



Vlaanderen
is wetenschap

19_013_1
WL rapporten

Slim stuwen – fase 3

Sturing stuwen en vispassages Dender

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Slim stuwen – fase 3

Sturing stuwen en vispassages Dender

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Visser, K.P.; Viaene, P.

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 2023
D/2023/3241/022

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Visser, K.P.; Viaene, P. (2023). Slim stuwen – fase 3: Sturing stuwen en vispassages Dender. Versie 4.0. WL Rapporten, 19_013_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DVW-aRW	Ref.:	WL2023R19_013_1
Trefwoorden (3-5):	Dender, stuwen, vispassages		
Kennisdomeinen:	Waterbeheer > hydraulica > hydrodynamische modellen > numerieke modellering Waterbouwkundige constructies > stuwen > hydraulisch ontwerp > numerieke modellering Waterbouwkundige constructies > vispassages > vispasseerbaarheid > numerieke modellering		
Tekst (p.):	141	Bijlagen (p.):	72
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Vanderkimpfen, P.; Pereira, F. Visser, K.P.; Viaene, P.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.; Visser, K.P. Viaene, P.	Getekend door: Fernando Pereira (Signatu Getekend op: 2023-03-23 08:49:59 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
		Getekend door: Klaas Visser (Signature) Getekend op: 2023-03-15 13:37:38 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
		Getekend door: Peter Viaene (Signature) Getekend op: 2023-03-13 22:00:08 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
Projectleider:	Vanderkimpfen, P.	Getekend door: Paul Vanderkimpfen (Sign Getekend op: 2023-03-13 11:09:07 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op: 2023-03-14 14:08:37 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed
-----------------	---------------	---



Abstract

Het voorliggende rapport maakt deel uit van de derde fase van het project “slim stuwen”. In deze deelstudie wordt onderzocht hoe de geplande kunstwerken langsheen de Dender zich zouden gedragen in het geval van een lokale sturing. De kunstwerken op elke site worden daarbij gestuurd op basis van algoritmes die enkel gebruik maken van metingen op of nabij de eigen site.

De studie werd uitgevoerd in drie stappen. In een eerste stap werd het gedrag van de vispassages geanalyseerd. De stuwen werden daarbij voorzien van een zeer eenvoudig sturingsalgoritme. In een tweede stap werd het gedrag van de stuwen onderzocht. De overige kunstwerken werden daarbij buiten beschouwing gelaten. In de derde en laatste stap werden alle kunstwerken opnieuw geactiveerd en werd de onderlinge interactie bestudeerd. Doorheen de volledige studie wordt enkel gekeken naar het gedrag bij lage en middelhoge afvoeren, waarbij geen overstromingen optreden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	IX
1 Inleiding	1
2 Studiegebied	2
3 Gegevens	3
3.1 Hydrometrie	3
3.2 Stuwen.....	4
3.3 Sluizen.....	4
3.4 Vispassages.....	6
4 Model.....	7
4.1 Software	7
4.2 Opbouw	7
4.3 Randvoorwaarden	8
5 Vispassages.....	9
5.1 Methodologie	9
5.1.1 Modelvariant	9
5.1.2 Scenario's.....	9
5.1.3 Sturing.....	10
5.1.4 Analyse.....	11
5.2 Resultaten.....	11
5.2.1 Kengetallen.....	11
5.2.2 Geraardsbergen	12
5.2.3 Idegem	14
5.2.4 Pollare	16
5.2.5 Denderleeuw	18
5.2.6 Aalst	20
5.2.7 Denderbelle	22
5.2.8 Bespreking	24
5.3 Conclusies en aanbevelingen	28

6	Stuwen	30
6.1	Methodologie	30
6.1.1	Modelvariant	30
6.1.2	Scenario's.....	30
6.1.3	Sturing.....	30
6.1.4	Stabiliteit lokale sturing op waterpeil.....	31
6.1.5	Toetsing lokale sturing op waterpeil	31
6.1.6	Gevoeligheidsanalyse	35
6.2	Resultaten.....	36
6.2.1	Stabiliteit lokale sturing op waterpeil.....	36
6.2.2	Toetsing lokale sturing op waterpeil	37
6.2.3	Gevoeligheidsanalyse	74
6.3	Conclusies en aanbevelingen	85
7	Interactie	86
7.1	Methodologie	86
7.1.1	Modelvariant	86
7.1.2	Scenario's.....	86
7.1.3	Sturing.....	86
7.1.4	Analyse.....	86
7.2	Resultaten.....	87
7.2.1	Figuren	87
7.2.2	Synthetische gebeurtenissen.....	87
7.2.3	Historische gebeurtenissen	118
7.3	Conclusies en aanbevelingen	137
8	Samenvatting conclusies en aanbevelingen.....	138
8.1	Vispassages.....	138
8.2	Stuwen.....	139
8.3	Interactie	139
8.4	Actualisatie	140
9	Referenties	141
Bijlage 1	Interactie – figuren reeks 1.....	B1
Bijlage 2	Interactie – figuren reeks 2.....	B37

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Hydrometrische gegevens	3
Tabel 2 – Eigenschappen stuwen	4
Tabel 3 – Eigenschappen sluizen	4
Tabel 4 – Schutverliezen.....	5
Tabel 5 – Lekverliezen	6
Tabel 6 – Eigenschappen vispassages.....	6
Tabel 7 – Geraardsbergen - 2015	12
Tabel 8 – Geraardsbergen - 2016	12
Tabel 9 – Geraardsbergen - 2017	12
Tabel 10 – Geraardsbergen - zomer 2015	13
Tabel 11 – Geraardsbergen - zomer 2016	13
Tabel 12 – Geraardsbergen - zomer 2017	13
Tabel 13 – Idegem - 2015	14
Tabel 14 – Idegem - 2016	14
Tabel 15 – Idegem - 2017	14
Tabel 16 – Idegem - zomer 2015	15
Tabel 17 – Idegem - zomer 2016	15
Tabel 18 – Idegem - zomer 2017	15
Tabel 19 – Pollare - 2015	16
Tabel 20 – Pollare - 2016	16
Tabel 21 – Pollare - 2017	16
Tabel 22 – Pollare - zomer 2015	17
Tabel 23 – Pollare - zomer 2016	17
Tabel 24 – Pollare - zomer 2017	17
Tabel 25 – Denderleeuw - 2015.....	18
Tabel 26 – Denderleeuw - 2016.....	18
Tabel 27 – Denderleeuw - 2017.....	18
Tabel 28 – Denderleeuw - zomer 2015	19
Tabel 29 – Denderleeuw - zomer 2016	19
Tabel 30 – Denderleeuw - zomer 2017	19
Tabel 31 – Aalst - 2015	20
Tabel 32 – Aalst - 2016	20

Tabel 33 – Aalst - 2017	20
Tabel 34 – Aalst - zomer 2015	21
Tabel 35 – Aalst - zomer 2016	21
Tabel 36 – Aalst - zomer 2017	21
Tabel 37 – Denderbelle - 2015	22
Tabel 38 – Denderbelle - 2016	22
Tabel 39 – Denderbelle - 2017	22
Tabel 40 – Denderbelle - zomer 2015	23
Tabel 41 – Denderbelle - zomer 2016	23
Tabel 42 – Denderbelle - zomer 2017	23
Tabel 43 – Parametersets.....	35

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Studiegebied	2
Figuur 2 – Hydrodynamisch model.....	7
Figuur 3 – Geraardsbergen - 2017, scenario S1 - h: opening grote bekkentrap op basis van waterpeil	25
Figuur 4 – Geraardsbergen - 2017, scenario S1 - q: opening grote bekkentrap op basis van debiet	25
Figuur 5 – Geraardsbergen - 2017, scenario S2 - h: opening kleine bekkentrap op basis van waterpeil	26
Figuur 6 – Geraardsbergen - 2017, scenario S2 - q: opening kleine bekkentrap op basis van debiet	26
Figuur 7 – Real time gegevens Lessines (5 min) vs. gevalideerde gegevens Lessines (60 min)	33
Figuur 8 – Real time gegevens Lessines (uitgemiddeld over 15 min) vs. gevalideerde gegevens Lessines (60 min)	33
Figuur 9 – Real time gegevens Lessines (uitgemiddeld over 15 min) vs. gevalideerde gegevens Overboelare (15 min)	34
Figuur 10 – Gevalideerde gegevens Lessines (60 min) vs. gevalideerde gegevens Overboelare (15 min)	34
Figuur 11 – Lengteprofielen bij constante afvoer	36
Figuur 12 – Looptijd en retentietijd.....	37
Figuur 13 – Trapvormige debietvariatie van 5 naar 7 m ³ /s.....	39
Figuur 14 – Trapvormige debietvariatie van 7 naar 5 m ³ /s.....	39
Figuur 15 – Trapvormige debietvariatie van 40 naar 50 m ³ /s.....	40
Figuur 16 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 40 m ³ /s.....	40
Figuur 17 – Piekvormige debietvariatie van 5 naar 10 m ³ /s	41
Figuur 18 – Piekvormige debietvariatie van 10 naar 5 m ³ /s	41
Figuur 19 – Piekvormige debietvariatie van 40 naar 50 m ³ /s	42
Figuur 20 – Piekvormige debietvariatie van 50 naar 40 m ³ /s	42
Figuur 21 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur.....	43
Figuur 22 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur.....	43
Figuur 23 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur.....	44
Figuur 24 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur.....	44
Figuur 25 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur.....	45
Figuur 26 – Debiet tijdens was van juni 2016.....	46
Figuur 27 – Waterpeil tijdens was van juni 2016	46
Figuur 28 – Klepstand tijdens was van juni 2016	47
Figuur 29 – Debiet tijdens debietschommeling van februari 2019	48
Figuur 30 – Waterpeil tijdens debietschommeling van februari 2019.....	48
Figuur 31 – Klepstand tijdens debietschommeling van februari 2019.....	49

Figuur 32 – Januari 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	50
Figuur 33 – Januari 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	50
Figuur 34 – Februari 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	51
Figuur 35 – Februari 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	51
Figuur 36 – Maart 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	52
Figuur 37 – Maart 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	52
Figuur 38 – April 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	53
Figuur 39 – April 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	53
Figuur 40 – Mei 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	54
Figuur 41 – Mei 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	54
Figuur 42 – Juni 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	55
Figuur 43 – Juni 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	55
Figuur 44 – Juli 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	56
Figuur 45 – Juli 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	56
Figuur 46 – Augustus 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	57
Figuur 47 – Augustus 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	57
Figuur 48 – September 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	58
Figuur 49 – September 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	58
Figuur 50 – Oktober 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	59
Figuur 51 – Oktober 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	59
Figuur 52 – November 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	60
Figuur 53 – November 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	60
Figuur 54 – December 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens	61
Figuur 55 – December 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	61
Figuur 56 – Januari 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	62
Figuur 57 – Januari 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	62
Figuur 58 – Februari 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	63
Figuur 59 – Februari 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	63
Figuur 60 – Maart 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	64
Figuur 61 – Maart 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	64
Figuur 62 – April 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	65
Figuur 63 – April 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	65
Figuur 64 – Mei 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	66
Figuur 65 – Mei 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	66
Figuur 66 – Juni 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	67
Figuur 67 – Juni 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	67

Figuur 68 – Juli 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	68
Figuur 69 – Juli 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	68
Figuur 70 – Augustus 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	69
Figuur 71 – Augustus 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	69
Figuur 72 – September 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	70
Figuur 73 – September 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	70
Figuur 74 – Oktober 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens.....	71
Figuur 75 – Oktober 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen.....	71
Figuur 76 – November 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	72
Figuur 77 – November 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	72
Figuur 78 – December 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens	73
Figuur 79 – December 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen	73
Figuur 80 – Parameterset 0 (referentie) - synthetisch hydrogram	74
Figuur 81 – Parameterset 1 (met trend) - synthetisch hydrogram	75
Figuur 82 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram.....	75
Figuur 83 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - synthetisch hydrogram	76
Figuur 84 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - synthetisch hydrogram.....	76
Figuur 85 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram	77
Figuur 86 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - synthetisch hydrogram.....	77
Figuur 87 – Parameterset 0 (referentie) - juni 2016	78
Figuur 88 – Parameterset 1 (met trend) - juni 2016	78
Figuur 89 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - juni 2016.....	79
Figuur 90 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - juni 2016.....	79
Figuur 91 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - juni 2016	80
Figuur 92 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - juni 2016	80
Figuur 93 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - juni 2016.....	81
Figuur 94 – Parameterset 0 (referentie) - februari 2019.....	81
Figuur 95 – Parameterset 1 (met trend) - februari 2019.....	82
Figuur 96 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - februari 2019	82
Figuur 97 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - februari 2019.....	83
Figuur 98 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - februari 2019	83
Figuur 99 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - februari 2019.....	84
Figuur 100 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - februari 2019	84
Figuur 101 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Geraardsbergen (reeks 1).....	88
Figuur 102 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Idegem (reeks 1).....	88
Figuur 103 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Pollare (reeks 1).....	89

Figuur 104 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderleeuw (reeks 1)	89
Figuur 105 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Aalst (reeks 1)	90
Figuur 106 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderbelle (reeks 1)	90
Figuur 107 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Geraardsbergen (reeks 1)	91
Figuur 108 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Idegem (reeks 1)	91
Figuur 109 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Pollare (reeks 1)	92
Figuur 110 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderleeuw (reeks 1)	92
Figuur 111 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Aalst (reeks 1)	93
Figuur 112 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderbelle (reeks 1)	93
Figuur 113 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Geraardsbergen (reeks 1)	94
Figuur 114 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Idegem (reeks 1)	94
Figuur 115 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Pollare (reeks 1)	95
Figuur 116 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderleeuw (reeks 1)	95
Figuur 117 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Aalst (reeks 1)	96
Figuur 118 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderbelle (reeks 1)	96
Figuur 119 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Geraardsbergen (reeks 1)	97
Figuur 120 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Idegem (reeks 1)	97
Figuur 121 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Pollare (reeks 1)	98
Figuur 122 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderleeuw (reeks 1)	98
Figuur 123 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Aalst (reeks 1)	99
Figuur 124 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderbelle (reeks 1)	99
Figuur 125 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Geraardsbergen (reeks 1)	100
Figuur 126 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Idegem (reeks 1)	100
Figuur 127 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Pollare (reeks 1)	101
Figuur 128 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderleeuw (reeks 1)	101
Figuur 129 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Aalst (reeks 1)	102
Figuur 130 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderbelle (reeks 1)	102
Figuur 131 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Geraardsbergen (reeks 2)	103
Figuur 132 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Idegem (reeks 2)	103
Figuur 133 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Pollare (reeks 2)	104
Figuur 134 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderleeuw (reeks 2)	104
Figuur 135 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Aalst (reeks 2)	105
Figuur 136 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderbelle (reeks 2)	105
Figuur 137 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Geraardsbergen (reeks 2)	106
Figuur 138 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Idegem (reeks 2)	106
Figuur 139 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Pollare (reeks 2)	107

Figuur 140 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderleeuw (reeks 2)	107
Figuur 141 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Aalst (reeks 2)	108
Figuur 142 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderbelle (reeks 2)	108
Figuur 143 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Geraardsbergen (reeks 2)	109
Figuur 144 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Idegem (reeks 2)	109
Figuur 145 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Pollare (reeks 2)	110
Figuur 146 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderleeuw (reeks 2)	110
Figuur 147 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Aalst (reeks 2)	111
Figuur 148 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderbelle (reeks 2)	111
Figuur 149 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Geraardsbergen (reeks 2)	112
Figuur 150 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Idegem (reeks 2)	112
Figuur 151 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Pollare (reeks 2)	113
Figuur 152 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderleeuw (reeks 2)	113
Figuur 153 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Aalst (reeks 2)	114
Figuur 154 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderbelle (reeks 2)	114
Figuur 155 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Geraardsbergen (reeks 2)	115
Figuur 156 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Idegem (reeks 2)	115
Figuur 157 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Pollare (reeks 2)	116
Figuur 158 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderleeuw (reeks 2)	116
Figuur 159 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Aalst (reeks 2)	117
Figuur 160 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderbelle (reeks 2)	117
Figuur 161 – Juni 2016 - Geraardsbergen (reeks 1)	119
Figuur 162 – Juni 2016 - Idegem (reeks 1)	119
Figuur 163 – Juni 2016 - Pollare (reeks 1)	120
Figuur 164 – Juni 2016 - Denderleeuw (reeks 1)	120
Figuur 165 – Juni 2016 - Aalst (reeks 1)	121
Figuur 166 – Juni 2016 - Denderbelle (reeks 1)	121
Figuur 167 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	122
Figuur 168 – Maart 2019 - Idegem (reeks 1)	122
Figuur 169 – Maart 2019 - Pollare (reeks 1)	123
Figuur 170 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	123
Figuur 171 – Maart 2019 - Aalst (reeks 1)	124
Figuur 172 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 1)	124
Figuur 173 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	125
Figuur 174 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 1)	125
Figuur 175 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 1)	126

Figuur 176 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	126
Figuur 177 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 1)	127
Figuur 178 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 1)	127
Figuur 179 – Juni 2016 - Geraardsbergen (reeks 2).....	128
Figuur 180 – Juni 2016 - Idegem (reeks 2).....	128
Figuur 181 – Juni 2016 - Pollare (reeks 2)	129
Figuur 182 – Juni 2016 - Denderleeuw (reeks 2)	129
Figuur 183 – Juni 2016 - Aalst (reeks 2).....	130
Figuur 184 – Juni 2016 - Denderbelle (reeks 2).....	130
Figuur 185 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	131
Figuur 186 – Maart 2019 - Idegem (reeks 2)	131
Figuur 187 – Maart 2019 - Pollare (reeks 2).....	132
Figuur 188 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	132
Figuur 189 – Maart 2019 - Aalst (reeks 2)	133
Figuur 190 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 2)	133
Figuur 191 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	134
Figuur 192 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 2)	134
Figuur 193 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 2)	135
Figuur 194 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	135
Figuur 195 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 2)	136
Figuur 196 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 2)	136
Figuur 1 – Januari 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B1
Figuur 2 – Januari 2019 - Idegem (reeks 1)	B1
Figuur 3 – Januari 2019 - Pollare (reeks 1)	B2
Figuur 4 – Januari 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B2
Figuur 5 – Januari 2019 - Aalst (reeks 1).....	B3
Figuur 6 – Januari 2019 - Denderbelle (reeks 1).....	B3
Figuur 7 – Februari 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B4
Figuur 8 – Februari 2019 - Idegem (reeks 1)	B4
Figuur 9 – Februari 2019 - Pollare (reeks 1)	B5
Figuur 10 – Februari 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B5
Figuur 11 – Februari 2019 - Aalst (reeks 1)	B6
Figuur 12 – Februari 2019 - Denderbelle (reeks 1).....	B6
Figuur 13 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B7
Figuur 14 – Maart 2019 - Idegem (reeks 1)	B7
Figuur 15 – Maart 2019 - Pollare (reeks 1).....	B8

Figuur 16 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B8
Figuur 17 – Maart 2019 - Aalst (reeks 1)	B9
Figuur 18 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B9
Figuur 19 – April 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B10
Figuur 20 – April 2019 - Idegem (reeks 1)	B10
Figuur 21 – April 2019 - Pollare (reeks 1)	B11
Figuur 22 – April 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B11
Figuur 23 – April 2019 - Aalst (reeks 1)	B12
Figuur 24 – April 2019 - Denderbelle (reeks 1).....	B12
Figuur 25 – Mei 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B13
Figuur 26 – Mei 2019 - Idegem (reeks 1).....	B13
Figuur 27 – Mei 2019 - Pollare (reeks 1).....	B14
Figuur 28 – Mei 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B14
Figuur 29 – Mei 2019 - Aalst (reeks 1).....	B15
Figuur 30 – Mei 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B15
Figuur 31 – Juni 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B16
Figuur 32 – Juni 2019 - Idegem (reeks 1).....	B16
Figuur 33 – Juni 2019 - Pollare (reeks 1)	B17
Figuur 34 – Juni 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B17
Figuur 35 – Juni 2019 - Aalst (reeks 1).....	B18
Figuur 36 – Juni 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B18
Figuur 37 – Juli 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B19
Figuur 38 – Juli 2019 - Idegem (reeks 1).....	B19
Figuur 39 – Juli 2019 - Pollare (reeks 1).....	B20
Figuur 40 – Juli 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B20
Figuur 41 – Juli 2019 - Aalst (reeks 1)	B21
Figuur 42 – Juli 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B21
Figuur 43 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B22
Figuur 44 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 1)	B22
Figuur 45 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 1)	B23
Figuur 46 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B23
Figuur 47 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 1)	B24
Figuur 48 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B24
Figuur 49 – September 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B25
Figuur 50 – September 2019 - Idegem (reeks 1)	B25
Figuur 51 – September 2019 - Pollare (reeks 1)	B26

Figuur 52 – September 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B26
Figuur 53 – September 2019 - Aalst (reeks 1)	B27
Figuur 54 – September 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B27
Figuur 55 – Oktober 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B28
Figuur 56 – Oktober 2019 - Idegem (reeks 1).....	B28
Figuur 57 – Oktober 2019 - Pollare (reeks 1)	B29
Figuur 58 – Oktober 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B29
Figuur 59 – Oktober 2019 - Aalst (reeks 1).....	B30
Figuur 60 – Oktober 2019 - Denderbelle (reeks 1).....	B30
Figuur 61 – November 2019 - Geraardsbergen (reeks 1).....	B31
Figuur 62 – November 2019 - Idegem (reeks 1).....	B31
Figuur 63 – November 2019 - Pollare (reeks 1).....	B32
Figuur 64 – November 2019 - Denderleeuw (reeks 1)	B32
Figuur 65 – November 2019 - Aalst (reeks 1).....	B33
Figuur 66 – November 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B33
Figuur 67 – December 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)	B34
Figuur 68 – December 2019 - Idegem (reeks 1)	B34
Figuur 69 – December 2019 - Pollare (reeks 1)	B35
Figuur 70 – December 2019 - Denderleeuw (reeks 1).....	B35
Figuur 71 – December 2019 - Aalst (reeks 1)	B36
Figuur 72 – December 2019 - Denderbelle (reeks 1)	B36
Figuur 1 – Januari 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B37
Figuur 2 – Januari 2019 - Idegem (reeks 2)	B37
Figuur 3 – Januari 2019 - Pollare (reeks 2)	B38
Figuur 4 – Januari 2019 - Denderleeuw (reeks 2).....	B38
Figuur 5 – Januari 2019 - Aalst (reeks 2).....	B39
Figuur 6 – Januari 2019 - Denderbelle (reeks 2).....	B39
Figuur 7 – Februari 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B40
Figuur 8 – Februari 2019 - Idegem (reeks 2)	B40
Figuur 9 – Februari 2019 - Pollare (reeks 2)	B41
Figuur 10 – Februari 2019 - Denderleeuw (reeks 2).....	B41
Figuur 11 – Februari 2019 - Aalst (reeks 2)	B42
Figuur 12 – Februari 2019 - Denderbelle (reeks 2).....	B42
Figuur 13 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	B43
Figuur 14 – Maart 2019 - Idegem (reeks 2).....	B43
Figuur 15 – Maart 2019 - Pollare (reeks 2).....	B44

Figuur 16 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B44
Figuur 17 – Maart 2019 - Aalst (reeks 2)	B45
Figuur 18 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B45
Figuur 19 – April 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B46
Figuur 20 – April 2019 - Idegem (reeks 2)	B46
Figuur 21 – April 2019 - Pollare (reeks 2)	B47
Figuur 22 – April 2019 - Denderleeuw (reeks 2).....	B47
Figuur 23 – April 2019 - Aalst (reeks 2)	B48
Figuur 24 – April 2019 - Denderbelle (reeks 2).....	B48
Figuur 25 – Mei 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	B49
Figuur 26 – Mei 2019 - Idegem (reeks 2).....	B49
Figuur 27 – Mei 2019 - Pollare (reeks 2).....	B50
Figuur 28 – Mei 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B50
Figuur 29 – Mei 2019 - Aalst (reeks 2).....	B51
Figuur 30 – Mei 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B51
Figuur 31 – Juni 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	B52
Figuur 32 – Juni 2019 - Idegem (reeks 2).....	B52
Figuur 33 – Juni 2019 - Pollare (reeks 2)	B53
Figuur 34 – Juni 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B53
Figuur 35 – Juni 2019 - Aalst (reeks 2).....	B54
Figuur 36 – Juni 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B54
Figuur 37 – Juli 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	B55
Figuur 38 – Juli 2019 - Idegem (reeks 2).....	B55
Figuur 39 – Juli 2019 - Pollare (reeks 2).....	B56
Figuur 40 – Juli 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B56
Figuur 41 – Juli 2019 - Aalst (reeks 2)	B57
Figuur 42 – Juli 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B57
Figuur 43 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B58
Figuur 44 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 2)	B58
Figuur 45 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 2)	B59
Figuur 46 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B59
Figuur 47 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 2)	B60
Figuur 48 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B60
Figuur 49 – September 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B61
Figuur 50 – September 2019 - Idegem (reeks 2)	B61
Figuur 51 – September 2019 - Pollare (reeks 2)	B62

Figuur 52 – September 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B62
Figuur 53 – September 2019 - Aalst (reeks 2)	B63
Figuur 54 – September 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B63
Figuur 55 – Oktober 2019 - Geraardsbergen (reeks2)	B64
Figuur 56 – Oktober 2019 - Idegem (reeks 2).....	B64
Figuur 57 – Oktober 2019 - Pollare (reeks 2)	B65
Figuur 58 – Oktober 2019 - Denderleeuw (reeks 2).....	B65
Figuur 59 – Oktober 2019 - Aalst (reeks 2).....	B66
Figuur 60 – Oktober 2019 - Denderbelle (reeks 2).....	B66
Figuur 61 – November 2019 - Geraardsbergen (reeks 2).....	B67
Figuur 62 – November 2019 - Idegem (reeks 2).....	B67
Figuur 63 – November 2019 - Pollare (reeks 2).....	B68
Figuur 64 – November 2019 - Denderleeuw (reeks 2)	B68
Figuur 65 – November 2019 - Aalst (reeks 2).....	B69
Figuur 66 – November 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B69
Figuur 67 – December 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)	B70
Figuur 68 – December 2019 - Idegem (reeks 2)	B70
Figuur 69 – December 2019 - Pollare (reeks 2)	B71
Figuur 70 – December 2019 - Denderleeuw (reeks 2).....	B71
Figuur 71 – December 2019 - Aalst (reeks 2)	B72
Figuur 72 – December 2019 - Denderbelle (reeks 2)	B72

1 Inleiding

Het voorliggende rapport maakt deel uit van de derde fase van het project “slim stuwen”. In deze fase wordt onderzocht hoe de kunstwerken langsheen een waterloop zich gedragen in het geval van een lokale sturing. De kunstwerken op elke site worden daarbij gestuurd op basis van algoritmes die enkel gebruik maken van metingen op of nabij de eigen site.

Dit rapport is het eerste van drie rapporten en behandelt de kunstwerken langsheen de Dender. De kunstwerken langsheen de Leie en de Bovenschelde worden besproken in het tweede en het derde rapport.

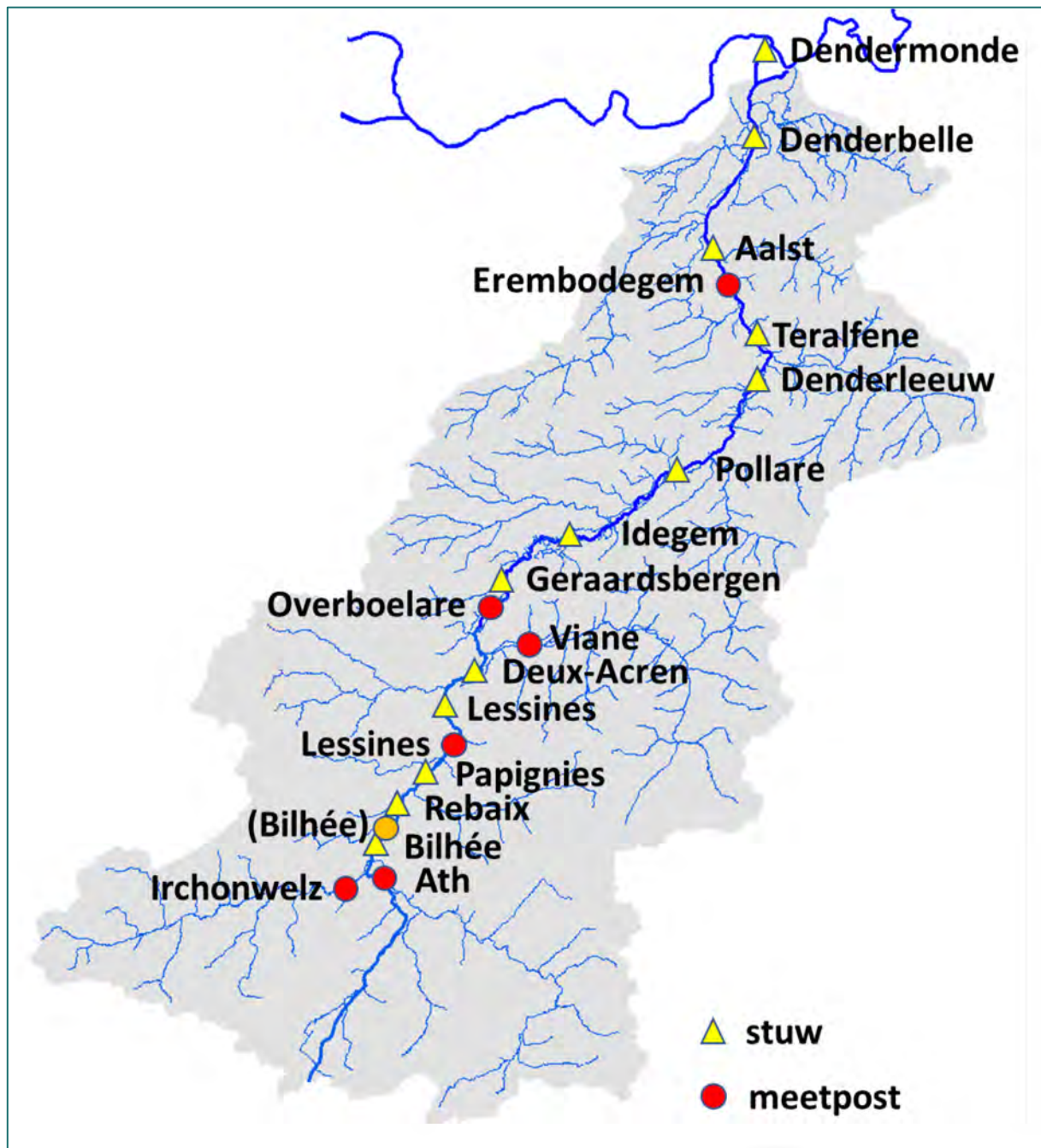
De studie werd uitgevoerd in drie stappen. In een eerste stap werd het gedrag van de vispassages geanalyseerd. De stuwen werden daarbij voorzien van een zeer eenvoudig sturingsalgoritme. In een tweede stap werd het gedrag van de stuwen onderzocht. De overige kunstwerken werden daarbij buiten beschouwing gelaten. In de derde en laatste stap werden alle kunstwerken opnieuw geactiveerd en werd de onderlinge interactie bestudeerd. Doorheen de volledige studie wordt enkel gekeken naar het gedrag bij lage en middelhoge afvoeren, waarbij geen overstromingen optreden.

