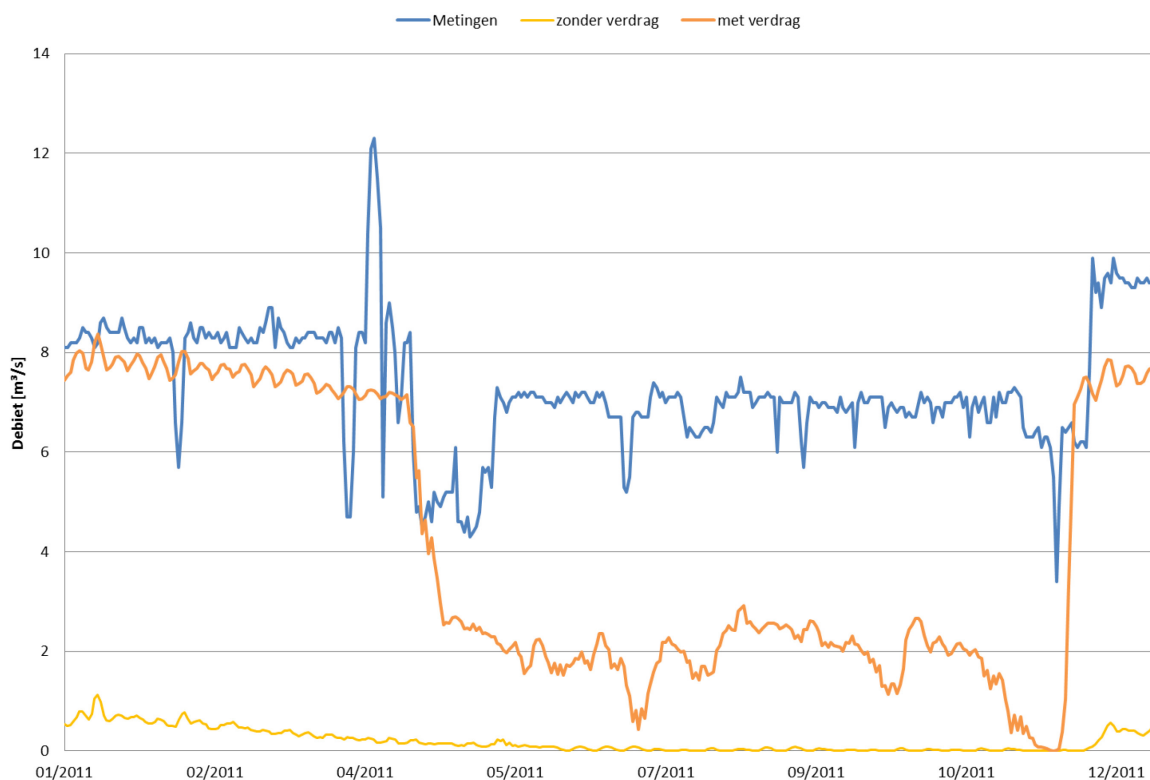
In Lozen wordt het debiet gemeten dat via de Zuid-Willemsvaart Nederland binnenstroomt.

De waterbehoefte van de Zuid-Willemsvaart in Nederland is niet gekend. Het gesimuleerde debiet, berekend obv de waterbehoefte van het kanaal in Vlaanderen, is hier niet groter dan $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ terwijl de gemeten afvoer de voorbije jaren tussen 4 en $11 \text{ m}^3/\text{s}$ schommelt (Figuur 81). Dit verschil is veroorzaakt omdat in de reguliere simulaties geen rekening gehouden wordt met het Maasverdrag. Wanneer de verdeling volgens het verdrag gemodelleerd wordt, komt het modelresultaat ter hoogte van Lozen wel in orde van grootte overeen met de metingen (Figuur 79). Ook hier is de werking van het Maasverdrag duidelijk in de berekende afvoer. Omdat in werkelijkheid de Maasafvoer hoger was, is dit niet onmiddellijk zichtbaar in de metingen. Die nemen in augustus ook af, maar het is niet duidelijk dat dat omwille van de verlaagde Maasafvoer is. In 2011 was dit wel zichtbaar (Figuur 80). De verlaagde afvoer in de metingen komt overeen met de periode van lagere afvoer bij het berekende debiet, deze is enkel wel veel lager dan de meting (2 tov $7 \text{ m}^3/\text{s}$).

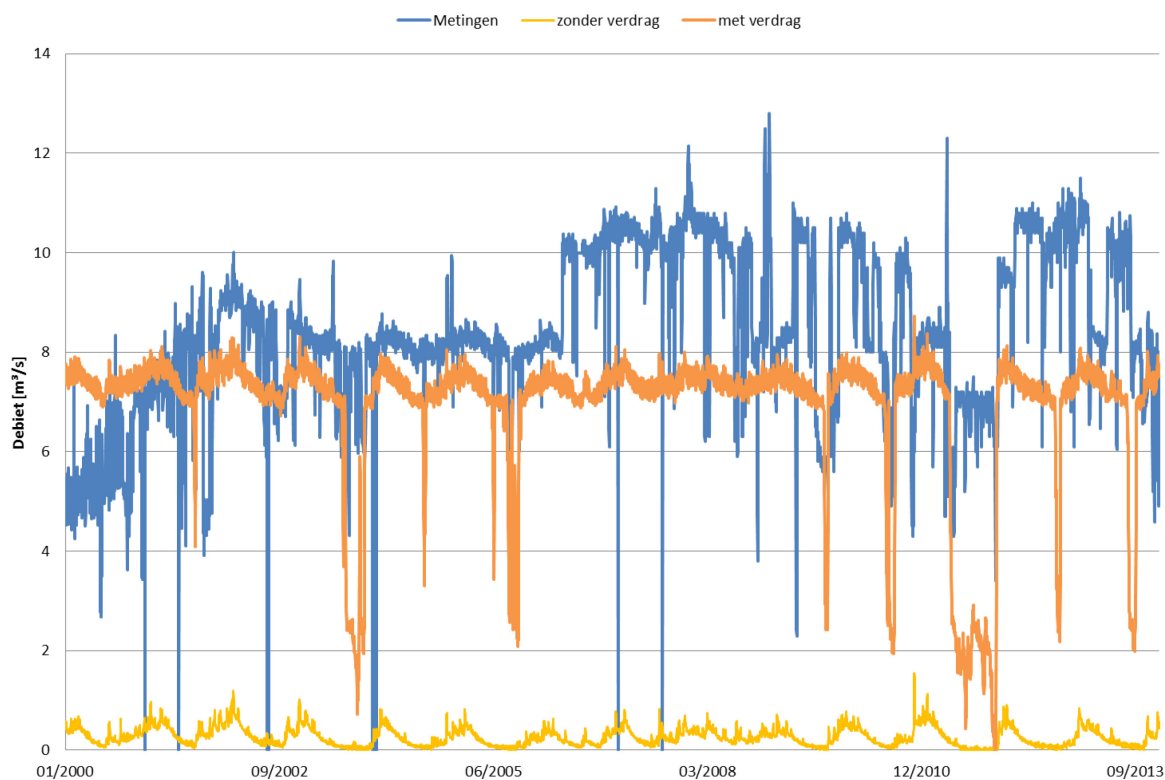
Figuur 79 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2013).



Figuur 80 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2011).



Figuur 81 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Lozen (2000-2013).

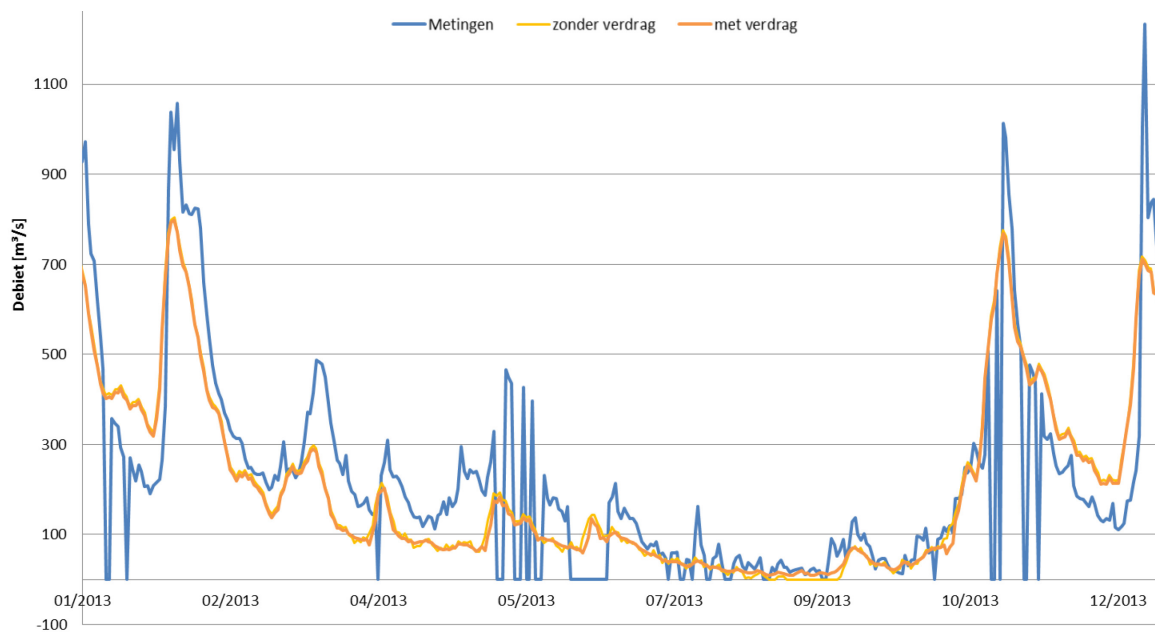


5.6.8 Borgharen

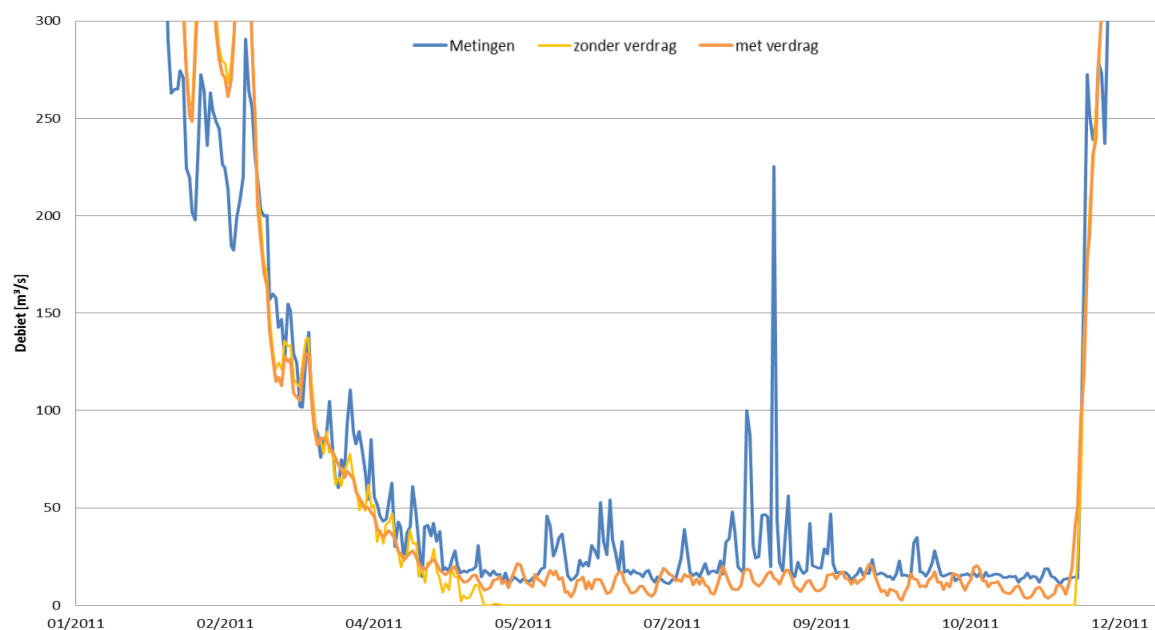
De metingen in Borgharen gebeuren aan de Maas aan het begin van de Gemeenschappelijke Maas die de grens vormt tussen België en Nederland. Het bevindt zich ook afwaarts de aftakkingen van de Zuid-Willemsvaart en het Julianakanaal.

Net als bij St.-Pieters (§5.4.5) is het berekende debiet ook in Borgharen sterk bepaald door hydrologische modellering van het opwaartse Maasbekken en is er een duidelijke onderschatting van de afvoer tov de metingen (Figuur 82). In zeer droge periodes is berekend het model zelfs geen debiet in Borgharen (Figuur 83). Wanneer de regels van het Maasverdrag worden toegepast schommelt het berekende debiet rond 10 m³/s. Dit is ook wat door het Maasverdrag gegarandeerd moet worden.

Figuur 82 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Borgharen (2013).



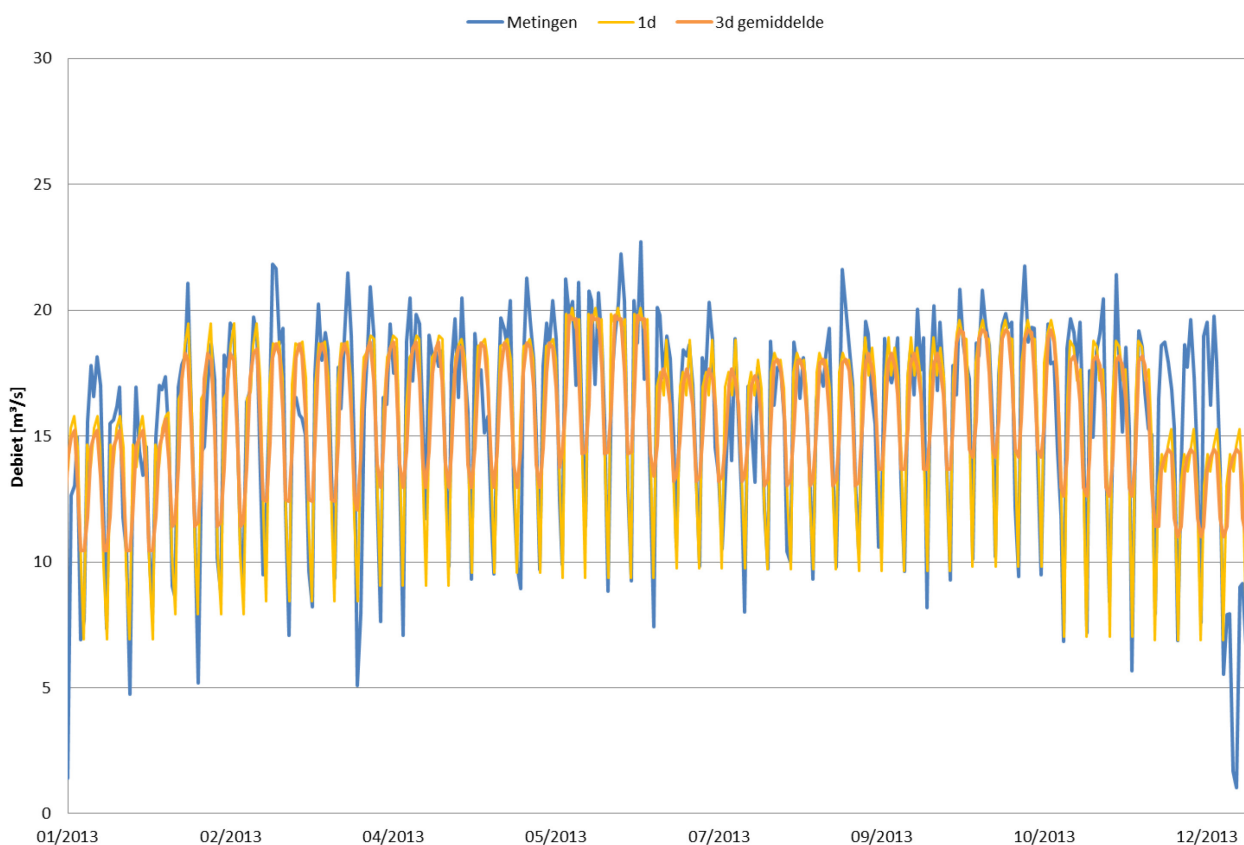
Figuur 83 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Borgharen (2011).



5.6.9 Bunde

Tenslotte worden de metingen in Bunde op het Julianakanaal met de modelresultaten vergeleken. De regels voor de berekening van de watervraag voor het Julianakanaal zijn vooralsnog niet geïmplementeerd. De overeenkomst is goed (Figuur 84). Dit is komt omdat het debiet er hoofdzakelijk bepaald wordt door de versassing aan de sluizen van Limmel.

Figuur 84 – Vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen in Bunde (2013).



5.7 Conclusie

In het geactualiseerde model is er geen gebruik meer gemaakt van metingen om de afvoer naar het Albertkanaal en de Zuid-Willemsvaart te bepalen, maar is de afvoer bepaald aan de door de waterbehoefte van alle watergebruikers langs de kanalen. Vanaf het meest afwaartse pand wordt de balans bepaald en berekend hoeveel water er meer aangevoerd moet worden om aan de behoefte te voldoen. Wanneer het peil meer dan 10 cm zou dalen, wordt het volume om het niveau terug op peil te brengen bij de waterbehoefte van dat pand geteld. Dit volume wordt meegenomen naar de behoefte van het eerst volgende opwaartse pand waar ook de balans berekend wordt. Dit gaat zo verder tot het meest opwaartse pand. De behoefte van dit pand bepaalt tenslotte hoeveel water er aan de Maas onttrokken moet worden.

Het berekende debiet komt betrekkelijk goed overeen met de metingen opwaarts van het Albertkanaal. Voor de Zuid-Willemsvaart wordt dit sterk onderschat. Er wordt immers meer water afgevoerd dan dat er nodig is om aan de behoefte te voldoen. Er zijn wel geen watergebruikersgegevens bekend van het Nederlandse deel van de Zuid-Willemsvaart. Het is mogelijk dat het gebruik hier een hogere aanvoer noodzakelijk maakt. Dit kan echter met de beschikbare gegevens niet berekend worden.

Uit de vergelijking tussen de metingen in Kanne en de berekende afvoer daar blijkt dat er in Wallonië zo'n 5 m³/s te weinig water terug naar de Maas stroomt. Dit extra verlies is niet in de modellering opgenomen omdat het effect heeft op de berekende waterstand in het kanaal bij eenzelfde aanvoer in Haccourt. Waarschijnlijk is dit te wijten aan een onderdimensionering van het reservoir dat het eerste kanaalpand in het model voorstelt. Realistische uitbreidingen van dit reservoir gaven te weinig verbetering.

Het Maasverdrag beschrijft de verdeling van het Maaswater bij afvoeren in Luik lager dan 100m³/s. Deze regels kunnen strikt in het model ingevoerd worden. Dit kan scherpe sprongen veroorzaken in de berekende afvoer wanneer er een drempel overschreden wordt. In realiteit gebeurt dit geleidelijk aan en anticiperen de waterbeheerders al enkele dagen eerder door gepaste maatregelen te treffen. Deze ervaringen zijn moeilijk te modelleren omdat ze gebaseerd zijn op lokale situaties en inschattingen van dat moment. Wel is duidelijk dat de implementatie van het Maasverdrag er voor zorgt dat er steeds voldoende afvoer in de Grensmaas is. Wat toch één van de betrachtingen van het verdrag is.

Al de resultaten zijn wel sterk afhankelijk van het aangevoerde debiet. Deze wordt door hydrologische modellen berekend en onderschatten het debiet bij lage Maasafvoeren. Dit houdt in dat het model sneller tekorten zal berekenen dan in werkelijkheid omdat het berekende aanbod (de afvoer van de Maas) lager is dan in werkelijkheid. Het grote voordeel om gebruik te maken van de berekende hydrologische aanvoer is dat die aanvoer berekend is vanaf 1967. Op deze manier kan het huidige watergebruik over een langere periode, met verschillende droge periodes, geëvalueerd worden.

6 Software voor het waterbalansmodel

6.1 Inleiding

Mike Basin (©Danish Hydraulic Institute of DHI) laat toe waterbalans en –allocatiestudies op uiteenlopende schalen uit te voeren. Gezien het Waterbouwkundig Laboratorium voor de opbouw van hydrologische en hydraulische modellen voor de bevaarbare waterlopen in Vlaanderen de Mike 11 software (tevens ©DHI) gebruikt en reeds over de nodige licenties voor Mike Basin beschikt, is het waterbalansmodel van het Scheldebekken ontwikkeld met dit softwarepakket.

Het waterbalansmodel (bestek WL-12-032, 2012) is opgebouwd in Mike Basin versie 2008 en in de loop van het project probleemloos omgezet naar versie 2011. Tot en met 2012 was ArcMap de grafische interface voor Mike Basin. Mike Basin was toen een extensie van ArcMap.

Vanaf 2012 heeft DHI echter een volledig afzonderlijke interface ontwikkeld, het softwarepakket voor het waterbalansmodellering heet vanaf dan Mike Hydro Basin. Vanaf 2014 wordt ook enkel nog deze Mike Hydro ondersteund door DHI. Voor de oudere (ArcMap) versies van het softwareprogramma is dit niet het geval. Op moment van schrijven is Mike Hydro Basin versie 2016 de meest recente versie van het pakket.

Omwille van een aantal tekortkomingen van het softwarepakket, zijn een aantal facetten in het waterbalansmodel gemodelleerd met behulp van een macro in Visual Basic. Het introduceren van een macro in het waterbalansmodel impliceerde een aantal nadelen met betrekking tot het gebruikersgemak.

In het huidige project, waarbij DHI ondersteuning geeft voor dit deel van de opdracht, werd sterk met DHI teruggekoppeld over de noden en wensen om het gebruik van een macro te kunnen vermijden in de toekomstige releases van het softwarepakket. Gezien het achterwege laten van deze macro niet tot de mogelijkheden behoorde (in samenspraak met DHI), werd onderzocht hoe in MikeBasin hetzij de outputbestanden konden worden verkleind of hoe de procedure voor het opslaan kon worden aangepast zodanig dat de resultaten van de simulatieperiode (> 40 jaar) op een gebruiksvriendelijke manier kunnen worden geanalyseerd.

Dit hoofdstuk vat de voornaamste stappen uit dit proces samen.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de verschillende fasen die doorlopen zijn om te komen tot het huidige waterbalansmodel wordt verwezen naar Bijlage 3.