Tijdens de uitvoering van de studie werden de resultaten gerapporteerd in een vijftal tussentijdse memo's. Dit rapport werd samengesteld door het samenvoegen van delen van deze tussentijdse memo's. De grotendeels gemeenschappelijke delen worden behandeld in hoofdstukken 2 (studiegebied), 3 (gegevens) en 4 (model). De analyses en resultaten van de memo “sturing vispassages Dender” worden behandeld in hoofdstuk 5 (vispassages). De analyses en resultaten van de memo's “sturing stuwen Dender”, “sturing stuwen Dender – aanvulling 1” en “sturing stuwen Dender – aanvulling 2” werden gebundeld in hoofdstuk 6 (stuwen). De analyses en resultaten van de memo “interactie stuwen en vispassages Dender” worden beschreven in hoofdstuk 7 (interactie). Hoofdstukken 5, 6 en 7 eindigen met conclusies en aanbevelingen. Deze worden nog eens samengevat in hoofdstuk 8 (samenvatting conclusies en aanbevelingen).

De analyses beschreven in dit rapport zijn gebaseerd op de informatie die beschikbaar was bij de aanvang van de studie. Inmiddels zijn de ontwerpen voor de vispassages op een aantal sites reeds gewijzigd. Bovendien wordt de haalbaarheid van het plaatsen van kleine waterkrachtcentrales momenteel herbekeken. Alhoewel de algemene conclusies van de uitgevoerde analyses overeind blijven, zal de toekomstige situatie ongetwijfeld verschillen van de situatie beschreven in dit rapport. Voor een detailanalyse van het verwachte gedrag van een specifiek kunstwerk op een bepaalde site is een actualisatie op basis van de definitieve ontwerpen noodzakelijk.

2 Studiegebied

Het studiegebied wordt getoond in Figuur 1. Het omvat de Dender vanaf het stuw-sluiscomplex te Lessines (Wallonië) tot aan de monding in de Zeeschelde te Dendermonde. In dit gebied bevinden zich de stuw-sluiscomplexen van Deux-Acren, Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Terafene, Aalst, Denderbelle en Dendermonde. Het stuw-sluiscomplex in Terafene zal in de toekomst verdwijnen.



Figuur 1 – Studiegebied

3 Gegevens

3.1 Hydrometrie

De gebruikte hydrometrische gegevens worden samengevat in Tabel 1.

Tabel 1 – Hydrometrische gegevens

Station	Waterloop	Locatie	Beheerder	Variabele
2708	Dendre	Lessines	DGO2	Q
Den12a	Dender	Overboelare	HIC	Q
Den06a	Dender	Erembodegem	HIC	Q
L07_289	Mark	Viane	VMM	Q
L07_285	Bellebeek	Essene	VMM	Q
L07_28a	Molenbeek	Ophasselt	VMM	Q
L07_284	Molenbeek	Iddergem	VMM	Q
L07_28c	Molenbeek	Aalst	VMM	Q
L07_282	Molenbeek	Mere	VMM	Q
Den11e	Dender	Geraardsbergen	HIC	H
Den10e	Dender	Idegem	HIC	H
Den09e	Dender	Pollare	HIC	H
Den08c	Dender	Denderleeuw	HIC	H
Den05e	Dender	Aalst	HIC	H
Zes47a	Zeeschelde	Dendermonde	HIC	H

3.2 Stuwen

De afmetingen van de geplande stuwen in Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Aalst en Denderbelle werden afgeleid uit ontwerpplannen, ter beschikking gesteld door DVW. Voor de stuwen van Idegem, Pollare en Denderleeuw werd het drempelpeil en de maximale en minimale stuwstand geschat. De minimale stuwstand werd gelijkgesteld aan het streefpeil min 4 m en de maximale stuwstand aan het streefpeil plus 0,3 m. De gebruikte afmetingen worden samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Eigenschappen stuwen

Stuw	Streefpeil (m TAW)	Breedte (m)	Min (m TAW)	Max (m TAW)
Geraardsbergen	16,85	2 x 7,00	12,85	17,15
Idegem	15,23	2 x 7,00	11,23	15,53
Pollare	12,88	2 x 7,00	8,88	13,18
Denderleeuw	10,37	2 x 7,00	6,37	10,67
Aalst	7,61	2 x 7,00	3,61	7,91
Denderbelle	5,83	2 x 7,50	0,83	6,13

3.3 Sluizen

De afmetingen van de geplande sluizen in Aalst en Denderbelle werden afgeleid of geschat op basis van ontwerpplannen, ter beschikking gesteld door DVW. De gebruikte afmetingen worden samengevat in Tabel 3.

Tabel 3 – Eigenschappen sluizen

Sluis	Lengte (m)	Breedte (m)	Verval (m)
Geraardsbergen	45,0	5,2	1,62
Idegem	45,0	5,2	2,35
Pollare	45,0	5,2	2,51
Denderleeuw	45,0	5,2	2,76
Aalst	55,4	6,0	1,78
Denderbelle	56,5 + 75,5 = 132,0	10,5	2,01
Dendermonde	168,0	16,0	0,61

De nieuwe sluis van Denderbelle zal bestaan uit twee deelkolken met een tussendeur. De overige sluizen blijven behouden, maar worden wel aangepast. In Denderleeuw wordt de vloer van de kolk verlaagd tot het niveau van de vloer van de kolk van Terafene. In Geraardsbergen, Idegem, Pollare en Denderleeuw worden de versleten sluisdeuren, die zwaar lekken, vervangen door nieuwe.

De schutverliezen werden geschat op basis van trafiekgegevens, ter beschikking gesteld door DVW. De pleziervaart (tijdens de zomermaanden) werd geraamd op basis van de “Overzichten pleziervaart” voor de periode 2010 t.e.m. 2019. De beroepsvaart (tijdens het volledige jaar) werd geraamd op basis van de jaarboeken met de “Statistiek van het vervoer op de waterwegen beheerd door Waterwegen en Zeekanaal” voor de periode 2010 t.e.m. 2016 en gegevens van RIS Evergem voor de periode 2017 t.e.m. 2019. Voor de sluizen van Aalst en Denderbelle werden geen prognoses voor de toekomstige trafiek (na de opwaardering van de Dender tussen Aalst en Dendermonde) gehanteerd. Voor de sluis van Aalst werd verondersteld dat er geen beroepsvaart meer zal zijn na de verplaatsing naar de nieuwe locatie opwaarts van de huidige locatie. Voor de sluis van Denderbelle werd verondersteld dat de pleziervaart gebruik zal maken van de kleinste deelkolk en dat de beroepsvaart gebruik zal maken van de volledige sluis. Voor de sluis van Dendermonde werd het afwaartse peil gelijkgesteld aan het gemiddelde getij. De resultaten worden samengevat in Tabel 4. Voor de sluis van Deux-Acres werden de schutverliezen gelijk gesteld aan die van Geraardsbergen.

Tabel 4 – Schutverliezen

Sluis	Pleziervaart (aantal/jul-aug)	Beroepsvaart (aantal/jaar)	Schutverlies (m ³ /s)
Geraardsbergen	213	0	0,02
Idegem	189	0	0,02
Pollare	205	0	0,02
Denderleeuw	217	0	0,02
Aalst	180	0	0,02
Denderbelle	231	1671	0,20
Dendermonde	247	1924	0,18

De lekverliezen werden geschat op basis van de lengte van de voegen en een eenheidsverlies per meter voeg. De totale lengte omvat de voegen tussen de deuren onderling, maar ook de voegen tussen de deuren en de sluiswand en de sluisbodem. Indien de sluis gevuld en geledigd wordt door schuiven of kleppen in de deuren, dan werd ook de lengte van de kaders rond de schuiven of kleppen in rekening gebracht. De precieze lengte van de verticale voegen langs de deuren is voor het benedenhoofd ook afhankelijk van de waterstand in de kolk. De gehanteerde lengte stemt overeen met een half gevulde kolk. Het eenheidsverlies werd afgeleid uit observaties op de nieuwe sluis van Harelbeke en bedraagt 50 l/m/min voor alle sluizen. Dit is aanzienlijk hoger dan de streefwaarde die in sommige teksten m.b.t. ontwerp van stuwen en sluizen gehanteerd wordt, namelijk 5 l/m/min. De waterstand in de kolk heeft ook een invloed op de grootte van het eenheidsverlies. Deze invloed werd niet in rekening gebracht. Het lekverlies voor de volledige sluis werd geschat als het gemiddelde van het lekverlies door het bovenhoofd en het lekverlies door het benedenhoofd. Voor de sluis van Deux-Acres werden de lekverliezen gelijkgesteld aan die van Geraardsbergen.

Tabel 5 – Lekverliezen

Sluis	Voeg deur (m)	Voeg schuif/klep (m)	Lekverlies (m ³ /s)
Geraardsbergen	15 - 20	2 x 2,0	0,02
Idegem	12 - 19	2 x 2,0	0,02
Pollare	12 - 19	2 x 2,0	0,02
Denderleeuw	13 - 21	2 x 2,0	0,02
Aalst	15 - 21	10 x 2,2	0,03
Denderbelle	20 - 26	6 x 3,6	0,04
Dendermonde	26 - 28	nvt	0,02

3.4 Vispassages

In Deux-Acren werd in 2017 een vertical slot vispassage met een ontwerpdebiet van 0,3 m³/s gebouwd. Het is niet duidelijk of deze vispassage reeds in gebruik was tijdens de zomer van 2017. In Lessines is nog geen vispassage aanwezig. De bouw ervan is gepland voor 2027 of later.

In Idegem, Pollare en Denderleeuw wordt een vertical slot vispassage met een toegevoegd debiet voorzien. Het gemiddelde debiet doorheen de vispassage bedraagt 0,9 m³/s en het toegevoegd debiet 0 tot 4 m³/s.

In Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle wordt een V-vormige bekkentrap voorzien. Het oorspronkelijke ontwerp voorzorg in een grote bekkentrap met een gemiddeld debiet van 3 m³/s. Het huidige ontwerp bestaat uit een kleinere bekkentrap met een gemiddeld debiet van 1,5 m³/s en een toegevoegd debiet van 0 tot 4 of 5 m³/s. Tabel 6 geeft een overzicht van de vispassages en hun eigenschappen.

Tabel 6 – Eigenschappen vispassages

Vispassage	Type	Debiet vispassage (m ³ /s)	Toegevoegd debiet (m ³ /s)
Deux-Acren	Vertical slot	0,3	nvt
Geraardsbergen	Grote/kleine bekkentrap	3,0 / 1,5	nvt / 0 - 5
Idegem	Vertical slot	0,9	0 - 4
Pollare	Vertical slot	0,9	0 - 4
Denderleeuw	Vertical slot	0,9	0 - 4
Aalst	Grote/kleine bekkentrap	3,0 / 1,5	nvt / 0 - 4
Denderbelle	Grote/kleine bekkentrap	3,0 / 1,5	nvt / 0 - 4

Bij een vertical slot vispassage is het toegevoegd debiet noodzakelijk voor het realiseren van het benodigde lokstroomdebiet van 3 tot 4 m³/s. Bij bekkentrappen wordt verwacht dat het toepassen van het toegevoegd debiet een meerwaarde zal hebben door het verkleinen van het risico op sluiting bij lage afvoer (waterbesparing dankzij lager debiet vispassage) en het realiseren van een relatief sterk lokstroomdebiet bij hoge afvoer. Voor de locatie Geraardsbergen is tevens een relatief hoger lokstroomdebiet vereist vanwege de suboptimale ligging van de monding.

4 Model

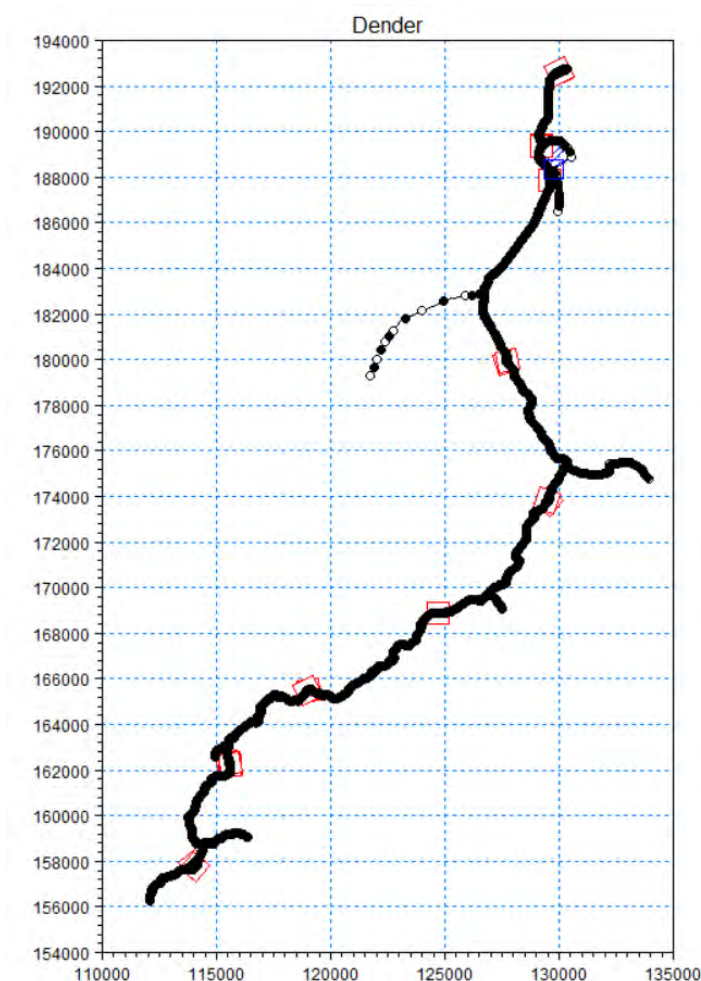
4.1 Software

Het numerieke model werd opgebouwd met het softwarepakket Mike11 (versie 2017, SP2), ontwikkeld en verdeeld door het Danish Hydraulic Institute (DHI).

4.2 Opbouw

Het model van de Dender werd opgebouwd door het aanpassen van een bestaand model van de Dender (IMDC, 2018). Het nieuwe model bevat de Dender, het afwaartse deel van een aantal zijlopen en het Denderbellebroek. De overige overstromingsgebieden zijn niet in dit model opgenomen. Dit model is dus sterk vereenvoudigd t.o.v. de modelversies voor hoogwaterstudies (ROR, ORBP, MER, ...).

Figuur 2 toont de ruimtelijke uitgestrektheid van het gebruikte hydrodynamische model. Het loopt van de stuw van Lessines in Wallonië tot aan de monding van de Dender in de Zeeschelde nabij Dendermonde.



Figuur 2 – Hydrodynamisch model

Het model stemt overeen met een toekomstige situatie waarbij:

- de stuw en sluis van Terafene afgebroken zijn
- de stuw en sluis van Aalst verplaatst zijn naar een nieuwe site opwaarts van Aalst
- de stuwen van Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw en Denderbelle gerenoveerd zijn
- de sluis van Denderbelle vervangen is
- vispassages aangelegd werden in Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw en Denderbelle

In Geraardsbergen worden de bestaande grote en kleine stuw buiten dienst gesteld, wordt een nieuwe stuw gebouwd opwaarts van de grote stuw, worden twee bypass kokers rondom de grote stuw gelegd en wordt de vispassage aangelegd in de geul die naar de kleine stuw leidt. Voor de sites van Idegem, Pollare, Denderleeuw en Denderbelle zijn nog geen details over de toekomstige layout beschikbaar.

De bathymetrie van de Dender werd niet aangepast, ook niet in de zones tussen de stuw van Denderleeuw en de stuw van Terafene en ook niet tussen de oude en de nieuwe site van de stuw van Aalst. De mogelijke opwaardering van de Dender tussen Aalst en Dendermonde werd evenmin in rekening gebracht. De kruin van de overlooppijk van het Denderbellebroek werd dan ook behouden op de huidige hoogte (ongeveer 5,9 m TAW).

4.3 Randvoorwaarden

De opwaartse en zijdelingse randvoorwaarden bestaan uit de gemeten debieten op de Dender en haar zijlopen (zie Tabel 1). De instroming vanuit onbemeten deelbekkens werd geschat door het herschalen van de meetreeksen van bemeten deelbekkens, op basis van de verhouding van de oppervlakte van de bemeten en de onbemeten deelbekkens.

De afwaartse randvoorwaarde bestaat uit de gemeten waterpeilen op de Zeeschelde te Dendermonde.

5 Vispassages

5.1 Methodologie

5.1.1 Modelvariant

Alle analyses werden uitgevoerd met het model beschreven in hoofdstuk 4. Alle kunstwerken waren actief. Schut- en lekverliezen werden toegepast. Zowel opwaartse als zijdelingse instroming werd in rekening gebracht.

5.1.2 Scenario's

Er werden drie scenario's bestudeerd. Deze verschillen van elkaar door het type van de vispassages en de sturing ervan. Voor elk scenario werden ook nog twee varianten doorgerekend. Voor scenario's 1 en 2 zijn dat variant "h" (waterpeil) en variant "q" (debiet) en voor scenario 3 variant "d" (discreet) en "c" (continu). Hieronder worden de eigenschappen van deze scenario's en varianten opgesomd.

Scenario S1:

- grote bekkentrappen zonder toegevoegd debiet in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle
- vertical slot passages met toegevoegd debiet in Idegem, Pollare en Denderleeuw
- regeling waterpeil door variatie klepstand stuwen
- toegevoegd debiet varieert in functie van debiet over stuwen
- toegevoegd debiet varieert in stappen van 0,5 of 1 m³/s
- variant h: vispassages openen op basis van opwaarts waterpeil
- variant q: vispassages openen op basis van debiet over stuwen

Scenario S2:

- kleine bekkentrappen met toegevoegd debiet in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle
- vertical slot passages met toegevoegd debiet in Idegem, Pollare en Denderleeuw
- regeling waterpeil door variatie klepstand stuwen
- toegevoegd debiet varieert in functie van debiet over stuwen
- toegevoegd debiet varieert in stappen van 0,5 of 1 m³/s
- variant h: vispassages openen op basis van opwaarts waterpeil
- variant q: vispassages openen op basis van debiet over stuwen

Scenario S3:

- kleine bekkentrappen met toegevoegd debiet in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle
- vertical slot passages met toegevoegd debiet in Idegem, Pollare en Denderleeuw
- regeling waterpeil bij hoge afvoeren door variatie klepstand stuwen
- regeling waterpeil bij lage afvoeren door variatie toegevoegd debiet (zie varianten hieronder)
- variant d: toegevoegd debiet varieert discreet in stappen van 0,5 m³/s
- variant c: toegevoegd debiet varieert (bijna) continu in stappen van 0,1 m³/s

5.1.3 Sturing

De toekomstige sturing van de stuwen ligt nog niet vast en zal afzonderlijk bestudeerd worden (zie hoofdstuk 6). Daarom werden de stuwen uitgerust met een zeer eenvoudige voorlopige regeling:

- als waterpeil hoger dan streefpeil + 5 cm, verlaag kleppen met 5 cm
- als waterpeil lager dan streefpeil – 5 cm, verhoog kleppen met 5 cm

De sturing van de vispassage van Deux-Acren is niet bekend. Vermoedelijk wordt de vispassage handmatig geopend en gesloten. Voor deze vispassage worden volgende eenvoudige voorlopige regels toegepast:

- debiet vertical slot passage = constant = 0,3 m³/s
- als waterpeil lager dan streefpeil – 20 cm, sluit schuif volledig
- als waterpeil hoger dan streefpeil, open schuif volledig

De vertical slot vispassages werden uitgerust met volgende regels:

- debiet vertical slot passage = constant = 0,9 m³/s
- als waterpeil lager dan streefpeil – 20 cm, sluit schuif volledig
- variant h: als waterpeil hoger dan streefpeil – 15 cm, open schuif volledig
- variant q: als debiet over stuwen groter dan 1 m³/s, open schuif volledig

De vispassages met een bekkentrap werden uitgerust met volgende regels:

- debiet kleine bekkentrap = 0,65 – 1,5 – 2,9 m³/s (lineaire variatie i.f.v. waterpeil, range = 40 cm)
- debiet grote bekkentrap = 1,5 – 3,0 – 4,6 m³/s (lineaire variatie i.f.v. waterpeil, range = 40 cm)
- als waterpeil hoger dan streefpeil + 20 cm, sluit schuif volledig (beveiliging tegen uitspoeling)
- als waterpeil lager dan streefpeil - 20 cm, sluit schuif volledig
- variant h: als waterpeil hoger dan streefpeil – 15 cm, open schuif volledig
- variant q: als debiet over stuwen groter dan 1,5 (klein) of 3,0 (groot) m³/s, open schuif volledig

Voor scenario's S1 en S2 wordt het toegevoegd debiet voor de vertical slot passages of een kleine bekkentrap bepaald in functie van het debiet over de stuwen. Op de meeste sites heeft het toegevoegd debiet vijf discrete standen (0,5, 1, 2, 3 en 4 m³/s). Omwille van de suboptimale locatie van de monding van de vispassage in Geraardsbergen wordt daar nog een zesde stand (5 m³/s) voorzien.

Om de vispassages bij lage afvoeren zo aantrekkelijk mogelijk te maken wordt het toegevoegd debiet reeds ingeschakeld bij lage stuwdebieten (vanaf 0,6 m³/s). Om hoogfrequente schommelingen tussen twee naburige standen te vermijden, werden voor het verhogen van het toegevoegd debiet hogere drempelwaarden gebruikt dan voor het verlagen van het toegevoegd debiet (hysteresis).

Verhogen van het toegevoegd debiet:

- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 0,6 m³/s : 0,5 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 1,1 m³/s : 1 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 2,1 m³/s : 2 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 3,1 m³/s : 3 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 4,1 m³/s : 4 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min > 5,1 m³/s : 5 m³/s (enkel Geraardsbergen)

Verlagen van het toegevoegd debiet:

- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 4,1 m³/s : 4 m³/s (enkel Geraardsbergen)
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 3,1 m³/s : 3 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 2,1 m³/s : 2 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 1,1 m³/s : 1 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 0,6 m³/s : 0,5 m³/s
- als debiet over stuwen gedurende meer dan 10 min < 0,1 m³/s : 0 m³/s

Voor scenario S3 wordt het toegevoegd debiet aangepast i.f.v. het waterpeil:

- variant d: als waterpeil hoger dan streefpeil + 5 cm, verhoog toegevoegd debiet met 0,5 m³/s
- variant c: als waterpeil hoger dan streefpeil + 5 cm, verhoog toegevoegd debiet met 0,1 m³/s
- variant d: als waterpeil lager dan streefpeil – 5 cm, verlaag toegevoegd debiet met 0,5 m³/s
- variant c: als waterpeil lager dan streefpeil – 5 cm, verlaag toegevoegd debiet met 0,1 m³/s

Om ervoor te zorgen dat de stuwen en het toegevoegd debiet in de juiste volgorde werken, worden voor scenario S3 nog twee bijkomende regels toegevoegd:

- kleppen stuwen mogen pas zakken als toegevoegd debiet reeds maximaal is
- schuif toegevoegd debiet mag pas zakken als debiet over kleppen stuwen reeds 0 is

De variatie van het toegevoegd debiet i.f.v. het debiet over de stuwen in scenario's S1 en S2 heeft tot doel ervoor te zorgen dat de verhouding tussen de lokstroom (som van debiet door vispassage en toegevoegd debiet) bij lage afvoeren zo lang mogelijk groter of gelijk aan 1 gehouden wordt. Bij hogere afvoeren is dit niet meer mogelijk.

Bij hoge waterstanden (meer dan 20 cm boven streefpeil) worden de bekkentrappen gesloten om ze te beveiligen tegen uitspoelen. Het toegevoegd debiet, dat enkel een functie is van het debiet over de stuwen, blijft echter maximaal. Het heeft geen ecologische functie meer, maar kan nog bijdragen tot het verhogen van de afvoercapaciteit van de site. Indien dit voordeel te gering geacht wordt, kan het toegevoegd debiet eventueel samen met de kleine bekkentrap afgesloten worden.

De simulaties werden uitgevoerd met een tijdstap van 1 minuut. De bovenstaande regels worden dan ook elke minuut geëvalueerd. Voor de schuiven van de vispassages werd verondersteld dat ze op 1 minuut tijd volledig kunnen openen of sluiten.

5.1.4 Analyse

Alle scenario's werden doorgerekend voor een jaar met een gemiddelde afvoer (2015), een nat jaar (2016) en een droog jaar (2017). De resultaten werden vergeleken aan de hand van een aantal kengetallen.

5.2 Resultaten

5.2.1 Kengetallen

De resultaten van de berekeningen worden samengevat in tabellen met kengetallen. De betekenis van deze kengetallen is als volgt:

- % NP = tijd (in %) dat het opwaarts waterpeil minder dan 5 cm afwijkt van het streefpeil
- % LW = tijd (in %) dat het opwaarts waterpeil lager is dan het laagwateralarmpeil
- % 1 = tijd (in %) dat een stuw, vispassage of toegevoegd debiet open staat
- # +/- = aantal keren dat een klep of schuif van stand verandert
- # 1/0 = aantal keren dat een vispassage open of dicht gaat

Alle kengetallen werden berekend voor het volledige jaar en voor de zomer. De zomer werd gedefinieerd als de periode van 1 april tot 1 oktober.

De berekeningen werden uitgevoerd met een tijdstap van 1 minuut, maar de resultaten werden slechts om de 5 minuten opgeslagen. Het absolute aantal bewegingen van kleppen en schuiven is dus waarschijnlijk onderschat.

De percentages werden afgerond tot op een geheel getal. Een openingsgraad van "0" % omvat dus alle waarden tussen 0 en 0,49 % en een openingsgraad van "100" % slaat op de range van 99,50 tot 100 %.

5.2.2 Geraardsbergen

De resultaten voor Geraardsbergen worden getoond in Tabel 7 t.e.m. Tabel 12.

Tabel 7 – Geraardsbergen - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	52	0	50	1042	93	582	0	0
S1 - q	84	0	81	1260	67	46	0	0
S2 - h	84	0	69	1131	100	2	57	404
S2 - q	84	0	69	1129	100	2	57	404
S3 - d	86	0	25	1009	100	2	63	680
S3 - c	83	0	26	1038	100	2	66	1951

Tabel 8 – Geraardsbergen - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	59	0	54	1803	95	364	0	0
S1 - q	79	0	75	1866	78	20	0	0
S2 - h	90	0	81	1820	99	6	68	492
S2 - q	90	0	81	1820	99	6	68	492
S3 - d	91	0	36	1843	99	6	78	582
S3 - c	89	0	36	1908	99	6	80	1707

Tabel 9 – Geraardsbergen - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	37	0	35	737	80	1346	0	0
S1 - q	84	0	81	1021	52	42	0	0
S2 - h	58	0	52	779	98	96	42	299
S2 - q	66	0	58	952	90	48	43	365
S3 - d	59	0	17	702	98	80	48	451
S3 - c	58	0	17	681	98	96	51	1302

Tabel 10 – Geraardsbergen - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	31	0	26	278	90	432	0	0
S1 - q	70	0	65	458	59	37	0	0
S2 - h	75	0	58	388	100	0	38	209
S2 - q	75	0	58	388	100	0	38	209
S3 - d	78	0	6	214	100	0	50	417
S3 - c	75	0	6	217	100	0	53	1132

Tabel 11 – Geraardsbergen - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	53	0	50	720	95	204	0	0
S1 - q	74	0	71	740	78	5	0	0
S2 - h	89	0	82	713	99	2	60	243
S2 - q	89	0	82	713	99	2	60	243
S3 - d	90	0	25	758	99	2	76	317
S3 - c	88	0	25	767	99	2	80	962

Tabel 12 – Geraardsbergen - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	5	0	3	48	69	994	0	0
S1 - q	72	0	69	274	31	33	0	0
S2 - h	38	0	31	142	96	82	14	74
S2 - q	50	0	40	297	84	42	15	132
S3 - d	40	0	0	15	97	72	24	170
S3 - c	38	0	0	27	96	82	29	431

5.2.3 Idegem

De resultaten voor Idegem worden getoond in Tabel 13 t.e.m. Tabel 18.

Tabel 13 – Idegem - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	95	0	84	1796	100	4	80	628
S1 - q	96	0	95	1598	98	40	75	629
S2 - h	99	0	96	1552	100	0	71	616
S2 - q	100	0	96	1546	100	0	71	610
S3 - d	100	0	37	1288	100	0	89	1031
S3 - c	99	0	36	1365	100	0	94	2468

Tabel 14 – Idegem - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	97	0	91	2303	100	0	87	560
S1 - q	98	0	98	2082	99	14	83	497
S2 - h	99	0	98	2181	100	0	81	585
S2 - q	99	0	98	2180	100	0	81	585
S3 - d	100	0	43	1996	100	0	93	929
S3 - c	99	0	44	2066	100	0	96	1904

Tabel 15 – Idegem - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	75	0	60	1148	96	316	57	429
S1 - q	80	0	71	1297	92	104	57	523
S2 - h	78	0	72	1049	97	126	53	432
S2 - q	86	0	77	1239	94	60	54	521
S3 - d	80	0	24	838	98	110	62	724
S3 - c	77	0	24	830	97	130	66	1861

Tabel 16 – Idegem - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	92	0	75	709	100	4	71	349
S1 - q	94	0	91	616	96	34	65	362
S2 - h	100	0	94	532	100	0	59	333
S2 - q	100	0	94	531	100	0	59	330
S3 - d	100	0	11	334	100	0	81	759
S3 - c	99	0	11	345	100	0	90	1794

Tabel 17 – Idegem - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	98	0	90	986	100	0	86	294
S1 - q	99	0	98	853	100	4	83	246
S2 - h	99	0	99	935	100	0	80	319
S2 - q	99	0	98	935	100	0	80	319
S3 - d	100	0	34	865	100	0	92	522
S3 - c	99	0	35	889	100	0	96	1098

Tabel 18 – Idegem - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	60	0	42	320	94	266	37	160
S1 - q	68	0	55	507	86	86	38	267
S2 - h	64	0	55	253	95	110	31	149
S2 - q	77	0	63	413	90	52	33	227
S3 - d	68	0	1	73	96	94	42	393
S3 - c	63	0	1	76	95	114	48	976

5.2.4 Pollare

De resultaten voor Pollare worden getoond in Tabel 19 t.e.m. Tabel 24.

Tabel 19 – Pollare - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	97	0	81	2041	100	0	78	759
S1 - q	96	0	88	1977	99	22	74	760
S2 - h	98	0	90	2014	100	0	73	809
S2 - q	98	0	90	2002	100	0	73	800
S3 - d	97	0	40	1542	100	0	80	1574
S3 - c	98	0	39	1560	100	0	87	2982

Tabel 20 – Pollare - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	97	0	89	2399	100	0	86	679
S1 - q	98	0	95	2263	100	6	84	635
S2 - h	99	0	95	2448	100	0	81	780
S2 - q	99	0	95	2462	100	0	81	780
S3 - d	98	0	45	2087	100	0	86	1564
S3 - c	98	0	45	2132	100	0	93	2621

Tabel 21 – Pollare - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	79	0	63	1284	98	114	56	532
S1 - q	88	0	70	1466	93	80	57	609
S2 - h	82	0	74	1291	98	68	52	595
S2 - q	91	0	80	1441	95	52	54	634
S3 - d	83	0	26	1011	99	50	58	1075
S3 - c	80	0	26	973	98	66	63	2247

Tabel 22 – Pollare - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	94	0	72	831	100	0	68	432
S1 - q	94	0	81	845	97	20	63	459
S2 - h	97	0	85	829	100	0	60	463
S2 - q	97	0	85	818	100	0	60	455
S3 - d	95	0	13	507	100	0	69	1147
S3 - c	96	0	13	474	100	0	77	2249

Tabel 23 – Pollare - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	96	0	88	1059	100	0	85	372
S1 - q	99	0	96	958	100	0	83	328
S2 - h	99	0	95	1083	100	0	81	419
S2 - q	99	0	95	1082	100	0	81	417
S3 - d	97	0	36	918	100	0	83	889
S3 - c	98	0	36	924	100	0	92	1596

Tabel 24 – Pollare - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	66	0	46	349	96	104	35	202
S1 - q	80	0	51	570	88	70	38	302
S2 - h	70	0	58	316	97	64	30	204
S2 - q	84	0	67	450	90	46	33	245
S3 - d	73	0	1	121	98	46	35	614
S3 - c	68	0	1	106	97	62	43	1262

5.2.5 Denderleeuw

De resultaten voor Denderleeuw worden getoond in Tabel 25 t.e.m. Tabel 30.

Tabel 25 – Denderleeuw - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	99	0	84	2536	100	0	78	1136
S1 - q	97	0	89	2437	100	4	77	1054
S2 - h	99	0	91	2515	100	0	76	1108
S2 - q	99	0	92	2495	100	0	77	1089
S3 - d	98	0	44	1970	100	0	80	2267
S3 - c	98	0	45	1843	100	0	87	3554

Tabel 26 – Denderleeuw - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	99	0	91	2860	100	0	86	917
S1 - q	99	0	95	2746	100	0	85	847
S2 - h	99	0	95	2993	100	0	85	971
S2 - q	99	0	95	3000	100	0	84	981
S3 - d	99	0	49	2588	100	0	85	2243
S3 - c	99	0	49	2454	100	0	92	3198

Tabel 27 – Denderleeuw - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	95	2	83	1602	100	30	58	703
S1 - q	93	3	80	1806	97	40	58	782
S2 - h	95	2	87	1697	100	18	57	771
S2 - q	94	3	84	1783	98	22	59	796
S3 - d	95	2	30	1284	100	16	70	1739
S3 - c	94	2	31	1207	100	18	81	3029

Tabel 28 – Denderleeuw - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	98	0	78	1084	100	0	68	655
S1 - q	96	1	82	1086	100	4	65	639
S2 - h	98	0	87	1071	100	0	63	652
S2 - q	98	0	87	1059	100	0	63	642
S3 - d	98	0	18	771	100	0	68	1663
S3 - c	97	0	18	623	100	0	77	2694

Tabel 29 – Denderleeuw - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	99	0	90	1308	100	0	85	511
S1 - q	99	0	96	1214	100	0	84	452
S2 - h	99	0	96	1351	100	0	83	536
S2 - q	99	0	96	1347	100	0	83	534
S3 - d	99	0	41	1155	100	0	82	1271
S3 - c	99	0	42	1100	100	0	92	1961

Tabel 30 – Denderleeuw - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	90	4	74	483	99	30	38	295
S1 - q	88	5	68	689	95	38	38	380
S2 - h	91	4	80	446	99	18	38	296
S2 - q	90	5	75	523	96	20	40	321
S3 - d	91	4	2	211	99	16	52	1122
S3 - c	90	4	2	176	99	18	69	1895

5.2.6 Aalst

De resultaten voor Aalst worden getoond in Tabel 31 t.e.m. Tabel 36.

Tabel 31 – Aalst - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	73	12	60	2255	99	40	0	0
S1 - q	72	13	60	2594	98	18	0	0
S2 - h	98	0	88	2689	100	2	76	1101
S2 - q	98	0	88	2668	100	2	76	1094
S3 - d	98	0	47	2160	100	2	77	2447
S3 - c	98	0	48	1982	100	8	84	3110

Tabel 32 – Aalst - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	84	6	74	3109	100	8	0	0
S1 - q	82	6	74	3200	100	6	0	0
S2 - h	98	0	96	3400	100	6	85	956
S2 - q	98	0	95	3447	100	8	85	978
S3 - d	98	0	54	3187	100	6	84	2353
S3 - c	98	0	53	2931	100	8	93	2756

Tabel 33 – Aalst - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	57	30	52	1676	99	118	0	0
S1 - q	61	23	54	2046	94	54	0	0
S2 - h	97	0	88	1903	100	2	63	780
S2 - q	97	1	82	1966	100	6	62	805
S3 - d	98	0	34	1564	100	2	71	1917
S3 - c	97	0	34	1507	100	8	81	2719

Tabel 34 – Aalst - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	61	20	44	813	99	36	0	0
S1 - q	60	22	45	1146	97	16	0	0
S2 - h	98	0	81	1170	100	0	63	656
S2 - q	98	0	81	1156	100	0	63	651
S3 - d	97	0	22	934	100	0	64	1820
S3 - c	97	0	23	731	100	2	72	2376

Tabel 35 – Aalst - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	83	8	71	1449	100	2	0	0
S1 - q	81	8	72	1463	100	2	0	0
S2 - h	99	0	96	1551	100	2	83	536
S2 - q	99	0	96	1551	100	4	83	534
S3 - d	98	0	48	1482	100	2	80	1363
S3 - c	99	0	47	1337	100	2	92	1663

Tabel 36 – Aalst - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	38	45	31	383	97	116	0	0
S1 - q	45	34	35	769	88	50	0	0
S2 - h	96	0	81	481	100	0	47	307
S2 - q	95	2	72	514	99	4	44	324
S3 - d	96	0	4	382	100	0	54	1329
S3 - c	95	0	4	289	100	0	69	1782

5.2.7 Denderbelle

De resultaten voor Denderbelle worden getoond in Tabel 37 t.e.m. Tabel 42.

Tabel 37 – Denderbelle - 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	75	0	62	2723	98	96	0	0
S1 - q	75	0	61	3061	97	88	0	0
S2 - h	95	0	83	3391	98	66	76	1354
S2 - q	95	0	83	3367	99	74	76	1343
S3 - d	92	0	52	3189	98	66	72	2696
S3 - c	94	0	51	2832	98	74	80	3155

Tabel 38 – Denderbelle - 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	83	1	77	3759	97	126	0	0
S1 - q	81	1	77	3888	97	128	0	0
S2 - h	94	1	93	4141	97	126	82	1202
S2 - q	94	1	93	4153	97	130	82	1205
S3 - d	92	1	61	4285	97	126	80	2426
S3 - c	94	1	59	3793	97	128	88	2856

Tabel 39 – Denderbelle - 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	61	0	51	1881	97	157	0	0
S1 - q	62	0	53	2354	93	101	0	0
S2 - h	95	0	87	2391	99	47	66	961
S2 - q	94	0	81	2414	99	53	64	972
S3 - d	95	0	40	2367	99	47	66	2100
S3 - c	95	0	37	2121	99	55	76	2667

Tabel 40 – Denderbelle - zomer 2015

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	64	0	47	873	99	28	0	0
S1 - q	64	0	48	1161	98	18	0	0
S2 - h	95	0	72	1345	100	2	64	792
S2 - q	95	0	72	1319	100	2	64	772
S3 - d	91	0	30	1416	100	2	57	1978
S3 - c	92	0	28	1038	100	6	67	2339

Tabel 41 – Denderbelle - zomer 2016

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	82	1	76	1654	99	28	0	0
S1 - q	81	1	76	1689	99	28	0	0
S2 - h	97	1	93	1833	99	28	82	642
S2 - q	96	1	93	1825	99	28	82	632
S3 - d	93	0	55	1909	99	28	76	1409
S3 - c	96	0	52	1680	99	28	86	1740

Tabel 42 – Denderbelle - zomer 2017

	Peil		Stuwen		Vispassage		Toegevoegd debiet	
	% NP	% LW	% 1	# +/-	% 1	# 1/0	% 1	# +/-
S1 - h	44	0	31	318	97	108	0	0
S1 - q	47	0	34	761	88	50	0	0
S2 - h	95	0	80	541	100	0	50	365
S2 - q	93	0	70	572	99	4	48	383
S3 - d	94	0	13	788	100	0	47	1454
S3 - c	94	0	8	463	100	0	61	1773

5.2.8 Bespreking

Randvoorwaarden

Bij de opmaak van de opwaartse randvoorwaarden werd geen rekening gehouden met de eventuele aanvoer van water via de bestaande vispassage in Papignies en de geplande vispassage in Lessines. De vispassage in Lessines zal immers ten vroegste in 2027 gerealiseerd worden.

De vispassage in Deux-Acren werd in 2017 gebouwd en wordt door het model wel in rekening gebracht. Eventuele watertekorten opwaarts van Deux-Acren tijdens de zomer worden gedeeltelijk aangevuld door het aanspreken van het bergingsvolume in het pand tussen Lessines en Deux-Acren. Dit pand fungeert tijdelijk (tot de aanleg van de vispassage in Lessines) als een bufferpand en werd dan ook niet in de analyses opgenomen.

Langsheen het afwaartse deel van de Mark, die uitmondt in de Dender tussen Deux-Acren en Geraardsbergen, liggen er ook een aantal vispassages. Deze waren echter reeds in bedrijf voor 2015. De impact van deze vispassages is dus reeds impliciet aanwezig in de meetreeks van de Mark te Viane.

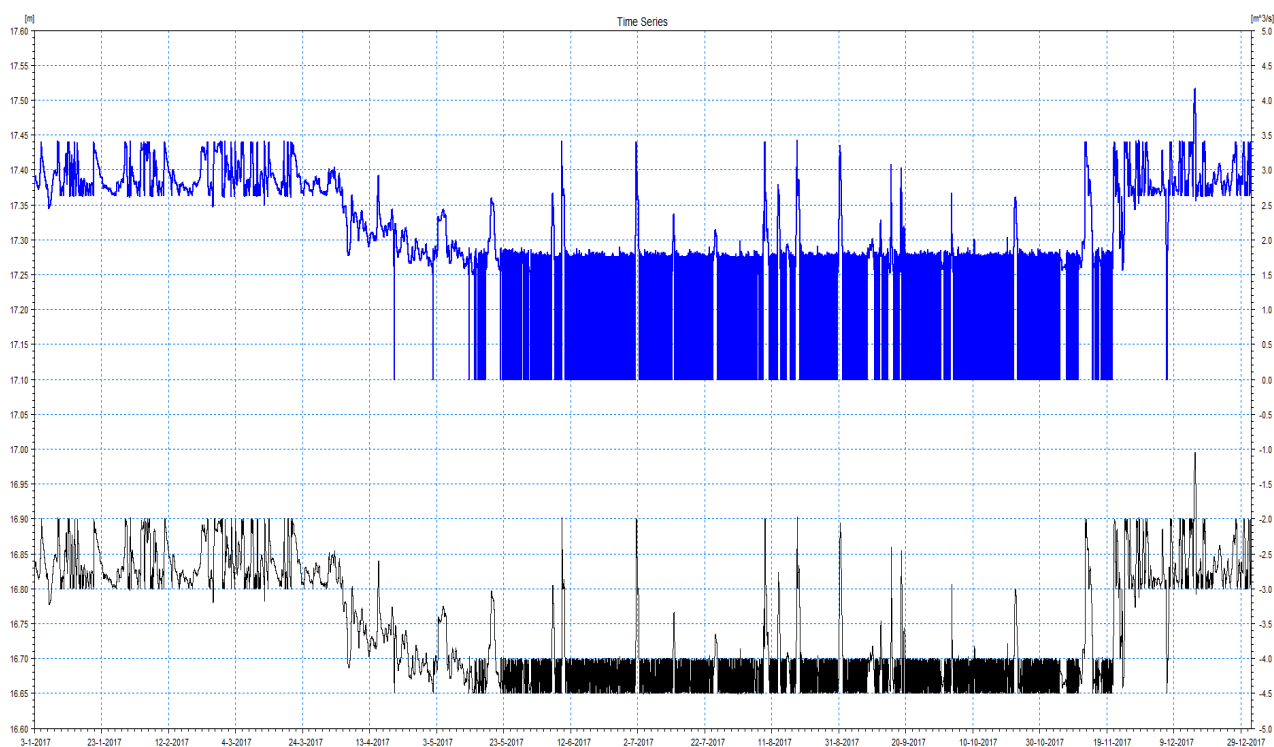
Sluiting vispassages

De vispassages sluiten wanneer het waterpeil in het opwaartse pand 20 cm onder het streefpeil zakt. Op de meeste sites ligt het laagwateralarmpeil meer dan 20 cm onder het streefpeil. In Denderleeuw en Aalst ligt het laagwateralarmpeil slechts 13 cm onder het streefpeil, omwille van de kleinere diepgang. Het hogere laagwateralarmpeil verklaart wel waarom Aalst en Denderleeuw de enige sites zijn met een significante onderschijding van het laagwateralarmpeil. Voor Aalst geldt dat de scenario's met toepassing van het toegevoegd debiet duidelijk zorgen voor minder onderschijding van het laagwateralarmpeil. Indien een onderschijding van het laagwateralarmpeil niet toegestaan is, zou het sluitingspeil van de vispassages in Denderleeuw en Aalst wel 10 cm verhoogd kunnen worden.

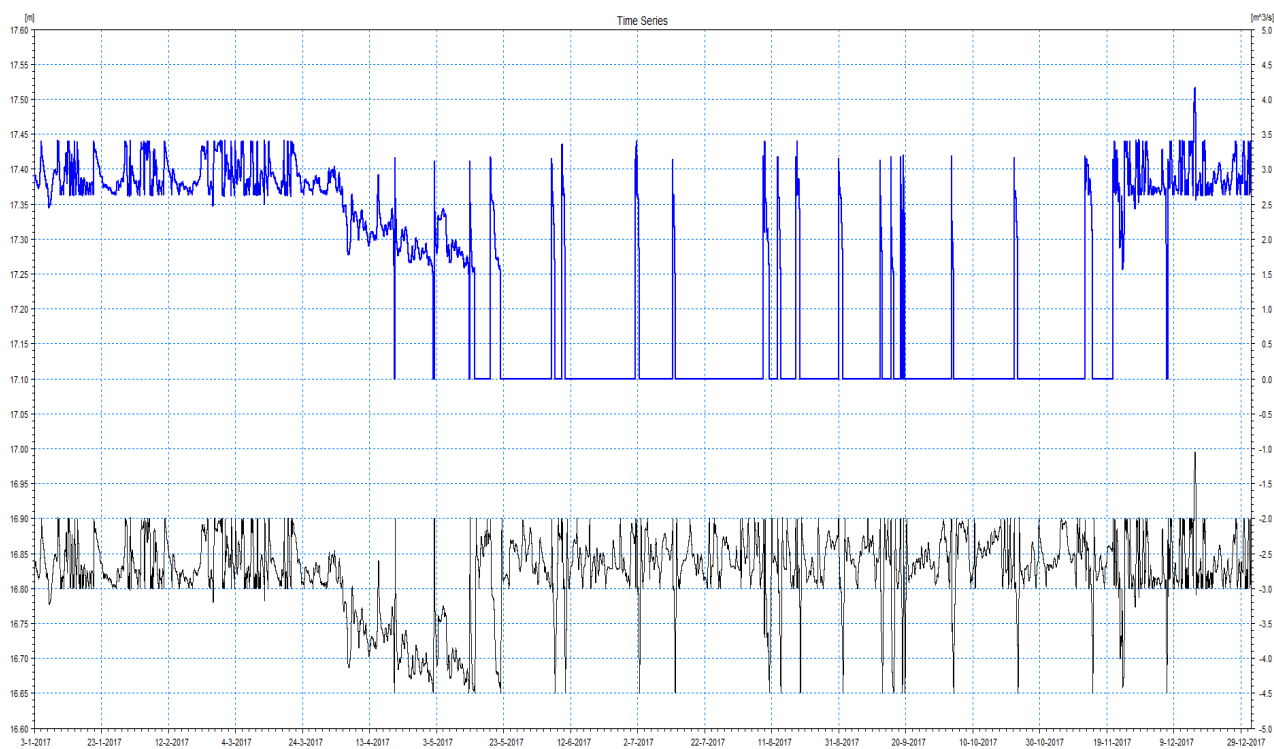
De occasionele onderschijding van het laagwateralarmpeil in Denderbelle (5,53 m TAW) is het gevolg van het uitvoeren van het zogenaamde "tijmanoeuvre". Dit manoeuvre houdt in dat de stuwen in Denderbelle volledig geopend worden wanneer de afvoer in Erembodegem meer dan 50 m³/s bedraagt en het waterpeil afwaarts de stuwen gestegen is tot meer dan 5,2 m TAW. De stuwen worden pas opnieuw gedeeltelijk gesloten wanneer er in Dendermonde geloosd kan worden en het waterpeil opwaarts de stuwen gedaald is tot minder dan 5,5 m TAW. Tijdens hoogwater zal de bekkentrap sluiten omdat het opwaarts peil te hoog is. Vismigratie blijft dan wel mogelijk over de volledig geopende stuwen. Tijdens laagwater zal de bekkentrap sluiten omdat het opwaarts peil te laag is. Aangezien de stuwen gedeeltelijk gesloten zijn, is er dan tijdelijk geen vismigratie meer mogelijk.

Opening vispassages

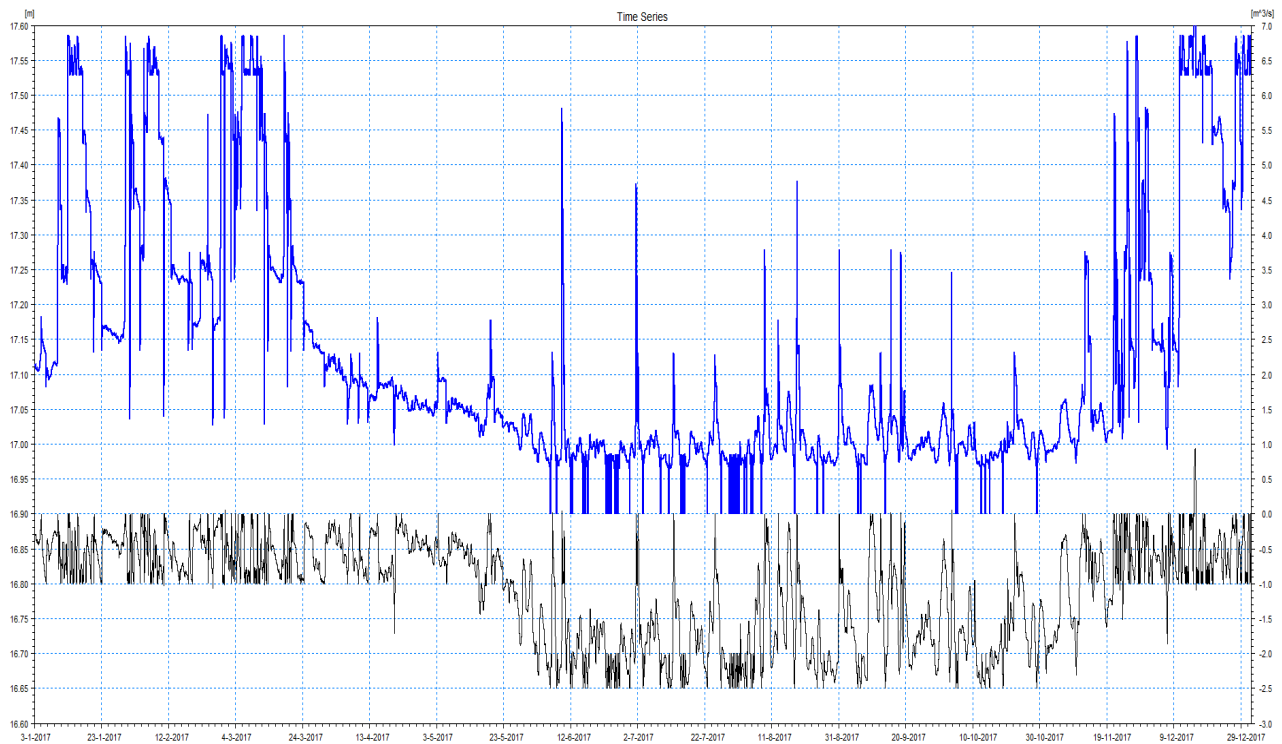
Voor de scenario's S1 en S2 werden twee varianten onderzocht. In scenario S1-h en S2-h worden de vispassages terug geopend zodra het opwaarts waterpeil stijgt tot boven 15 cm onder het streefpeil. In scenario's S1-q en S2-q openen de vispassages pas wanneer het debiet over de stuwen gedurende 10 minuten het ontwerpdebiet van de vispassage overschrijdt. De keuze van het openingsmechanisme heeft belangrijke gevolgen voor de openingsgraad van de vispassage en het waterpeil in het opwaarts pand tijdens droge perioden. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3 t.e.m. Figuur 6 voor de bekkentrap in Geraardsbergen tijdens de droge zomer van 2017.



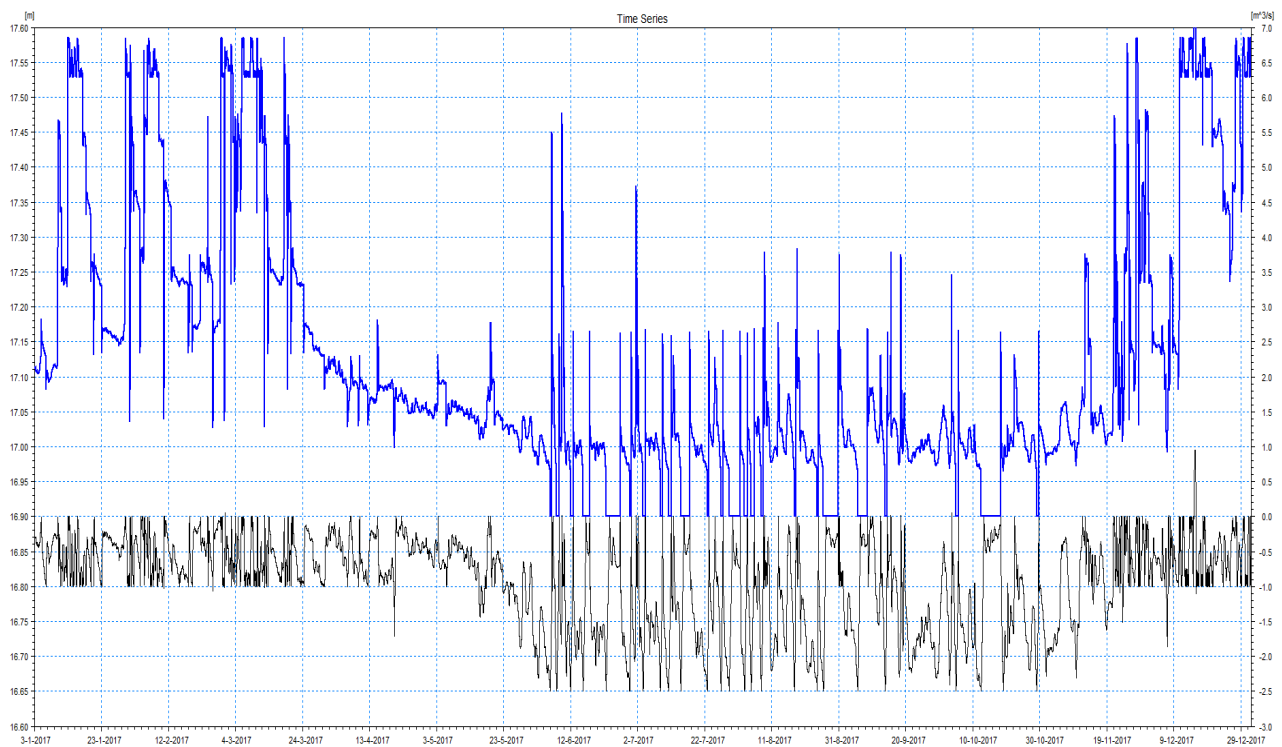
Figuur 3 – Geraardsbergen - 2017, scenario S1 - h: opening grote bekkentrap op basis van waterpeil
(zwart = opwaarts waterpeil, blauw = debiet door vispassage (incl. toegevoegd debiet))



Figuur 4 – Geraardsbergen - 2017, scenario S1 - q: opening grote bekkentrap op basis van debiet
(zwart = opwaarts waterpeil, blauw = debiet door vispassage (incl. toegevoegd debiet))



Figuur 5 – Geraardsbergen - 2017, scenario S2 - h: opening kleine bekkentrap op basis van waterpeil
(zwart = opwaarts waterpeil, blauw = debiet door vispassage (incl. toegevoegd debiet))



Figuur 6 – Geraardsbergen - 2017, scenario S2 - q: opening kleine bekkentrap op basis van debiet
(zwart = opwaarts waterpeil, blauw = debiet door vispassage (incl. toegevoegd debiet))

Tijdens een droogteperiode zal het waterpeil in het opwaarts pand geleidelijk zakken tot aan het sluitingspeil en zal de vispassage sluiten. Indien de vispassage opent op basis van het opwaarts peil (Figuur 3 en Figuur 5), dan zal een toename van de afvoer ervoor zorgen dat de vispassage opnieuw zal openen, nog voor het streefpeil in het opwaarts pand hersteld is. De openingsgraad van de vispassage is dan hoger, maar het peil in het opwaarts pand blijft gedurende lange tijd onder het streefpeil en de schakelfrequentie van de schuif van de vispassage ligt erg hoog. Indien de vispassage geopend wordt op basis van het debiet over de stuwen (Figuur 4 en Figuur 6), dan zal een toename van de afvoer eerst gebruikt worden om het peil in het opwaarts pand te herstellen en daarna pas om de vispassage te openen. De openingsgraad van de vispassage is dan lager, maar het opwaarts pand blijft dicht bij het streefpeil en de schakelfrequentie van de schuif van de vispassage ligt lager.

Uit Figuur 3 blijkt dat de schakelfrequentie van een grote bekkentrap met opening op basis van het waterpeil zeer hoog ligt. Deze frequentie kan verlaagd worden door het waterpeil waarbij de vispassage geopend wordt te verhogen.

Uit Figuur 3 en Figuur 5 blijkt dat het waterpeil in het opwaarts pand gedurende langere tijd onder het streefpeil ligt. Dit kan verholpen worden door de waterpeilen waarbij de vispassage geopend en gesloten wordt allebei (tijdelijk) te verhogen.

Uit Figuur 4 en Figuur 6 blijkt dat de vispassage gedurende lange tijd gesloten blijft. Dit kan verholpen worden door het streefpeil van het opwaartse pand tijdelijk te verlagen tijdens langdurige droogte, maar met behoud van het absolute sluitingspeil van de vispassage. Een alternatieve oplossing bestaat erin het streefpeil te behouden, maar het sluitingspeil van de vispassage te verhogen. De lange sluitingsperiodes zullen in beide gevallen opgesplitst worden in meerdere korte sluitingsperiodes.

Uit de voorgaande figuren blijkt dat openingsmechanismen op basis van waterpeil en debiet beiden voor- en nadelen hebben. De grootte van deze voor- en nadelen is ook afhankelijk van de locatie, het type vispassage en de weersomstandigheden. De verschillen zijn het grootst bij watertekort. Over het geheel gezien lijkt opening op basis van debiet een betere optie. De negatieve impact op de openingsgraad van de vispassage is vaak klein t.o.v. de positieve impact op het handhaven van het streefpeil. Om voor uitzonderlijke situaties toch een andere regeling mogelijk te maken, kan men ervoor opteren om in het sturingsalgoritme voor automatische regeling de mogelijkheid te laten om te kiezen tussen opening op basis van debiet, opening op basis van waterpeil of een combinatie van beiden. Een dergelijk flexibel sturingsalgoritme werd reeds voorgesteld voor de vispassage op de Bovenschelde te Kerkhove (Vanderkimpfen et al., 2019) en op de Leie te Sint-Baafs-Vijve (Vanderkimpfen et al., 2020).

Openingsgraad vispassages

Op de meeste sites is de openingsgraad van de vispassage goed tot zeer goed. De laagste openingsgraad doet zich voor in Geraardsbergen, tijdens de droge zomer van 2017, voor het scenario met een grote bekkentrap zonder toegevoegd debiet (S1). De aanvoer via de kleine vertical slot passage in Deux-Acres ($0,3 \text{ m}^3/\text{s}$) is veel kleiner dan de afvoer via de grote bekkentrap in Geraardsbergen ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ of meer), waardoor deze laatste na verloop van tijd zal sluiten.