6.2 Samenvatting van het uitgevoerde onderzoek

Hierna worden kort de stappen die doorlopen zijn bij de omschakeling naar de nieuwe versie van het softwarepakket weergegeven:

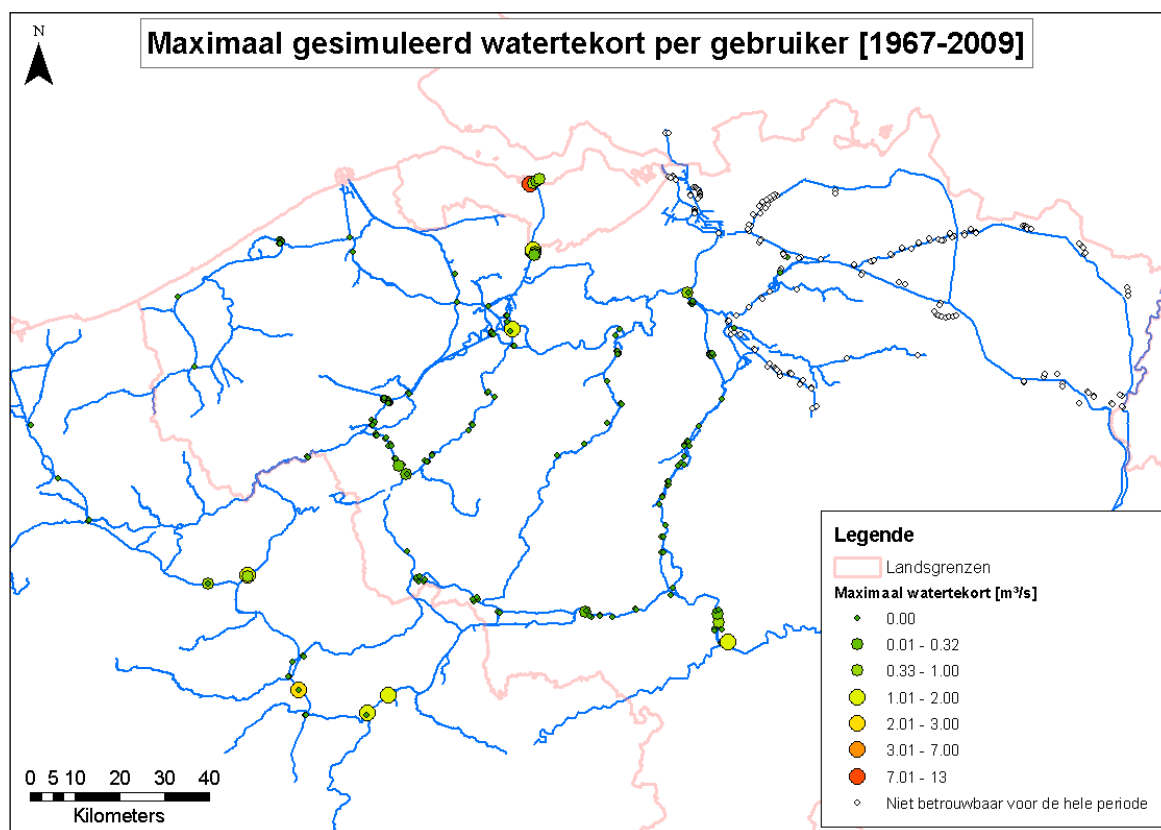
1. Controle simulatie in Mike Basin versie 2011
2. Omzetting naar Mike Basin 2012 en export van het bestaande model naar een Mike Hydro bestand
3. Inladen in Mike Hydro Basin 2014 en oplossen van fouten die optraden bij de validatie ten gevolge van de nieuwe versie van de software
4. Simulatie met het waterbalansmodel met Mike Hydro Basin versie 2014 voor het jaar 2008
5. Simulatie met het waterbalansmodel met Mike Hydro Basin versie 2014 voor de hele simulatieperiode (40 jaar)

Mike Basin versie 2011 liet toe de resultaten van simulaties met het waterbalansmodel direct te verwerken en visualiseren binnen de software met behulp van de geïntegreerde *results wizard*. Op die manier konden op een redelijk eenvoudige manier verschillende resultaten zoals het grootste tekort, de gemiddelde en maximale duur van het tekort, het percentage van de tijd dat er een tekort is, ... voor elke gebruiker in het model gepresenteerd worden (Figuur 85). Deze functionaliteit is echter in Mike Hydro Basin versie 2014 niet meer inbegrepen. Er kan in dit programma slechts één tijdreeks per gebruiker opgevraagd worden, wat de resultatenverwerking een stuk omslachtiger maakt. Gezien er veel vraag is naar deze functionaliteit wordt deze vermoedelijk terug geïntegreerd in toekomstige releases van de software.

Binnen het huidige project werd een eigen tool ontwikkeld die de postprocessing van de resultaten uit het waterbalansmodel toelaat. Naast het produceren van gelijkaardige plots als deze uit Mike Basin versie 2011, is in de tool ook een statistische verwerking van de resultaten geïntegreerd.

Voor een gedetailleerde beschrijving van deze stappen wordt verwezen naar Bijlage 3.

Figuur 85 – Maximaal gesimuleerd watertekort voor elke gebruiker tussen 1967 en 2009 (De Boeck et al., 2012)



Ondanks alle aanpassingen die er zijn gebeurd, is het verschil tussen beide simulaties minimaal (Tabel 6). Enkel in Melle is er tijdens de zomermaanden een grotere afwijking, die te wijten is aan het ontbreken van een watergebruiker in Gentbrugge. Het betrof een pomp die in juli en augustus tijdelijk water verpompte over de stuw (aan 2 m³/s) om zo in het dichtgeslibde deel van de Schelde doorstroming te krijgen.

Tabel 6 – Verschil tussen de modelresultaten uit 2012, berekend met Mike Basin 2011 en de huidige modelresultaten, berekend met Mike Hydro Basin 2016, voor de periode 1967-1976 (Mike Basin 2011 - Mike Hydro Basin).

Locatie	Minimum [m ³ /s]	Gemiddelde [m ³ /s]	Maximum [m ³ /s]	Standaard afwijking [m ³ /s]
Bossuit/Helkijn	-4,04 10 ⁻⁴	1,78 10 ⁻⁶	4,94 10 ⁻⁴	4,36 10 ⁻⁵
Menen	-4,96 10 ⁻⁴	6,45 10 ⁻⁷	4,81 10 ⁻⁴	3,30 10 ⁻⁵
Evergem	-2,45 10 ⁻⁴	-1,34 10 ⁻⁷	2,88 10 ⁻⁴	2,56 10 ⁻⁵
Varsenare	-5,00 10 ⁻⁵	7,03 10 ⁻⁸	4,99 10 ⁻⁵	1,54 10 ⁻⁵
Melle	-2,00	-0,12	5,00 10 ⁻⁴	0,44

6.3 Conclusie

Om lange simulaties uit te kunnen voeren is er geopteerd om over te schakelen naar de meest recente versie van Mike Basin. Het proces om de simulatieresultaten op te slaan gebeurt met deze versie van de software efficiënter waardoor het mogelijk is om een periode van ruim 40 jaar in één enkele modelsimulatie uit te voeren. Daarenboven blijft de ondersteuning van DHI gegarandeerd. Voor oudere versies van dit softwarepakket levert DHI niet langer ondersteuning.

Het nadeel van de omschakeling naar deze update van de software is dat de handige postprocessing niet meer is inbegrepen in de software. Om dit probleem te verhelpen werd een eigen, afzonderlijke tool ontwikkeld die een gelijkaardige naverwerking mogelijk maakt. De tool is op moment van schrijven nog in ontwikkeling en bevat naast de vergelijkbare voorstelling van de resultaten ook de mogelijkheid om een statistische analyse van de resultaten uit te voeren.

7 Conclusies

Tussen 2010 en 2012 is er in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium een waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied en aanpalende kanalenstelsels ontwikkeld. Met dit model kan men de waterbeschikbaarheid in Vlaanderen (op dagelijkse basis) modelleren tussen 1967 en 2009, met als referentieperiode voor het watergebruik het jaar 2008. Deze tool geeft dus de mogelijkheid om een uitspraak te doen over de beschikbaarheid aan water en eventuele tekorten die de huidige watergebruikers de voorbije decennia ondervonden zouden kunnen hebben.

De resultaten van de uitgevoerde modellering zijn voorgesteld aan een brede groep van experts uit Vlaanderen die rechtstreeks of onrechtstreeks betrokken zijn bij de problematiek rond waterbeschikbaarheid, droogte, watertekorten, waterallocatie,... Hun opmerkingen en kritiek zijn samen met reeds geformuleerde aanbevelingen genoteerd en vormen de basis van deze Deelopdracht 1 in het voorliggend project “Modellering van waterbeschikbaarheid en waterallocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied” (bestek WL-12-032). Deze Deelopdracht 1 bestond er uit het modelinstrumentarium te verbeteren en daarbij maximaal rekening te houden met de geformuleerde opmerkingen en aanbevelingen.

Hierna worden voor elk van de behandelde onderdelen de voornaamste conclusies samengevat.

7.1 Onbevaarbare waterlopen

In een eerste deel van deze deelopdracht is onderzocht of een expliciete modellering van het watergebruik langs onbevaarbare waterlopen een toegevoegde waarde heeft voor het huidige regionale waterbalansmodel. Hiertoe is onderzocht of het expliciet in rekening brengen van het watergebruik, zorgt voor een betere benadering van afvoer op de onbevaarbare waterlopen. In het waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied wordt de afvoer van de zijrivieren naar de hoofdwaterwegen berekend aan de hand van dergelijke hydrologische modellen. Het watergebruik langs deze kleinere waterlopen is bijgevolg enkel impliciet gemodelleerd. De hydrologische modellen zijn immers afgeijkt op basis van de gemeten afvoer (inclusief opwaartse lozingen en gebruikers) die afwaarts op de zijrivieren gemeten wordt.

Het onderzoek is 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.

Voor waterbalansstudies op kleinere schaal, kan een expliciet in rekening brengen van watergebruik uiteraard wel nuttig zijn om bijvoorbeeld scenario's langs onbevaarbare waterlopen door te rekenen (bv. bouw van een nieuwe RWZI, extra lozingen van een bedrijventerrein, etc...). Voor dergelijke analyses is een lokale waterbalansstudie aangewezen.

Binnen de huidige studie, met name de regionale studie naar de waterbalans binnen het Scheldebekken, is de huidige manier van modelleren, waarbij het watergebruik van de onbevaarbare waterlopen impliciet vervat zit in de hydrologische modellering, bijgevolg voldoende nauwkeurig en betrouwbaar.

7.2 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, 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.

7.3 Noord- Frankrijk

Gezien de belangrijke impact ervan op de waterbeschikbaarheid verder afwaarts in Vlaanderen, was het absoluut nodig om de modellering van het waterbeheer in het noorden van Frankrijk te verfijnen.

De kennis en bijgevolg ook de implementatie van het Noord-Franse kanalsysteem in het waterbalansmodel is 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 (bestek WL-12-032). 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.

7.4 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 was bijvoorbeeld de voeding van het Albertkanaal gesimuleerd door herhaling van de meetreeks van Kanne over de simulatieperiode.

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 door de scheepvaart en andere industriële actoren. Door de watervraag van het kanaal te berekenen en dit volume van de Maas af te leiden is het modelresultaat realistischer. Op deze manier wordt een waterbalansmodelletje verkregen, waarvan de resultaten in dezelfde

lijnen liggen als deze 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, Maroy et al., 2016) 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 45 jaar te simuleren.

7.5 Software problemen

Tot slot is het model geconverteerd naar de meest recente versie van de DHI software voor waterbalansmodellering (Mike Hydro Basin 2016). Het proces om de simulatieresultaten op te slaan gebeurt met deze versie van de software efficiënter waardoor het mogelijk is om een periode van ruim 40 jaar in één enkele modelsimulatie uit te voeren. Daarenboven blijft de ondersteuning van DHI gegarandeerd.

Het nadeel van de omschakeling naar deze update van de software is dat de handige postprocessing niet meer is inbegrepen in de software. Om dit probleem te verhelpen werd een eigen, afzonderlijke tool ontwikkeld die een gelijkaardige naverwerking mogelijk maakt. De tool is op moment van schrijven nog in ontwikkeling en bevat naast de vergelijkbare voorstelling van de resultaten ook de mogelijkheid om een statistische analyse van de resultaten uit te voeren.

7.6 Algemene conclusies

Het waterbalansmodel is uitgebreid, en verder verfijnd. Deze update van het model is meer gedetailleerd, houdt rekening met de belangrijkste interactie met grondwater, modelleert de situatie in Noord Frankrijk en in de 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 zelfontwikkelde postprocessing tool. Er kan geconcludeerd worden dat dit model geschikt is voor het evalueren van analyses van de huidige toestand.

8 Referenties

Anoniem (2006). Grondwaterbeheer in Vlaanderen: het onzichtbare water doorgrond. Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst. 150 p.

AMINAL – Afdeling Water (2003). Ontwikkelen van Regionale Modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GIS/Modflow – Opdracht in het kader van de opbouw van het Vlaams Grondwater Model en de gegevensinvoer in DOV. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur.

Baetens, J.; Peeters, P.; Van Eerdenbrugh, K. (2006), Watersysteem van het Albertkanaal en de Kempense kanalen – opmaak van een modelinstrumentarium voor de ontwikkeling van laagwaterstrategieën. Raapport nr. 724_02. UA-Ecosystem Management Research Group in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Waterbouwkundig Laboratorium.

D'hooghe J.; Wustenberghs H.; Lauwers L. (2007). Inschatting van het watergebruik in de landbouw, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA/2007/04, ILVO.

De Boeck, K.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2011). Modellering van waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën: Deelrapport 3 - Analyse van het huidige wateraanbod. Versie 2_1. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

De Boeck, K.; Michielsens, S.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2012) Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelopdracht 4 – Modellering van de huidige toestand op regionaal niveau. Versie 2_1. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

DHI (2011). Mike Basin help bijlagen.

Haecon, Witteveen & Bos (2004). Ontwikkelen van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GIS/MODFLOW, perceel nr. 3: Brulandkrijtmodel. Deelopdracht 1: Basisgegevens verzamelen en analyseren en opstellen van een conceptueel model. I.o.v. het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Aminoal, afdeling Water.

Haecon, Witteveen & Bos (2007). Ontwikkelen van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GIS/MODFLOW, perceel nr. 3: Brulandkrijtmodel. Deelopdracht 2: Opbouw van het grondwaterstromingsmodel, gevoeligheidsanalyse en kalibratie. I.o.v. het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Aminoal, afdeling Water.

Haecon, Witteveen & Bos (2007). Ontwikkelen van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GIS/MODFLOW, perceel nr. 3: Brulandkrijtmodel. Deelopdracht 3: Modelresultaten referentietoestand 2000 en doorrekenen van 2 scenario's. I.o.v. het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Aminoal, afdeling Water.

Meyus, Y.; Adyns, D.; Woldeamlak, S. T.; Batelaan, O.; De Smedt, F. (2004). Opbouw van een Vlaams Grondwatervoedingsmodel, Eindrapport. Onderzoeksoopdracht voor het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Aminoal, afdeling Water. Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, Vrije Universiteit Brussel, Brussel.

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

Smets, S.; Franken, T.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2010). Bijstand modelinstrumentarium hydrologie: herkalibratie van de modellen van het Demerbekken. Versie 2.0. WL Rapporten, 706_15c. IMDC/Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Symsagel, Service Navigation NPDC (2006). Étude sur le Nœud hydraulique d'Aire-sur-la-Lys, 44pp

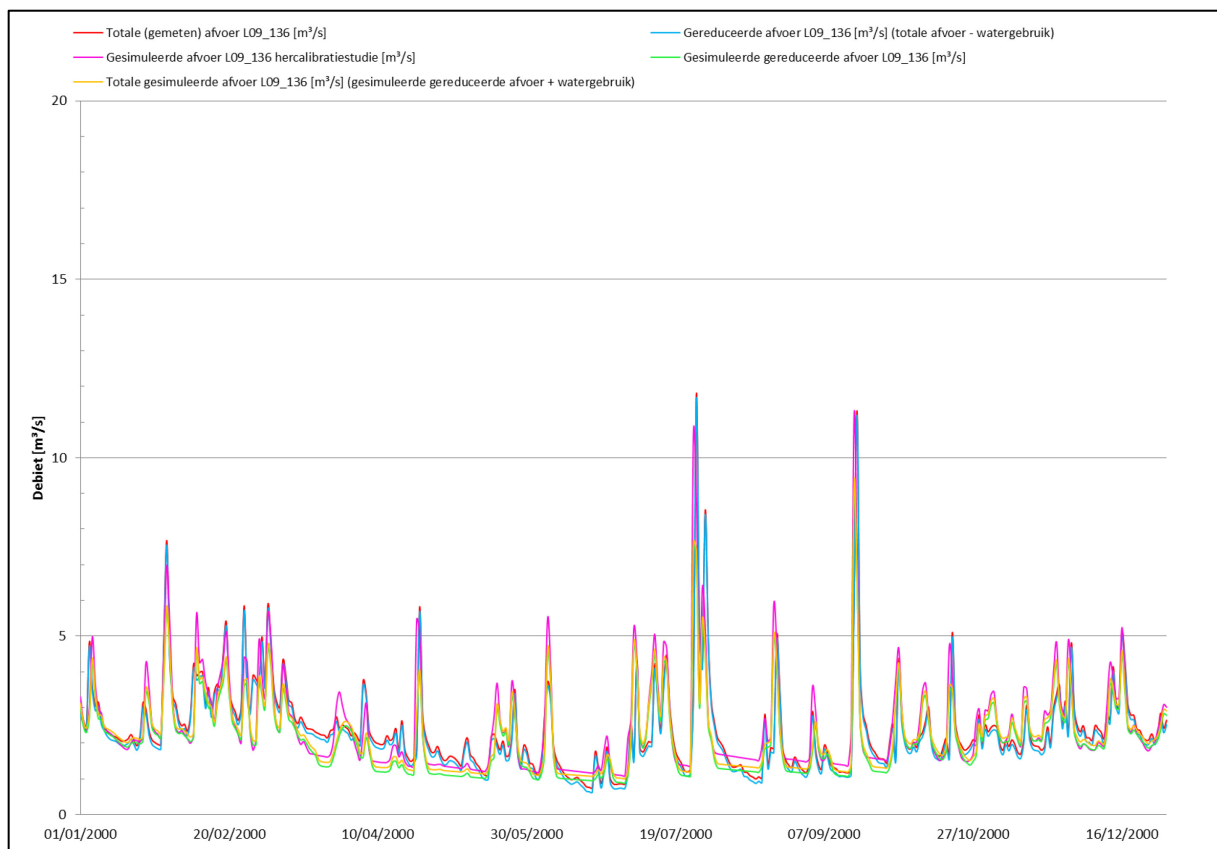
VNF (2013). Prise d'eau de la Lys Municipale, Alimentant le bief Cuinchy/Fontinettes par prélèvement dans la Lys municipale, Voies navigables de France, direction territoriale du Nord – Pas de Calais, Cellule Parme Hydro, 45 pp

Willems P. (2007). Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen – Aangepaste versie 2007. KULeuven in opdracht van Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

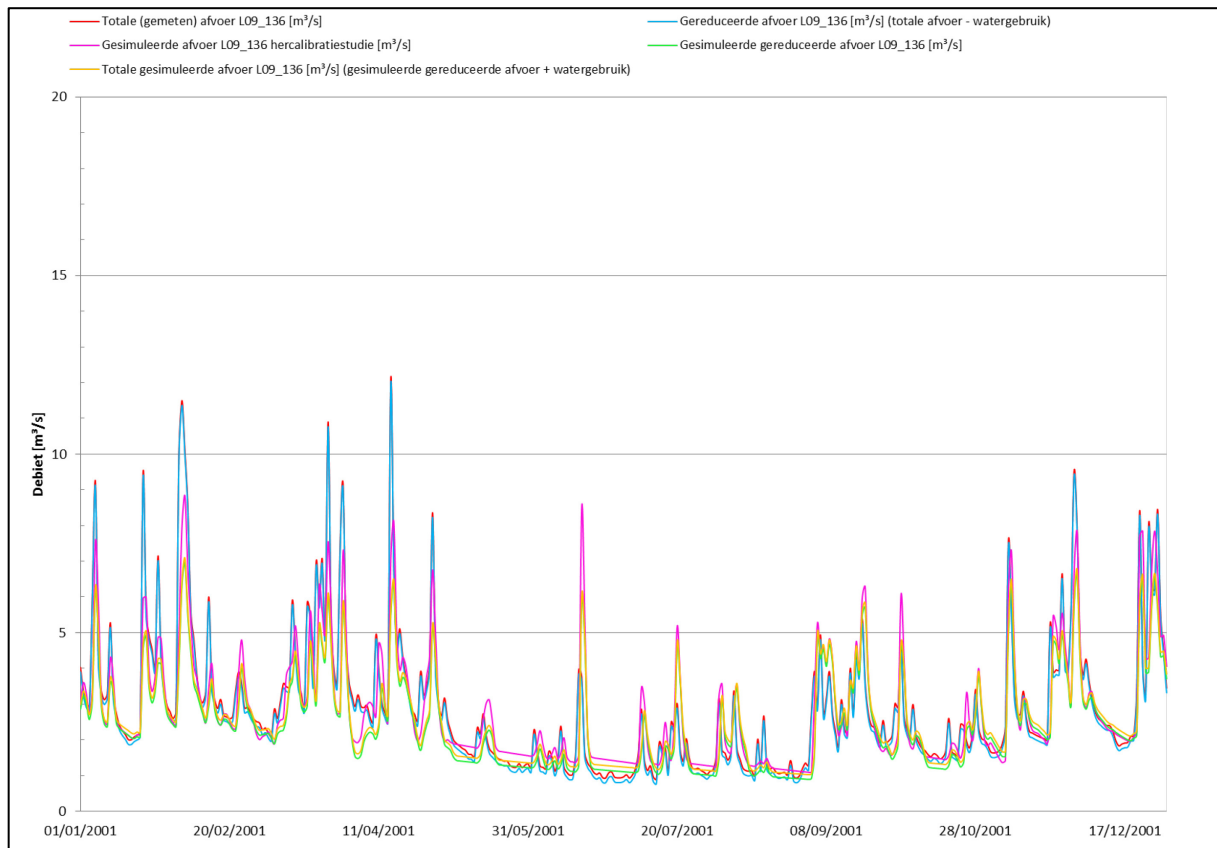
Bijlage 1 Onbevaarbare waterlopen – Herafijking hydrologische modellen. Resultaten

Station V09DEM136000 (Demer te Hasselt)

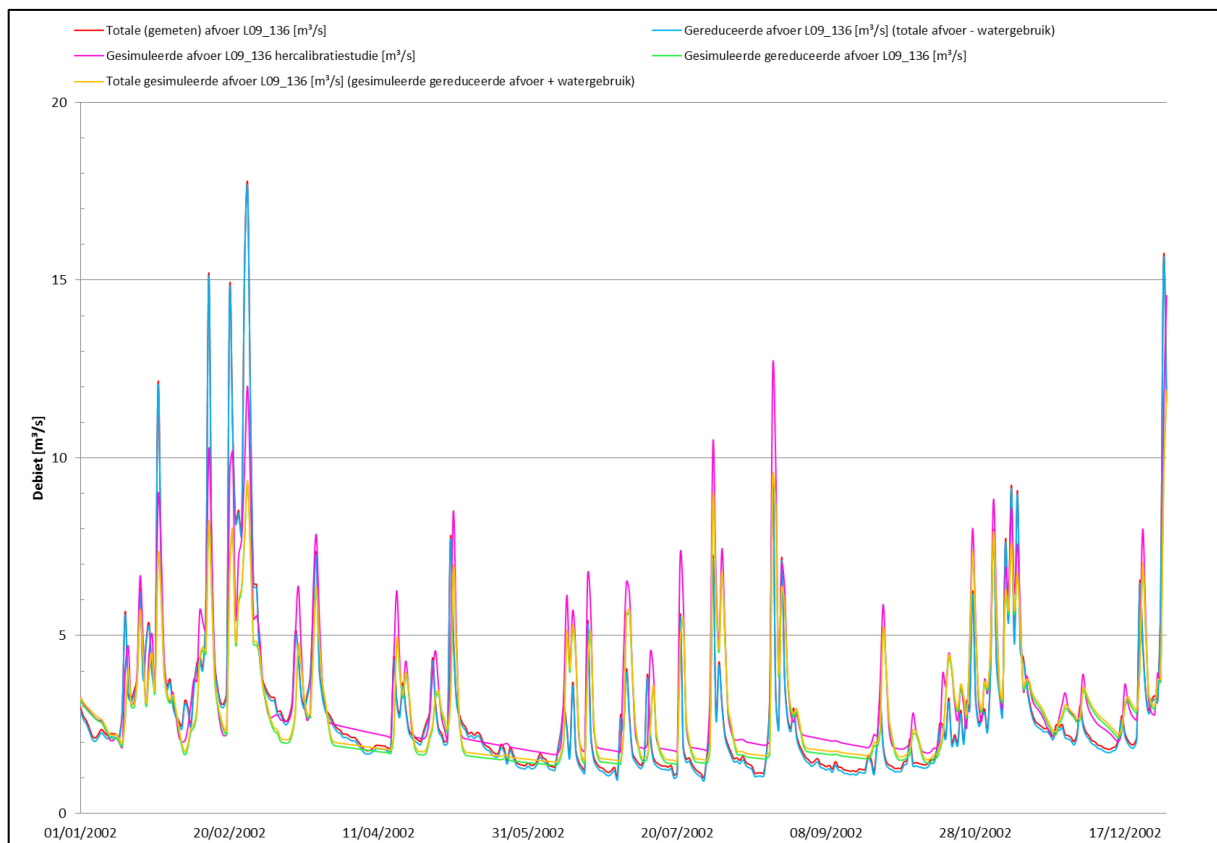
Figuur 86 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