Toegevoegd debiet

In Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle zorgen de scenario's met toepassing van een kleine bekkentrap met een toegevoegd debiet (S2 en S3) voor een hoger openingspercentage dan het scenario met een grote bekkentrap zonder toegevoegd debiet (S1). Dit verschil is groter wanneer de vispassages geopend worden op basis van debiet (variant q) dan wanneer ze geopend worden op basis van waterpeil (variant h). In Geraardsbergen blijft een kleine bekkentrap altijd langer open dan een grote. In Aalst en Denderbelle is dit enkel het geval tijdens droge jaren.

Sturing toegevoegd debiet

Door het gebruik van lage drempelwaarden voor het stuwdebiet waarbij het toegevoegd debiet ingeschakeld wordt (vanaf $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$), wordt het toegevoegd debiet sneller en langer geactiveerd in vergelijking met eerdere analyses, waar nog een minimale drempelwaarde van $4 \text{ m}^3/\text{s}$ gehanteerd werd. Dit heeft een groot positief effect op de attractiviteit (vindbaarheid) van de vispassage.

Dankzij het gebruik van hysteresis in de drempelwaarden van het stuwdebiet voor het op- en afschakelen van het toegevoegd debiet is de schakelfrequentie van het toegevoegd debiet sterk verminderd in vergelijking met eerdere analyses, waarbij dit nog niet het geval was.

Waterpeilregeling

In scenario S3 wordt het toegevoegd debiet gebruikt voor de regeling van het waterpeil bij lage afvoeren. In variant d (variatie toegevoegd debiet in stappen van $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) is de kwaliteit van de peilregeling vergelijkbaar met die van de peilregeling door de stuwen. In variant c (variatie toegevoegd debiet in stappen van $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) neemt het aantal bewegingen van de schuif van het toegevoegd debiet sterk toe, maar dit resulteert niet in een significante verbetering van het peilbeheer.

De openingsgraad van de vispassages neemt licht toe in droge jaren. De openingsgraad van de stuwen neemt sterk af en de openingsgraad van het toegevoegd debiet neemt meestal toe. In variant c is het toegevoegd debiet steeds langer actief dan in variant d.

Hoewel de openingsgraad van de vispassages maar in beperkte mate verbeterd wordt, heeft de toename van de inzet van het toegevoegd debiet wel een positief effect op de sterkte van de lokstroom. Aangezien een optimale lokstroom één van de belangrijkste factoren is voor een effectieve vispassage, heeft binnen scenario S3 variant c de voorkeur vanuit het oogpunt van vismigratie. Op deze manier wordt er namelijk voor gezorgd dat de vispassage voor een groot deel van de tijd de hoofdloop wordt.

De correcte werking van de schuiven van het toegevoegd debiet wordt in dit scenario wel heel belangrijk voor het handhaven van het waterpeil. De schuiven dienen (bijna) continu regelbaar te zijn, omwille van het hoge aantal schuifbewegingen moeten de schuiven robuuster zijn en er dienen veiligheidsmaatregelen getroffen te worden opdat de stuwen de peilregeling zouden overnemen, zodra het toegevoegd debiet een storing vertoont.

Hierbij wordt opgemerkt dat ook in scenario S2 een goede vindbaarheid voor de vispassages wordt bekomen doordat de grootte van het lokstroomdebiet bij lagere afvoeren zo geregeld wordt dat d altijd groter is dan het debiet over de stuwen.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

Op de meeste sites is de openingsgraad van de vispassage goed tot zeer goed. Het gebruik van kleine bekkentrappen met een toegevoegd debiet in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle laat toe de vispassages langer open te houden in perioden met waterschaarste. Dit effect lijkt het grootst in Geraardsbergen. De locaties met een vertical slotvispassage kunnen relatief langer open blijven in perioden van waterschaarste door een lager basisdebiet.

Het openen van de vispassages kan gebeuren op basis van het waterpeil in het opwaarts pand of op basis van het debiet over de stuwen. Om de vispassages zo lang mogelijk open te houden lijkt een opening op basis van het waterpeil in het opwaarts pand het meest geschikt. Om het waterpeil in het opwaarts pand zo dicht mogelijk bij het streefpeil te houden lijkt een opening op basis van het debiet over de stuwen het meest geschikt. De impact van het openingsmechanisme is het grootst voor grote bekkentrappen zonder toegevoegd debiet en tijdens droge jaren. Over het algemeen is opening op basis van debiet en sluiting op basis van waterpeil vermoedelijk de meest optimale regeling.

Om de impact van de keuze van het openingsmechanisme te minimaliseren kan men opteren voor een flexibel algoritme, waarbij de vispassage geopend wordt op basis van een combinatie van waterpeil en debiet. De beheerder kan dan zelf beslissen om de vispassage te openen op basis van waterpeil en/of debiet. Op basis van ervaring, weersomstandigheden en beheerprioriteiten, kan hij dan steeds het meest geschikte mechanisme instellen.

Door het gebruik van lage drempelwaarden voor het stuwdebiet waarbij het toegevoegd debiet ingeschakeld wordt, kan het toegevoegd debiet snel en lang geactiveerd worden. Dit heeft een groot positief effect op de attractiviteit (vindbaarheid) van de vispassage. Door het gebruik van hysteresis in de drempelwaarden van het stuwdebiet voor het op- en afschakelen van het toegevoegd debiet kan de schakelfrequentie van het toegevoegd debiet sterk beperkt worden.

Indien het toegevoegd debiet gebruikt zou worden voor het regelen van het waterpeil bij lage afvoeren, dan zullen deze lage afvoeren verplaatst worden van de stuwen naar de vispassages. Verwacht wordt dat dit de attractiviteit en daarmee de werking van de vispassage verder zal versterken aangezien de vispassage hierdoor een groot deel van de tijd de hoofdloop zal worden. Om een goede regeling van het waterpeil te verzekeren, dient het toegevoegd debiet dan echter continu te kunnen variëren. Om dit te kunnen realiseren, moeten de schuiven van het toegevoegd debiet dan ook flexibeler en robuuster uitgevoerd worden. Bovendien zou het sturingsalgoritme voldoende flexibel moeten zijn opdat de peilregeling door het toegevoegd debiet uitgeschakeld zou kunnen worden indien nodig (bv. tijdens onderhoudswerken aan de vispassage). Tenslotte moeten de nodige veiligheidsmaatregelen ingebouwd worden opdat de stuwen het peilbeheer automatisch zouden overnemen, zodra het toegevoegd debiet een storing vertoont.

6 Stuwen

6.1 Methodologie

6.1.1 Modelvariant

De bewegingen van de stuw in Deux-Acren, waarvan de precieze sturing niet gekend is, zouden de analyse van de stuwen in Vlaanderen kunnen hinderen. Daarom werd het model beschreven in hoofdstuk 4 geknipt ter hoogte van Deux-Acren.

Opdat de analyse van de stuwen niet bemoeilijkt zou worden door de werking van andere kunstwerken, werden de vispassages, de schutverliezen en de lekverliezen uitgeschakeld.

In principe moet het model gevoed worden met een opwaarts debiet vanuit de Dender in Wallonië en zijdelingse debieten vanuit de zijlopen van de Dender in Vlaanderen. Indien zijdelingse debieten opgelegd worden, is het moeilijk om een onderscheid te maken tussen een toename van de afvoer veroorzaakt door zijdelingse instroming en een toename van de afvoer veroorzaakt door de werking van de stuwen. Daarom werden de initiële berekeningen uitgevoerd met een modelversie waaraan enkel een opwaarts debiet in Deux-Acren opgelegd werd. In latere aanvullingen werd de zijdelingse instroming terug toegevoegd.

6.1.2 Scenario's

Er werd slechts één scenario bestudeerd. In dit scenario worden de stuwen van Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Aalst en Denderbelle allemaal vervangen door klepbalgstuwen. De stuw van Dendermonde blijft ongewijzigd.

6.1.3 Sturing

De stuwen van Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Aalst en Denderbelle werden allemaal uitgerust met eenzelfde sturing op waterpeil. Het algoritme is gebaseerd op het algoritme van de nieuwe stuw op de Leie in Harelbeke. Dit algoritme wordt uitvoerig beschreven in Cofely-Fabricom (2015). Omdat de stuwen op de Dender enkel bestaan uit een klep, kon het algoritme van de stuw van Harelbeke (die bestaat uit een segment met een klep) vereenvoudigd worden.

Voor de eerste analyse werden de volgende parameters gebruikt:

- Continu openen als het opwaarts waterpeil meer dan 5 cm boven het streefpeil staat
- Discontinu openen als het opwaarts waterpeil meer dan 3 cm boven het streefpeil staat
- Discontinu sluiten als het opwaarts waterpeil meer dan 3 cm onder het streefpeil staat
- Continu sluiten als het opwaarts waterpeil meer dan 5 cm onder het streefpeil staat
- Werktijd = 10 seconden
- Rusttijd = 20 seconden
- Tendens: geen

De nieuwe stuwen zullen volledig openen of sluiten in een tijdspanne van 15 min. Ze bewegen dus aan een gemiddelde snelheid van $4,3 \text{ m} / 15 \text{ min} \approx 5 \text{ mm/s}$. Een werktijd van 10 seconden stemt dan ongeveer overeen met een verticale beweging van de kruin van de klep over een hoogte van 5 cm.

In de sturing voor de nieuwe stuw van Denderbelle werd geen automatisch tijmanoeuvre ingebouwd. Het tijmanoeuvre kan uiteraard nog wel manueel opgestart worden.

De sturing voor de stuw van Dendermonde werd niet aangepast en stemt nog steeds overeen met de huidige, manuele bediening.

6.1.4 Stabiliteit lokale sturing op waterpeil

In eerste instantie werd nagegaan welk stuwgedrag verwacht kan worden op basis van de eigenschappen van de opeenvolgende rivierpanden. Daarbij werd gebruik gemaakt van de verhouding van de looptijd en de retentietijd, zoals beschreven in Neumüller en Bernhauer (1969 en 1976).

De looptijd T_L is de tijd die een verstoring nodig heeft om zich te verplaatsen van het opwaartse einde van een gestuwd pand tot aan de stuw aan het afwaartse einde:

$$T_L = L / w \quad (1)$$

met T_L = looptijd (s)

L = lengte van het rivierpand (m)

w = snelheid van de verstoring (m/s)

De snelheid van de verstoring is gelijk aan:

$$w = v + \sqrt{g y} \quad (2)$$

met v = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

g = versnelling zwaartekracht (m/s²)

y = gemiddelde diepte (m)

De retentietijd T_R is de tijd die nodig is om na de verstoring van een evenwichtsprofiel in een gestuwd pand een nieuw evenwichtsprofiel te bereiken:

$$T_R = \Delta V / \Delta Q \quad (3)$$

met ΔV = wijziging van het volume in het rivierpand (m³)

ΔQ = wijziging van het debiet in het rivierpand (m³/s)

Als de looptijd kleiner is dan de retentietijd dan zal de stuw snel reageren op een verstoring van het evenwicht en zal het bestaande evenwicht geleidelijk evolueren naar een nieuw evenwicht. Indien de looptijd groter is dan de retentietijd, dan zal de stuw te laat reageren op een verstoring van het evenwicht en zal de verstoring versterkt worden.

De voorwaarde voor het vermijden van een versterking van een verstoring door een stuw die gestuurd wordt op basis van het waterpeil net opwaarts van de stuw is dus:

$$T_L / T_R < 1 \quad (4)$$

De verhouding van de looptijd en de retentietijd werd berekend aan de hand van de resultaten van simulaties met een constante afvoer van 5, 10, 20, 30, 40 en 50 m³/s. Voor de berekening van volumes en stroomsnelheden werd aangenomen dat de Dender een breedte heeft van 20 m opwaarts Aalst en 30 m afwaarts Aalst.

6.1.5 Toetsing lokale sturing op waterpeil

De betrouwbaarheid van het criterium beschreven in de vorige paragraaf (vergelijking 4) werd getoetst aan de hand van een aantal simulaties met synthetische en historische gebeurtenissen.

Synthetische gebeurtenissen

In een eerste fase werd de reactie van de keten van stuwen op een trapsgewijze debietwijziging onderzocht. Daarbij werden de volgende combinaties van debieten getest: 5-6, 5-7, 5-8, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 en 40-50 m³/s. Zowel snelle toenames als snelle afnames werden onderzocht. Uit een analyse van de historische meetreeks van Overboelare bleek dat de historische debietvariaties kunnen oplopen tot bijna 1 (m³/s)/min. Bij de opmaak van de synthetische randvoorwaarden werd dan ook een variatie van 1 (m³/s)/min toegepast. De hiervoor opgesomde debietvariaties vinden dan plaats in 1, 2, 3, 5 of 10 minuten.

De eerste reeks synthetische gebeurtenissen stemt overeen met een verstoring die voldoende lang aanhoudt om een nieuw evenwicht te bereiken. Sommige verstoringen hebben echter een korte duur (bv. een schutgolf). Daarom werd ook een tweede reeks synthetische gebeurtenissen opgesteld die bestaan uit een kortstondige piek of dal. Deze pieken en dalen werden gevormd door de toename en afname uit de vorige reeks onmiddellijk achter elkaar te plaatsen. Ze hebben dan een duur van 2, 4, 6, 10 of 20 minuten.

De derde reeks synthetische gebeurtenissen bestaat uit sinusoïdale hydrogrammen. Deze hebben een basisafvoer van 5 m³/s en een piekafvoer van 60 m³/s. De duur varieert van 24 uur tot 1 uur.

Voor de synthetische gebeurtenissen werd de gemiddelde halftijhoogte op de Zeeschelde in Dendermonde (3,21 m TAW) opgelegd als afwaartse randvoorwaarde.

Historische gebeurtenissen

Eerst werden twee afzonderlijke historische gebeurtenissen doorgerekend: de was van 7 tot 10 juni 2016 (piekafvoer 60 m³/s) en de opvallende afvoerschommeling in Wallonië op 10 en 11 februari 2019.

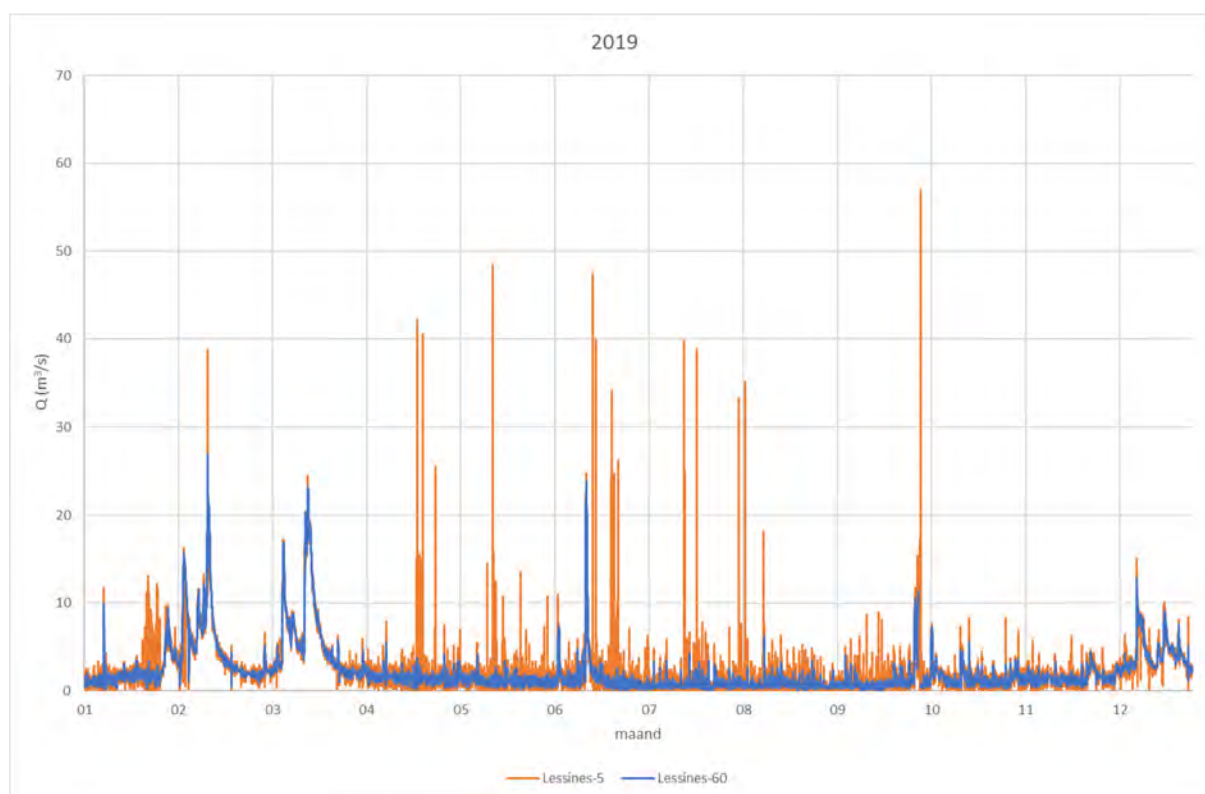
Voor de was van juni 2016 werd de gemeten afvoer in Overboelare als opwaartse randvoorwaarde gebruikt. Tijdens deze was deden zich omstandigheden voor waarbij in de bestaande toestand in Denderbelle een manueel tijmanoeuvre uitgevoerd wordt.

De afvoerschommeling in februari 2019 is vermoedelijk het gevolg van een plotse beweging van één van de stuwen in Wallonië. Ze werd gemeten in Lessines. Het gemeten debiet werd herschaald naar een equivalent debiet in Deux-Acres en vervolgens als opwaartse randvoorwaarde opgelegd aan het model. De impact van de stuw van Deux-Acres werd dus genegeerd.

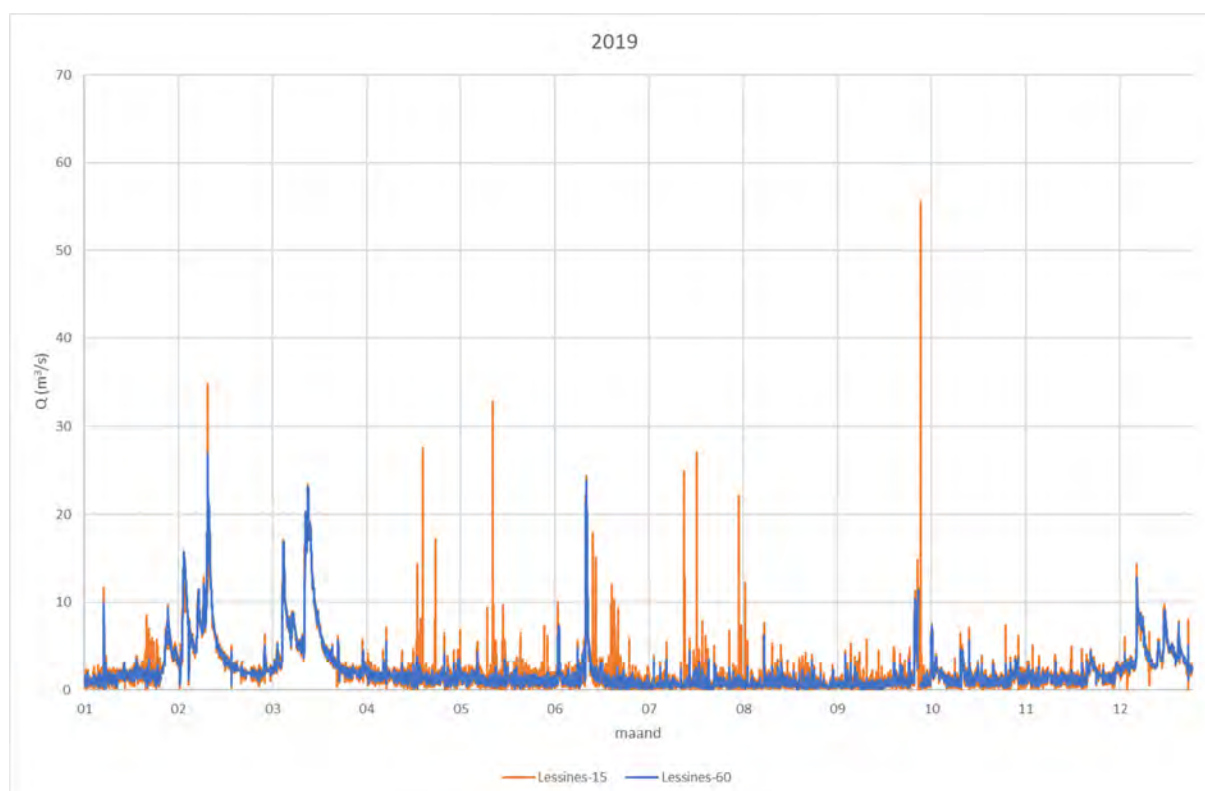
In een latere aanvulling werd het volledige jaar 2019 doorgerekend. De laatste manueel bediende stuw op de Dender in Wallonië (Deux-Acres) werd vervangen door een automatische stuw in 2017. In de debietmeetreeksen voor 2019 zit de eventuele impact van de huidige sturing van de stuwen in Wallonië op het hydrologische regime ter hoogte van de gewestgrens dus reeds vervat. Dit maakt ze geschikt voor de evaluatie van het toekomstige gedrag van de geplande stuwen in Vlaanderen.

Voor de opmaak van een debietrandvoorwaarde voor de Dender ter hoogte van de gewestgrens kan gebruik gemaakt worden van de meetreeksen op de Dendre in Lessines (SPW-DGO2), de Dender in Overboelare (HIC) en de Mark in Viane (VMM).

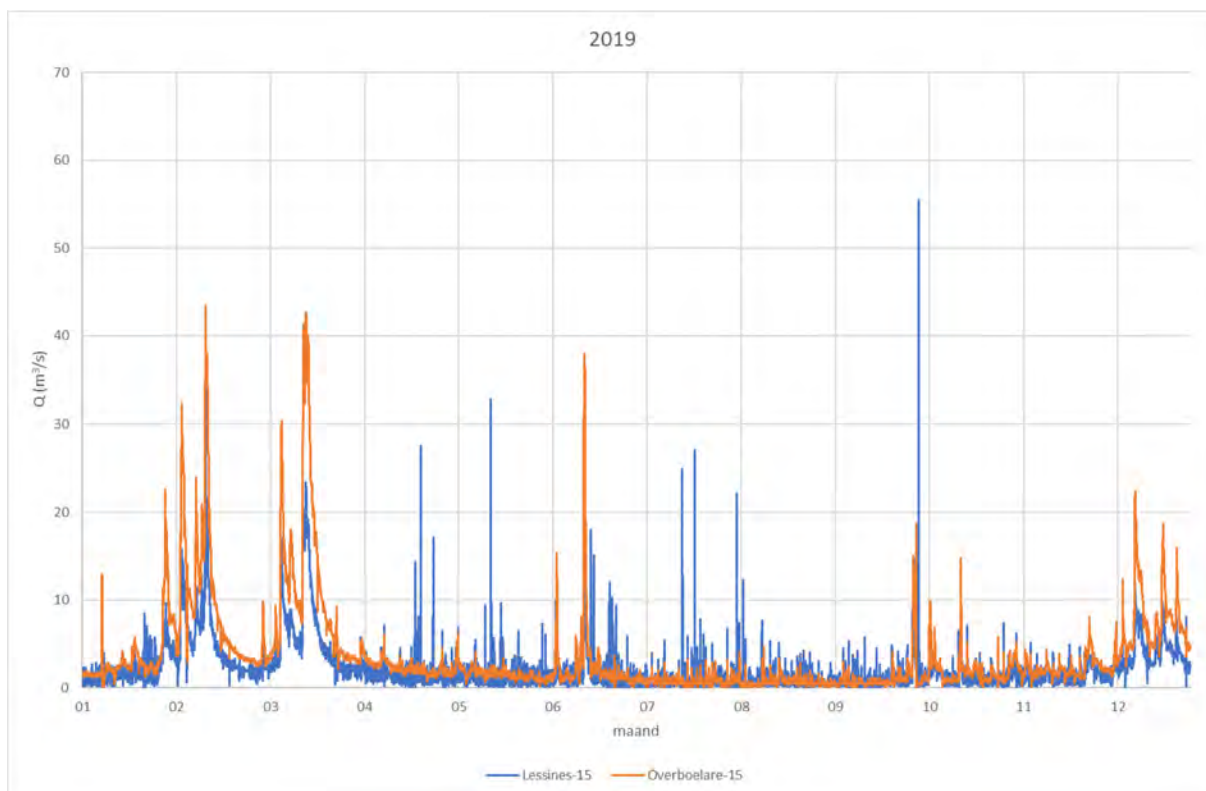
De gevalideerde meetreeks voor de Dendre in Lessines heeft een uurlijkse frequentie. Er bestaan ook niet-gevalideerde real-time metingen met een frequentie van 5 minuten. Deze blijken echter zeer veel uitschieters te bevatten (zie Figuur 7). Zelfs na uitmiddeling over 15 minuten blijven er heel wat uitschieters zichtbaar, zowel in vergelijking met de gevalideerde reeks van Lessines (Figuur 8) als in vergelijking met de gevalideerde reeks van Overboelare (Figuur 9). De gevalideerde reeks van Lessines bevat veel minder uitschieters en stemt vrij goed overeen met de gevalideerde reeks van Overboelare (Figuur 10). De meetpost van Lessines bevindt zich tussen de stuwen van Papignies en Lessines in. De eventuele impact van de stuw van Deux-Acres zit dus niet in de metingen vervat.



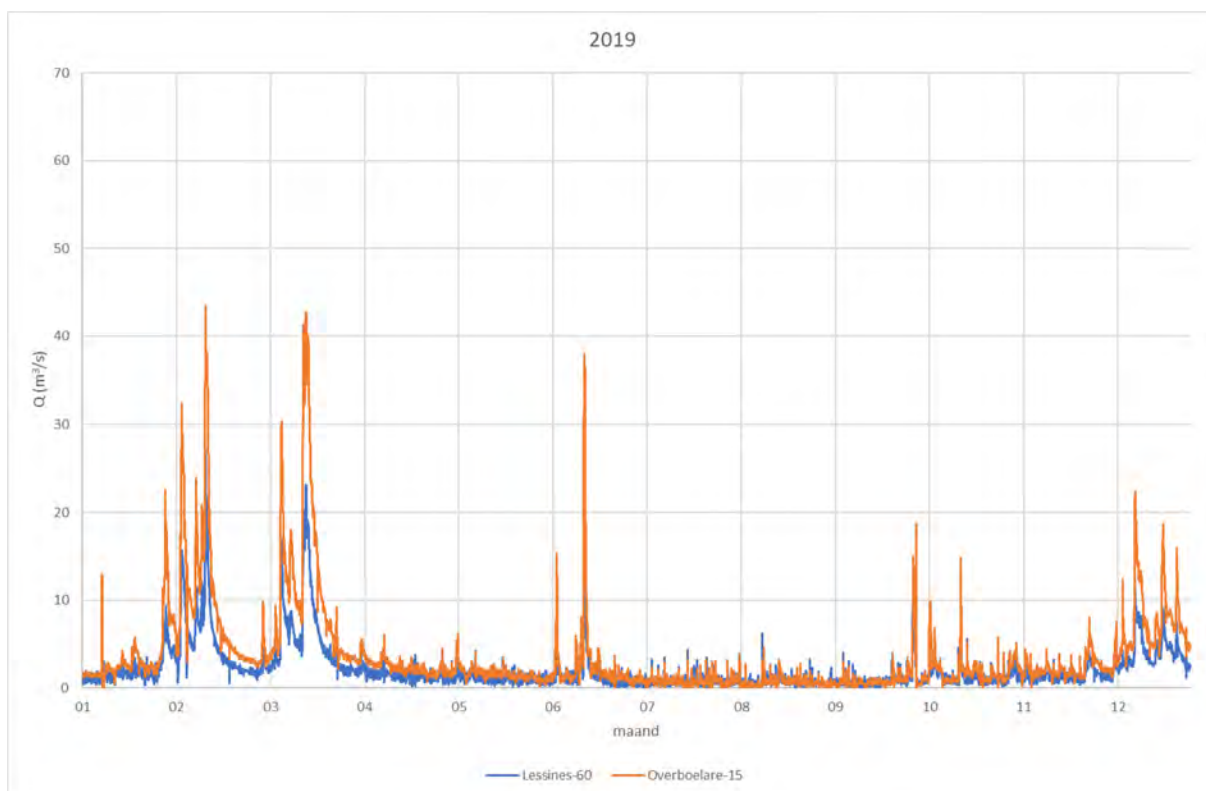
Figuur 7 – Real time gegevens Lessines (5 min) vs. gevalideerde gegevens Lessines (60 min)



Figuur 8 – Real time gegevens Lessines (uitgemiddeld over 15 min) vs. gevalideerde gegevens Lessines (60 min)



Figuur 9 – Real time gegevens Lessines (uitgemiddeld over 15 min) vs. gevalideerde gegevens Overboelare (15 min)



Figuur 10 – Gevalideerde gegevens Lessines (60 min) vs. gevalideerde gegevens Overboelare (15 min)

De gevalideerde meetreeksen voor de Dender in Overboelare en de Mark in Viane hebben een frequentie van 15 minuten. De effecten van de stuwen op de Dender in Wallonië en de Mark in Vlaanderen en Wallonië zitten erin vervat. Het zou kunnen dat ook de manuele bediening van de bestaande stuwen in Geraardsbergen een invloed heeft op de meetreeks van Overboelare.

Om de output beheersbaar te houden, werd het jaar 2019 opgedeeld in 12 deelperiodes, elk met een duur van 1 maand. De eerste 2 dagen van elke maand werden gebruikt als initialisatieperiode en werden achteraf niet mee geanalyseerd. Elke maand werd tweemaal doorgerekend. Bij de eerste berekening werd geen rekening gehouden met de afvoer van de zijlopen. In deze simulatie wordt het debiet op de Dender te Overboelare opgelegd als randvoorwaarde ter hoogte van de gewestgrens. Bij de tweede berekening werd wel rekening gehouden met de afvoer van de zijlopen. Voor de bemeten deelbekkens werd gebruik gemaakt van de meetreeksen van de meetposten van VMM. Voor de onbemeten deelbekkens werd de meetreeks van een naburig bemeten deelbekken herschaald op basis van de oppervlakte van het deelbekken. Het debiet op de Dender ter hoogte van de gewestgrens werd geschat door het debiet van de Mark in Viane af te trekken van het debiet van de Dender in Overboelare.

Voor de historische gebeurtenissen werd als afwaartse randvoorwaarde steeds de gemeten waterstand op de Zeeschelde in Dendermonde gebruikt.

6.1.6 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de analyses beschreven in paragraaf 6.1.5 zijn enkel geldig voor de gebruikte combinatie van sturingsparameters voor de nieuwe stuwen in Vlaanderen. Een gevoeligheidsanalyse werd uitgevoerd om na te gaan hoe deze resultaten wijzigen bij andere combinaties van sturingsparameters.

De onderzochte parametersets worden opgesomd in Tabel 43. De eerste set (0) is de referentieset die in eerdere analyses (zie paragraaf 6.1.3) gebruikt werd. De sturingsparameters zijn: de afwijking van het waterpeil t.o.v. het streefpeil waarbij de stuw discontinu of continu gaat werken (beiden uitgedrukt in cm), de werktijd en de rusttijd (beiden uitgedrukt in s) en de trend van het opwaartse waterpeil waarbij de stuw niet meer in beweging komt (uitgedrukt in cm/min).

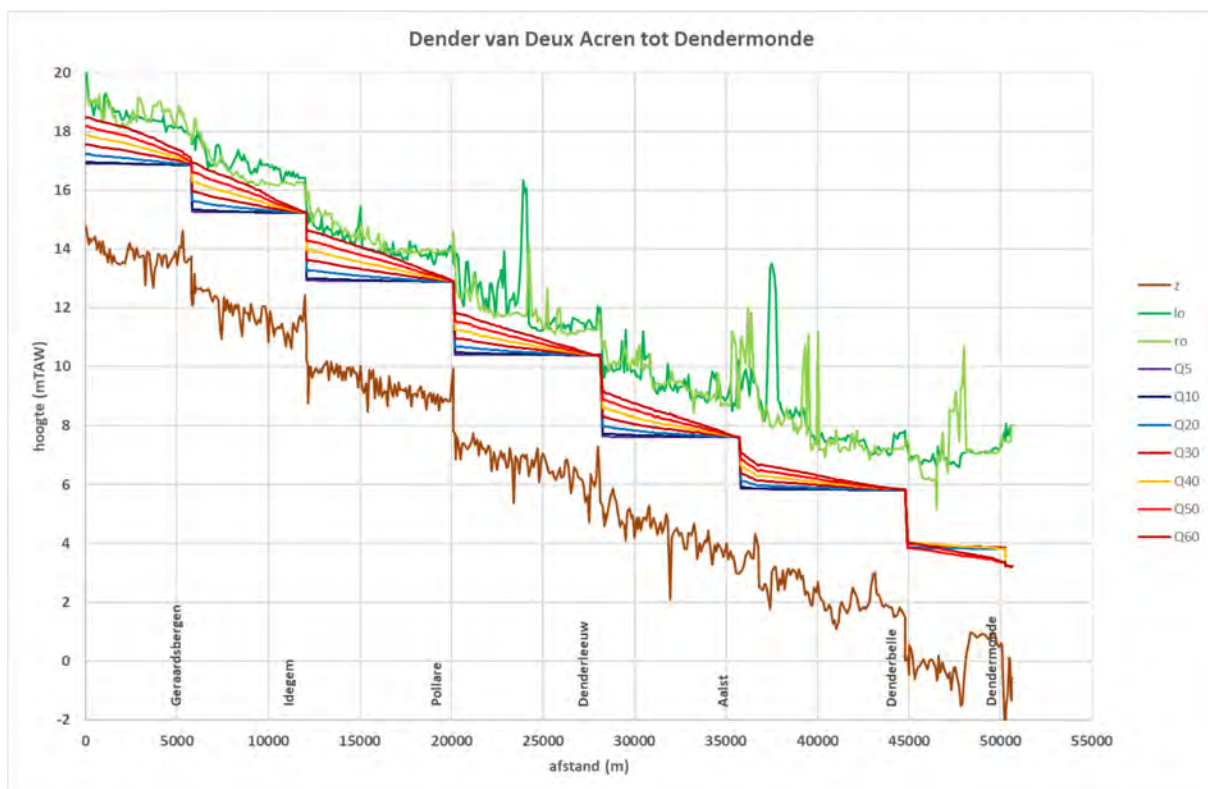
Tabel 43 – Parametersets

Scenario	Discontinuu (cm)	Continu (cm)	Werktijd (s)	Rusttijd (s)	Trend (cm/min)
0	3	5	10	20	-
1	3	5	10	20	2
2	3	5	10	0	-
3	3	5	10	50	-
4	3	5	2	20	-
5	3	5	2	0	-
6	5	10	10	20	-

6.2 Resultaten

6.2.1 Stabiliteit lokale sturing op waterpeil

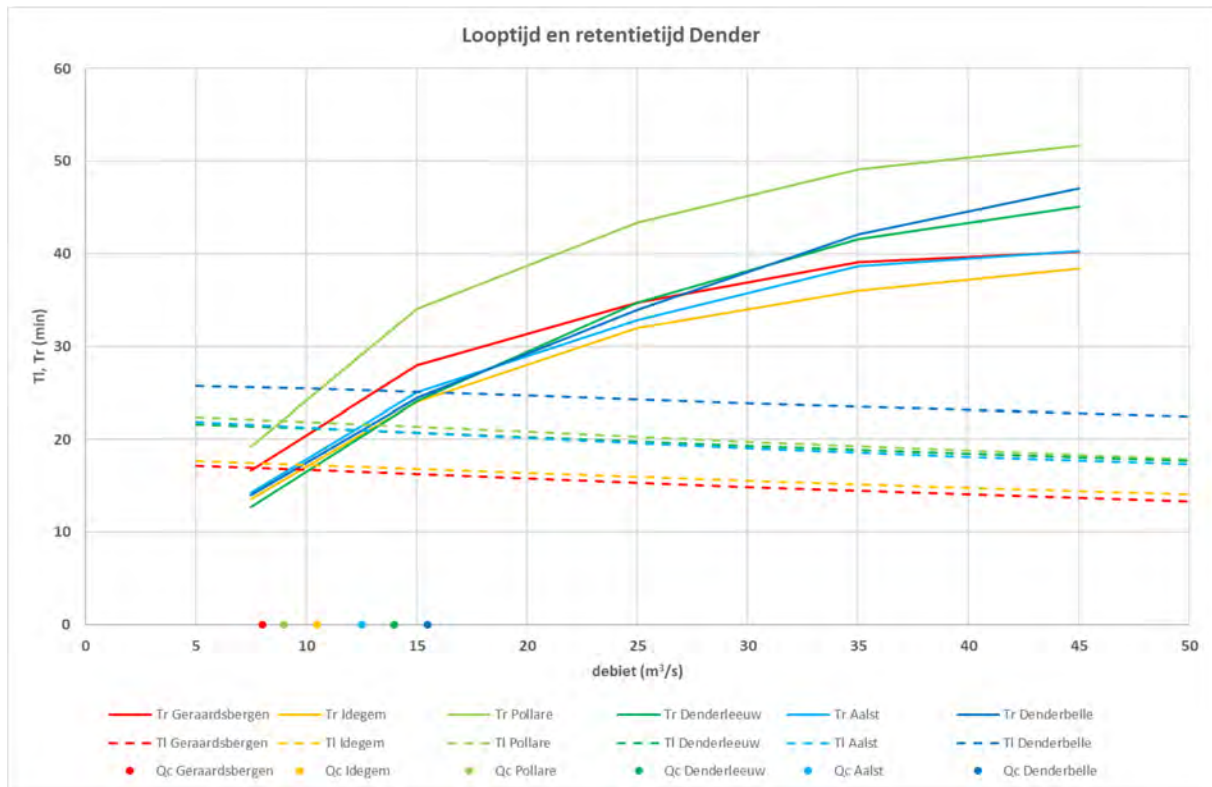
De resultaten van de simulaties met constante afvoeren van 5, 10, 20, 30, 40, 50 en 60 m³/s worden getoond in Figuur 11. De figuur toont het bodempeil ("z", bruin), de oeverhoogte ("lo" en "ro", groen) en het waterpeil overeenstemmend met de hiervoor vermelde afvoeren. Uit de figuur blijkt dat er bij een afvoer van 60 m³/s nog net geen overstromingen optreden. Voor de meeste locaties is er bij een afvoer van 60 m³/s nog vrije overstorting over de stuwen. Enkel in Geraardsbergen, waar het verval kleiner is dan op andere locaties, treedt er verdrongen stroming op bij een afvoer van meer dan 50 m³/s.



Figuur 11 – Lengteprofielen bij constante afvoer

De resultaten van de simulaties met constante afvoeren werden gebruikt voor het bepalen van de looptijd en de retentietijd, zoals beschreven in paragraaf 6.1.4. De berekende waarden worden getoond in Figuur 12. Uit de figuur blijkt dat voor hoge afvoeren (> 16 m³/s) de looptijd in alle panden korter is dan de retentietijd. Bij hoge afvoeren zal een lokale sturing op waterpeil dus geen versterking van afvoergolven veroorzaken. Bij lage afvoeren (< 8 m³/s) is de looptijd in alle panden langer dan de retentietijd. Bij lage afvoeren zal een lokale sturing op waterpeil dus wel een versterking van afvoergolven veroorzaken. Bij tussenliggende afvoeren zullen sommige stuwen geen en andere stuwen wel een versterking veroorzaken.

De waarden voor looptijd en retentietijd worden beïnvloed door de modelkalibratie (bodemruwheid) en door de aannames voor de breedte van de Dender. De waarden voor het debiet waarbij wel of geen versterking optreedt moeten dus beschouwd worden als indicatief en zijn zeker niet exact.



Figuur 12 – Looptijd en retentietijd

6.2.2 Toetsing lokale sturing op waterpeil

Figuren

Het gedrag van de stuwen werd getoetst aan de hand van figuren die het verloop van het debiet over de stuwen, het waterpeil opwaarts van de stuwen en de stand van de stuwkleppen weergeven.

De figuren met het debiet tonen het hydrogram dat opgelegd werd in Deux-Acren en het debiet over de opeenvolgende stuwen. Uit deze figuren kan snel afgeleid worden of er eventueel een versterking van de afvoergolven optreedt.

Om een eenvoudige vergelijking van de evolutie van het waterpeil opwaarts van alle stuwen mogelijk te maken, werd het waterpeil niet uitgedrukt als een absoluut peil (in m TAW), maar als een afwijking t.o.v. het streefpeil (in m). Op de figuren werden ook de afwijkingen aangegeven waarbij de stuwen discontinu (3 cm) en continu (5 cm) beginnen te werken. Uit deze figuren kan afgeleid worden of het waterpeil binnen de vooropgestelde grenzen blijft.

Om de vergelijking van de klepstanden van alle stuwen te vergemakkelijken, werden de klepstanden niet uitgedrukt als een absolute hoogte (in m TAW), maar als een relatieve hoogte t.o.v. het drempelpeil (in m). Voor de meeste stuwen heeft de klepstand een bereik van 4,3 m. Enkel in Denderbelle bedraagt het bereik 5,3 m. Voor de opmaak van de figuren werd de berekende klepstand in Denderbelle met 1 m verminderd. Uit deze figuren kan afgeleid worden op welke wijze de stuwen openen of sluiten.

In de volgende paragrafen wordt voor de verschillende types randvoorwaarden een beperkte selectie van deze figuren getoond.

Synthetische randvoorwaarde met trapvormige debietvariatie

De impact van een trapvormige variatie van het opwaartse debiet wordt geïllustreerd in Figuur 13 t.e.m. Figuur 16. De resultaten bevestigen de resultaten van de analyse op basis van looptijd en retentietijd. Variaties bij lage afvoeren worden versterkt en variaties bij hoge afvoeren niet. Alhoewel de variaties bij lage afvoeren leiden tot een tijdelijke versterking, treedt er na verloop van tijd wel een nieuw evenwicht op.

Synthetische randvoorwaarde met piekvormige debietvariatie

De impact van een piek- of dalvormige variatie van het opwaartse debiet wordt geïllustreerd in Figuur 17 t.e.m. Figuur 20. De bestudeerde pieken en dalen hebben een korte duur en bevatten een beperkt volume. De stuwen reageren pas nadat het waterpeil met enkele cm gestegen of gedaald is. Het bergingsvolume tussen het streefpeil en het maximaal of minimaal toegelaten waterpeil volstaat om de kortstondige pieken en dalen te dempen. Deze demping doet zich voor bij lage en bij hoge afvoeren. Na de doorgang van de verstoring, herstelt het oorspronkelijke evenwicht zich.

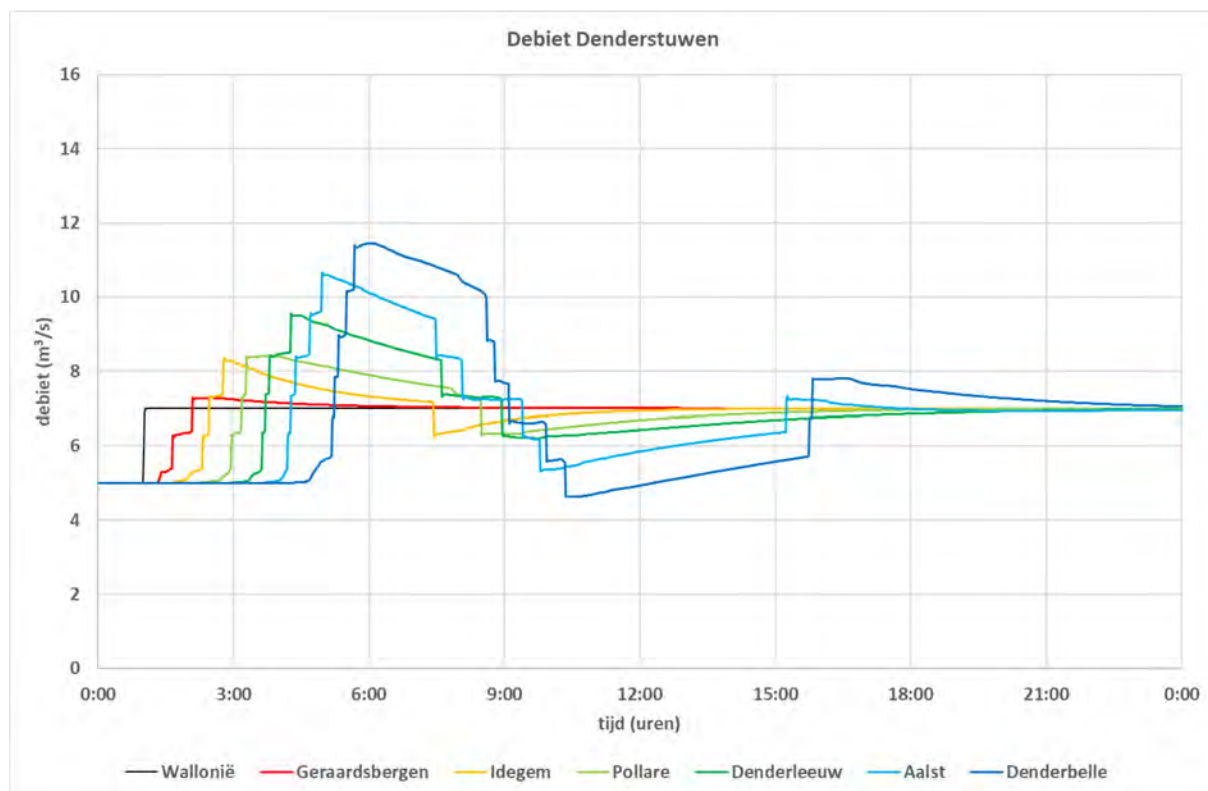
Synthetische randvoorwaarde met sinusoïdaal hydrogram

Het gedrag van sinusoïdale hydrogrammen met variabele duur wordt getoond in Figuur 21 t.e.m. Figuur 25.

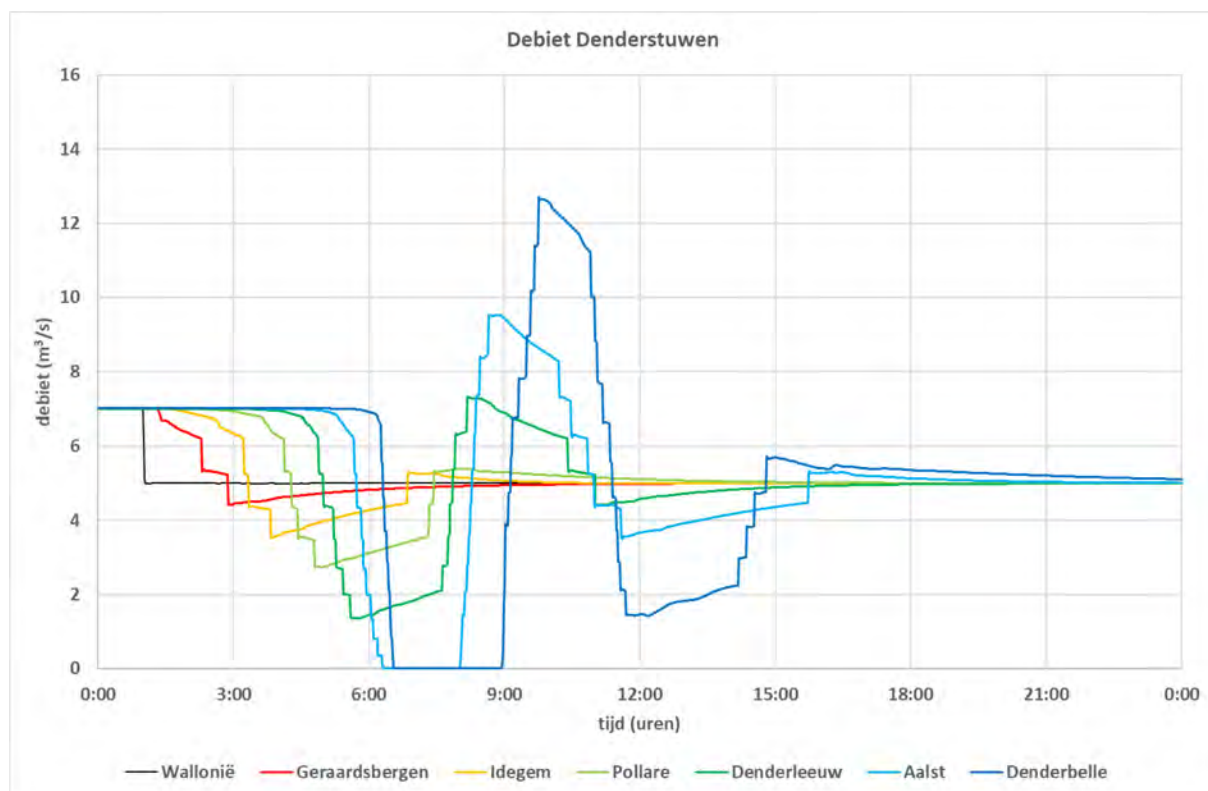
Bij het begin van het hydrogram is er een neiging tot versterking van de debietstoeiname. Doordat het instromend debiet zelf ook toeneemt, wordt deze neiging onderdrukt en komt ze niet tot uiting in het uiteindelijke piekdebiet. Bij de hydrogrammen met een lange duur blijft het piekdebiet bijna ongewijzigd in de volledige stuwenketen. Bij de hydrogrammen met een korte duur wordt het piekdebiet geleidelijk gedempt in de stuwenketen.

Op het einde van het hydrogram is er opnieuw een neiging tot versterking van de debietsafname. Doordat het instromende debiet afneemt wordt deze neiging steeds groter. Dit resulteert in een progressief toenemende onderschrijding van de basisafvoer. De afvoer van de meest afwaarts gelegen stuwen valt zelfs tijdelijk stil. Indien dit gedrag ook in werkelijkheid zou optreden, dan zou het de werking van de vispassages naast de stuwen kunnen verstoren.

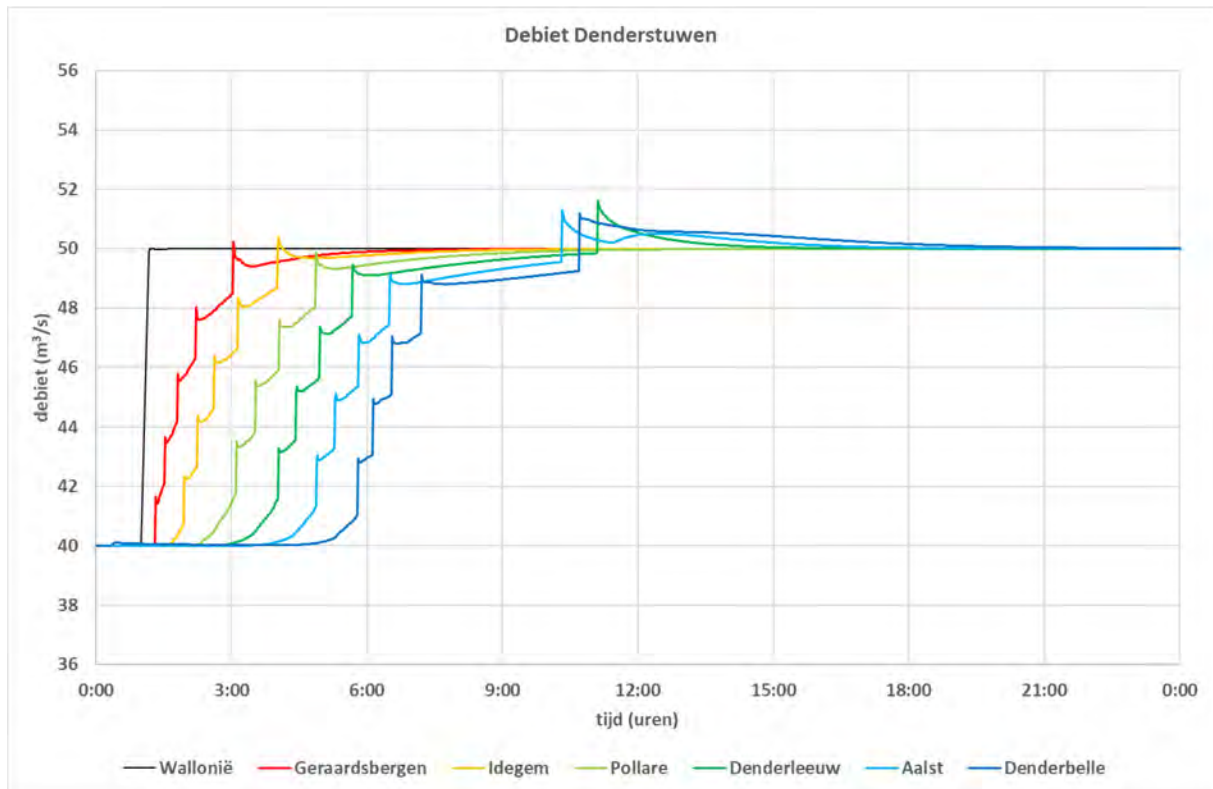
Alle hydrogrammen lokken dezelfde respons uit. Hoe korter de duur, d.w.z. hoe steiler de dalende flank, hoe sterker de onderschrijding van de basisafvoer na afloop van het hydrogram. De maximale geobserveerde debietsafname in Overboelare (bijna 1 (m³/s)/min) stemt overeen met een situatie die tussen de hydrogrammen met een duur van 3 en 1 uur gelegen is.



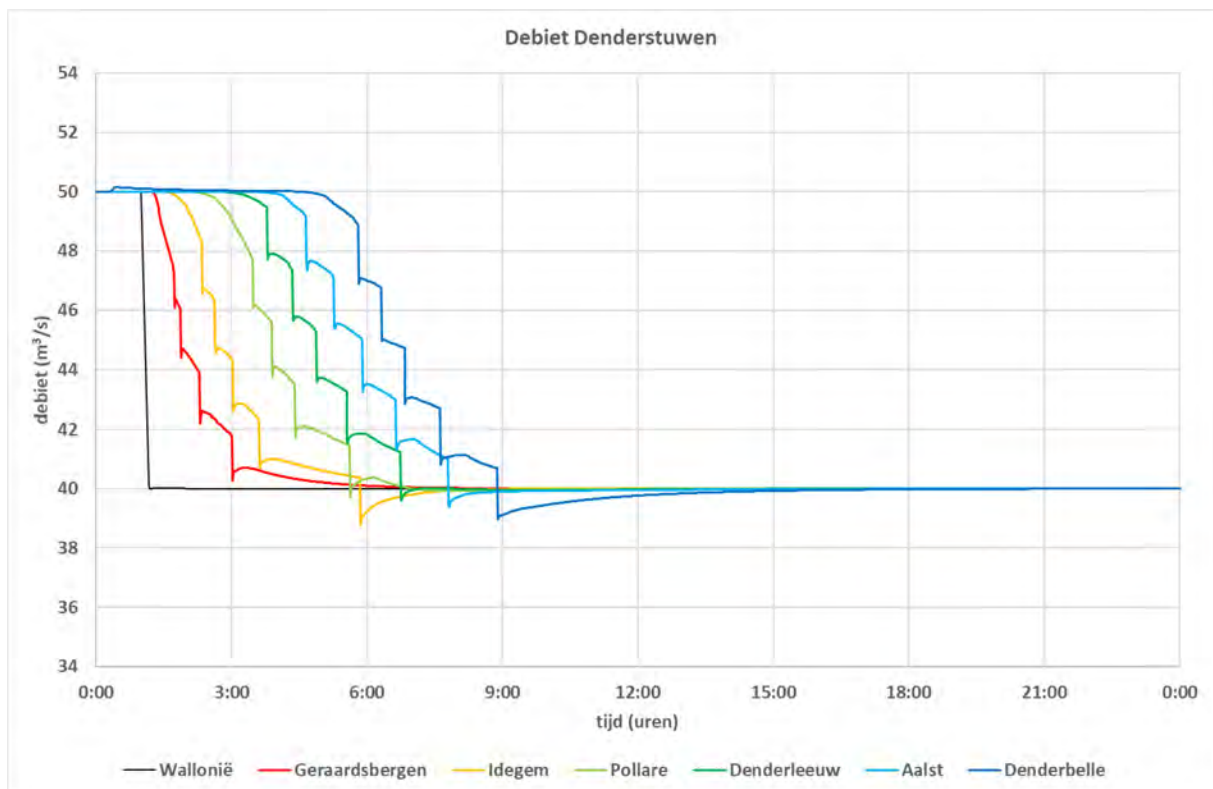
Figuur 13 – Trapvormige debietvariatie van 5 naar 7 m³/s



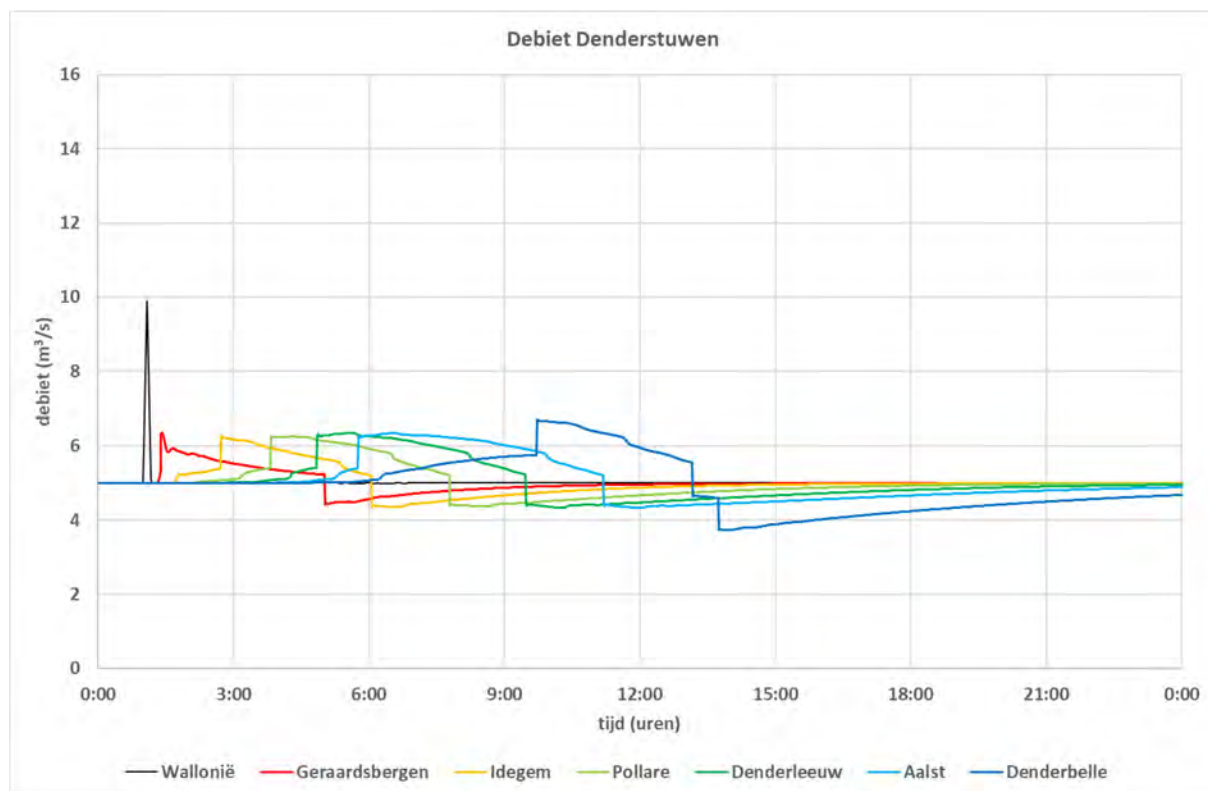
Figuur 14 – Trapvormige debietvariatie van 7 naar 5 m³/s