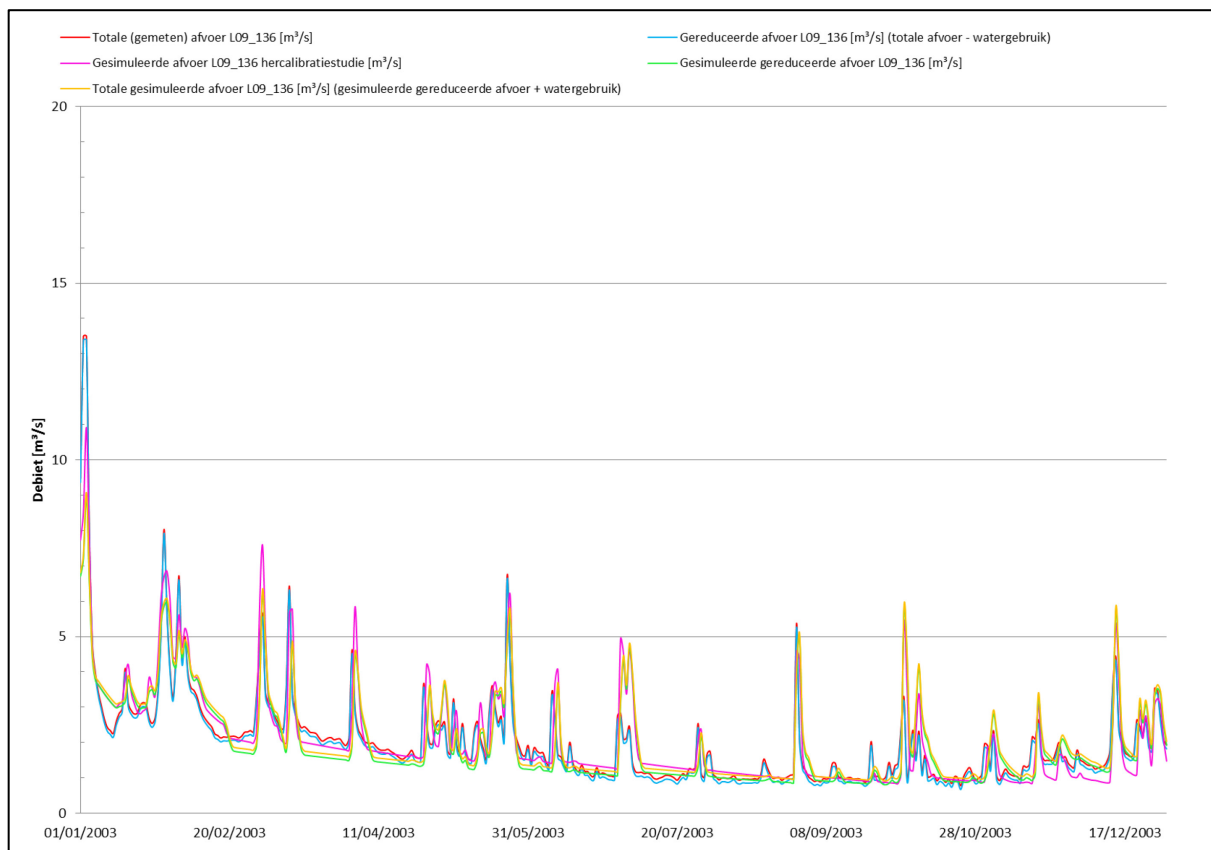
Figuur 87 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



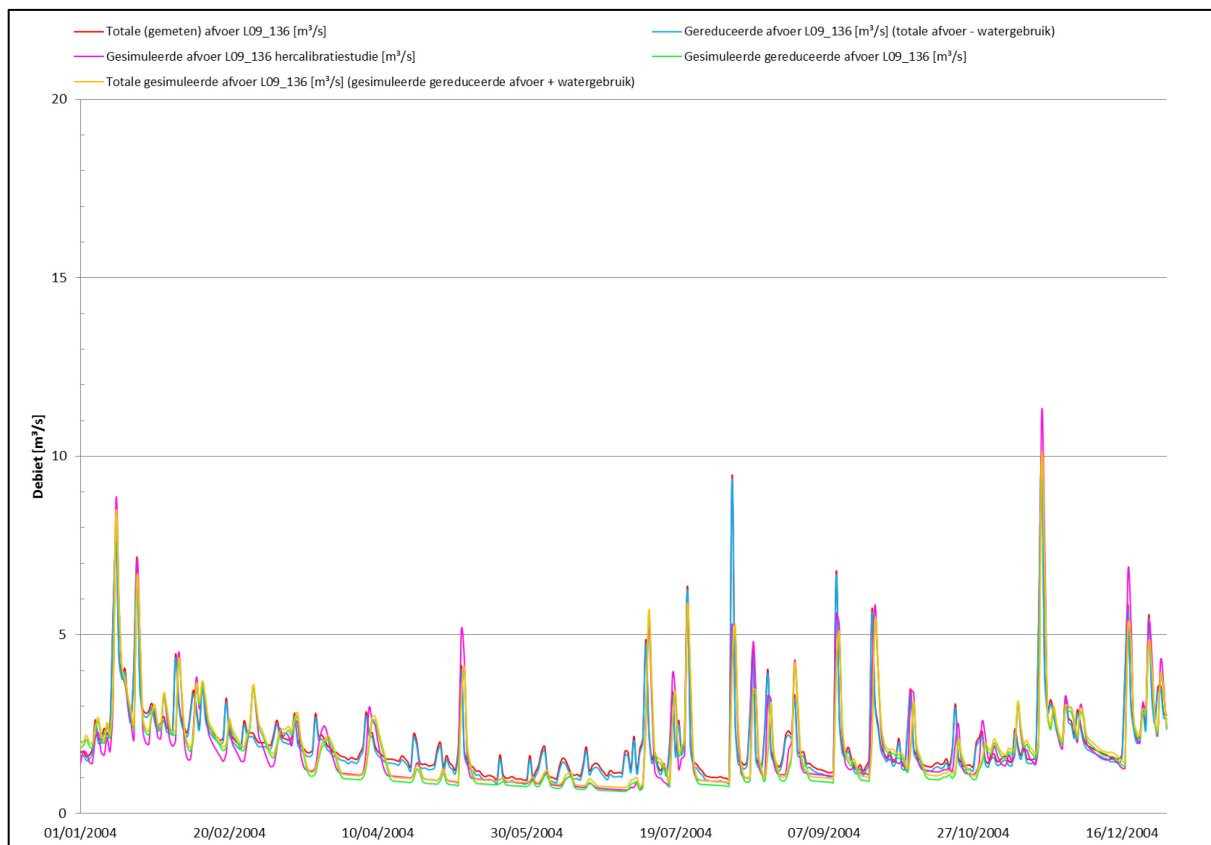
Figuur 88 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



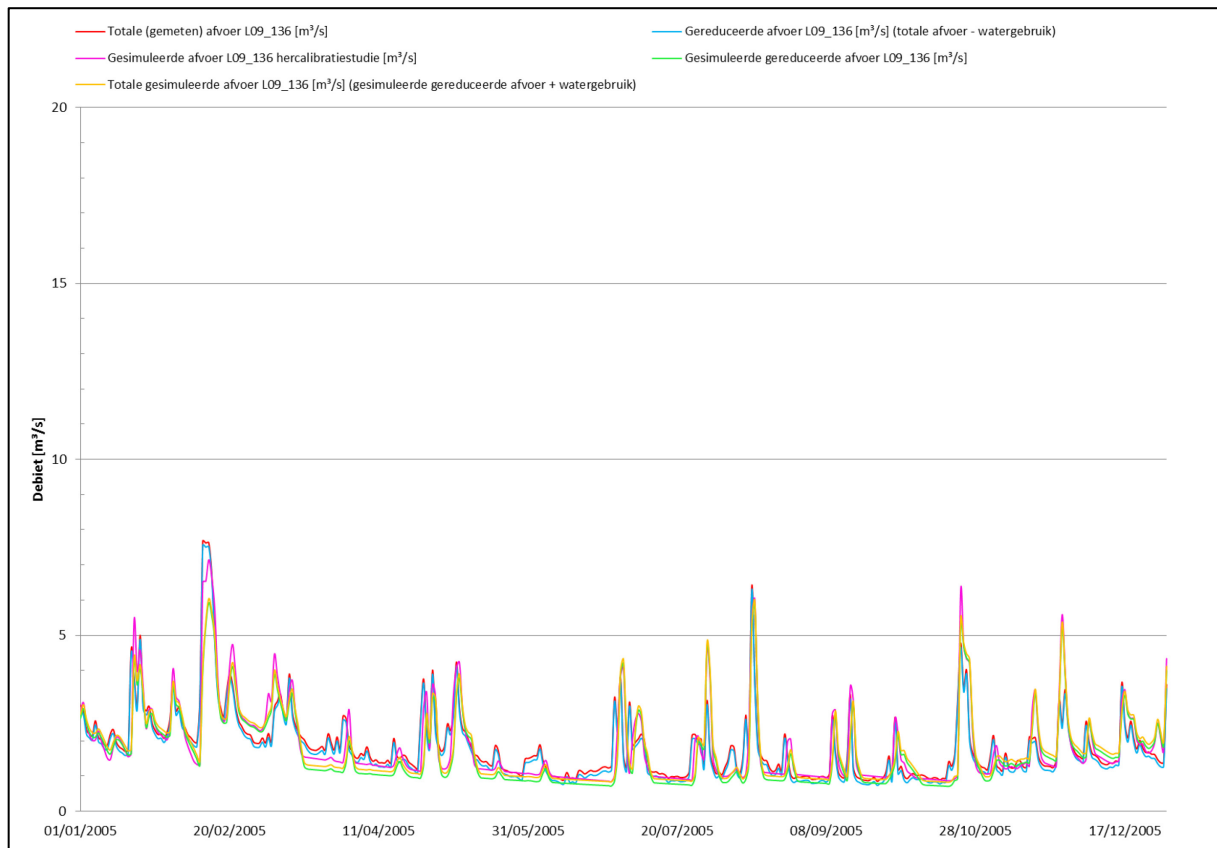
Figuur 89 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



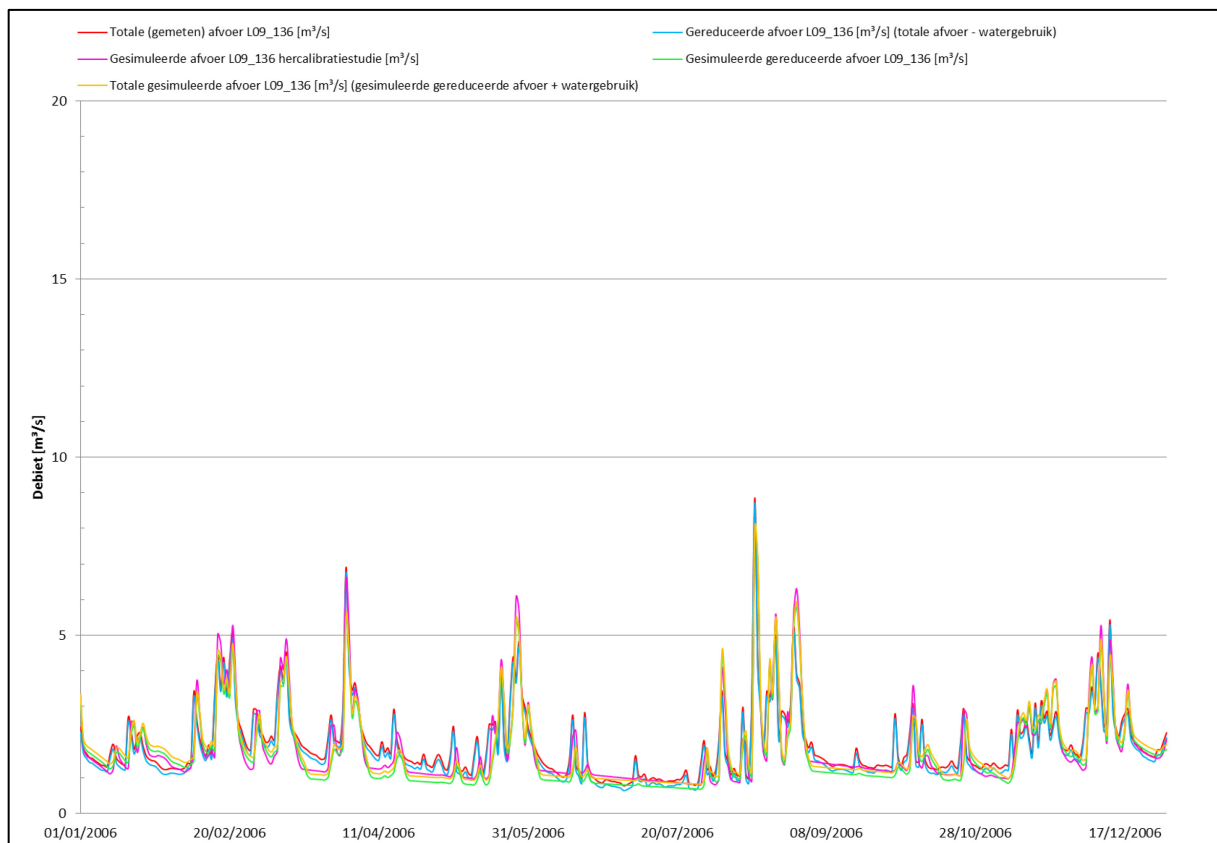
Figuur 90 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



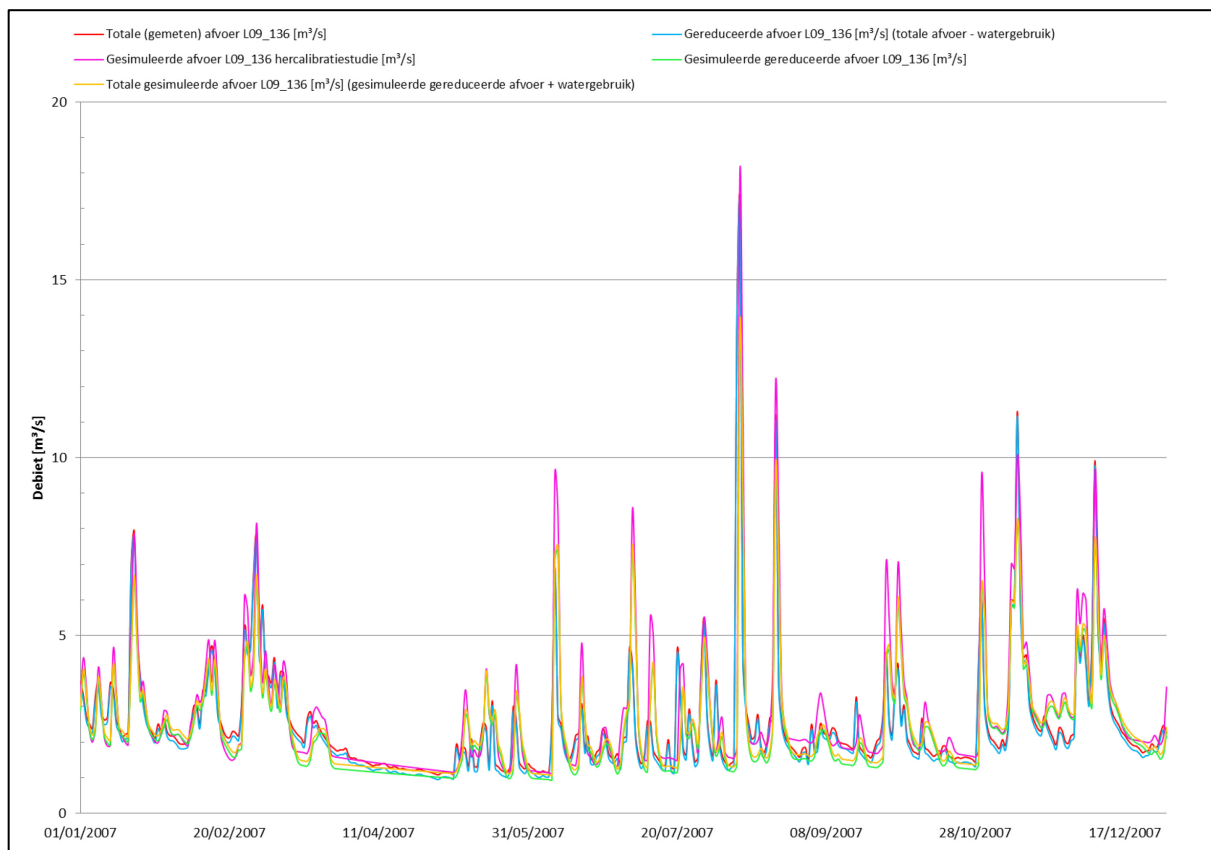
Figuur 91 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



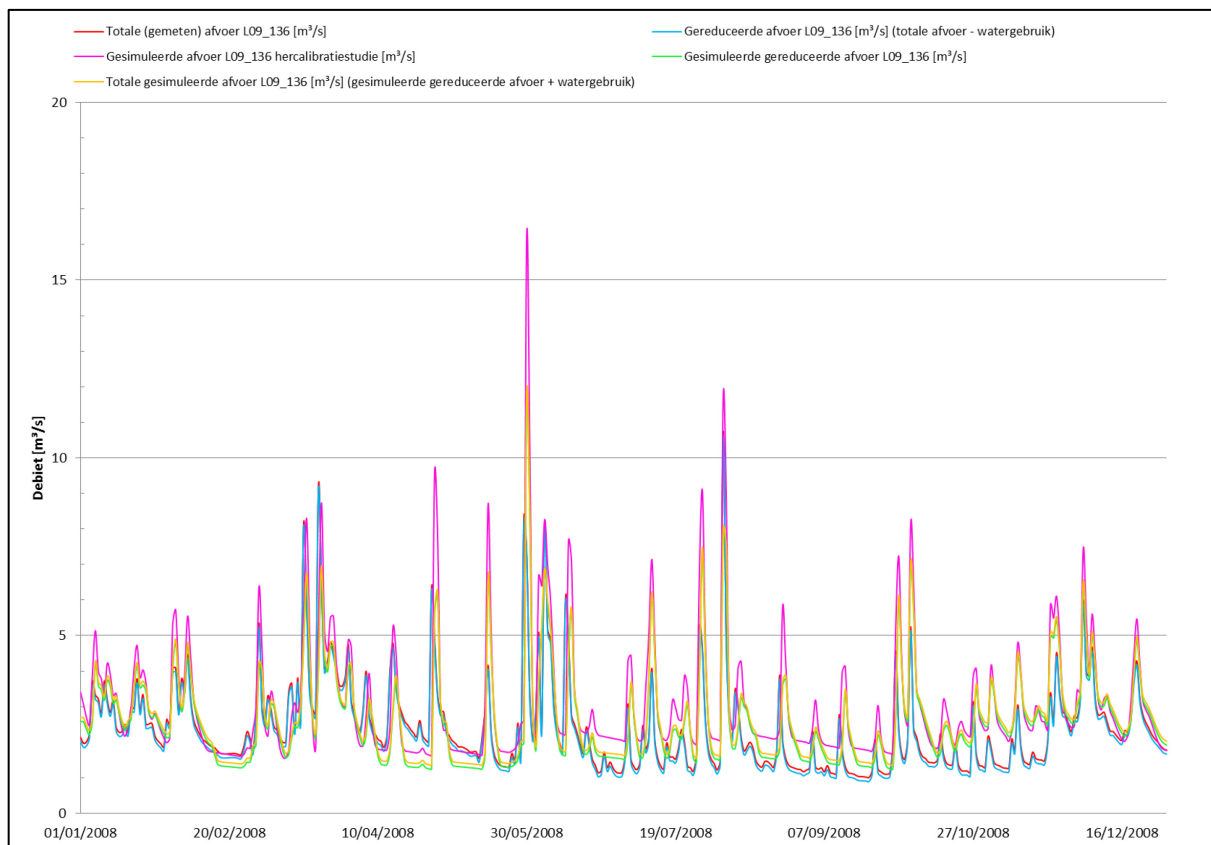
Figuur 92 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



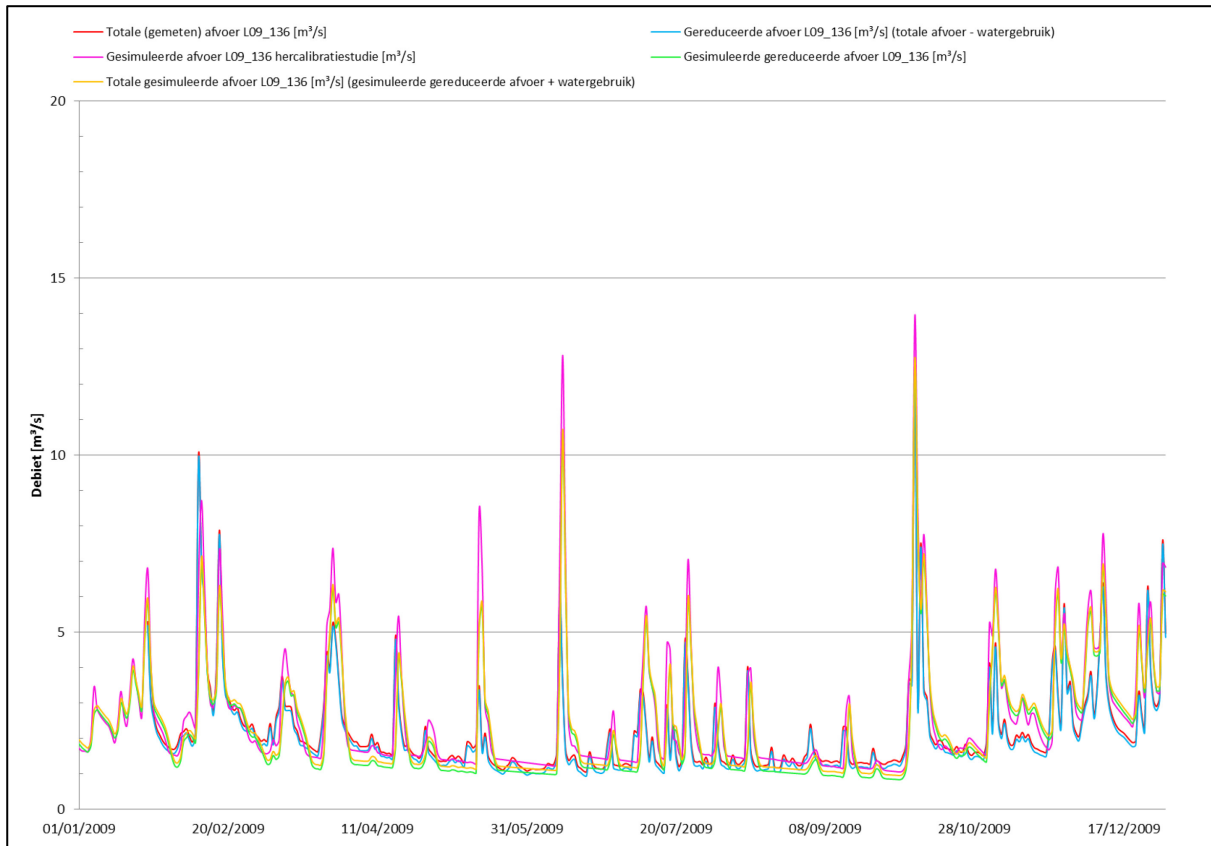
Figuur 93 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).



Figuur 94 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).

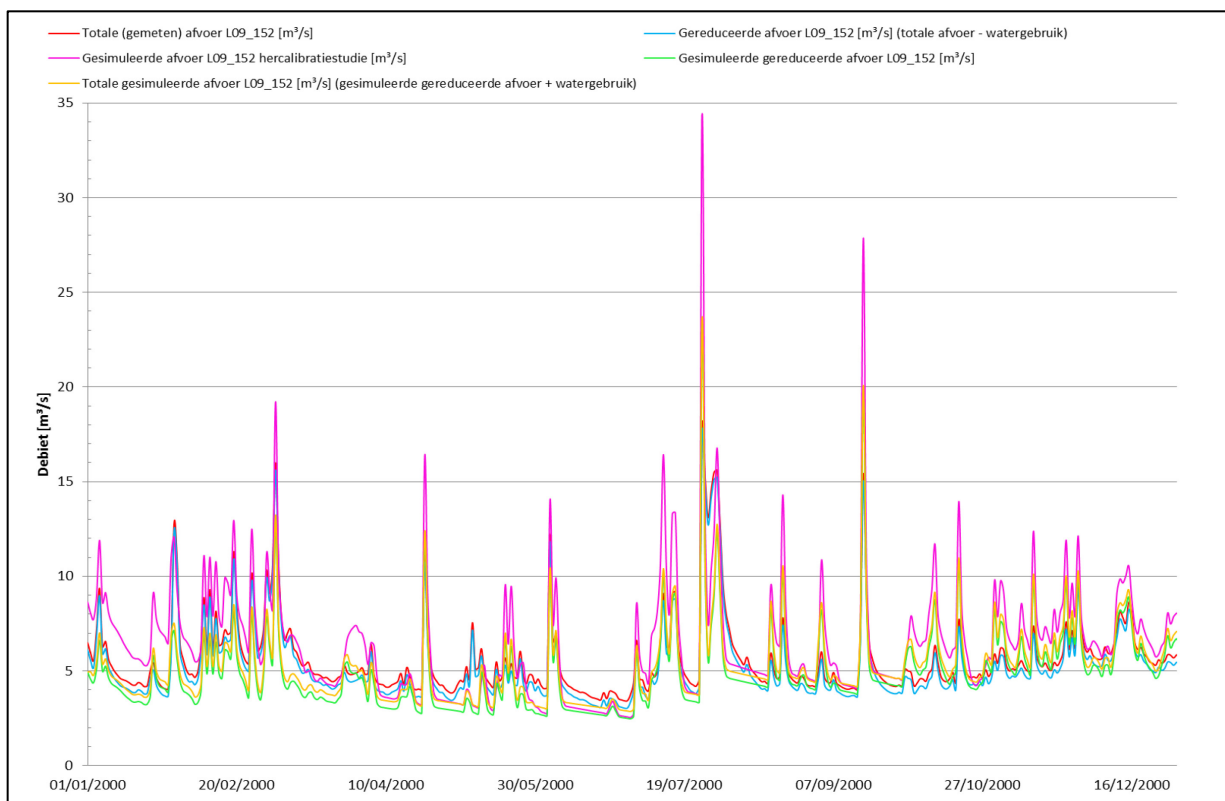


Figuur 95 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09DEM1360000 (Demer te Hasselt).

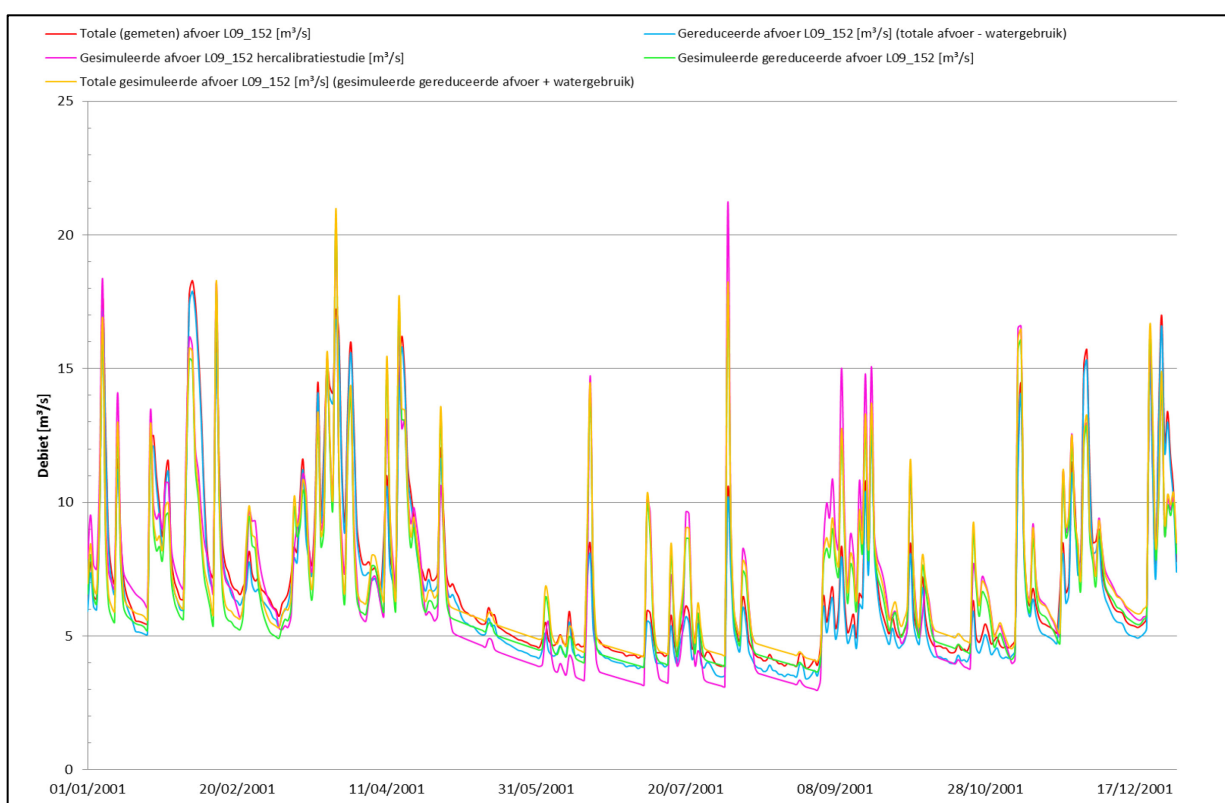


Station V09GET152080 (Gete te Halen)

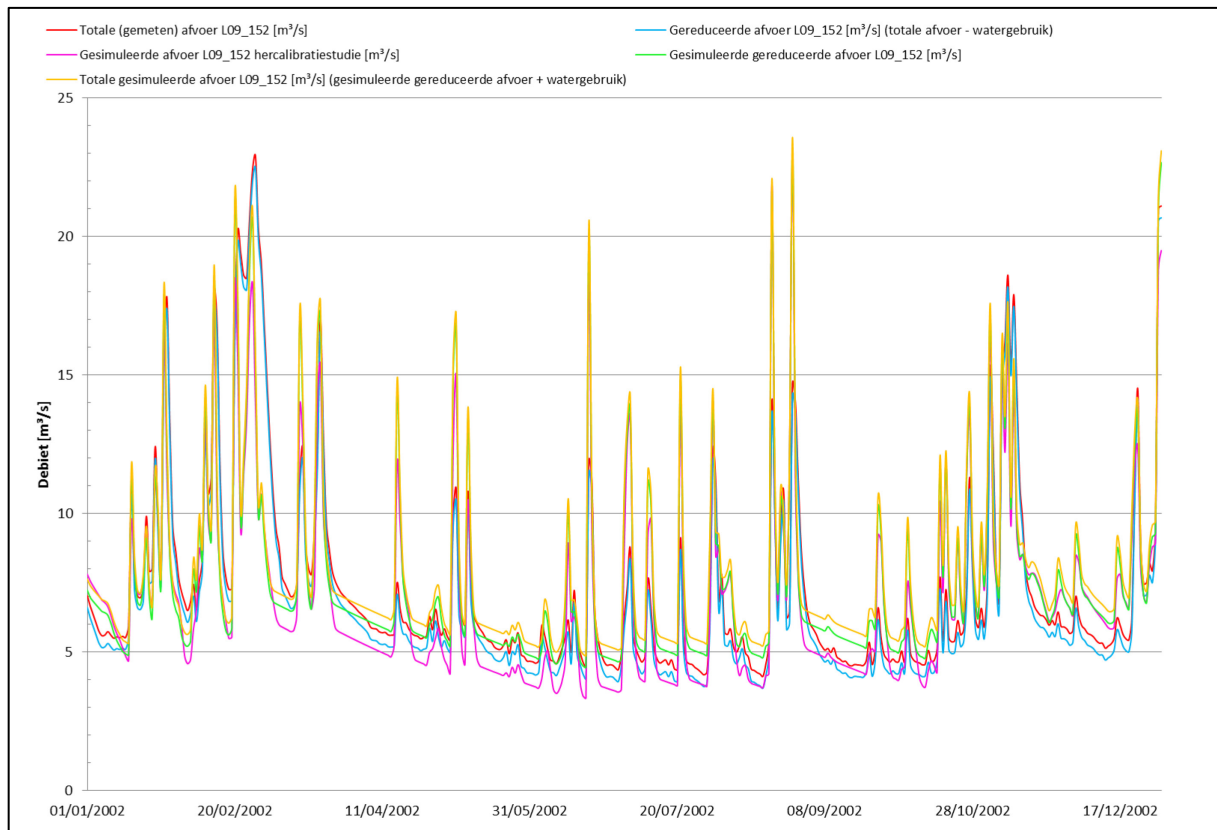
Figuur 96 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



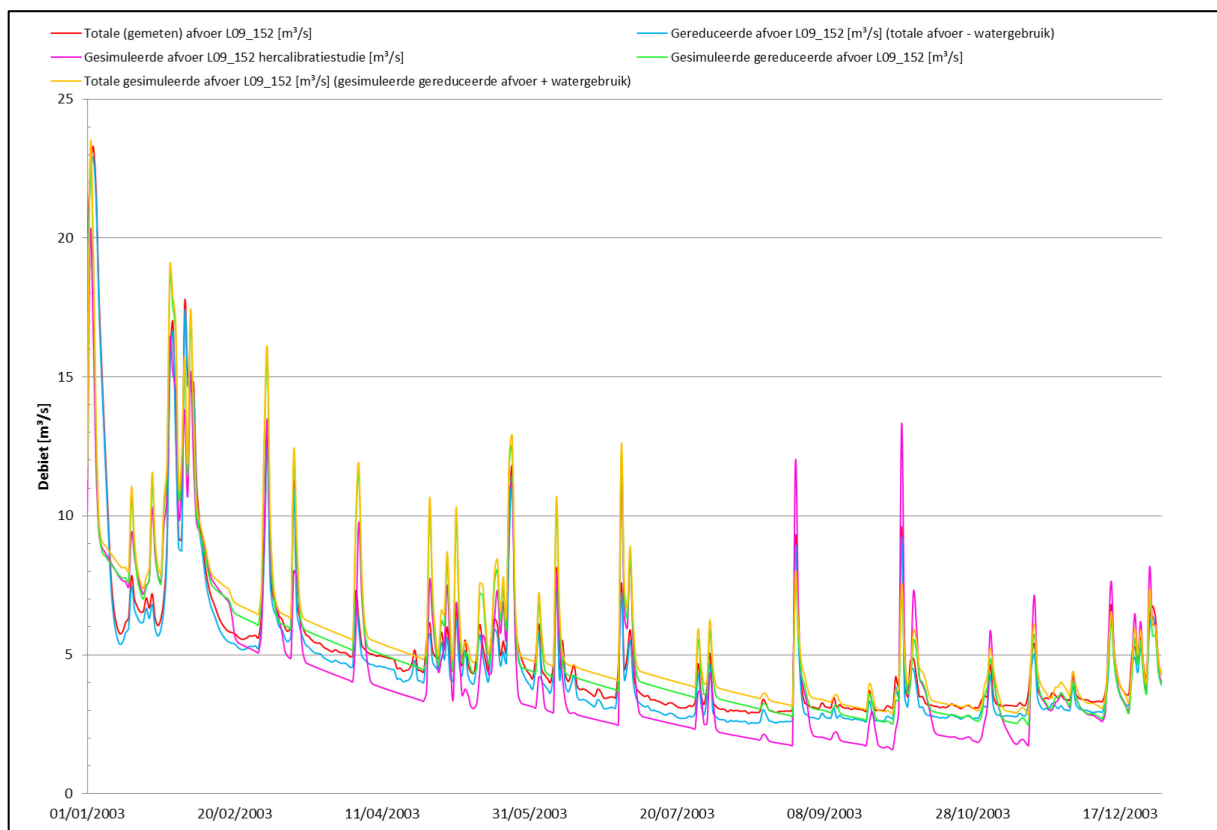
Figuur 97 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



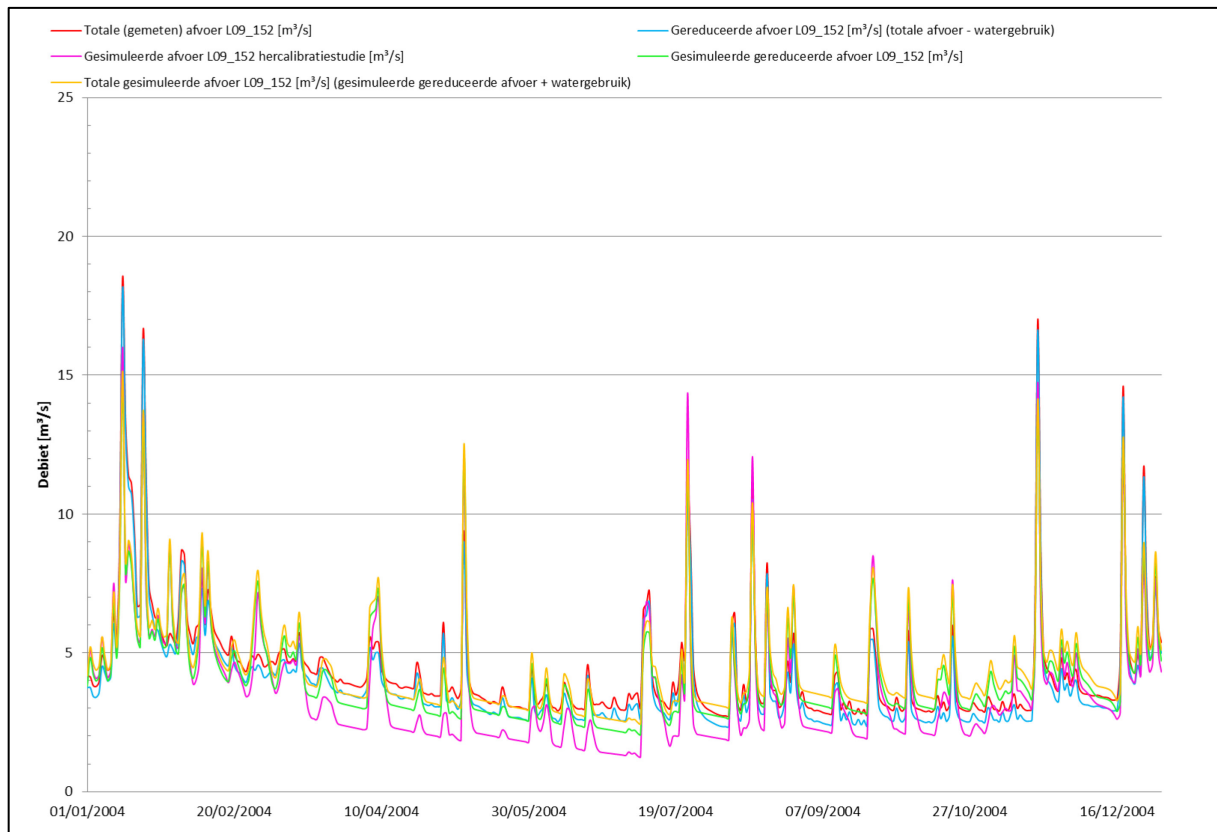
Figuur 98 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



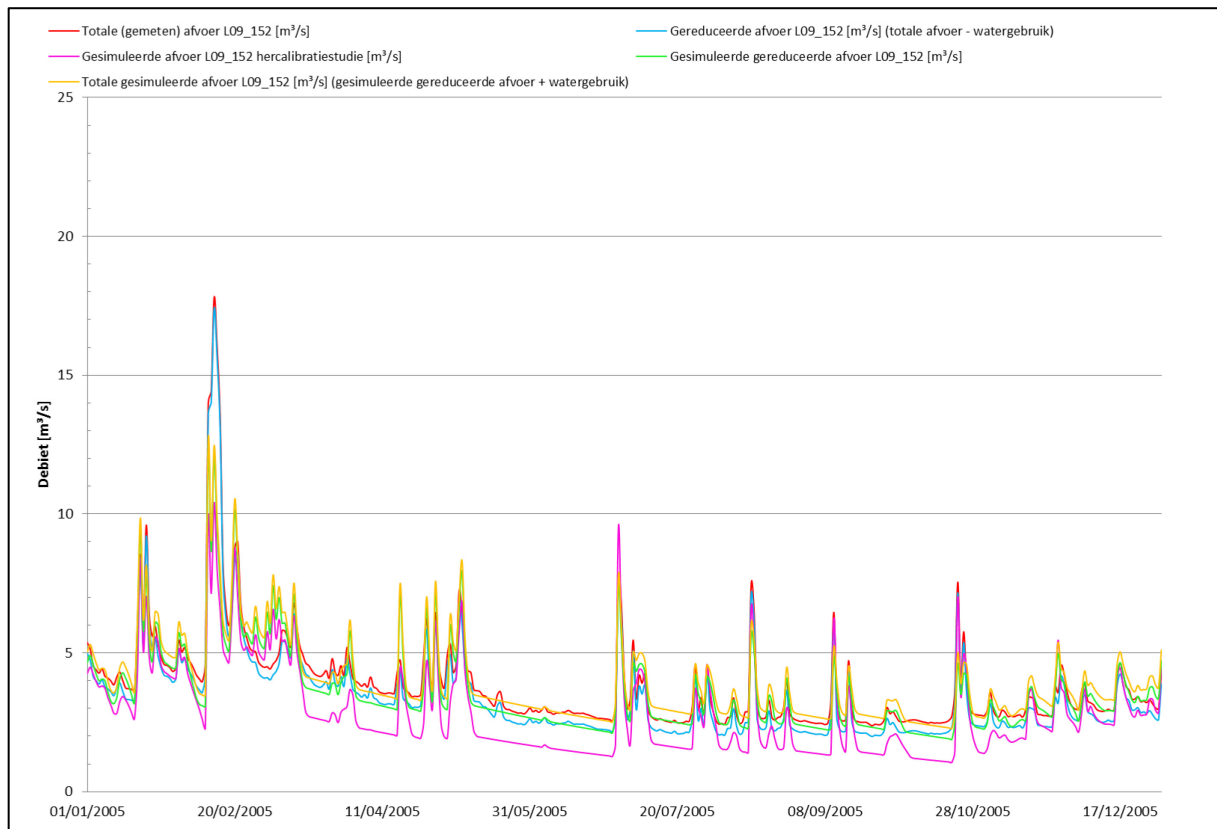
Figuur 99 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



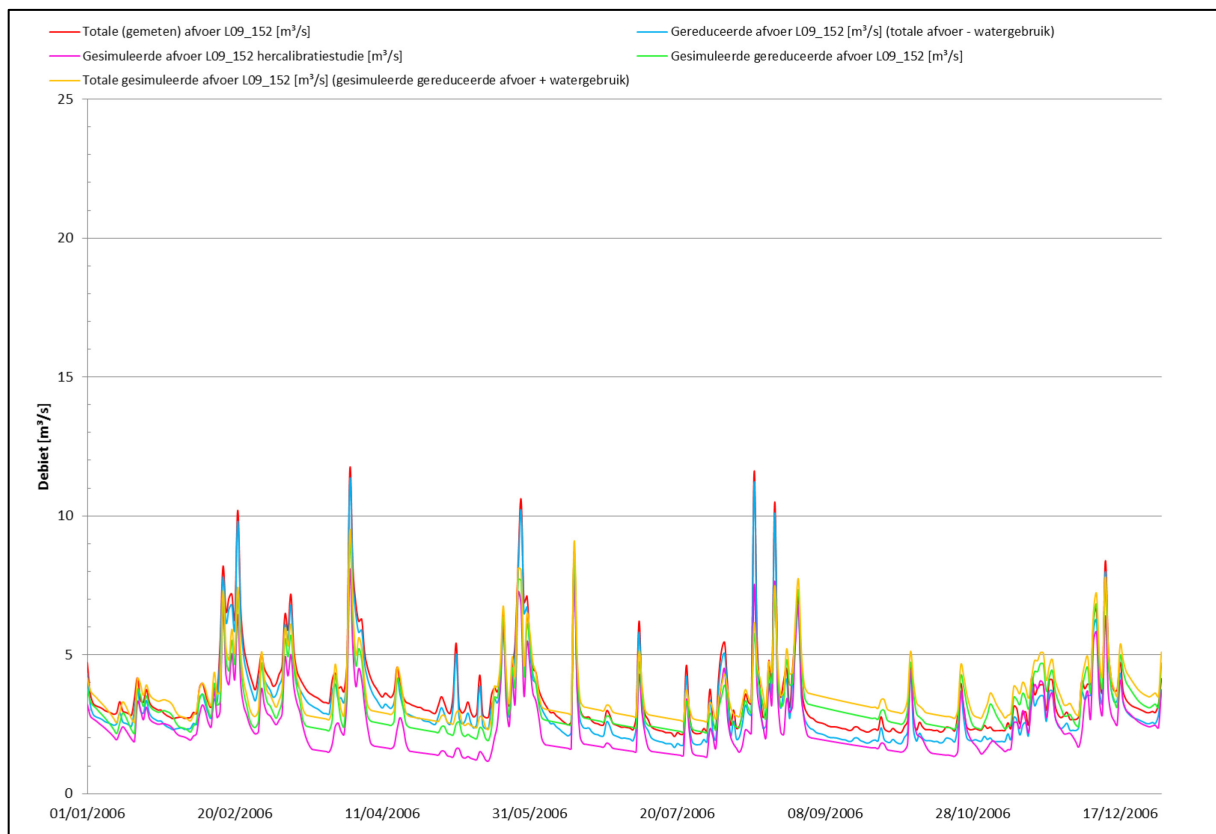
Figuur 100 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



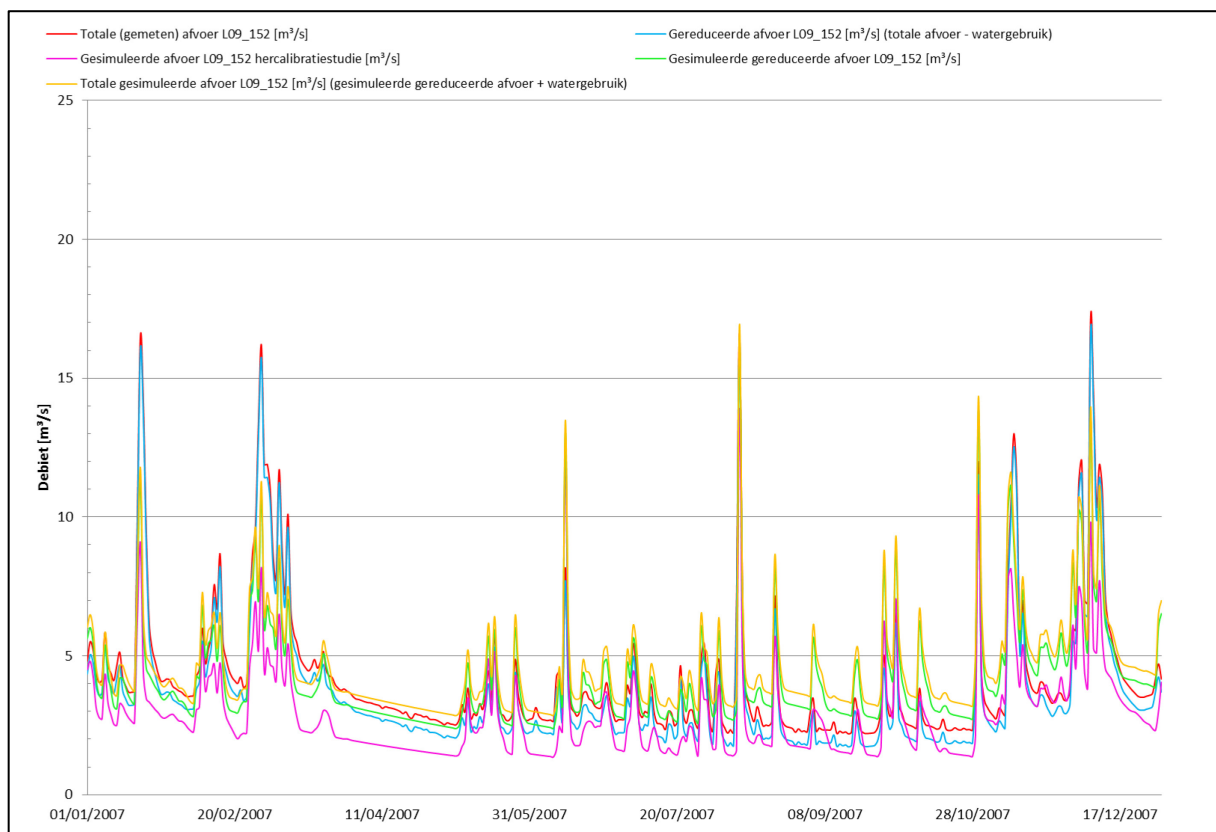
Figuur 101 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