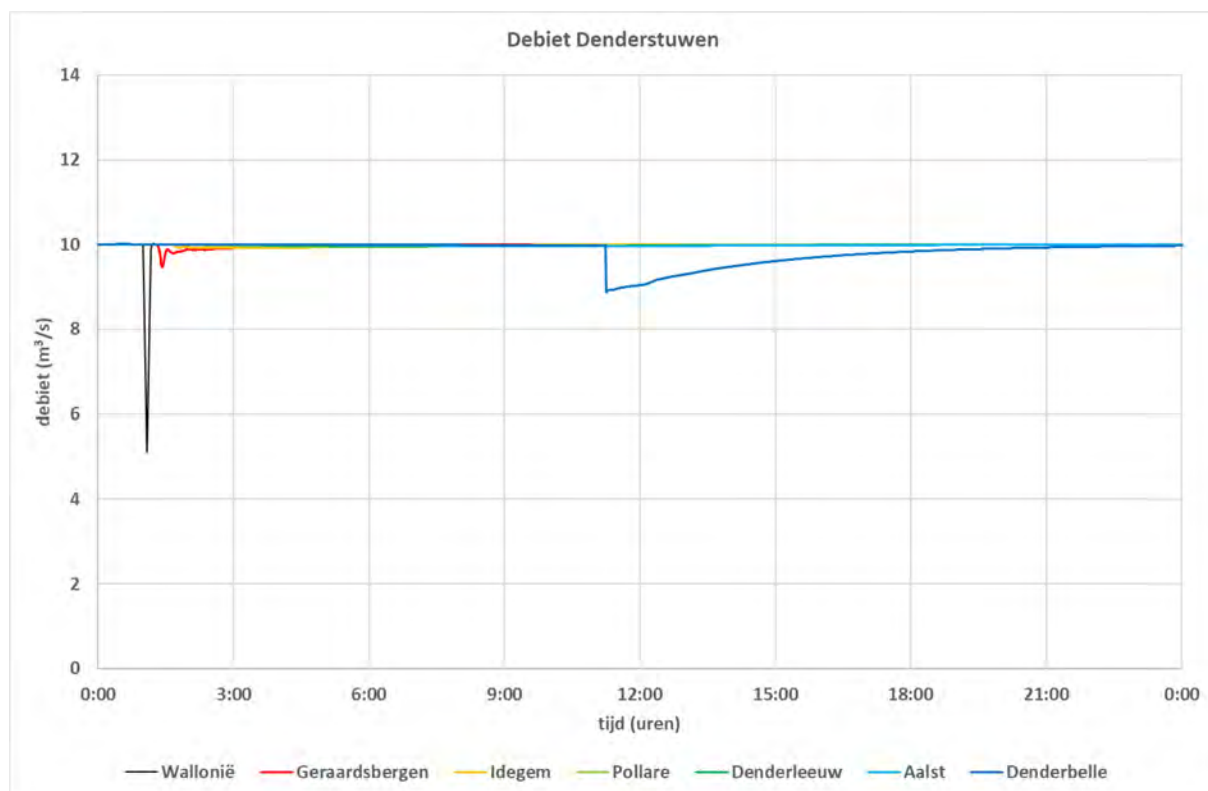
Figuur 15 – Trapvormige debietvariatie van 40 naar 50 m^3/s



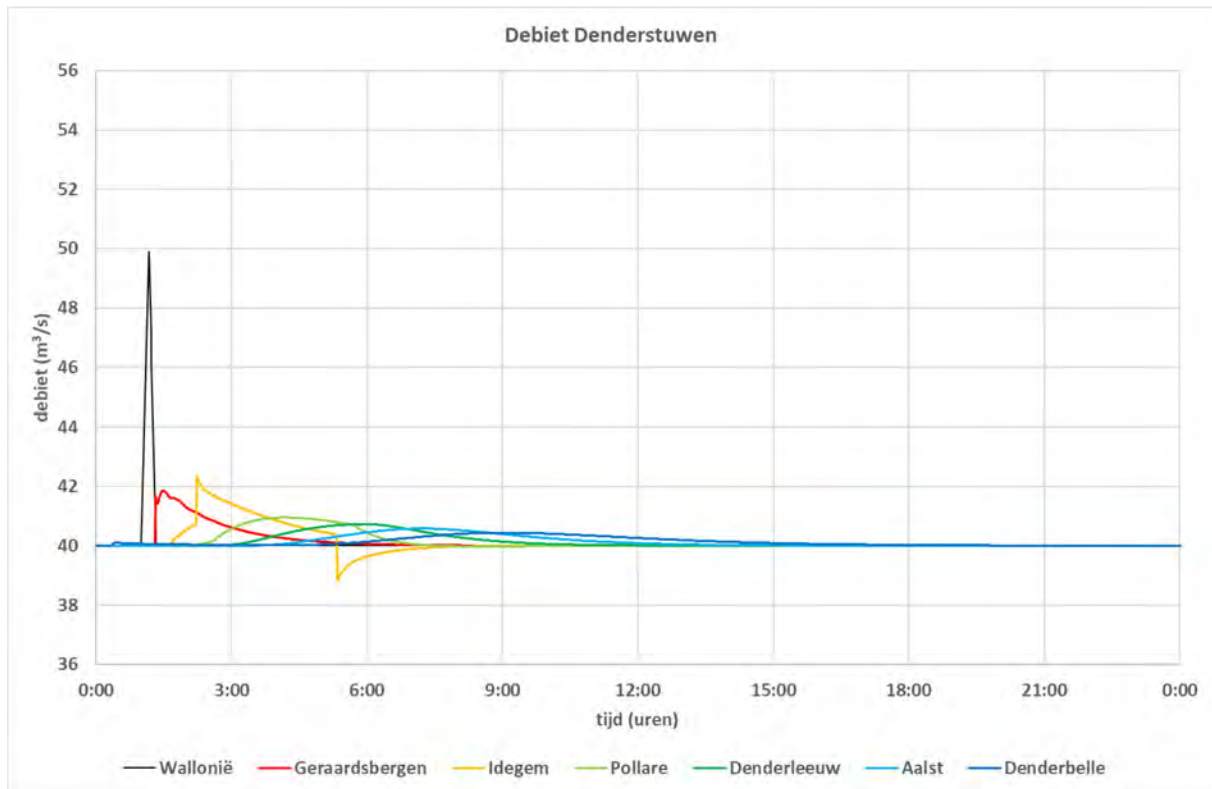
Figuur 16 – Trapvormige debietvariatie van 50 naar 40 m^3/s



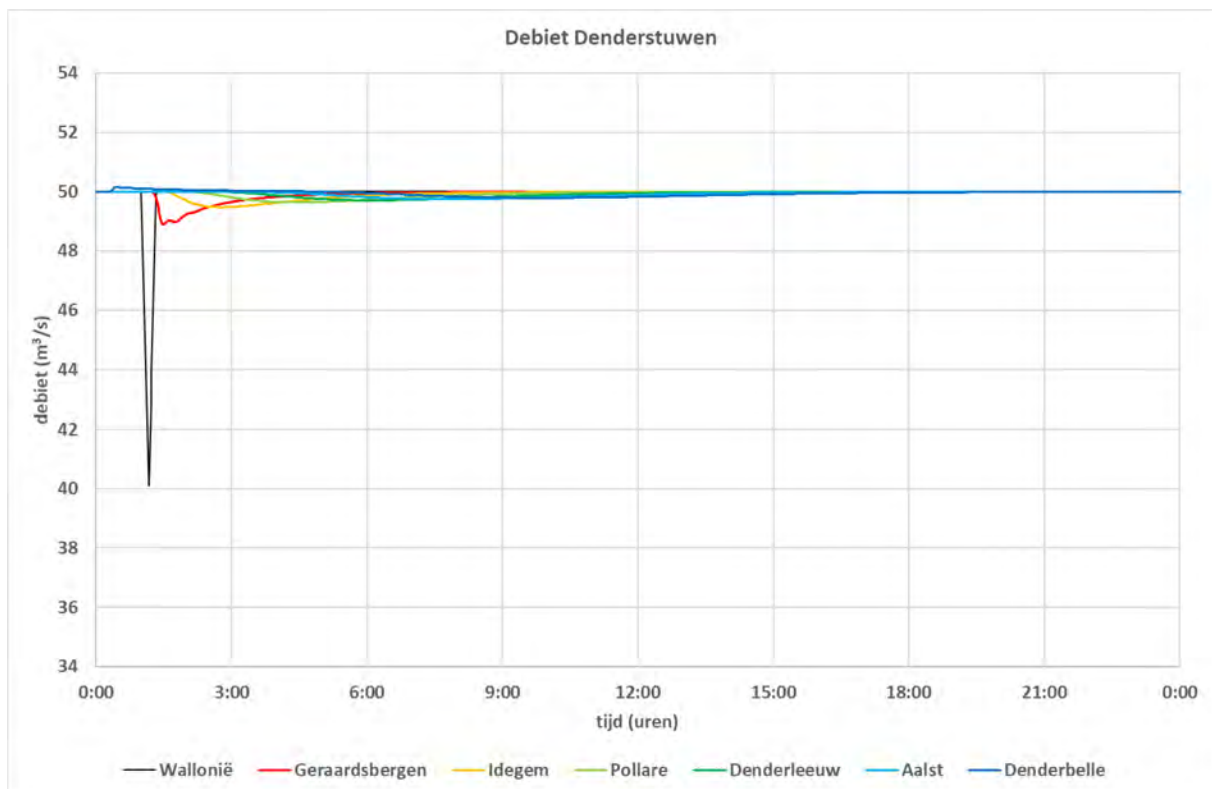
Figuur 17 – Piekvormige debietvariatie van 5 naar 10 m³/s



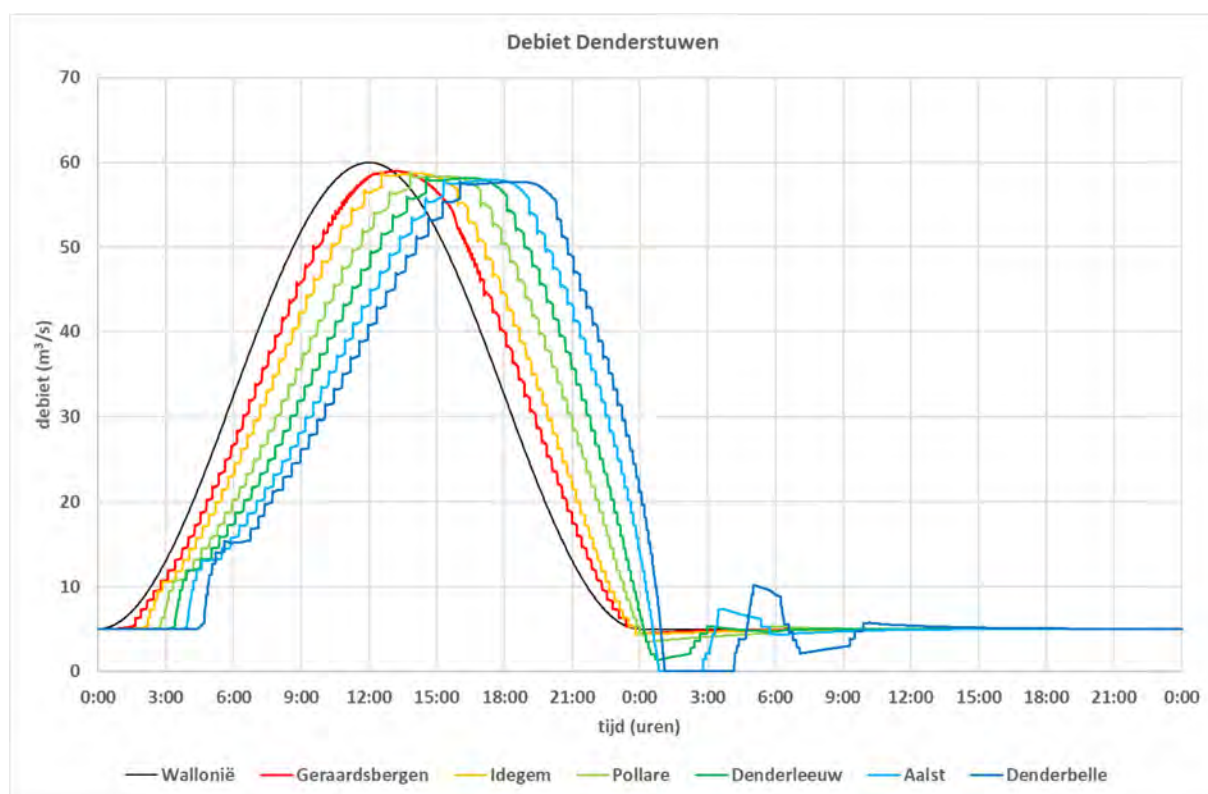
Figuur 18 – Piekvormige debietvariatie van 10 naar 5 m³/s



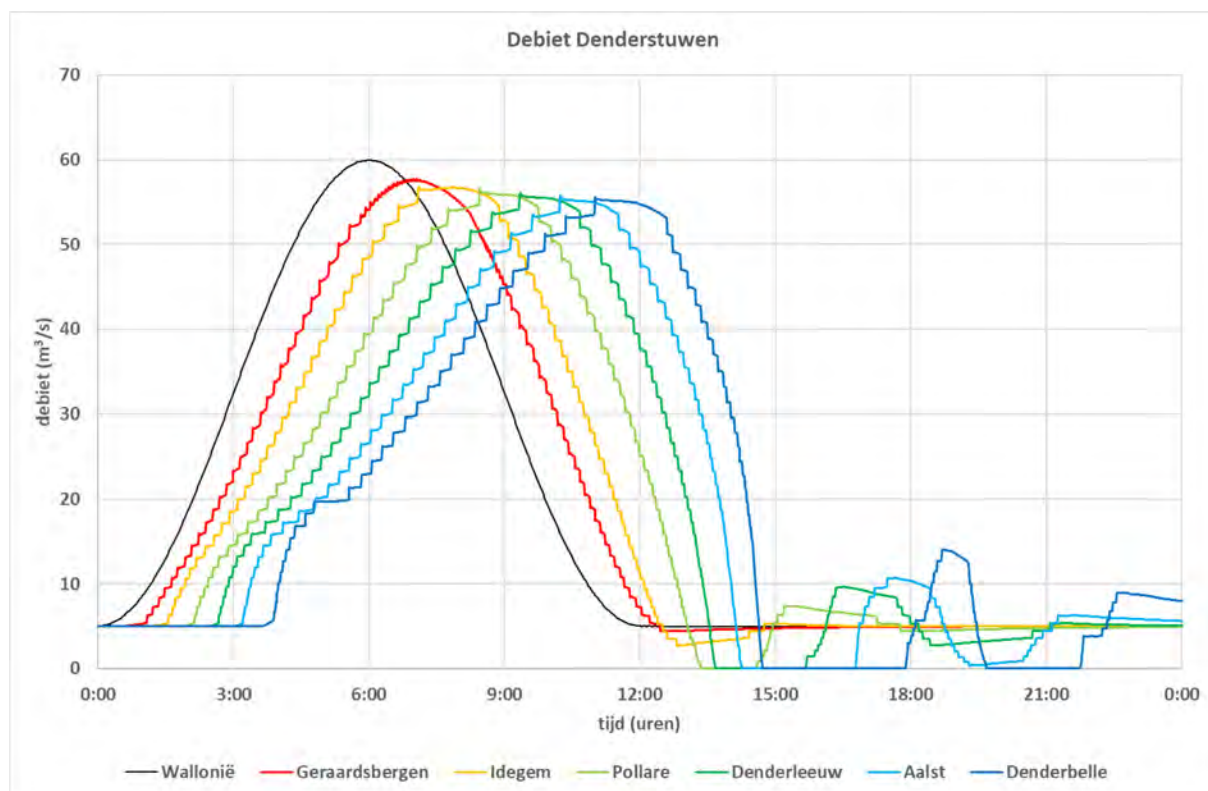
Figuur 19 – Piekvormige debietvariatie van 40 naar 50 m³/s



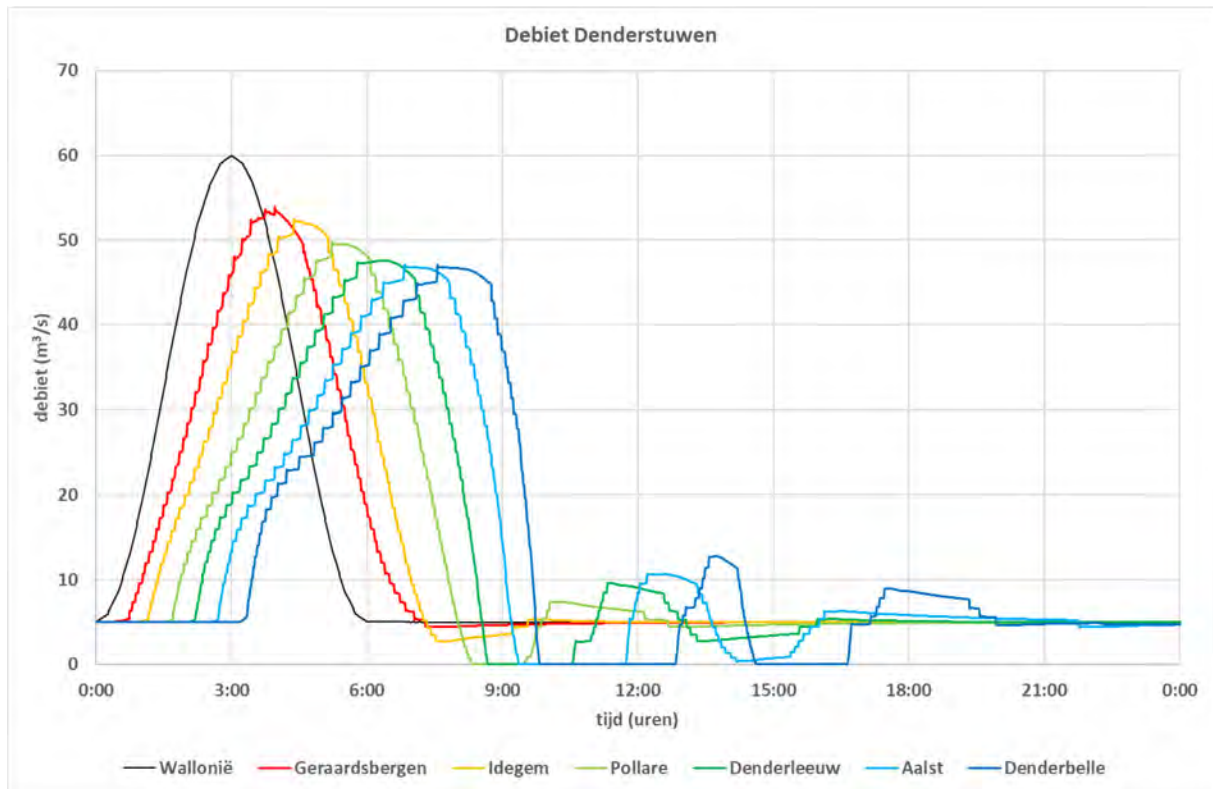
Figuur 20 – Piekvormige debietvariatie van 50 naar 40 m³/s



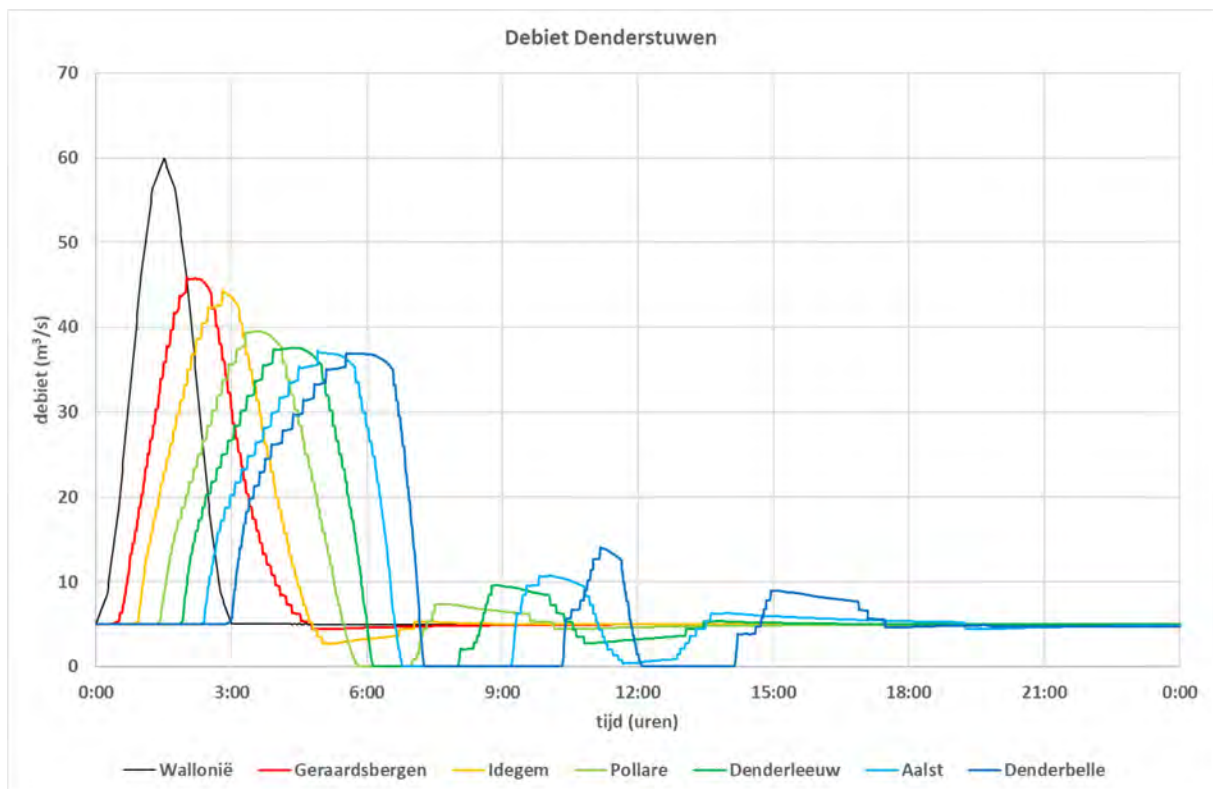
Figuur 21 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur



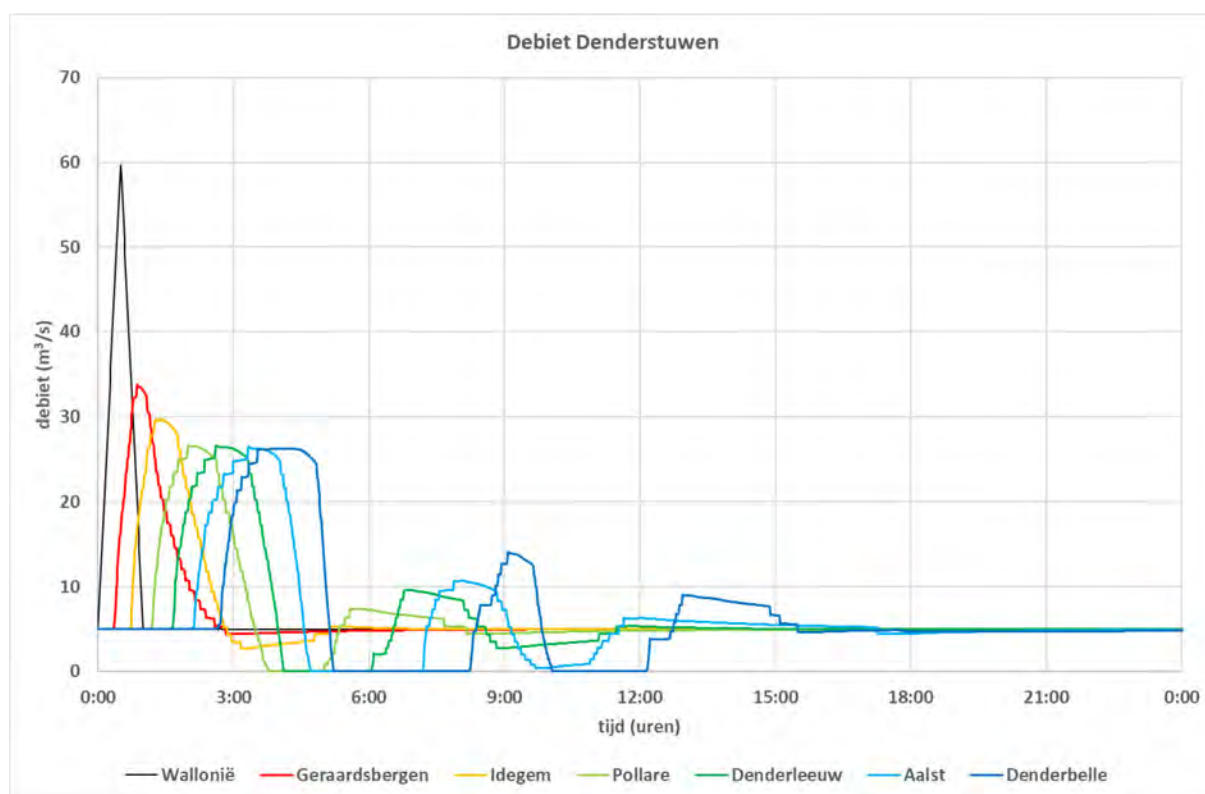
Figuur 22 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur



Figuur 23 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur



Figuur 24 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur



Figuur 25 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur

Historische was van juni 2016

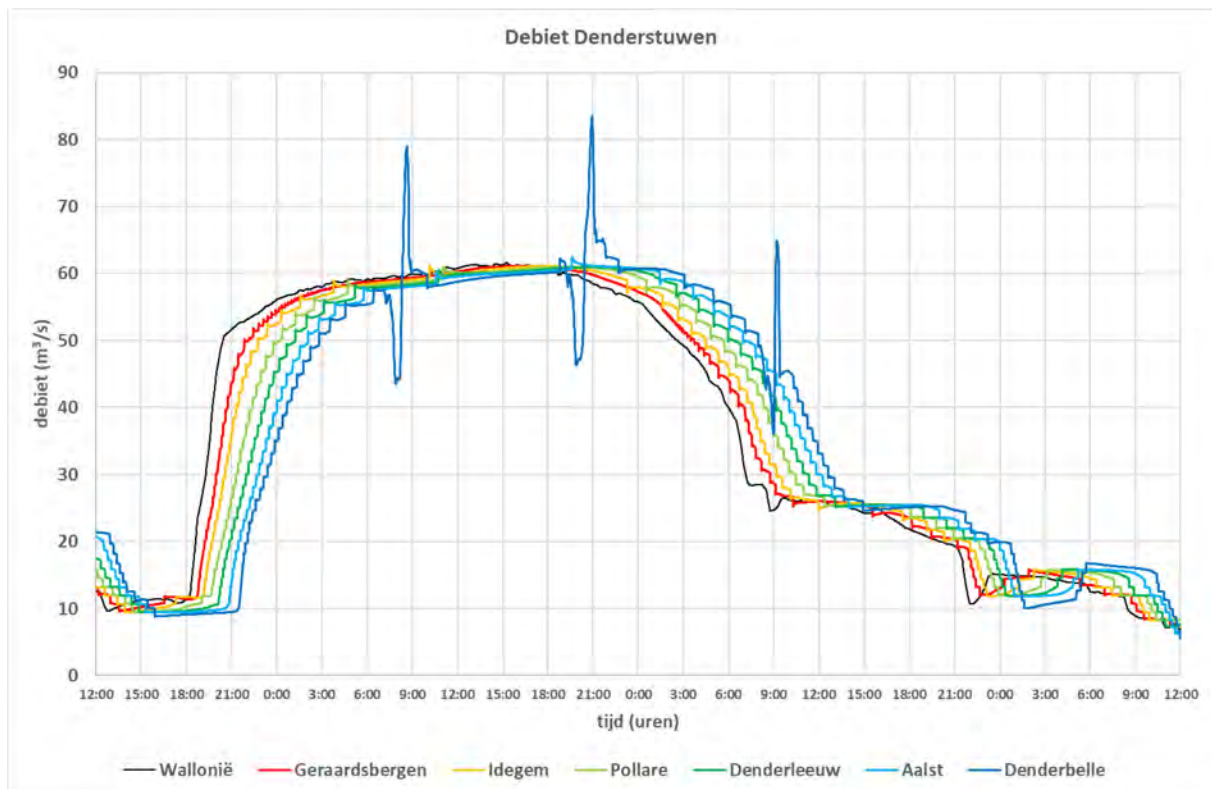
Figuur 26 t.e.m. Figuur 28 tonen het gedrag van de nieuwe stuwen bij een eventuele herhaling van de was van juni 2016.

Net voor de was en op het einde van de was is er een lichte versterking van de debietsafname. Tijdens de piek van de was is er in de meeste panden geen versterking van de piekafvoer.

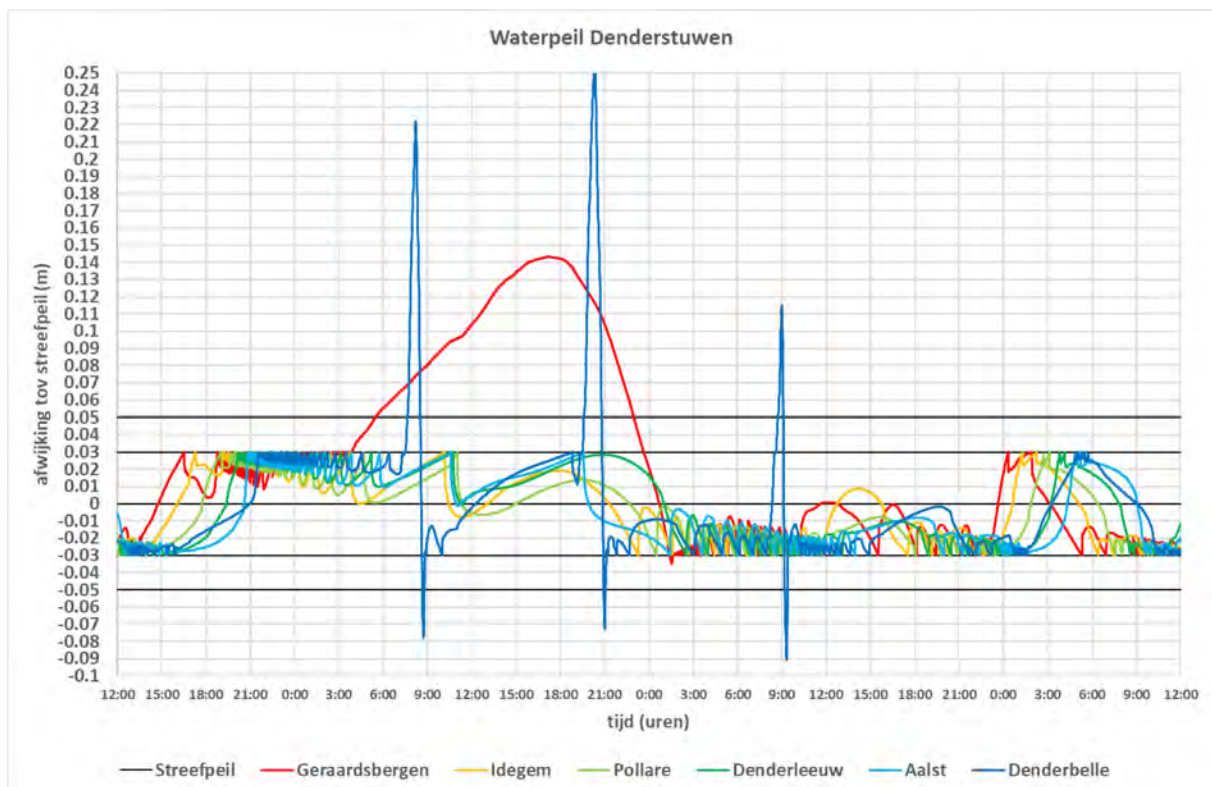
De pieken in de afvoer van de stuw van Denderbelle zijn het gevolg van opstuwing vanuit het pand Denderbelle-Dendermonde. Tijdens de opstuwing zal de afvoer tijdelijk gestremd worden. Zowel het afwaartse als het opwaartse waterpeil zullen het opwaartse streefpeil overschrijden. Als reactie hierop zal de stuw volledig gestreken worden. Van zodra er terug geloosd kan worden in Dendermonde zal het waterpeil op- en afwaarts van de stuw terug dalen tot onder het streefpeil van Denderbelle. Omdat de capaciteit van de stuw van Dendermonde groter is dan de capaciteit van de stuw van Denderbelle, zal het waterpeil afwaarts Denderbelle snel dalen. De oprichting van de stuw verloopt trager dan de daling van het waterpeil en er treedt een tijdelijke toename van de afvoer op.