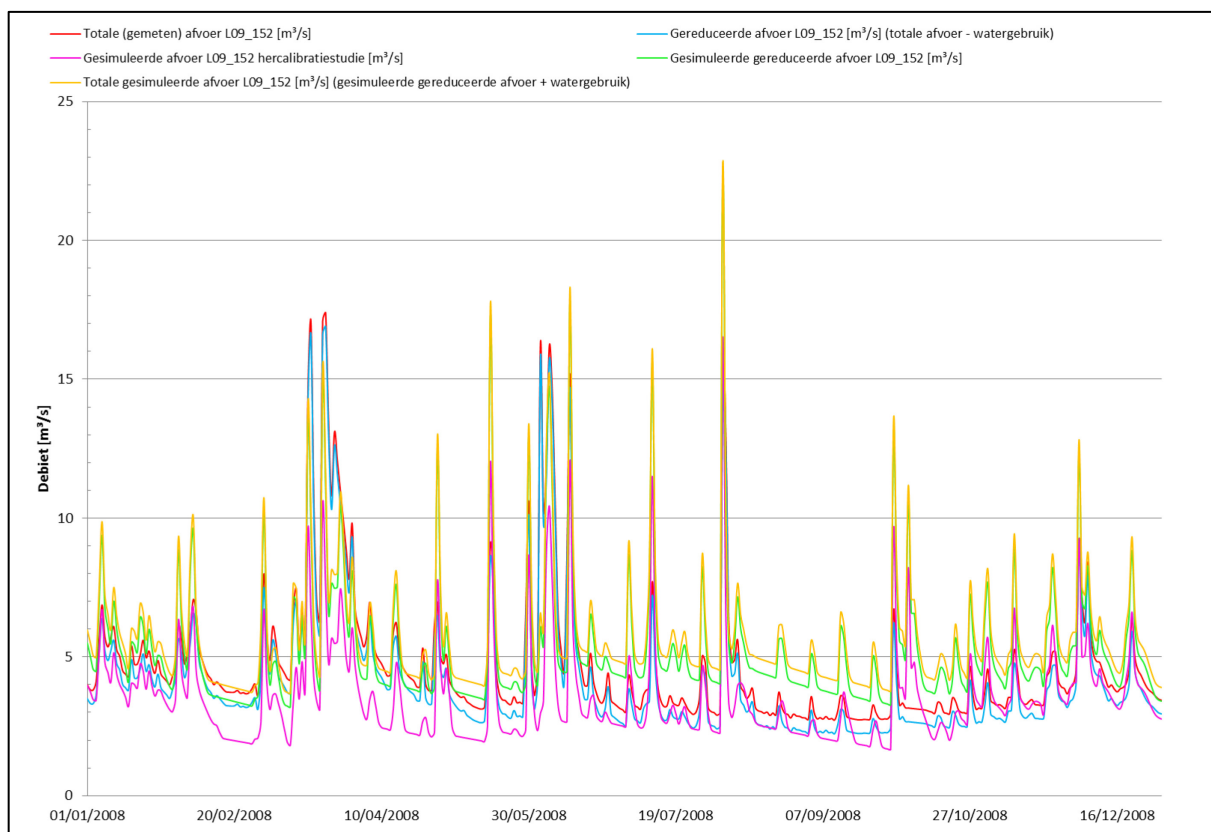
Figuur 102 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



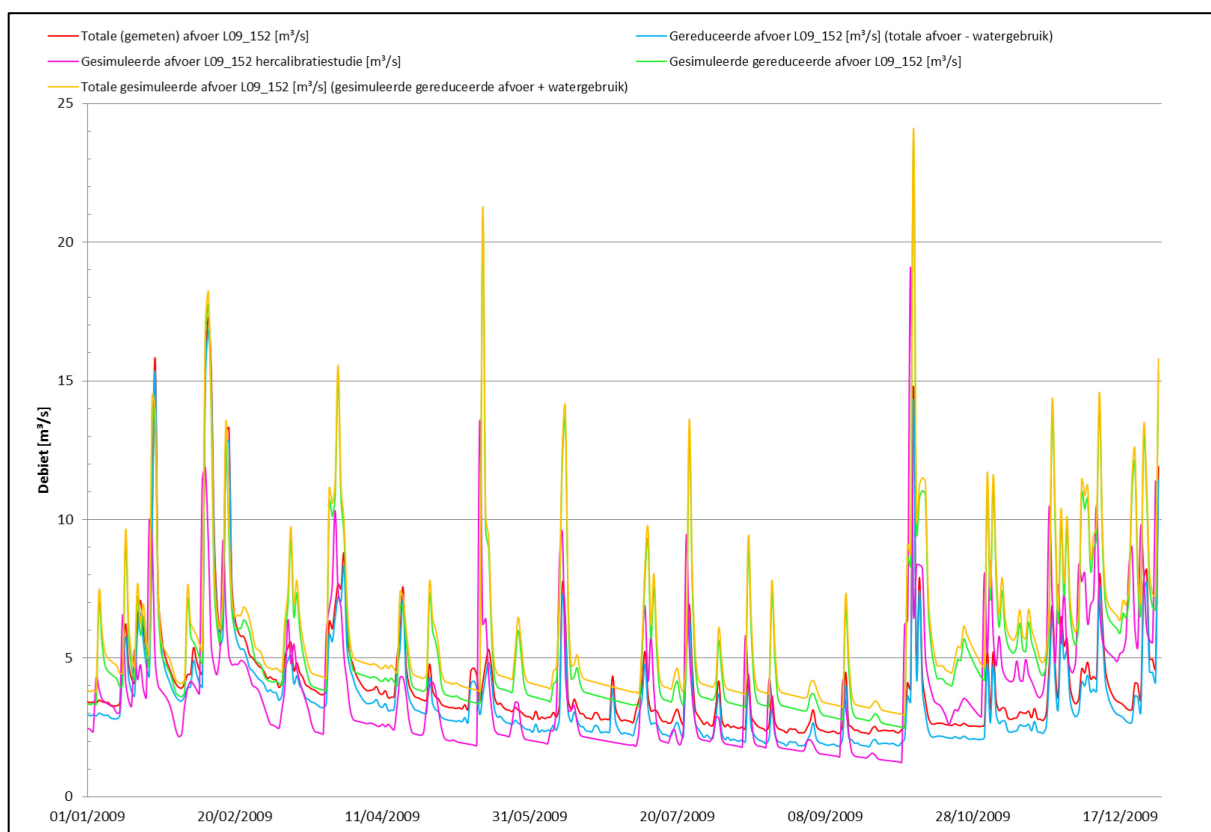
Figuur 103 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).



Figuur 104 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).

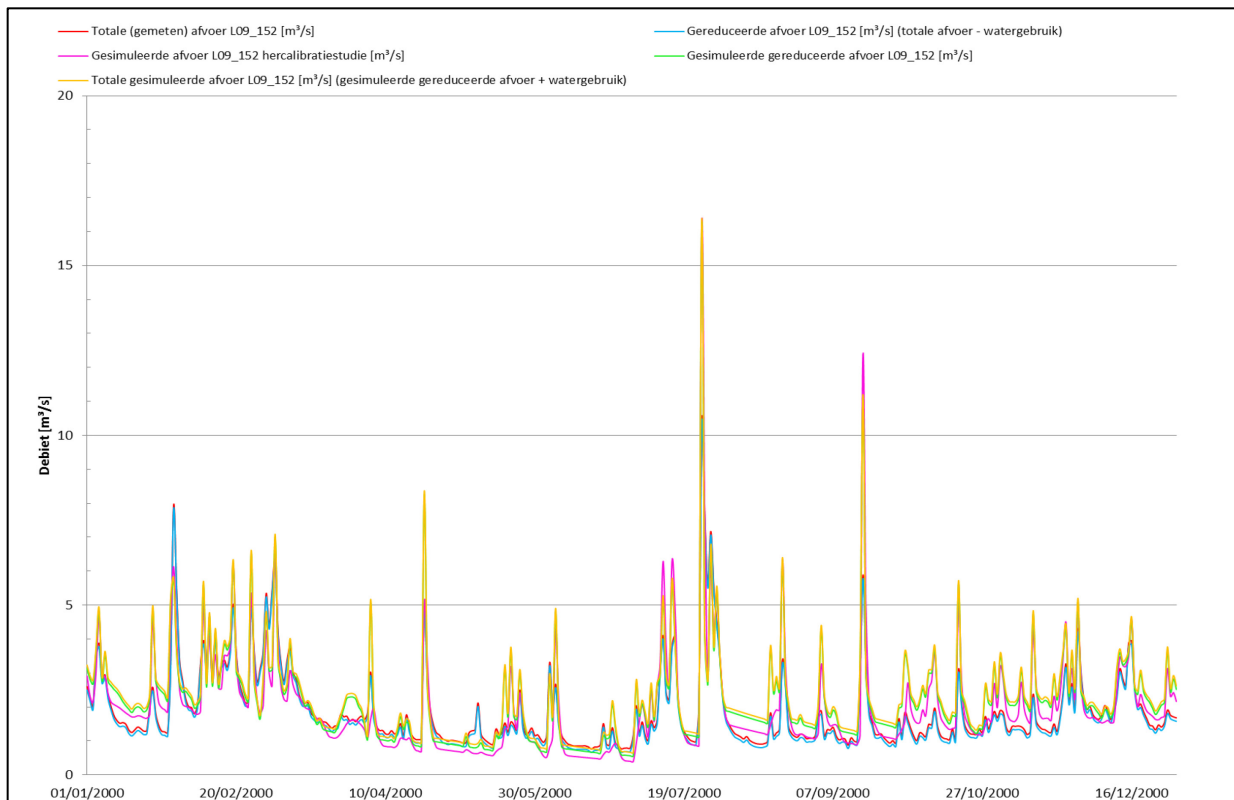


Figuur 105 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09GET152080 (Gete te Halen).

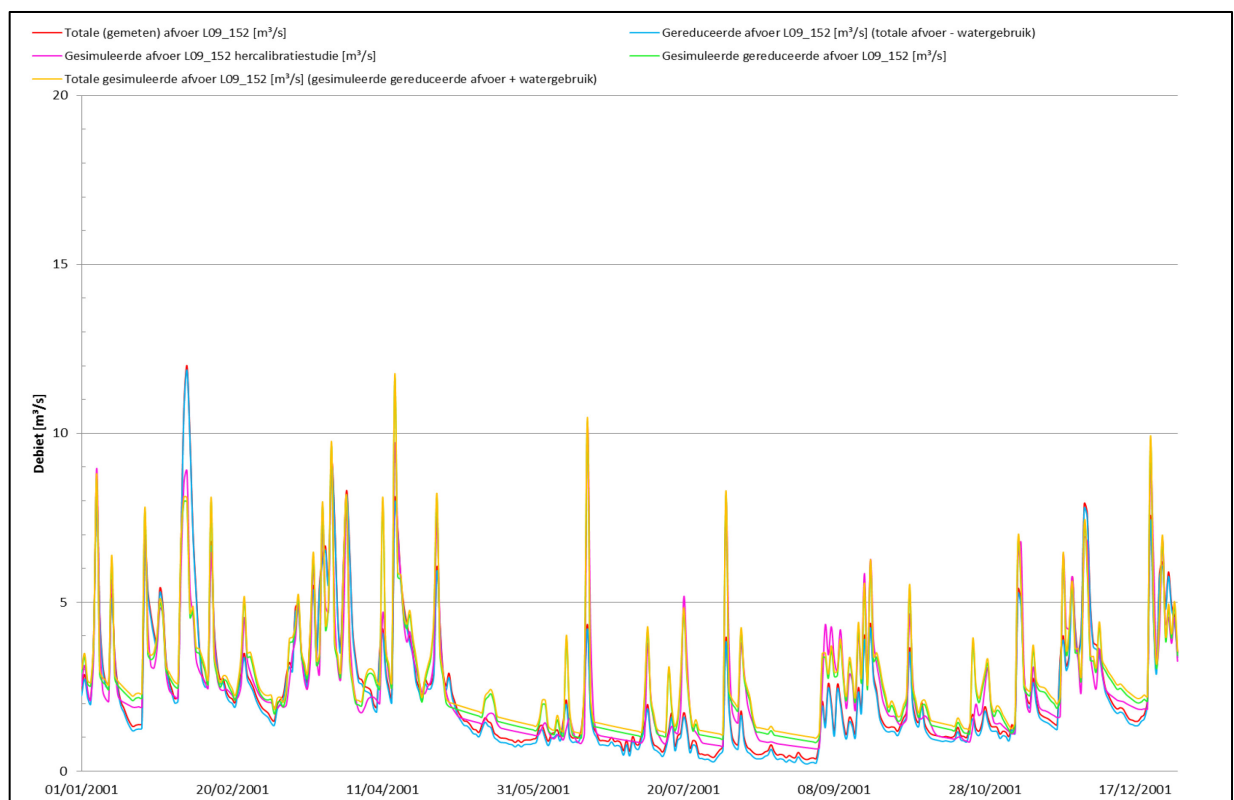


Station V09HER163010 (Spalbeek te Herk)

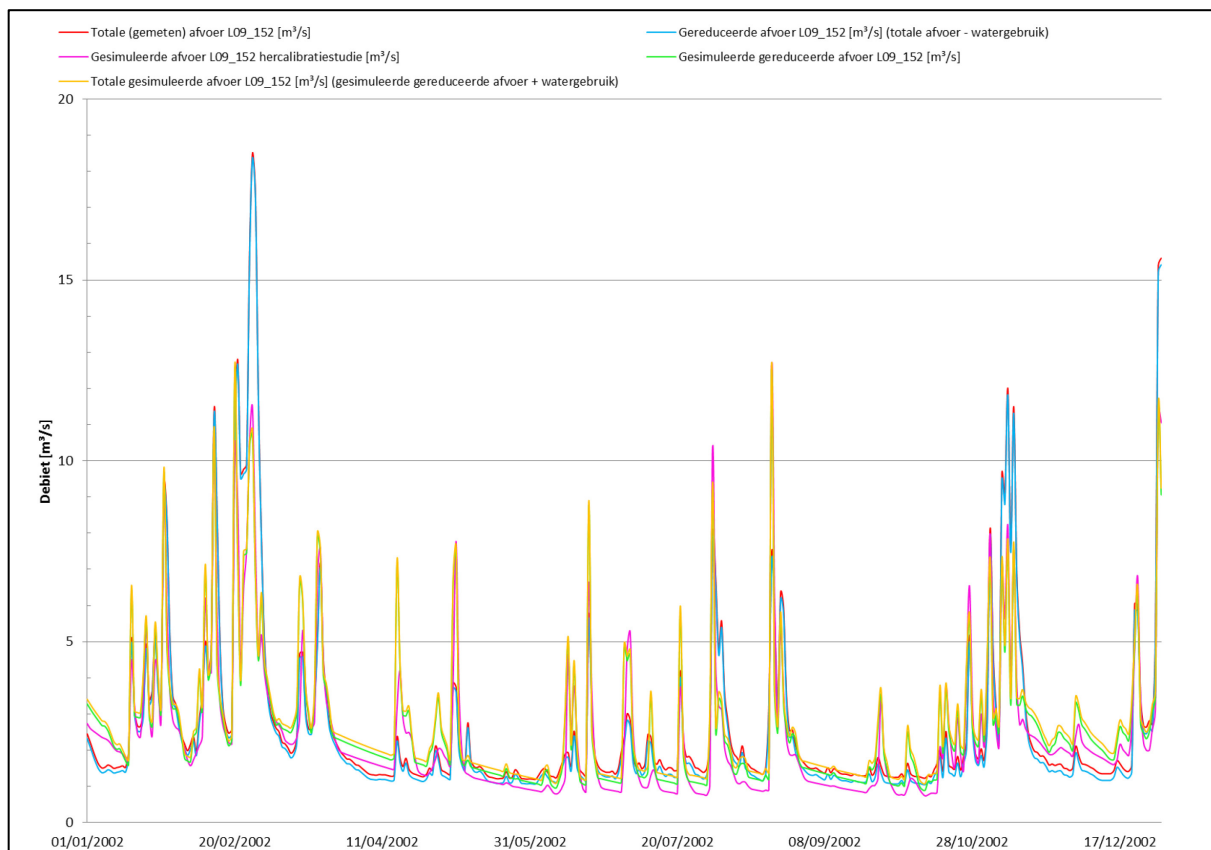
Figuur 106 – Resultaten (2000) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



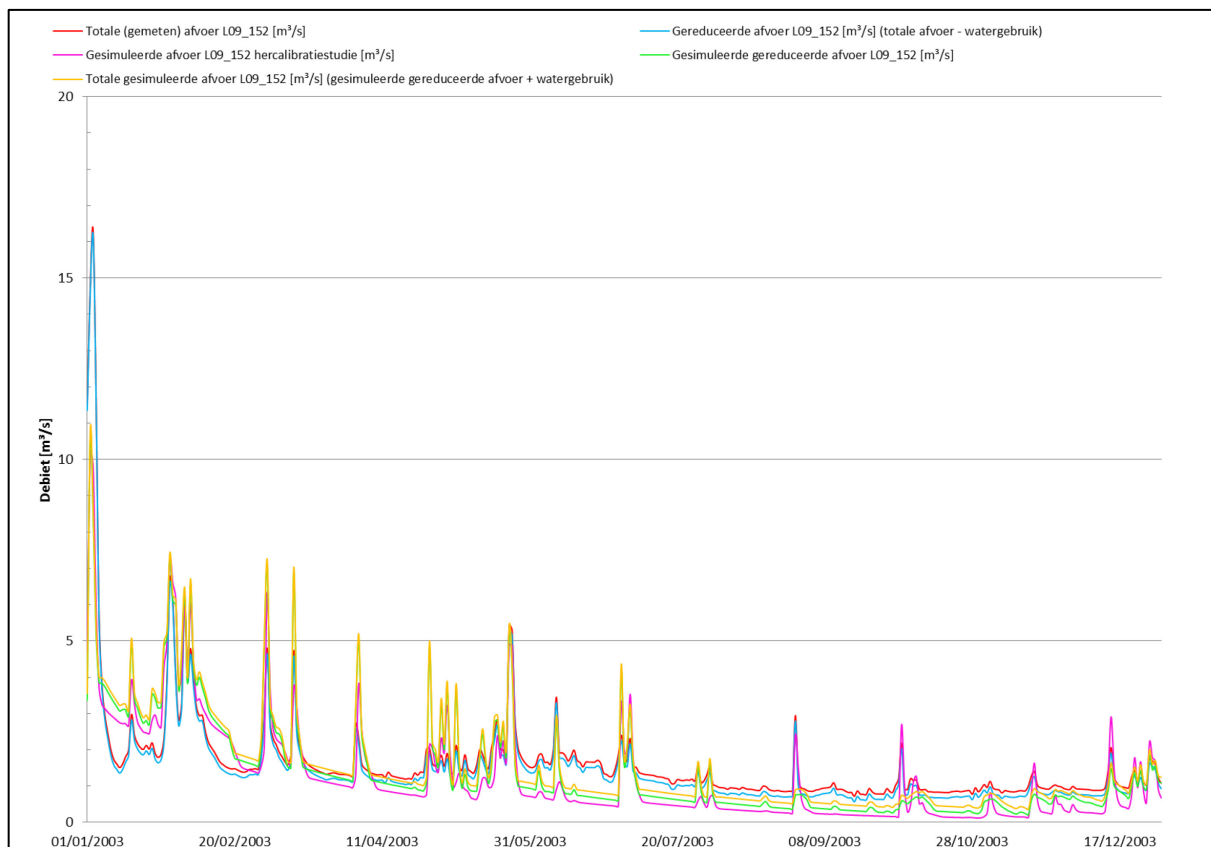
Figuur 107 – Resultaten (2001) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



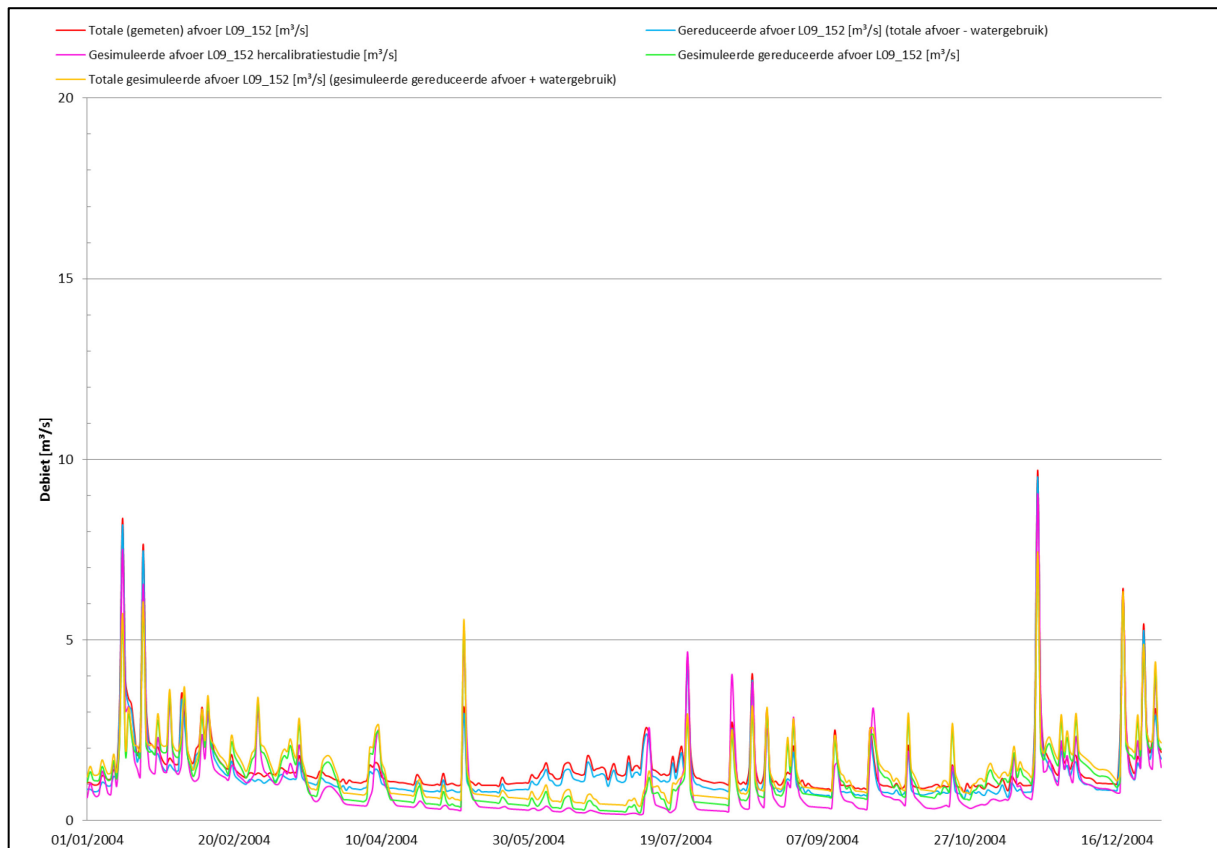
Figuur 108 – Resultaten (2002) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



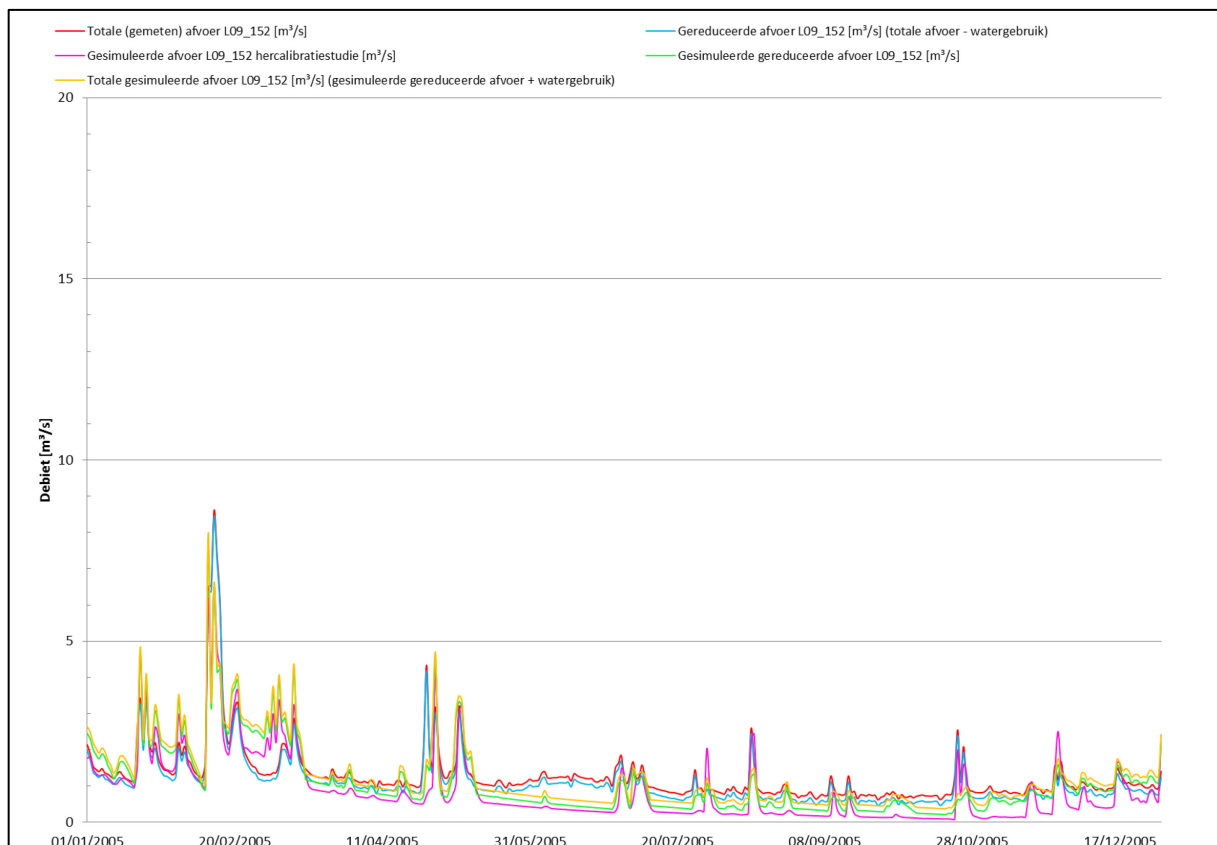
Figuur 109 – Resultaten (2003) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



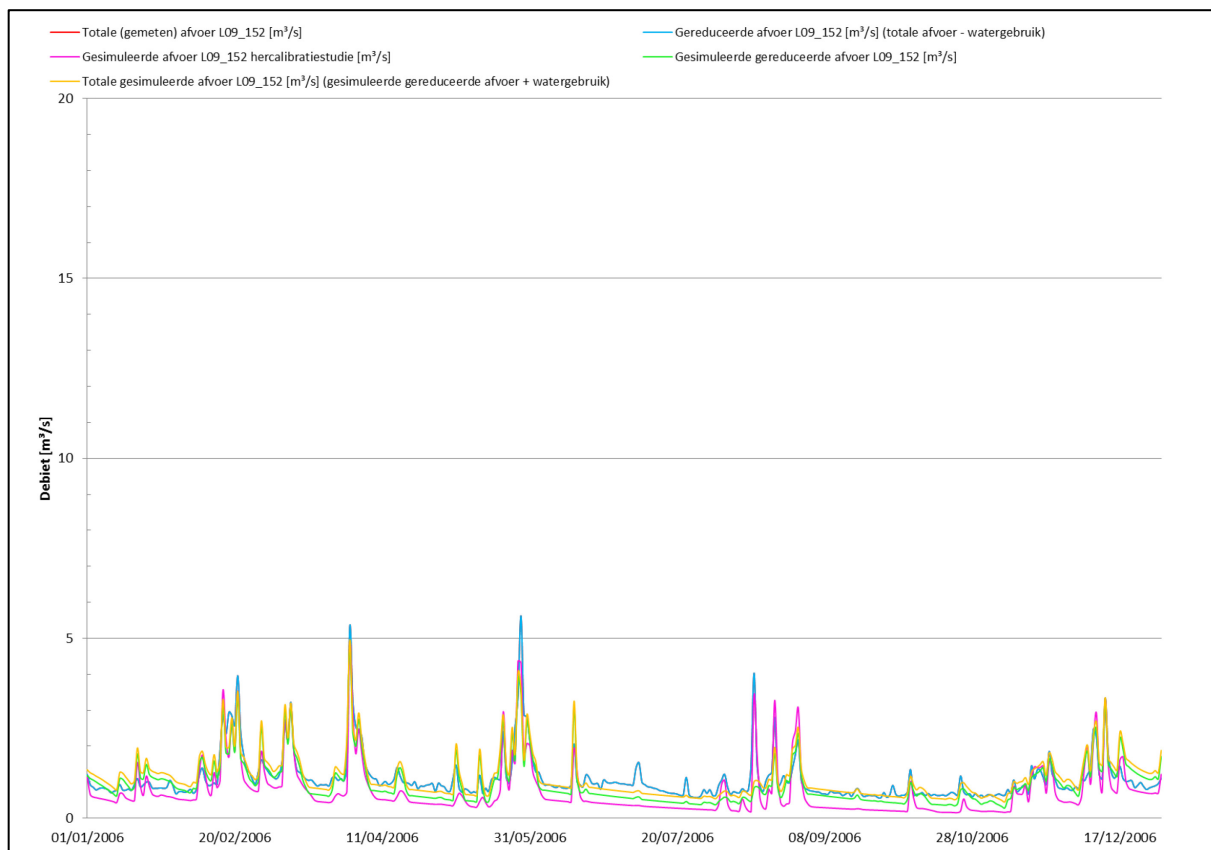
Figuur 110 – Resultaten (2004) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



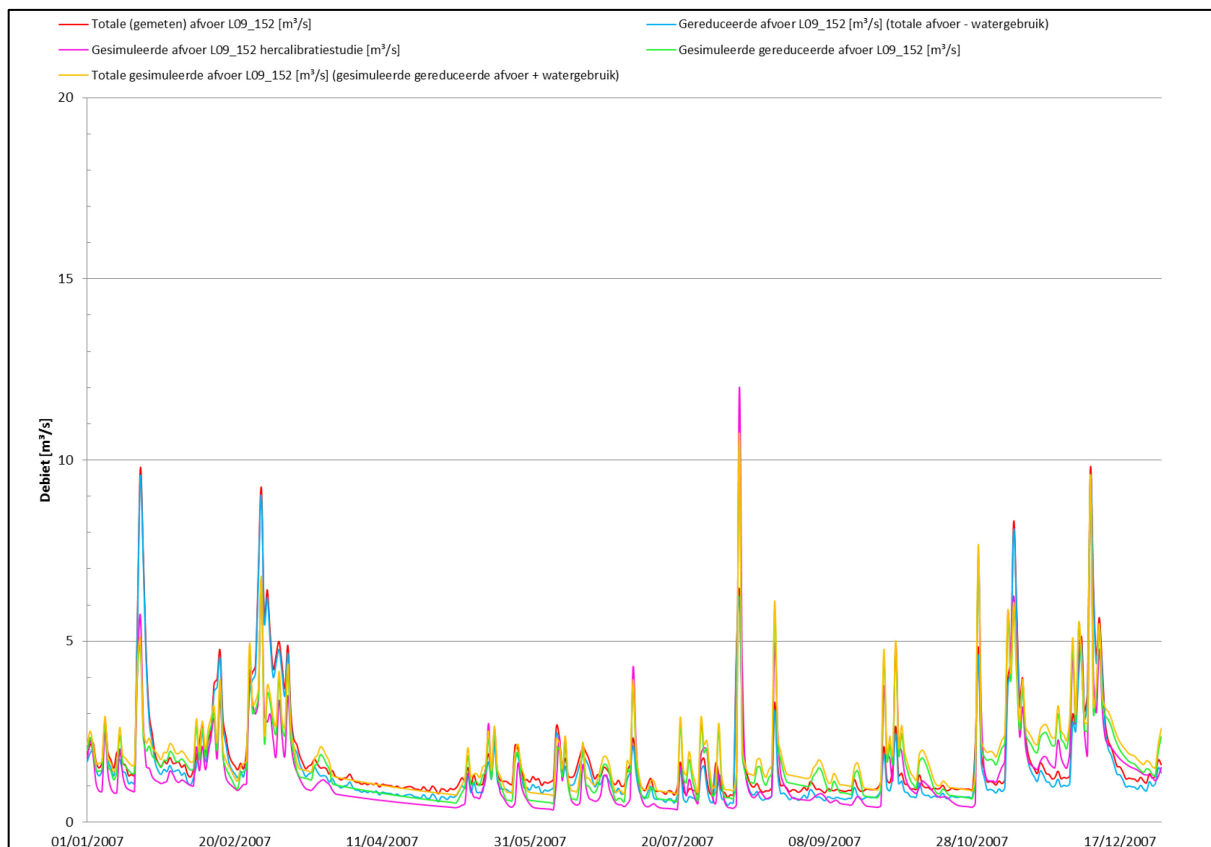
Figuur 111 – Resultaten (2005) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



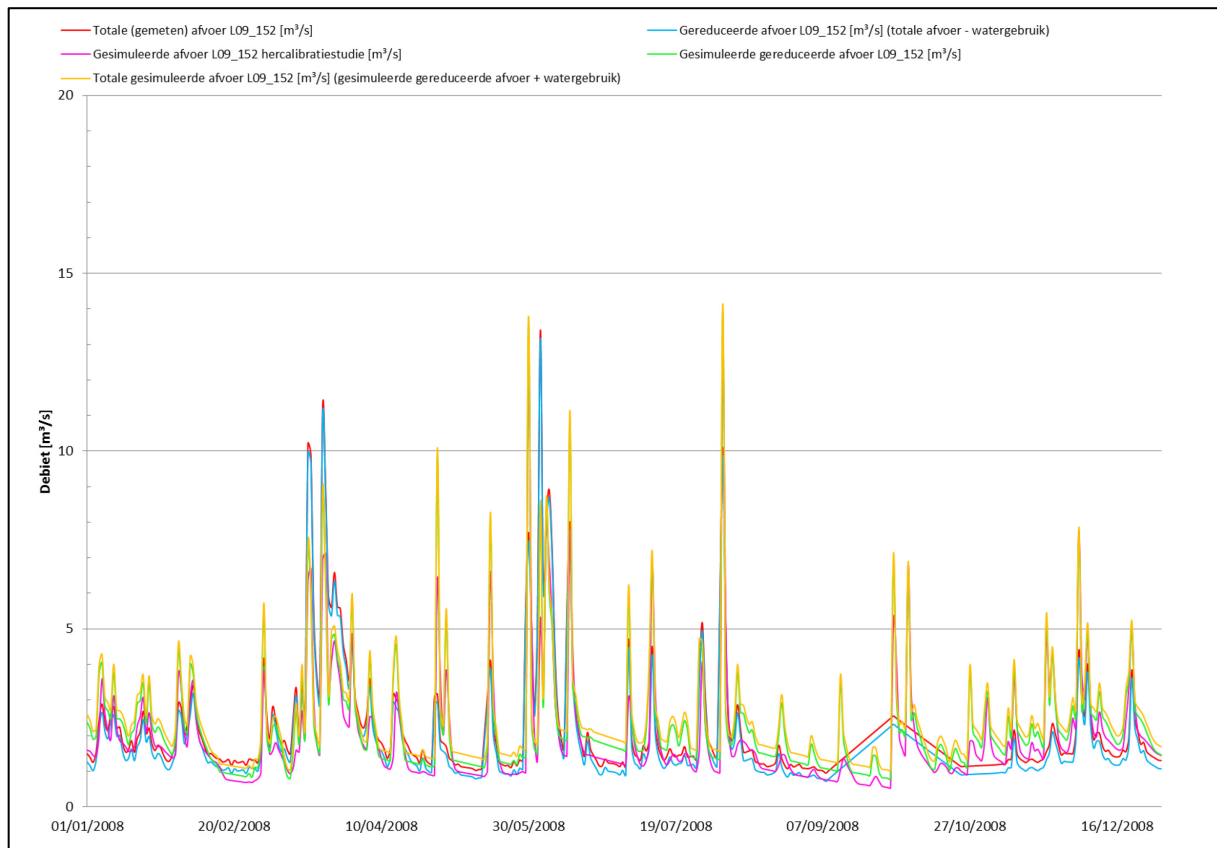
Figuur 112 – Resultaten (2006) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



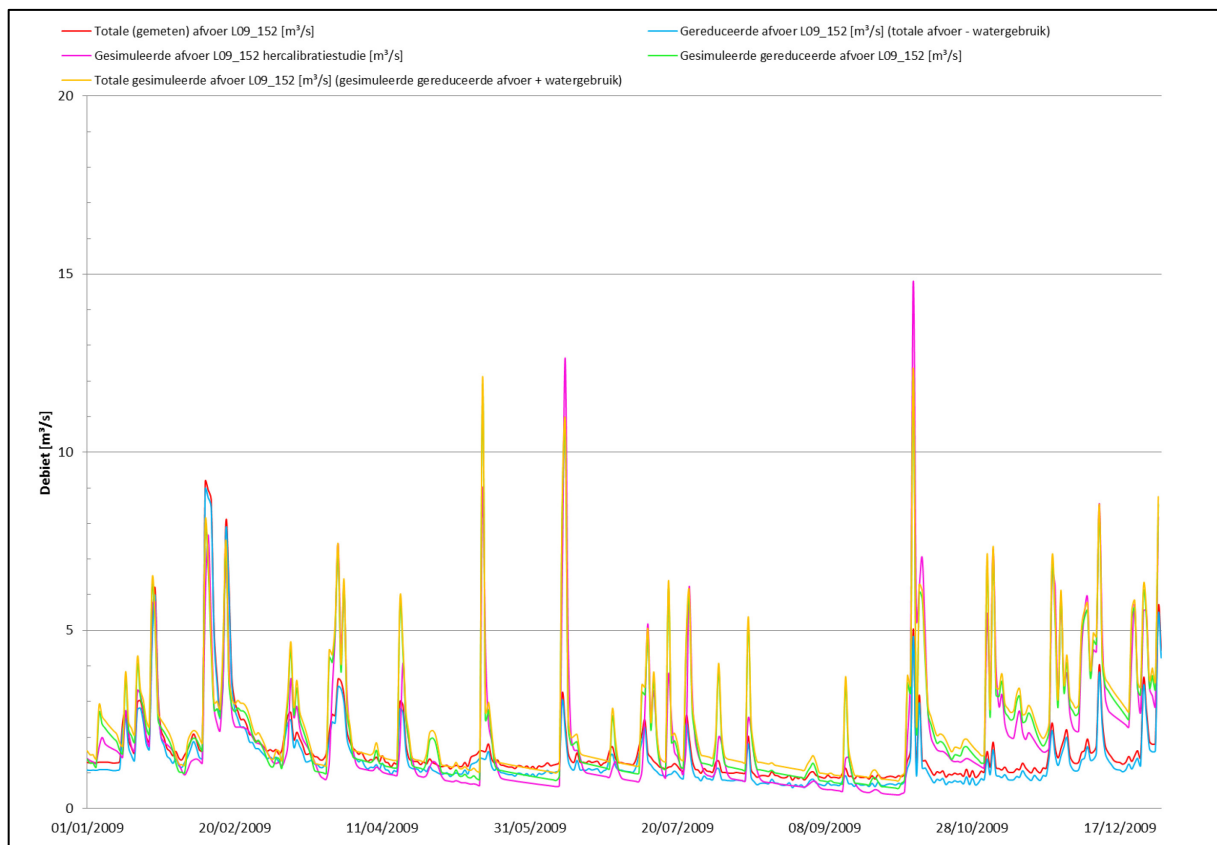
Figuur 113 – Resultaten (2007) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).



Figuur 114 – Resultaten (2008) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).

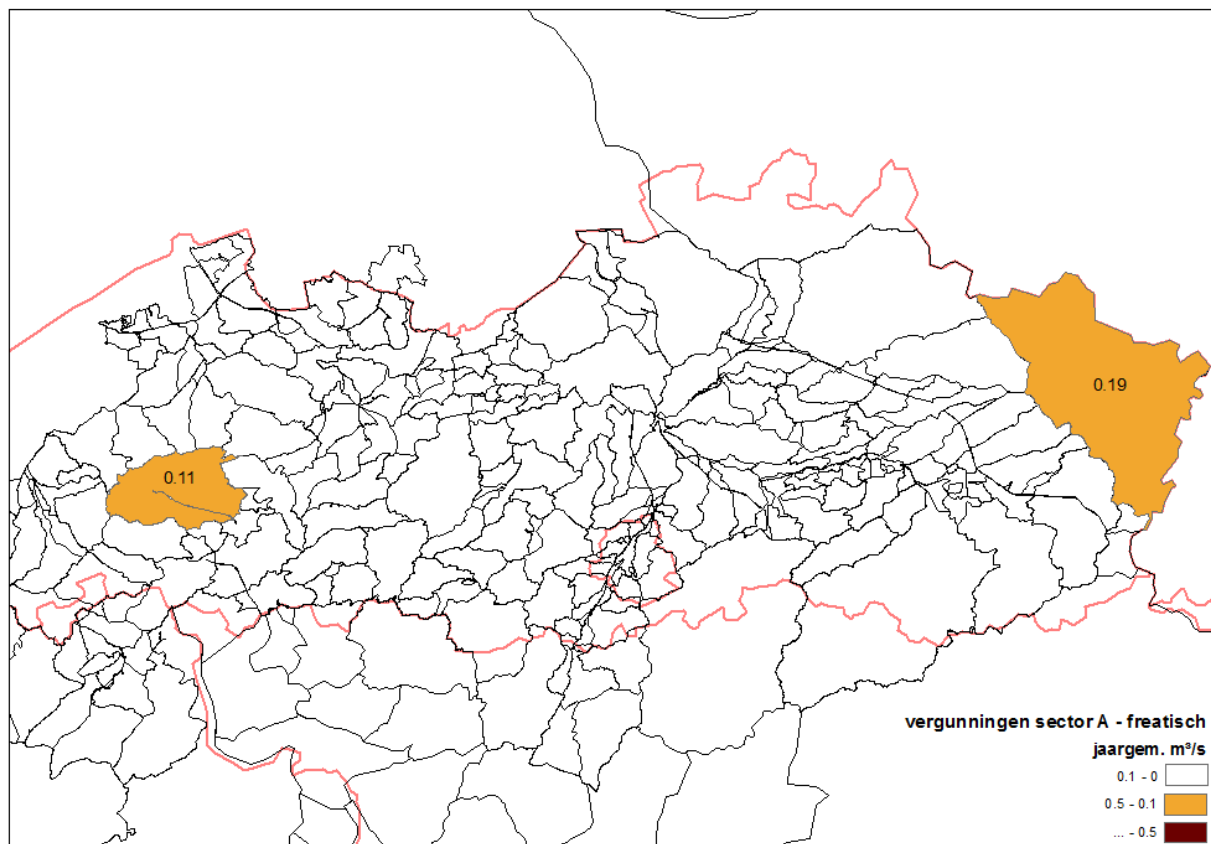


Figuur 115 – Resultaten (2009) herkalibratie hydrologische model deelstroomgebied V09HER163010 (Spalbeek te Herk).

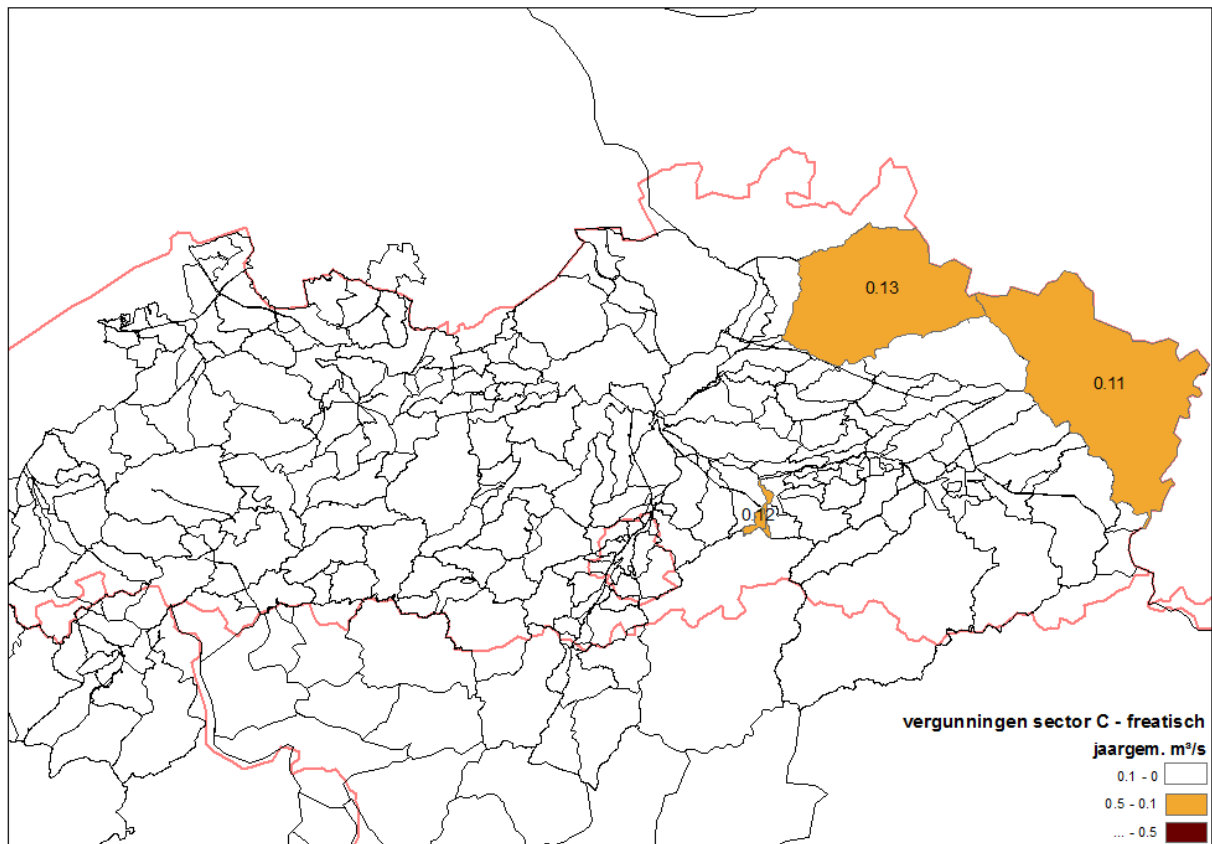


Bijlage 2 Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sectoren landbouw, industrie & drinkwater uit freatische lagen

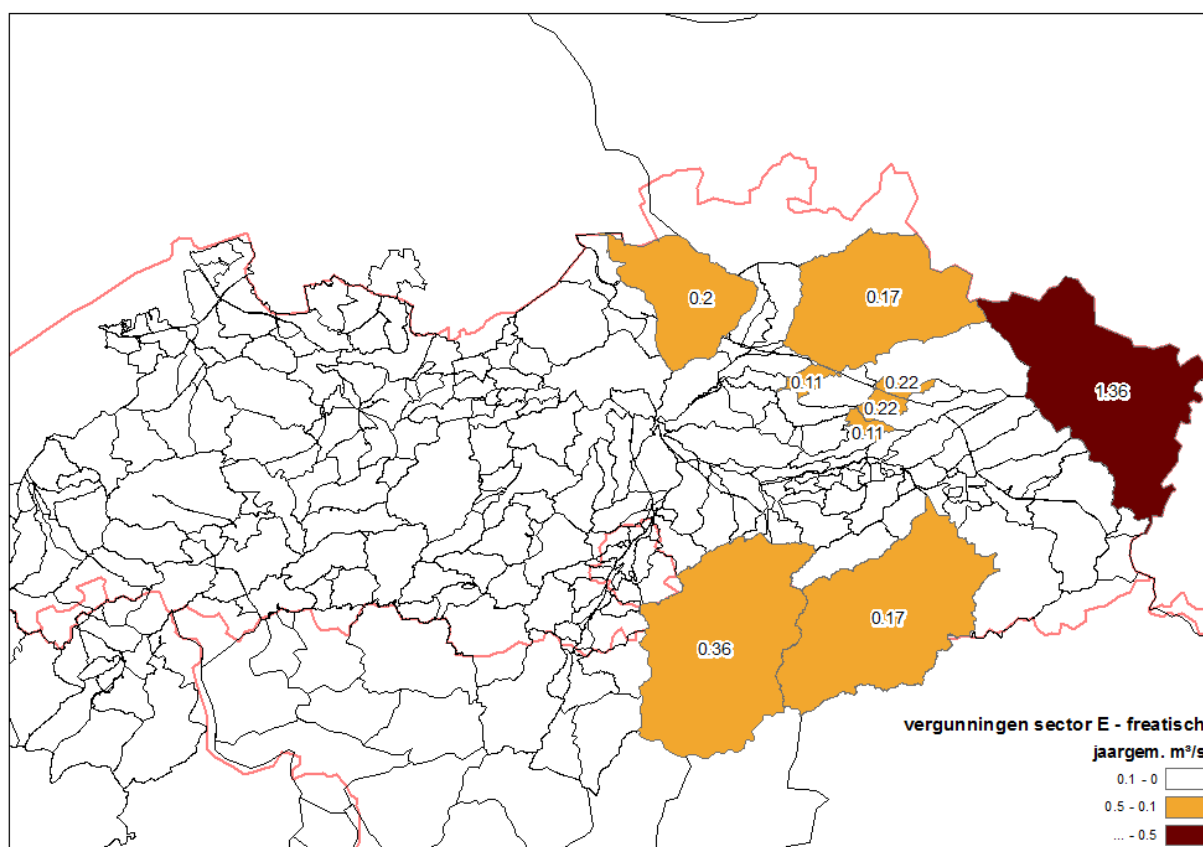
Figuur 116 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector **landbouw**
(bron data: Databank Ondergrond Vlaanderen) Uitsluitend winningen uit freatische lagen.