Ook in Geraardsbergen treedt opstuwing op. Het opwaartse streefpeil wordt overschreden en de stuw wordt langdurig gestreken. Op het einde van de was wordt de stuw opnieuw opgericht. Omdat de stuwen van Geraardsbergen en Idegem wel dezelfde capaciteit hebben, verloopt de daling van het afwaartse waterpeil veel trager en kan de oprichting van de stuw van Geraardsbergen wel voldoende snel gebeuren om een onderschrijding van het opwaartse streefpeil te voorkomen.

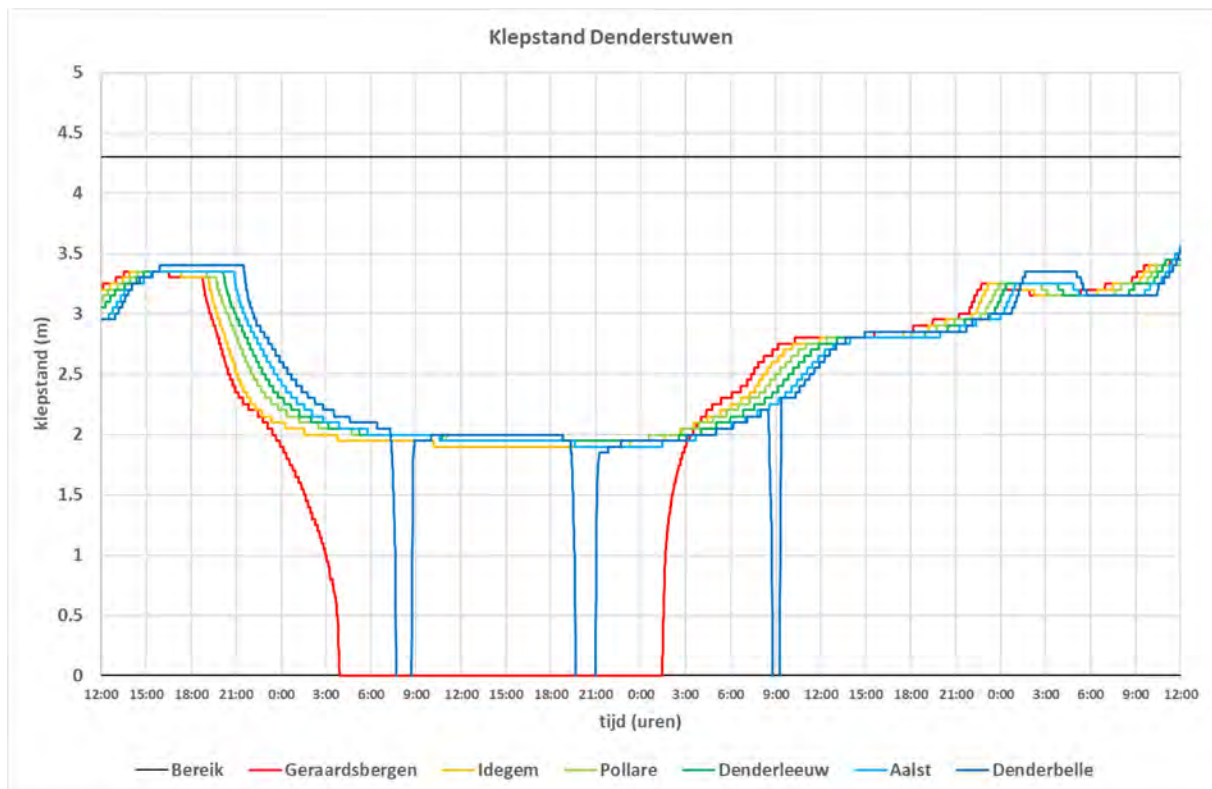
Op de overige sites treedt geen opstuwing op. De stuwen voeren slechts beperkte bewegingen uit en het opwaartse waterpeil blijft altijd binnen de vooropgestelde marges.



Figuur 26 – Debiet tijdens was van juni 2016



Figuur 27 – Waterpeil tijdens was van juni 2016



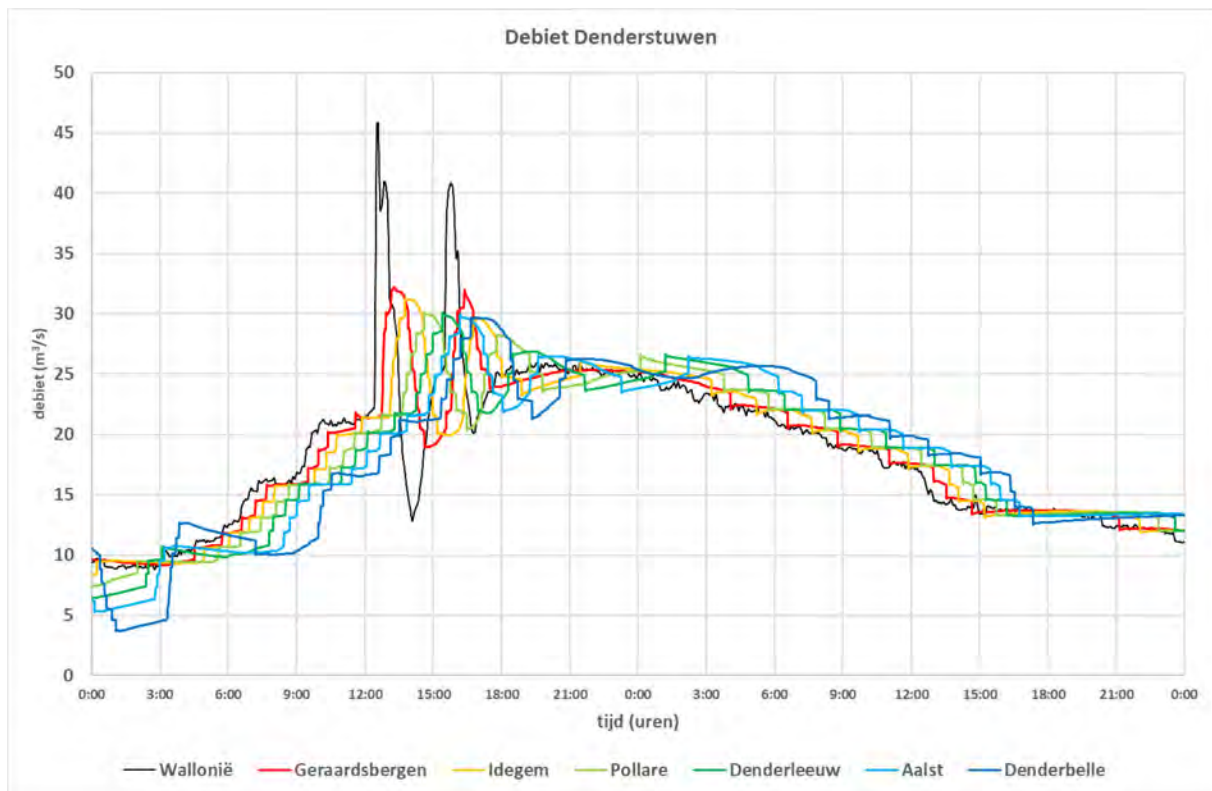
Figuur 28 – Klepstand tijdens was van juni 2016

Debietschommeling van februari 2019

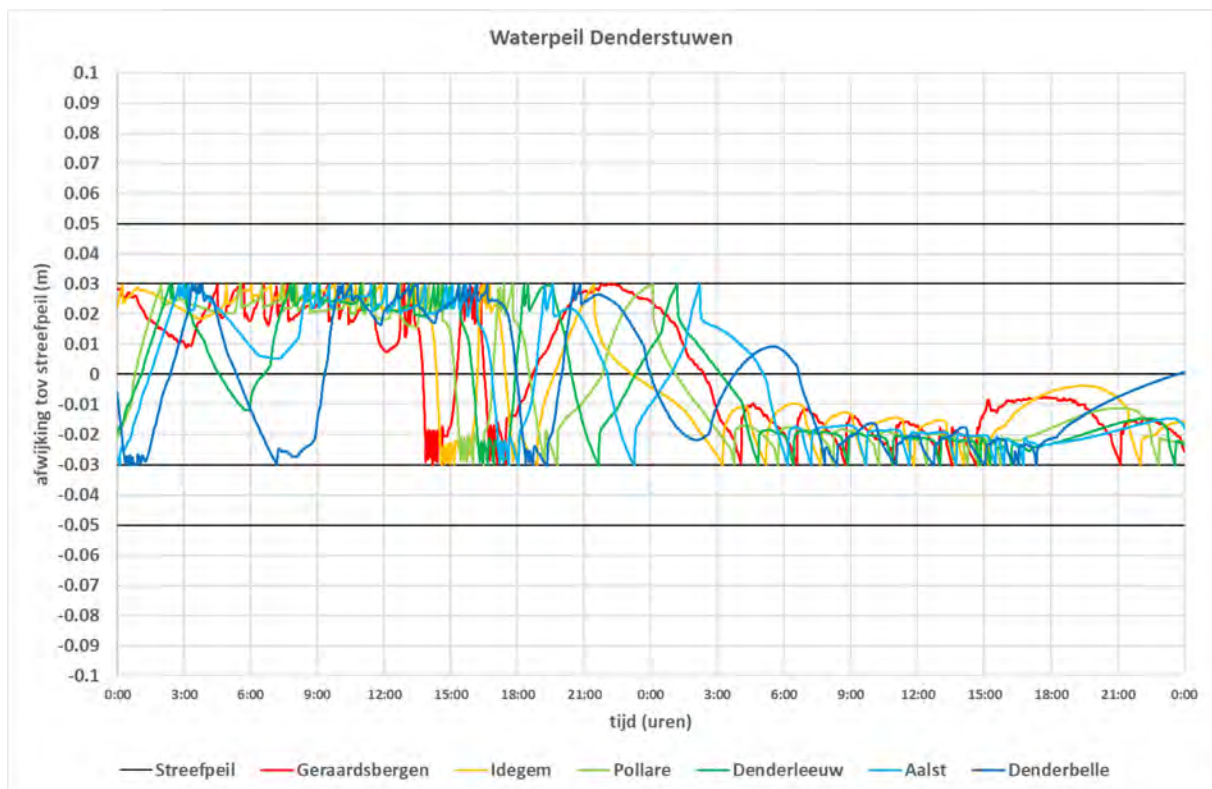
Figuur 29 t.e.m. Figuur 31 tonen de reactie van de nieuwe stuwen op een eventuele herhaling van de debietschommeling in Wallonië van februari 2019.

De debietschommeling wordt reeds in grote mate gedempt in het pand tussen Deux-Acren en Geraardsbergen. De meer afwaarts gelegen panden zorgen voor een verdere demping, totdat de schommeling bijna volledig verdwenen is. De nieuwe stuwen slagen erin het streefpeil te handhaven met beperkte bewegingen.

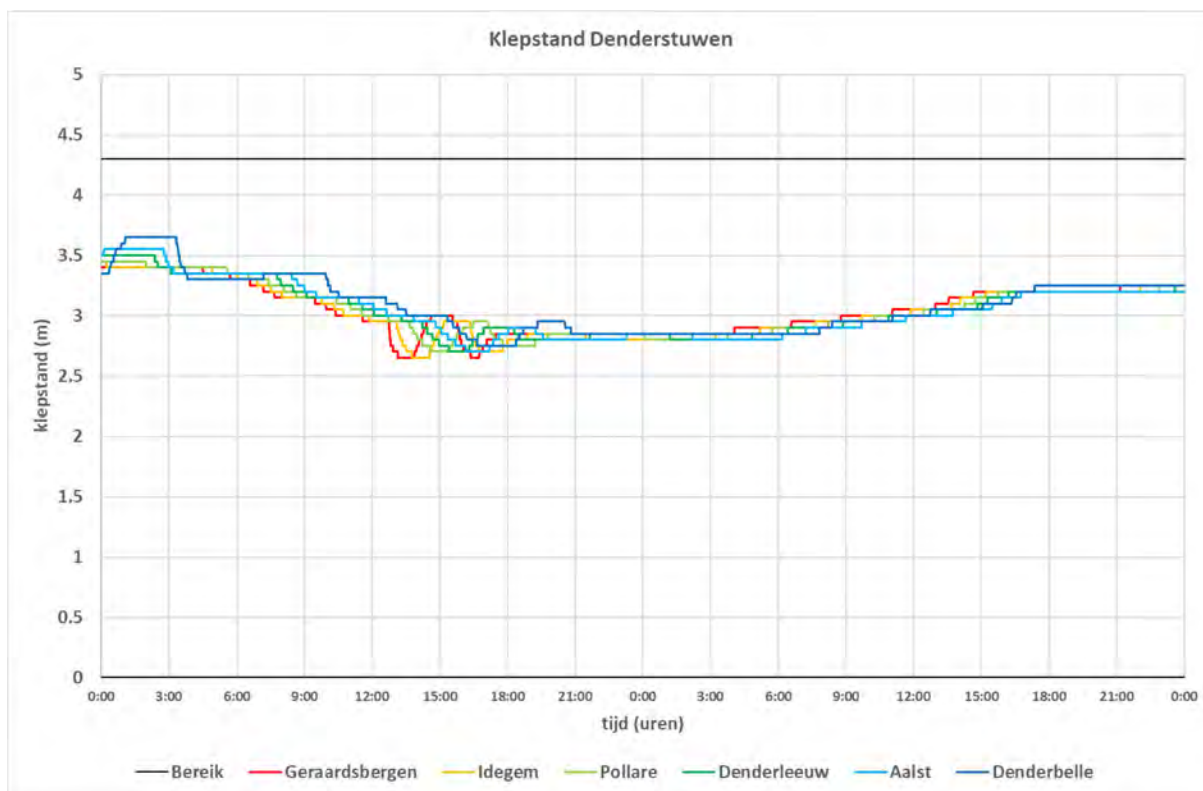
Bij het begin van de simulatie is de reactie van de stuwen op het einde van een eerdere was zichtbaar. De debietsafname op het einde van de voorgaande was wordt versterkt en de stuw van Denderbelle sluit kortstondig. Dit gedrag is identiek aan het gedrag van de stuwen op het einde van een synthetisch hydrogram.



Figuur 29 – Debiet tijdens debietschommeling van februari 2019



Figuur 30 – Waterpeil tijdens debietschommeling van februari 2019



Figuur 31 – Klepstand tijdens debietschommeling van februari 2019

Volledige jaar 2019 zonder zijdelingse instroming

De resultaten van de simulaties zonder zijdelingse instroming worden getoond in Figuur 32 t.e.m. Figuur 55. Voor elke simulatie werden twee figuren opgemaakt: één met de instroming ter hoogte van de gewestgrens en één met de debieten over de stuwen in Vlaanderen.

Uit de figuren blijkt dat kleine verstoringen in het debiet aan de gewestgrens aanleiding kunnen geven tot het sluiten van stuwen in Vlaanderen. In sommige maanden gebeurt dit slechts enkele malen, maar in andere maanden kan het dagelijks of zelfs meerdere malen per dag gebeuren.

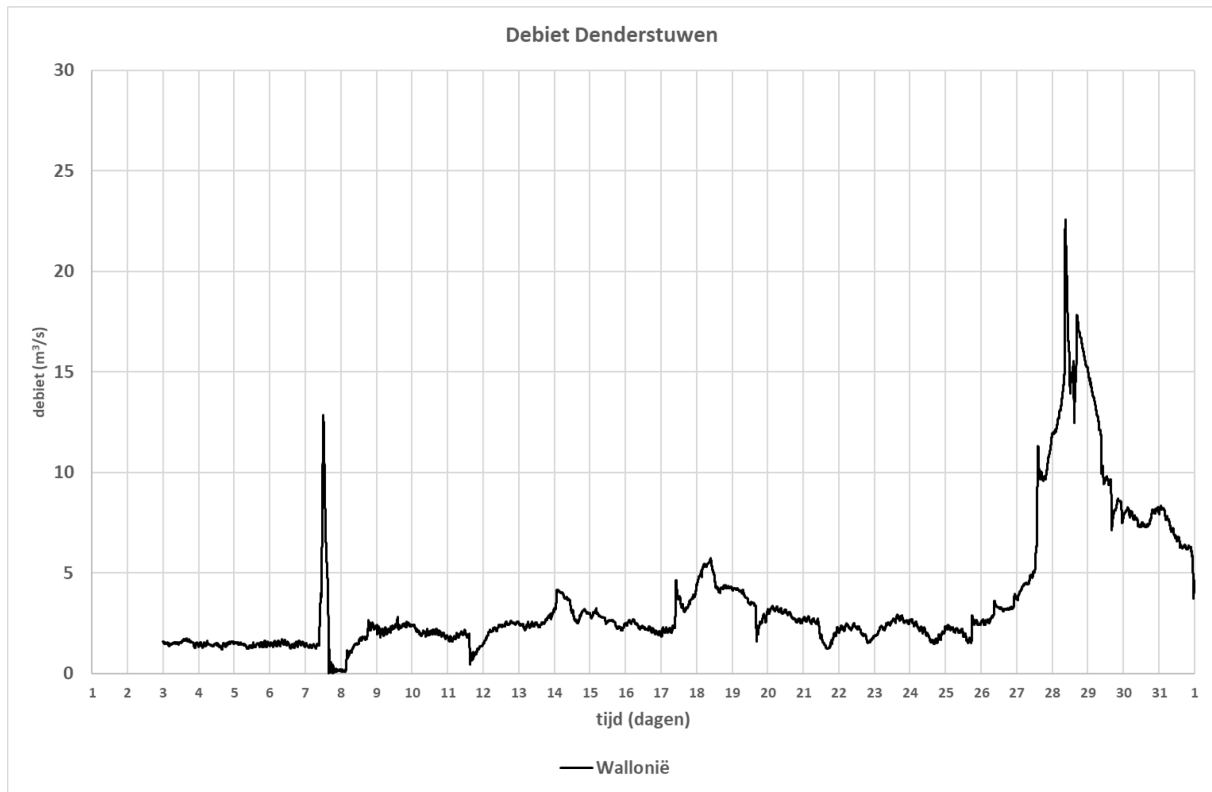
De precieze oorzaken van de kleine verstoringen in het debiet aan de gewestgrens zijn niet bekend. Het zou kunnen gaan om fysische processen in Wallonië (automatische stuwwerking, schuttingen, ...), maar ook om fysische processen op de Dender in Geraardsbergen (manuele stuwwerking, schuttingen) of de Marke (automatische stuwwerking) of misschien zelfs toevallige meetfouten.

De uitschieters in het debiet van de stuw van Denderbelle zijn het gevolg van het volledig openen en terug sluiten van de stuw tijdens perioden met opstuwing in het vak Denderbelle-Dendermonde.

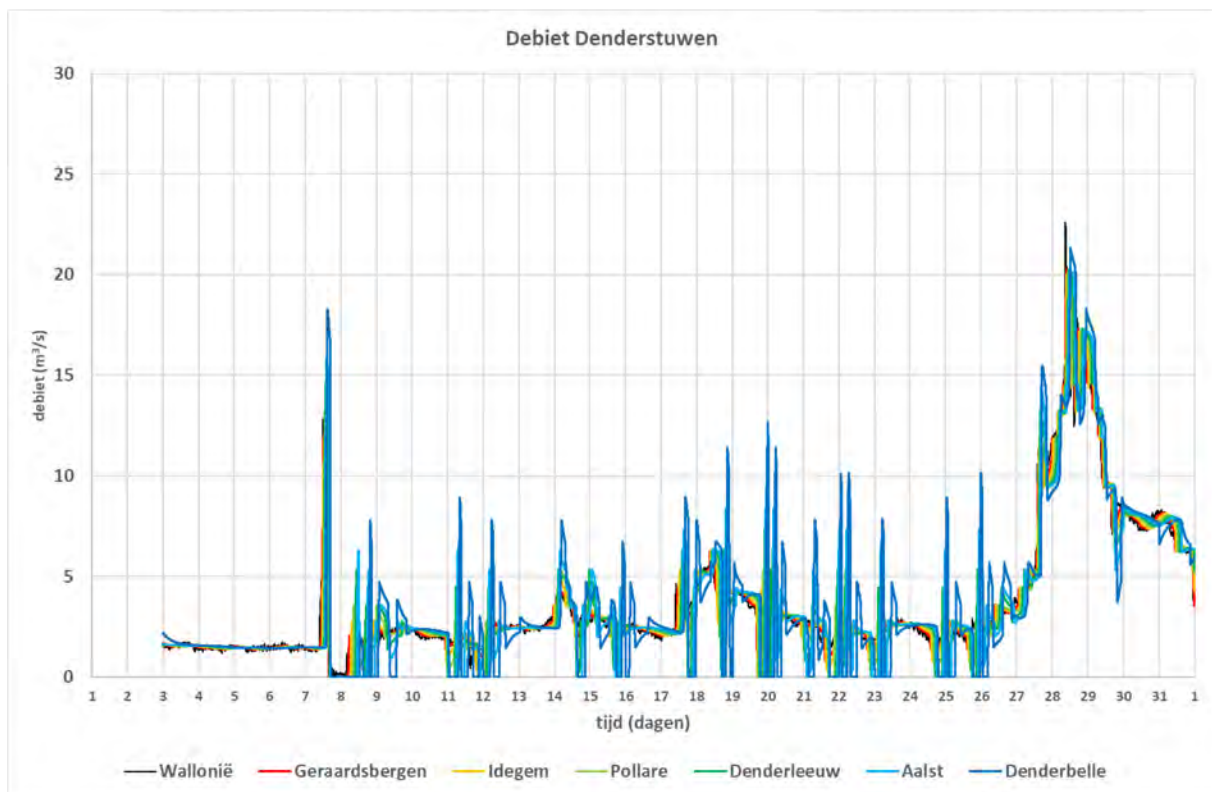
Volledige jaar 2019 met zijdelingse instroming

De resultaten van de simulaties met zijdelingse instroming worden getoond in Figuur 56 t.e.m. Figuur 79.

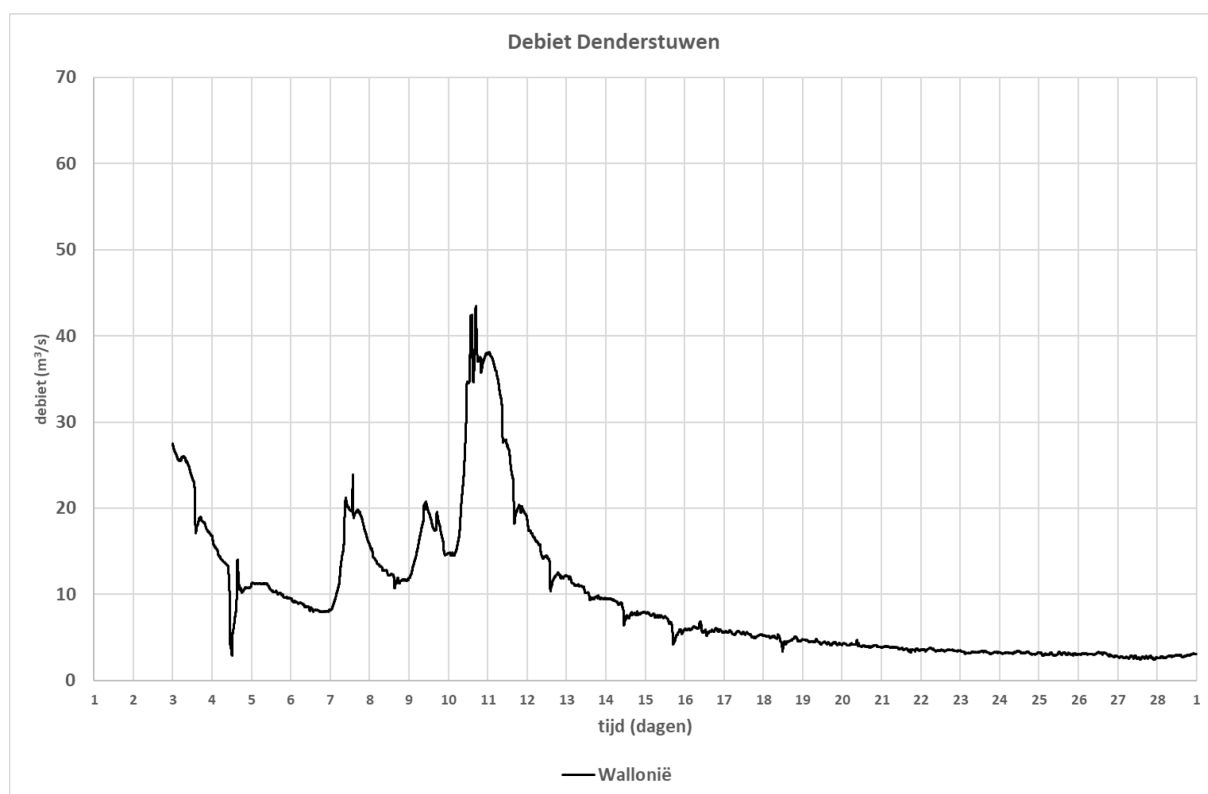
Uit de figuren blijkt dat de zijdelingse instroming vanuit de zijlopen leidt tot een geleidelijke toename van de afvoer in het Vlaamse deel van de Dender. De toevoeging van de zijdelingse instroming volstaat echter niet om te beletten dat de stuwen in Vlaanderen soms sluiten.