Figuur 117 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector **industrie**
(bron data: Databank Ondergrond Vlaanderen) Uitsluitend winningen uit freatische lagen.



Figuur 118 – Geaggregeerde vergunde jaardebieten per deelstroomgebied voor de sector **drinkwater**
(bron data: Databank Ondergrond Vlaanderen). Uitsluitend winningen uit freatische lagen.



Bijlage 3 Onderzoek naar de meest geschikte software voor het waterbalansmodel

Inleiding

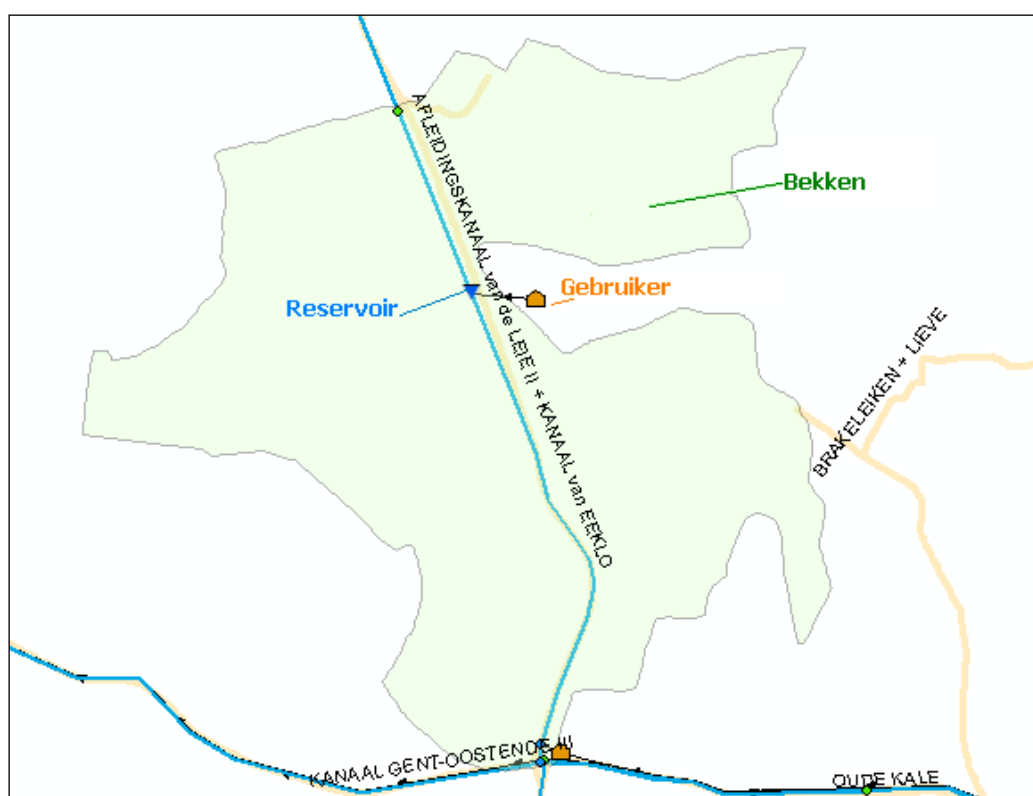
Aanvullend bij Hoofdstuk 6 van deze Deelopdracht wordt in deze bijlage meer in detail toegelicht welke bevindingen zijn gedaan met de verschillende versies van de gebruikte Mike Basin, en later Mike Hydro Basin software bij het onderzoek naar hoe het gebruikersgemak van het waterbalansmodel in Mike Basin kan worden vergroot. Hierbij wordt ook nog de problemen die reeds naar boven kwamen bij de eerste versie van het waterbalansmodel (Mike Basin versie 2011; bestek WL-12-032) toegelicht, zodat de lezer de volledige historie van het waterbalansmodel kan volgen.

Achtergrond

Inleiding

Het waterbalansmodel in Mike Basin bestaat uit verschillende bouwstenen: (bekken)knopen, *river reaches*, gebruikers en reservoirs. In het model wordt telkens een balans per rivier- of kanaalpand gemaakt door elk pand voor te stellen als een reservoir waar gebruikers water kunnen uit onttrekken of (terug) in lozen. De reservoirs zijn onderling verbonden door river reaches. Figuur 119 toont een deel van het waterbalansmodel waarbij elk van de modelobjecten is aangeduid.

Figuur 119 – De gebruikte bouwstenen in het waterbalansmodel van het Scheldebekken.

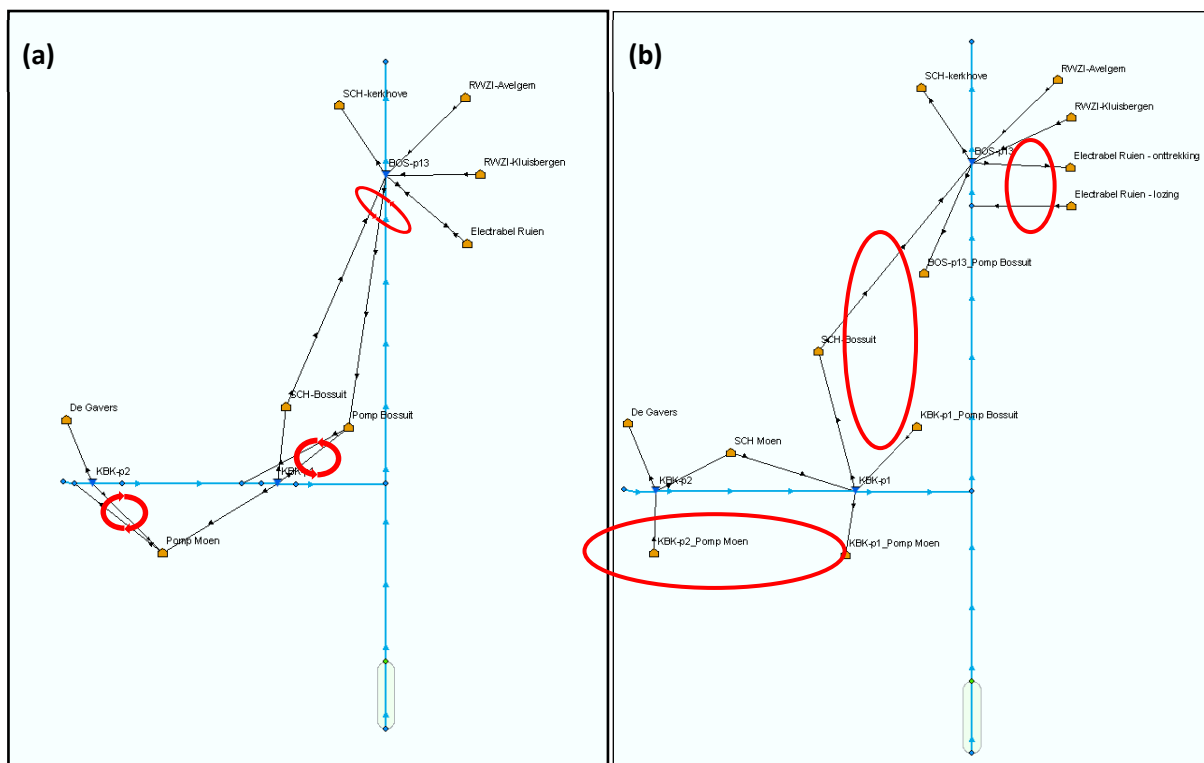


Bij de opbouw van het waterbalansmodel (bestek WL-12-032) bleken er een aantal tekortkomingen te bestaan binnen de software. Zo was het in de toen gebruikte versie Mike Basin versie 2008 (en 2011) niet mogelijk om cycli in het model te creëren. Met een cyclus wordt een 'loop' in het model bedoelt.

Concreet treedt dergelijke cyclus bijvoorbeeld op bij de voeding van het kanaal Bossuit-Kortrijk. Voor de voeding van dit kanaal wordt in Bossuit water uit de Schelde naar het pand Bossuit-Moen gepompt. In Moen wordt water naar het kruinpand (Moen-Zwevegem) gepompt. Door versassingen aan de sluizen van Moen en Bossuit stroomt het water weer naar de Schelde en komt het dus weer op dezelfde plek in de Schelde terecht. Soortgelijke situaties zijn er ook bij het terugpompen van versast water naar het hoger gelegen pand, onttrekkingen en lozingen voor koelwater in hetzelfde pand,

In het model worden deze pompen geïmplementeerd als watergebruikers die water onttrekken en terug lozen in hetzelfde punt of opwaarts van dit punt, zodat het water terug langs het punt stroomt waar het eerder onttrokken werd. Dit proces vormt een cyclus in het waterbalansmodel (zie Figuur 120) en deze configuratie veroorzaakt een crash in de software.

Figuur 120 – Cycli in een testmodel dat de voeding van het kanaal Bossuit-Kortrijk weerspiegelt (a) en de configuratie voor de macro waarbij de gebruikers worden ontdubbeld (b). (De Boeck et al., 2012)



De macro

Om binnen de Mike Basin software deze cycli toch correct te kunnen modelleren, werden de onttrekking en de lozing van elkaar losgekoppeld (Figuur 120 b) door het definiëren van twee gebruikers (een capteerder en een lozer).

In een macro worden beide gebruikers dan weer aan elkaar gekoppeld door (een deel van) het debiet dat de capteerder onttrekt toe te kennen aan de lozer. Het programma ziet dit als het verdwijnen van water door de capteerder, en water dat in het systeem geïntroduceerd wordt door de lozer.

Het gebruik van een macro in het waterbalansmodel voor het Scheldestroomgebied heeft echter consequenties. Wanneer geen macro wordt gebruikt, is het mogelijk in Mike Basin 'resultatengroepen' te gebruiken, waarbij per modelobject kan worden gedefinieerd welke resultaten moeten worden opgeslagen. Deze resultaten zijn bijvoorbeeld het watergebruik, het deficit in watergebruik van een gebruiker, het waterpeil, de netto instroom in een knoop, etc.

Wanneer echter een macro wordt gebruikt bij het uitvoeren van een simulatie met het waterbalansmodel, is het niet meer mogelijk dergelijke 'resultatengroepen' te definiëren. Bijgevolg worden voor elk modelobject (dus ook bv. alle tussenliggende modelknopen) alle resultaten weggeschreven. Gezien de grootte van het gemodelleerde gebied, is het aantal modelobjecten ook aanzienlijk (meer dan 900 knopen in de eerste versie van het waterbalansmodel). Het spreekt voor zich dat een simulatie van 40 jaar met een tijdstap van 1 dag dus resulteert in een enorm outputbestand. Voor dergelijke simulatie van 40 jaar wordt de limiet in bestandsgrootte overschreden en is het bijgevolg het zelfs noodzakelijk om de simulatie in 3 periodes op te splitsen.

Deze opsplitsing had als nadeel dat de handige toepassingen om resultaten te verwerken in Mike Basin (bv. weergave van totaal aantal dagen watertekort per gebruiker, etc.) niet direct meer kon worden gebruikt. Om toch gebruik te kunnen maken van de postprocessing functionaliteiten in Mike Basin, werden de belangrijkste resultaten eerst via de macro naar een Excel bestand weggeschreven. Vervolgens werden de resultaten van de afzonderlijke periodes weer samengesteld en deze samengestelde resultaten werden vervolgens weer in Mike Basin geïmporteerd. Op die manier kon toch gebruik gemaakt worden van de verwerkings- en presentatiemogelijkheden van Mike Basin.

Het is duidelijk dat bovenstaande procedure tijdrovend en omslachtig is en voor verbetering vatbaar is. In deze deelopdracht werd daarom onderzocht of in de nieuwe software (Mike Hydro Basin versie 2014/2016) het toelaat simulaties met het model uit te voeren zonder macro. Hiervoor werd sterk terug gekoppeld met DHI dat ondersteuning geeft voor dit deel van de opdracht.

Doelstelling

Het eerste waterbalansmodel van het Scheldestroomgebied werd in Mike Basin 2008 ontwikkeld. Dit kon zonder problemen omgezet worden naar Mike Basin 2011. Ondertussen heeft DHI drie nieuwe versies ontwikkeld: Mike Basin 2012 en Mike Hydro Basin 2014 & 2016. Deze hebben echter nog steeds problemen met het verwerken van cycli. Om dit probleem op te lossen moet men de broncode van de software aanpassen en daartoe is DHI niet bereid (cfr m. Jensen van DHI). Bijgevolg blijft het noodzakelijk om een macro te gebruiken bij de modellering. Het vergroten van het gebruikersgemak kan dus enkel door de output verkleinen of de procedure voor het opslaan te wijzigen zodat de resultaten van hele simulatieperiode (42 jaar of langer) in Mike Basin zelf kan worden verwerkt zonder dat er de tussenstap via Excel nodig is.

In de nieuwe softwarerelease Mike Hydro Basin 2014/2016 is de procedure om resultaten weg te schrijven door DHI geoptimaliseerd. Er dient evenwel gecontroleerd te worden of deze functionaliteiten werkbaar zijn voor het waterbalansmodel en of de bestaande macro nog functioneert in deze nieuwe release. Hierna worden de uitgevoerde testen in detail beschreven.

Software testen

Inleiding

Het wegschrijven van de resultaten in Mike Hydro Basin 2014 & 2016 wijkt af van de vorige releases van het softwarepakket. Eerder werden de resultaten elke tijdstap bewaard in een tijdelijk bestand om vervolgens het ganse resultatenbestand definitief op te slaan. Dit veroorzaakte problemen (zie boven) waardoor niet al de resultaten in één enkel bestand konden worden weggeschreven. In Mike Hydro Basin 2014 worden de resultaten elke tijdstap definitief opgeslagen, waardoor het niet langer nodig is om het ganse outputbestand op te slaan.

Deze nieuwe software Mike Hydro Basin werkt, in tegenstelling tot de oudere versies, niet langer in een ArcMap omgeving. De interface is met andere woorden helemaal vernieuwd. In de hierna volgende paragrafen wordt beschreven hoe het bestaande waterbalansmodel inclusief macro (Mike Basin versie 2011) via versie 2012 omgezet wordt naar Mike Hydro Basin.

In samenspraak met DHI is volgende procedure gevolgd:

1. Installatie van Mike Basin 2012 in de ArcGIS versie op PC1
2. Import van het waterbalansmodel in Mike Basin 2012
3. Export van het waterbalansmodel als een Mike Hydro model (bestaande functionaliteit)
4. Installatie van Mike Hydro 2014 op PC2
5. Import van het waterbalansmodel in Mike Hydro in Mike Hydro 2014
6. Simulatie met het Mike Hydro Model in versie 2014. (Mike Hydro versie 2016 was tijdens deze testen nog niet operationeel).

Er werd voor deze testen eerst een testcase met een kleiner model uitgevoerd, om onnodig lange simulaties uit te vermijden. Dit model is het 'Schipdonk00-model'. Dit is het basismodel voor de berekening van de impact van de uitbreiding van het Schipdonkkanaal op de waterbalans ervan. Er wordt een versie doorgerekend in 'GIS mode' (20140611_MB-MHtest-2010_2008_v1) en een andere versie in 'macro-mode' (20140611_MB-MHtest-2010_2008_v1MACRO. Er wordt bij de testen slechts één jaar (2008) doorgerekend met een tijdstap van 1 dag. Dit volstaat om te testen of de modellen zonder fouten kunnen lopen. Indien het lukt om de modellen probleemloos naar Mike Hydro Basin 2014 te converteren, zal bij een finale controle een lange simulatie worden uitgevoerd.

Mike Basin 2011

Bij wijze van controle wordt eerst een simulatie uitgevoerd met Mike Basin versie 2011.

De simulaties verliepen zonder fouten, met uitzonderingen van de klassieke *warnings* die echter geen effect hebben op de waarde van de modellering.

Mike Basin 2012

In Mike Basin versie 2012 kan de gebruiker kiezen om een model op te bouwen in de klassieke ArcGIS omgeving of in de nieuwe Mike Hydro omgeving die door DHI zelf ontwikkeld is.

In deze versie is het opslagprobleem voor de outputbestanden echter nog niet verholpen. Bijgevolg is deze versie niet geschikt voor toekomstig gebruik. De tussenstap via deze versie van de software naar Mike Hydro Basin (waar het outputprobleem wel is verholpen), is echter noodzakelijk om het bestaande model te converteren naar een Mike Hydro model.

Om uit te sluiten dat er geen fouten geïntroduceerd worden door de conversie naar deze nieuwe versie, wordt opnieuw een testrun uitgevoerd.

Eerst is een simulatie (20140611_MB-MHtest-2012_2008_v1) gestart zonder het opnieuw uitvoeren van de diagnostics (check model input, clean up database, reload). Dit leverde onmiddellijk een aantal foutmeldingen.

Figuur 121 – Foutmeldingen bij aanvang van de eerste simulatie in MB2012

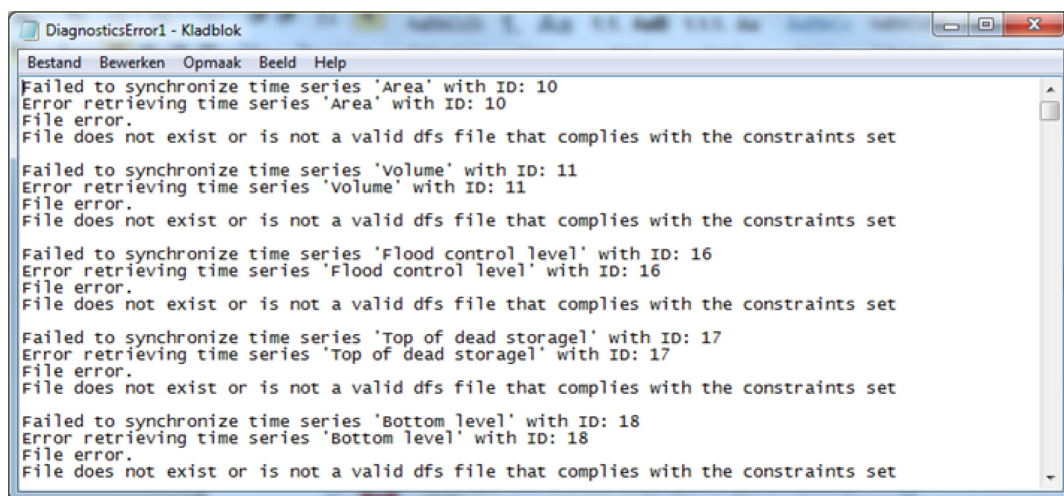


Vervolgens zijn de *diagnostics* doorlopen om te achterhalen of er fouten geïntroduceerd zijn bij het importeren in Mike Basin 2012. Deze *diagnostics* bestaan uit het controleren van de model input, het opkuisen van de databank en het herladen van het model. Hieronder wordt de uitkomst van deze *diagnostics* gerapporteerd.

1. Check model input

Uit de vergelijking tussen de resultaten van de “Check model input” diagnose blijkt dat er tussen de twee versies (MB2011 & MB2012) geen verschil is. Figuur 122 toont de eerste vijf opmerkingen. Ook de rest van de opmerkingen komen overeen.

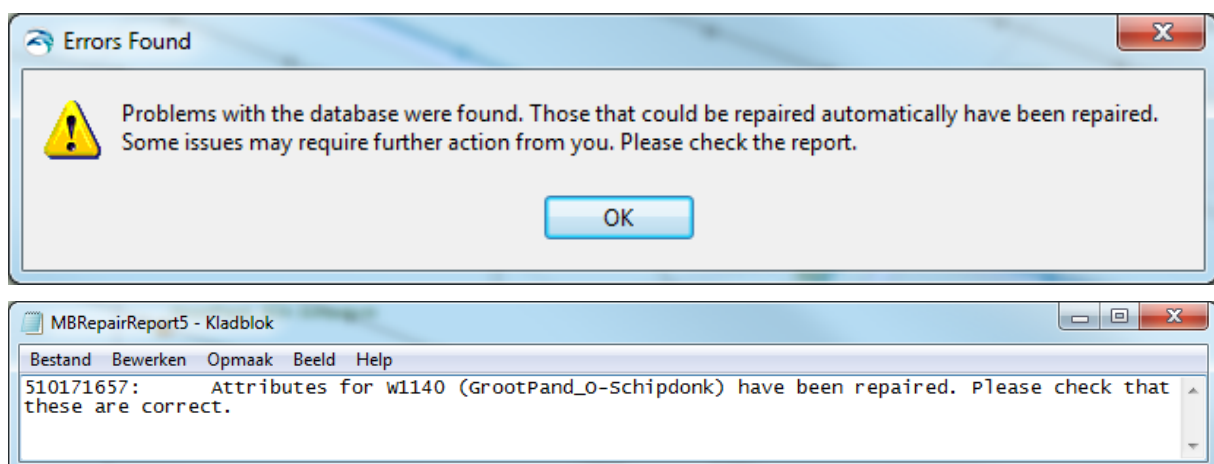
Figuur 123 – Vergelijking tussen de resultaten van de
“Check model input” diagnose van het Schipdonk00 model in MB2012 en MB2011.



2. Clean Up and Repair Database:

Deze diagnose leverde één probleem (Figuur 123) aan dat door Mike Basin automatisch werd aangepast.

Figuur 124 – Resultaat van de “Clean up and Repair Database” diagnose



3. Reload Project: OK

Deze stap leverde geen probleem.

Het uitvoeren van deze *diagnostics* lost echter het probleem van de simulatie niet op. Bij het heropstarten van de simulatie verschijnen dezelfde foutmeldingen die eerder ook verschenen.

Om dit probleem te verhelpen is het model overgemaakt aan het DHI support team. DHI kon zonder problemen een simulatie met dit model uitvoeren in Mike Basin 2012 en vermoedt dat een verkeerde installatie van Mike Basin 2012 de oorzaak kan zijn van de verkregen foutmeldingen. DHI exporteerde vervolgens zelf het bestaande model naar een Mike Hydro bestand geëxporteerd zodat de test in Mike Hydro Basin 2014 kon worden verder gezet.

Mike Hydro Basin 2014

Validatie van het model

De simulatie van Schipdonk00 in Mike Hydro Basin loopt vast bij de initialisatie van de regels.

Tijdens de automatische validatie die is inbegrepen in Mike Hydro Basin worden een aantal opmerkingen weergegeven die mogelijks de oorzaak van het probleem zijn:

- Errors aan de knopen N466, N223 en N394.
- Opmerkingen met betrekking tot reservoir KLD-p1 (Kanaal Leuven-Dijle pand 1) dat tijdens de conversie naar Mike Hydro verdwenen is.
- Error door het ontbreken van een aantal bekkens.

In de eerdere versies bestonden deze opmerkingen niet. Vermoedelijk zijn de fouten er tijdens de conversie naar het Mike Hydro bestand ingeslopen en is dit ook de oorzaak van het vastlopen van de simulatie.

Deze locaties waar de foutmeldingen optraden zijn in meer detail bekeken:

- De knopen N466, N223 en N394 zijn “*bifurcation nodes*” of afleidingen. Aan de knopen N223 & N394 was geen tabel of tijdreeks gelinkt die de regels van de afleiding beschrijft. Dit is aangepast.

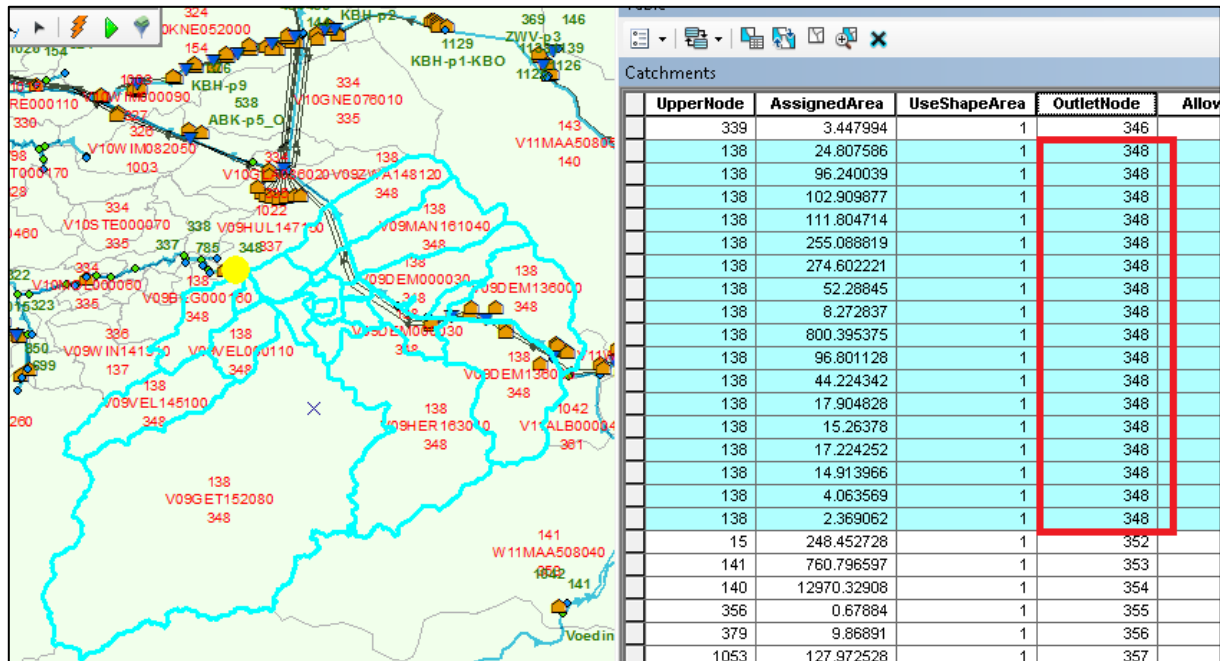
Afwaarts knoop N466 (op beide takken van de afleiding) bevonden zich geen rivierknopen, maar een reservoir en een rivierknoop. Dit leverde in de oudere versie geen problemen op, maar de versie 2014 loopt erop vast. Dit is verholpen door een extra rivierknoop toe te voegen.

- Het reservoir KLD-p1 is weer toegevoegd conform de oudere versies.
- In Mike Hydro Basin 2014 is het niet langer toegestaan dat de neerslagafvoer van verschillende bekkens in één enkel punt in het netwerk toekomt. Bij de ontwikkeling van het model werden opwaartse (onbevaarbare) gebieden doorgaans in verschillende bekkens opgedeeld omdat er voor deze bekkens verschillende hydrologische modellen (en parametersets) beschikbaar waren. Deze bekkens sluiten dan in de meest opwaartse knoop van het waterbalansmodel aan op het gemodelleerde rivierenennetwerk. Figuur 124 toont het voorbeeld van het opwaartse deel van het Demerbekken. Ook zijrivieren die in hetzelfde pand uitmonden zijn in het model vaak zo geschematiseerd dat ze in dezelfde knoop op het netwerk aansluiten. In Mike Hydro Basin 2014 dient elk bekken in een afzonderlijke modelknoop toe te komen en daardoor zijn verschillende deelstroomgebieden weggevallen bij de conversie.

Om dit op te lossen zijn de betreffende bekkens ontkoppeld in Mike Basin 2011, zodanig dat alle deelstroomgebieden geconverteerd kunnen worden. Dit was een tijdrovende taak waarbij de te ontkoppelen bekkens (een 40-tal) in één enkele beurt ontkoppeld moesten worden, zonder dat het mogelijk was om tussentijds de wijzigingen op te slaan. Vaak dienden er nieuwe riviertakken en

knopen geïntroduceerd te worden zodat de bekkens afzonderlijk aan het netwerk gekoppeld konden worden. Eénmaal alle bekkens ontkoppeld waren, is het model in Mike Basin 2012 geconverteerd tot een Mike Hydro model zodat het bruikbaar was voor Mike Hydro Basin 2014. Hiervoor is Mike Basin 2012 opnieuw geïnstalleerd. Dit maal is de conversie (zonder ingrijpen van DHI) gelukt. Het probleem dat zich in §3.1.3 voordeed was dus hoogstwaarschijnlijk te wijten aan een slechte installatie.

Figuur 125 – Bekkens die ontbreken in MHBasin 2014: Deelstroomgebieden voor de Demer opwaarts Diest. De bekkens die op knoop 348 aansluiten op het rivieren netwerk worden niet mee geconverteerd.



Vervolgens werd het model in Mike Hydro Basin 2014 opnieuw gevalideerd. Na deze geslaagde validatie, werd een eerste testsimulatie uitgevoerd. Deze test was niet meer dan de simulatie van het jaar 2008.

Testsimulatie met het model

Evenals in de vorige versies van de software, start een simulatie met het initialiseren van de verschillende componenten van het model. Wanneer de regels geïmplementeerd worden verschijnt in Mike Hydro Basin 2014 de foutmelding: “MIKE BASIN FATAL ERROR: klasse is niet geregistreerd”.

DHI stelt voor de installatie opnieuw uit te voeren, hetzij op een andere PC, hetzij op dezelfde PC. In dit laatste geval stellen zij voor eerst alle Mike Hydro Basin -gerelateerde “keys” uit de “registries” (registers) te verwijderen alvorens de herinstallatie uit te voeren. Herinstallatie op dezelfde PC lost niets op. Het probleem blijkt PC-afhankelijk te zijn, gezien de simulatie met succes wordt beëindigd op een andere PC.

DHI wijt de fout aan verouderde processoren, gezien de simulaties werken op nieuwere PC's. De “build” van de PC's die gebruikt worden binnen het Waterbouwkundig Laboratorium kan verschillend zijn, waardoor bovenstaande probleem kan worden verklaard. Het blijft echter vreemd dat een software programma niet reageert louter en alleen omwille van verouderde processoren. Hoe dan ook is verder gewerkt op de ‘nieuwere’ PC, waarop de software wel draait naar behoren.

Simulatie voor een simulatieperiode van 40 jaar

Door het uitvoeren van een simulatie voor een periode van 40 jaar (1968-2008), werd gecontroleerd of de bestands grootte van het resultatenbestand inderdaad is gereduceerd en of het doorrekenen van dergelijke lange simulatieperiodes geen bijkomende problemen veroorzaakt.

Ondanks de gebruikelijke waarschuwingen die ook in de vorige versies van de software werden bericht, is de simulatie geslaagd. Deze simulatie van 40 jaar genereert een outputbestand van 2,1 GB. De duur van de simulatie bedraagt ongeveer 45 minuten. Ook het presenteren van de modelresultaten volgens de mogelijkheden van Mike Hydro Basin 2014 veroorzaakt geen softwareprobleem.

Simulatie inclusief macro

In tegenstelling tot de oudere Mike Basin versies, is het in Mike Hydro Basin versie 2014 niet langer mogelijk om de VisualBasic (VB) editor aan te roepen. Om toch de macro te kunnen draaien die bij het waterbalansmodel werd ontwikkeld (zie §2.2) is gebruik gemaakt van de VB editor van Excel. Hiertoe diende een referentie naar de bibliotheek *DHI.Mike Basin.Engine.tlb* te worden aangemaakt. Hierna kon de macro zonder problemen worden gecompileerd, maar traden nog problemen op. De lijn in de programmacode die het probleem veroorzaakte is "SET engine = New DHI_Mike Basin_Engine.engine". Het probleem (via support DHI) is hierbij een conflict tussen de Office versie waarbinnen de macro draait en Mike Hydro Basin (32 bits versie 64 bits). De installatie van Mike Hydro Basin (32 bits versie) verhelpt dit probleem.

Bij een nieuwe test bleek nog een fout in de code van de macro te bestaan, meer bepaald in de module met betrekking tot de waterverdeling in Frankrijk. Deze module werd voor deze test uitgeschakeld en zowel de simulatie van één jaar (2008) als 40 jaar (1968-2008) lukken met deze configuratie zonder problemen. Een simulatie van 40 jaar met een tijdsstap van 1d duurt ongeveer 2 uur.

Mike Hydro Basin versie 2014 creëert na afloop van een simulatie twee bestanden: een dfs0-bestand met de resultaten en een mdh-bestand waarin beschreven wordt hoe de vertaling van het dfs0-bestand naar de Mike Hydro GUI kan gebeuren.

In de macro zelf wordt de naam van het weggeschreven outputbestand gedefinieerd. Normaliter wordt deze bestandsnaam gebruikt voor zowel het dfs0 bestand als voor het mdh bestand. Na deze testsimulaties bleek echter dat het dfs0-bestand de naam krijgt van de laatste simulatie die via de macro in Mike Hydro Basin werd gestart en niet de naam die werd gedefinieerd in de macro. Daardoor wordt het oude resultatenbestand dus overschreven.

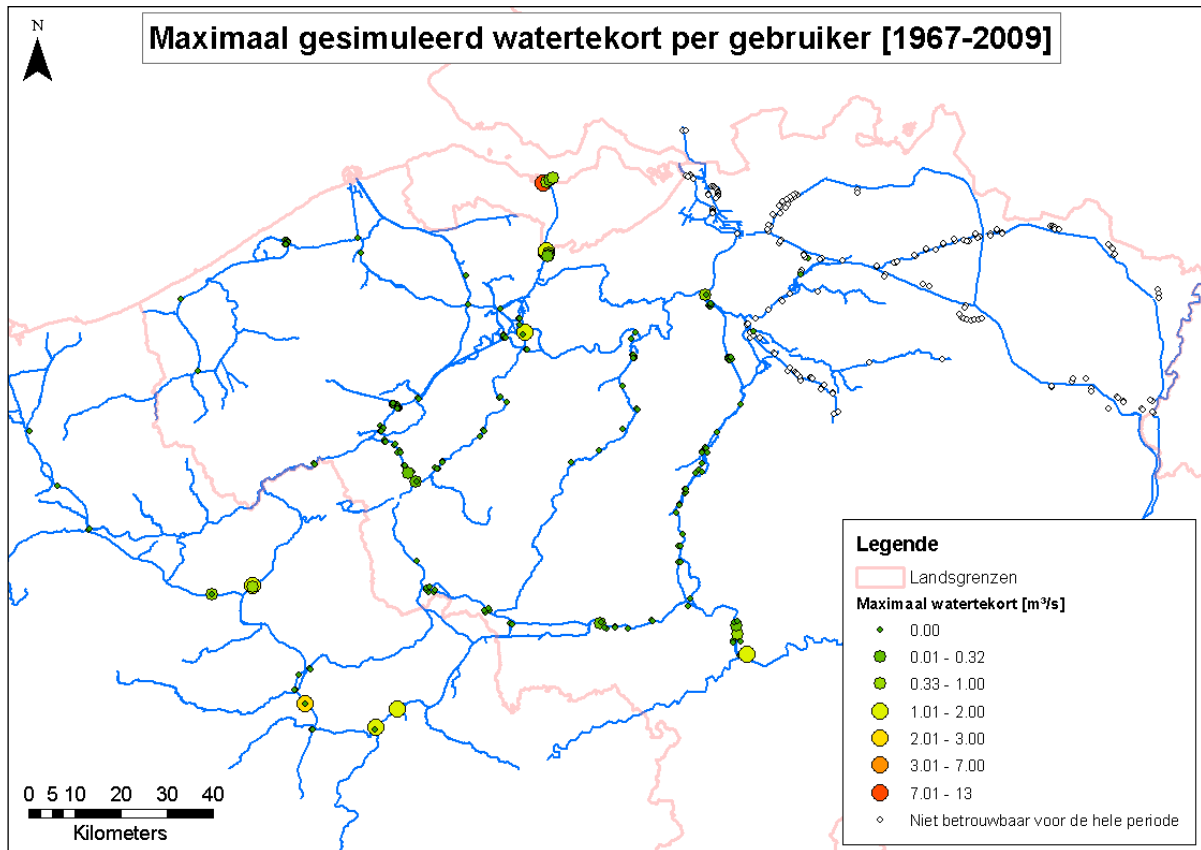
DHI bevestigt dat dit een "bug" is, die ze niet onmiddellijk kunnen oplossen. Daarom dient het dfs0-bestand na runnen van de macro door de gebruiker zelf gerund te worden naar de eerder in de macro vastgelegde naam. Dit vraagt wel enige oplettendheid van de gebruiker.

Resultatenverwerking

Mike Basin versie 2011 liet toe de resultaten van simulaties met het waterbalansmodel direct te verwerken en visualiseren binnen de software met behulp van de geïntegreerde *results wizard*. Op die manier konden op een redelijk eenvoudige manier verschillende resultaten zoals het grootste tekort, de gemiddelde en maximale duur van het tekort, het percentage van de tijd dat er een tekort is, ... voor elke gebruiker in het model gepresenteerd worden (Figuur 125). Deze functionaliteit is echter in Mike Hydro Basin versie 2014 niet meer inbegrepen. Er kan in dit programma slechts één tijdreeks per gebruiker opgevraagd worden, wat de resultatenverwerking een stuk omslachtiger maakt. Gezien er veel vraag is naar deze functionaliteit wordt deze vermoedelijk terug geïntegreerd in toekomstige releases van de software.

Binnen het huidige project werd een eigen tool ontwikkeld die de postprocessing van de resultaten uit het waterbalansmodel toelaat. Naast het produceren van gelijkaardige plots als deze uit Mike Basin versie 2011, is in de tool ook een statistische verwerking van de resultaten geïntegreerd.

Figuur 126 - Maximaal gesimuleerd watertekort voor elke gebruiker tussen 1967 en 2009 (De Boeck et al., 2012)



Mike Hydro Basin 2016

Sinds het voorjaar van 2016 raadde DHI aan om over te schakelen naar Mike Hydro 2016 omdat er toch enkele relevante updates zijn gebeurd zijn en ook om maximaal van de support door DHI te kunnen blijven genieten. In deze versie is de hierboven vermelde bug met betrekking tot het mdh-bestand (§3.1.4.4) opgelost. Verder lijkt er, na controle van de resultaten, geen verschil met Mike Hydro 2014.

Vergelijking Mike Basin 2011- Mike Hydro Basin 2014/2016

Gezien in de hierboven beschreven stappen een aantal aanpassingen zijn gebeurd in het waterbalansmodel, louter en alleen voor het uitvoeren van de software upgrade, is het nodig na te gaan of dit geen significante impact heeft op de resultaten. Kleine wijzigingen zijn evenwel niet uitgesloten.

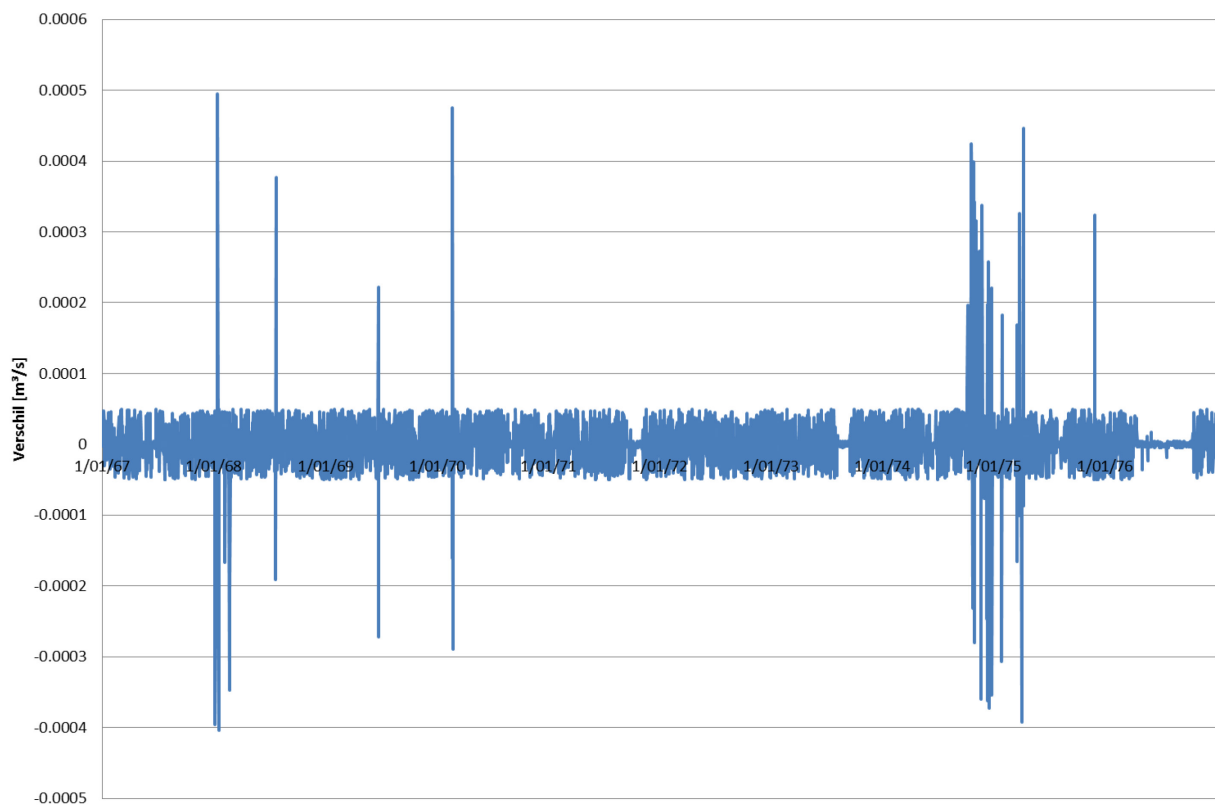
Een laatste controle bestaat uit een vergelijking van de resultaten van de berekening van de 40-jarige periode 1968-2008 in Mike Hydro Basin 2014 vergeleken met deze van Mike Basin 2012 (met ontkoppelde bekkens en de veranderingen in Noord-Frankrijk) en de resultaten van de vorige opdracht (Mike Basin 2011, met gekoppelde bekkens).

Ondanks de aanpassingen die er zijn gebeurd, is het verschil tussen beide simulaties minimaal (Figuur 126). Enkel in Melle is er tijdens de zomermaanden een grotere afwijking (Figuur 127). Vermoedelijk is dit te wijten aan het ontbreken van een watergebruiker in Gentbrugge. Het betrof een pomp die in juli en augustus tijdelijk water verpompte over de stuw (aan $2 \text{ m}^3/\text{s}$) om zo in het dichtgeslibde deel van de Schelde doorstroming te krijgen. Deze watergebruiker is uit het model gehaald, maar zat nog in de simulaties met Mike Basin 2011.

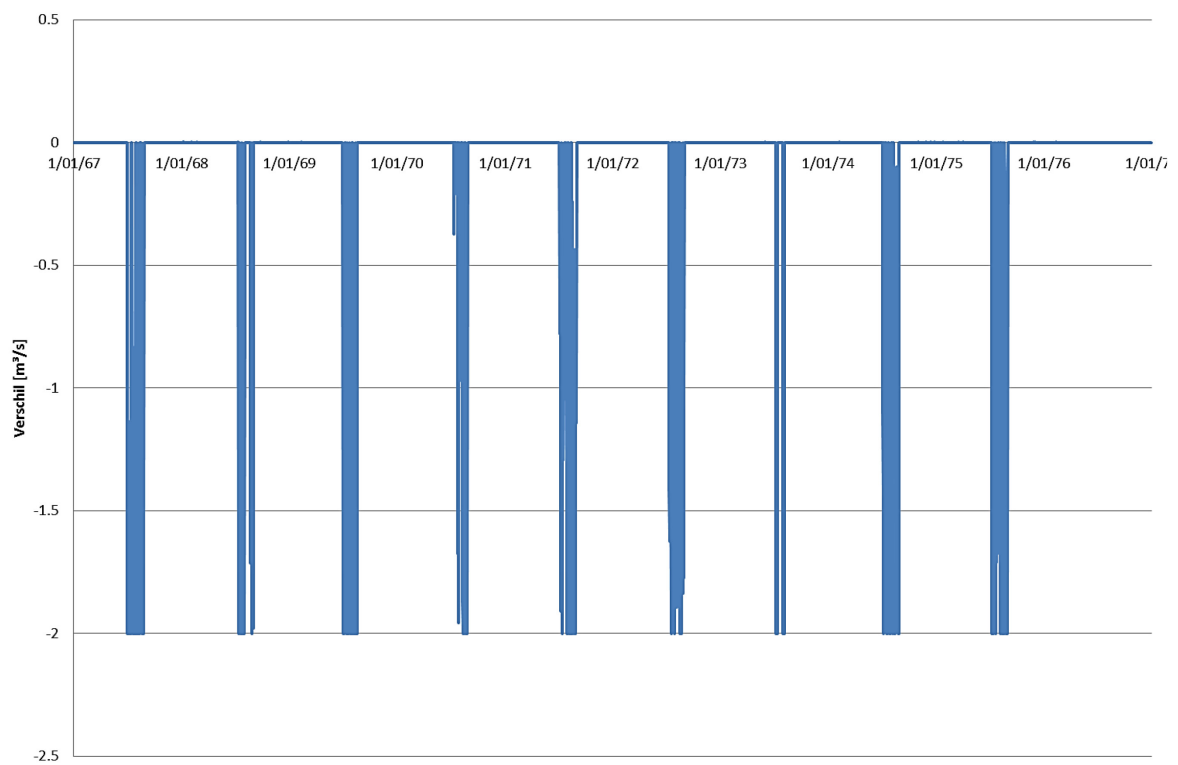
Tabel 7 – Verschil tussen de modelresultaten uit 2012 , berekend met Mike Basin 2011 en de huidige modelresultaten, berekend met Mike Hydro Basin 2016, voor de periode 1967-1976 (Mike Basin 2011 - Mike Hydro Basin).

Locatie	Minimum [m ³ /s]	Gemiddelde [m ³ /s]	Maximum [m ³ /s]	Standaard afwijking [m ³ /s]
Bossuit/Helkijn	-4,04 10 ⁻⁴	1,78 10 ⁻⁶	4,94 10 ⁻⁴	4,36 10 ⁻⁵
Menen	-4,96 10 ⁻⁴	6,45 10 ⁻⁷	4,81 10 ⁻⁴	3,30 10 ⁻⁵
Evergem	-2,45 10 ⁻⁴	-1,34 10 ⁻⁷	2,88 10 ⁻⁴	2,56 10 ⁻⁵
Varsenare	-5,00 10 ⁻⁵	7,03 10 ⁻⁸	4,99 10 ⁻⁵	1,54 10 ⁻⁵
Melle	-2,00	-0,12	5,00 10 ⁻⁴	0,44

Figuur 127 – Het verschil tussen de modelresultaten van Mike Basin 2011 en Mike Hydro Basin 2014/2016 ter hoogte van Bossuit.



Figuur 128 – Het verschil tussen de modelresultaten van Mike Basin 2011 en Mike Hydro Basin 2014/2016 ter hoogte van Melle.



Conclusie

Om lange simulaties uit te kunnen voeren is er geopteerd om over te schakelen naar de meest recente versie van Mike Basin: Mike Hydro Basin versie 2016. Het proces om de simulatieresultaten op te slaan gebeurt efficiënter waardoor het mogelijk is om een periode van ruim 40 jaar in een enkele model run uit te voeren. In de oudere versies diende zo'n lange periode nog in drie simulaties opgesplitst te worden. Dit zorgt voor efficiënter werk en tijdswinst. Daarenboven blijft de ondersteuning van DHI gegarandeerd. Voor oudere software leveren ze deze ondersteuning niet.

Omdat de conversie niet eenvoudig verliep is er gekozen om het meest recente model te converteren. Daardoor konden de resultaten niet één op één vergeleken worden met de eerste resultaten, berekend in Mike Basin 2011. Desalniettemin zijn de resultaten even betrouwbaar en is de modelsoftware vergelijkbaar in gebruik.

Het nadeel van de update naar nieuwe software is dat de postprocessing die eerder mogelijk was in Mike Basin versie 2011 niet langer mogelijk is. Om dit te verhelpen is in de loop van deze Deelopdracht een eigen tool ontwikkeld die deze na verwerking toelaat. Deze tool is nog in ontwikkeling en ondersteunt naast de vergelijkbare presentatie van de resultaten ook een statistische analyse van de resultaten.

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