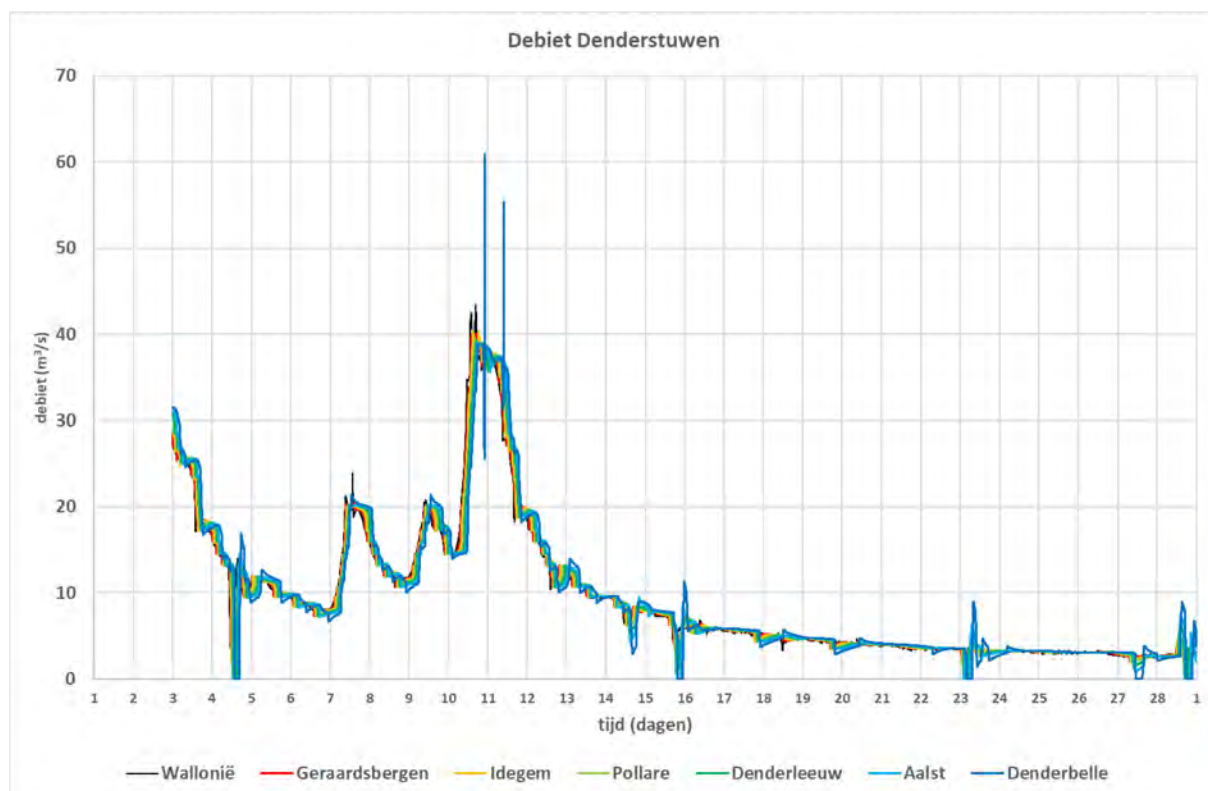
Figuur 32 – Januari 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



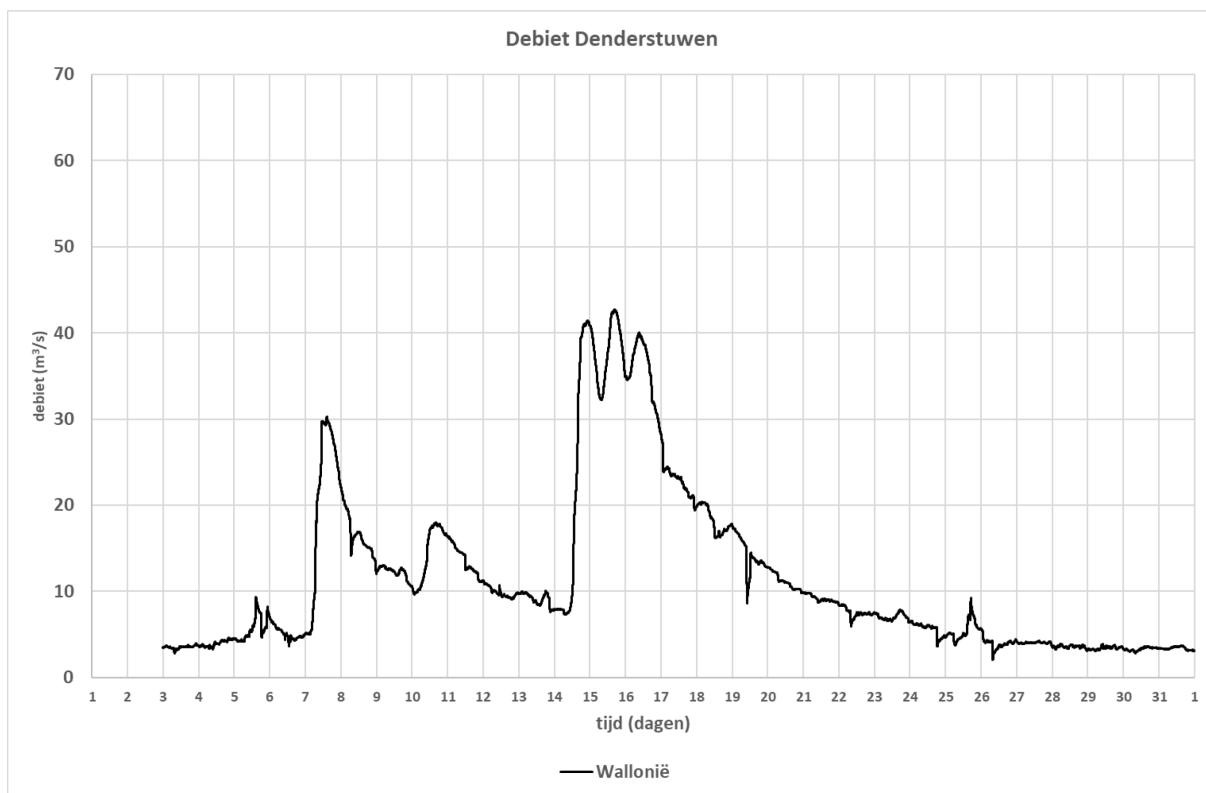
Figuur 33 – Januari 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



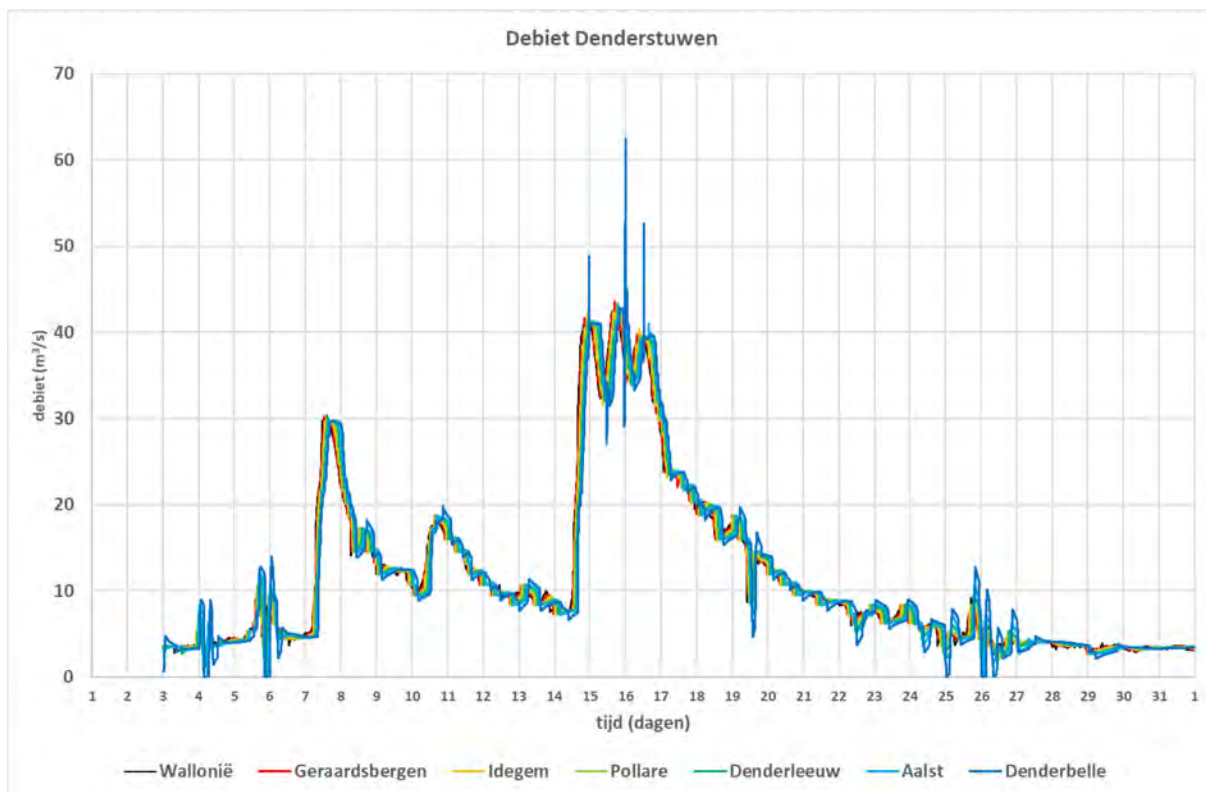
Figuur 34 – Februari 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



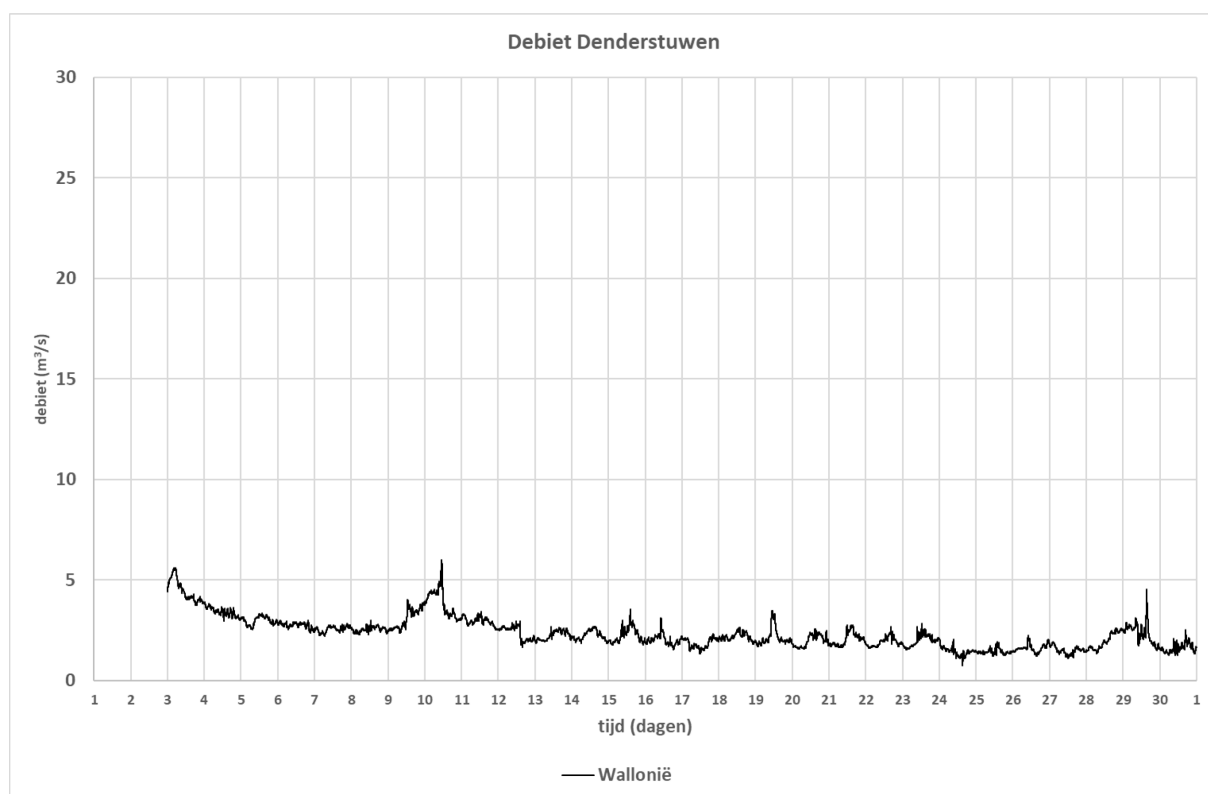
Figuur 35 – Februari 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



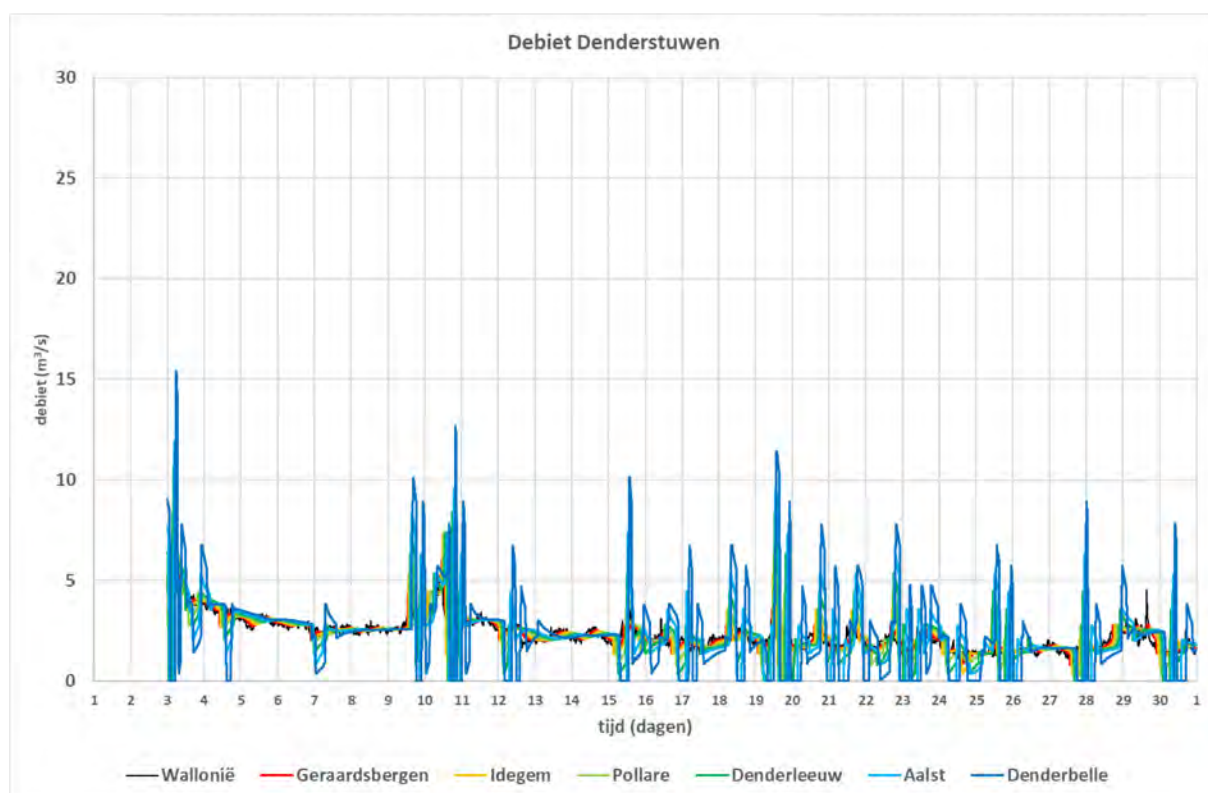
Figuur 36 – Maart 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



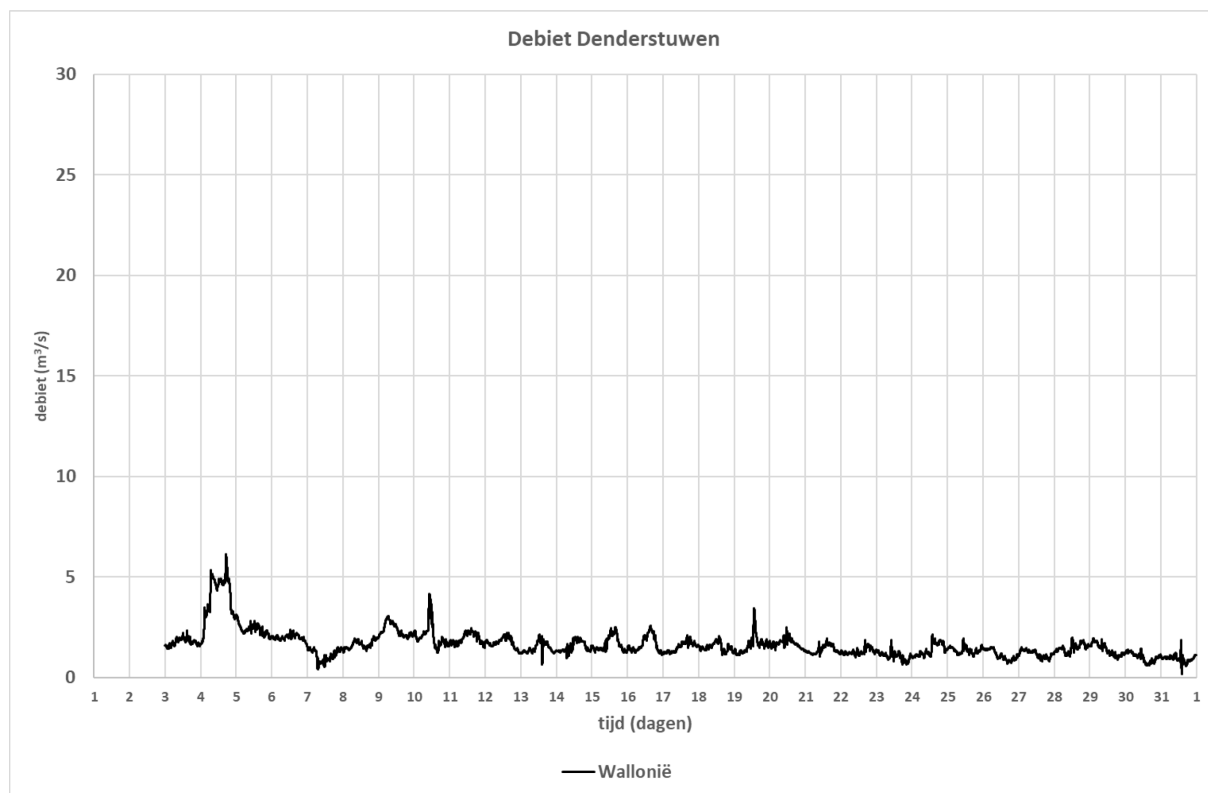
Figuur 37 – Maart 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



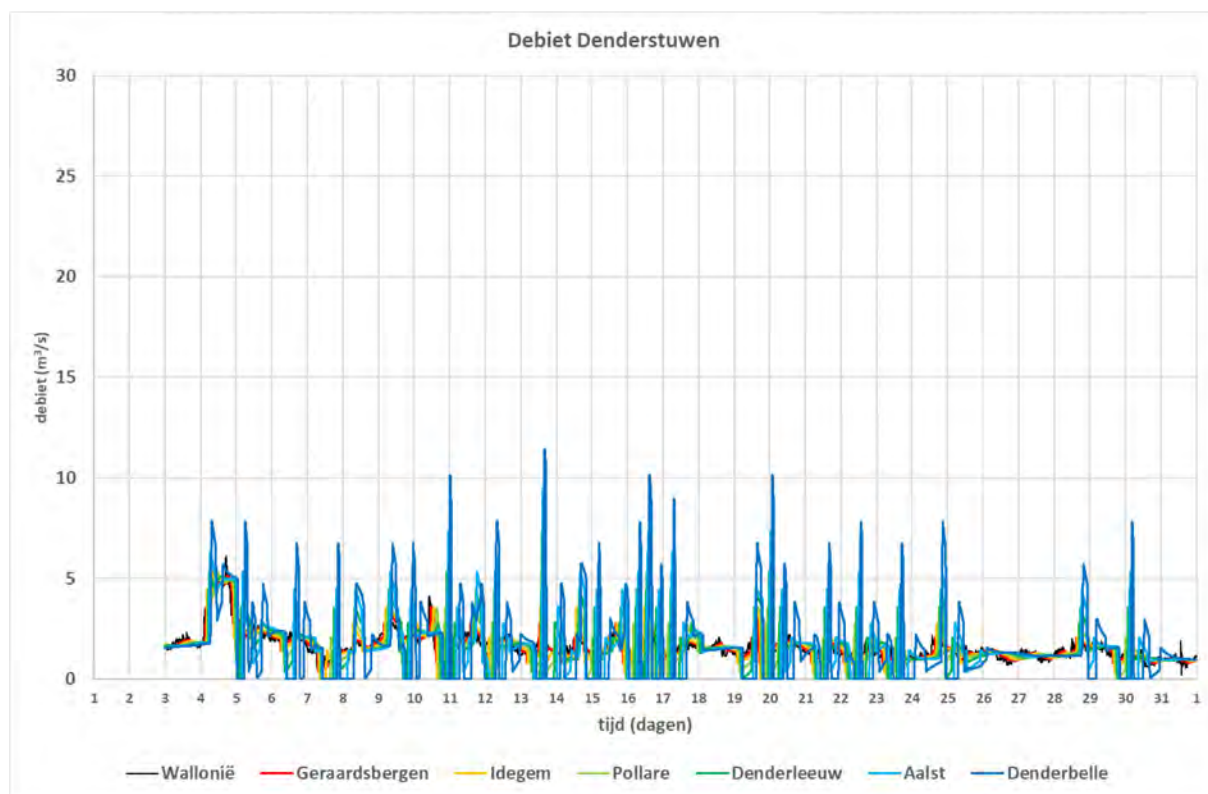
Figuur 38 – April 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



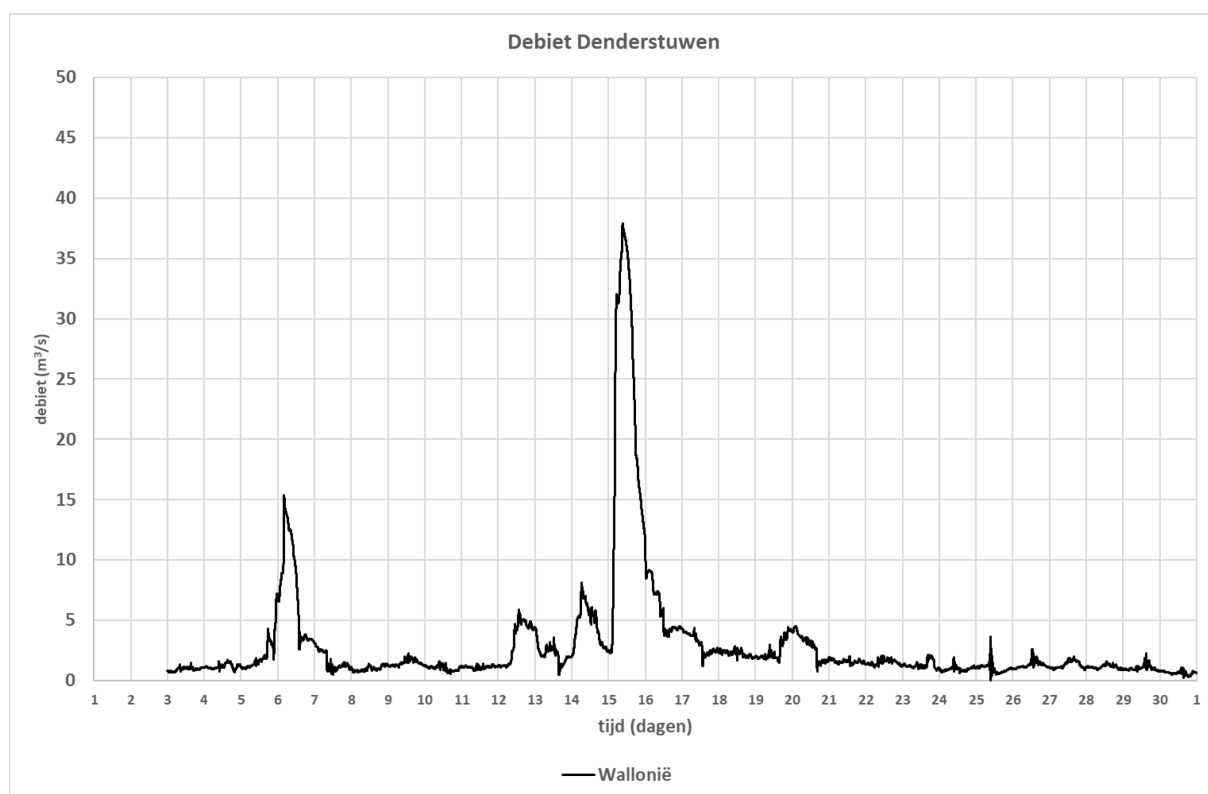
Figuur 39 – April 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



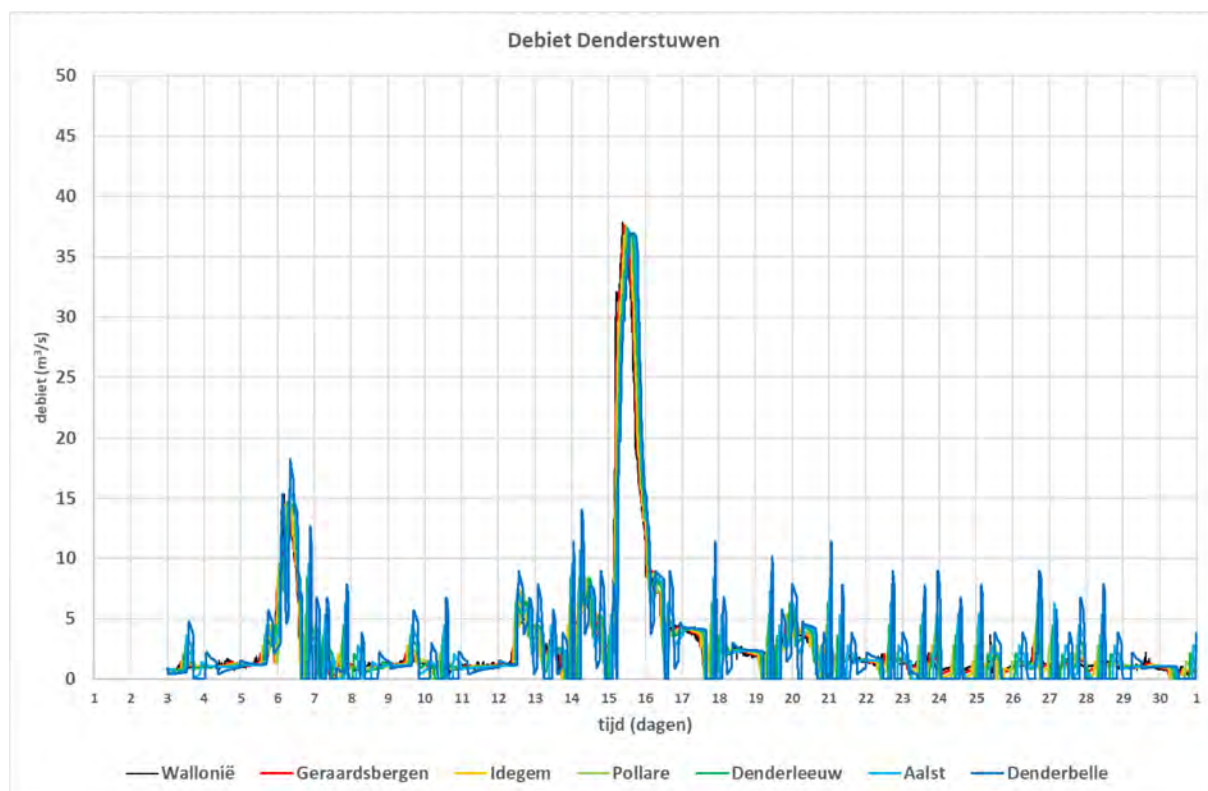
Figuur 40 – Mei 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



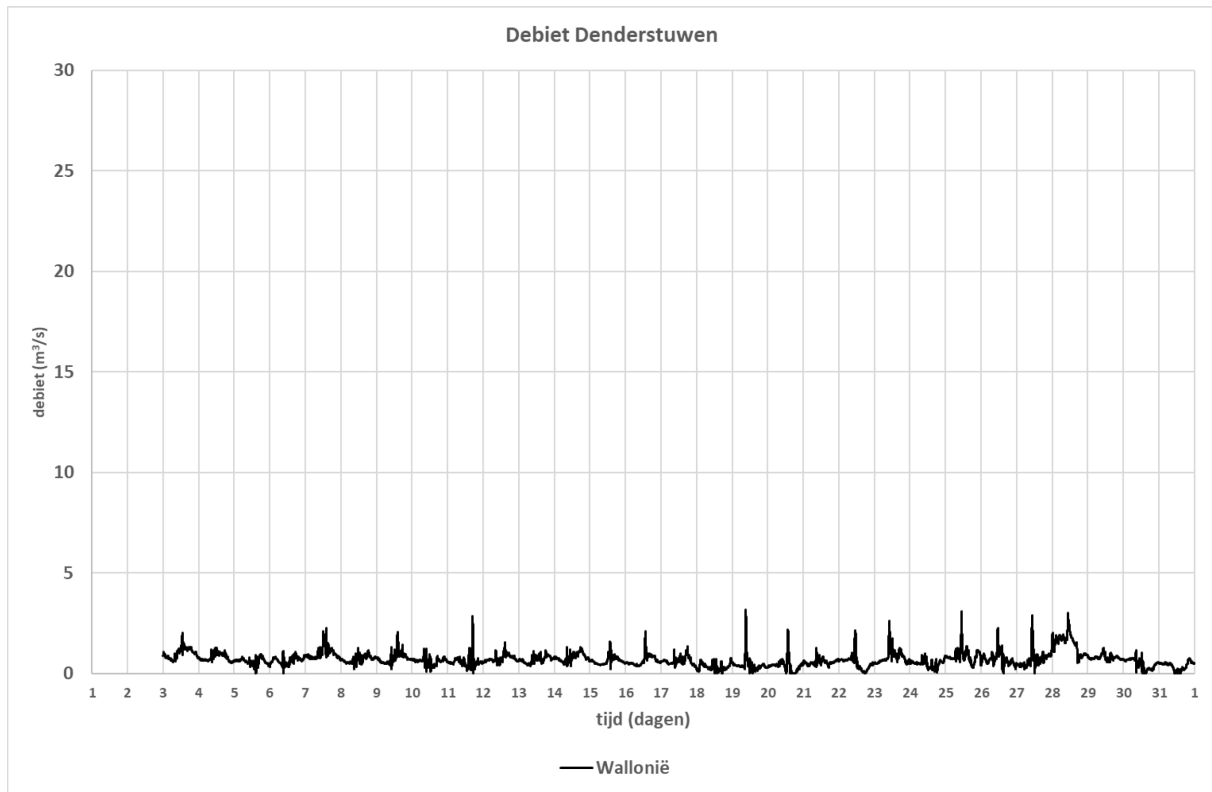
Figuur 41 – Mei 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



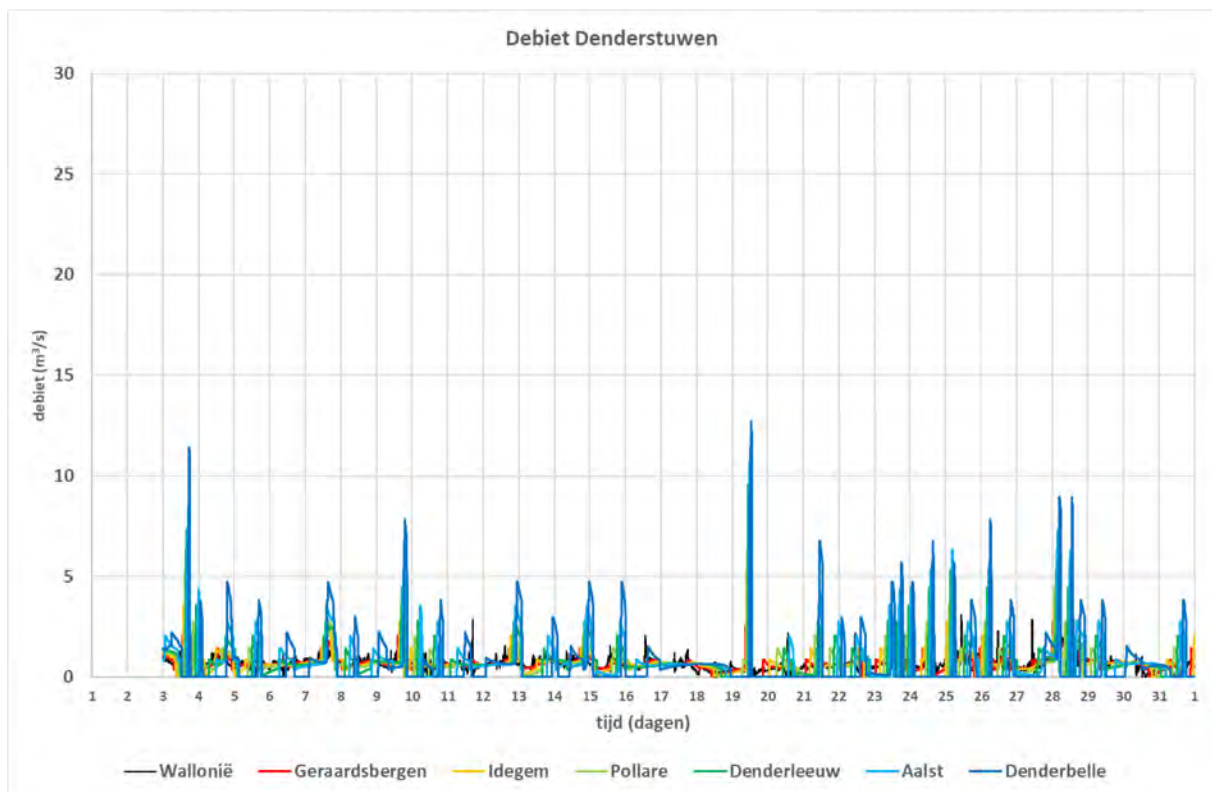
Figuur 42 – Juni 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



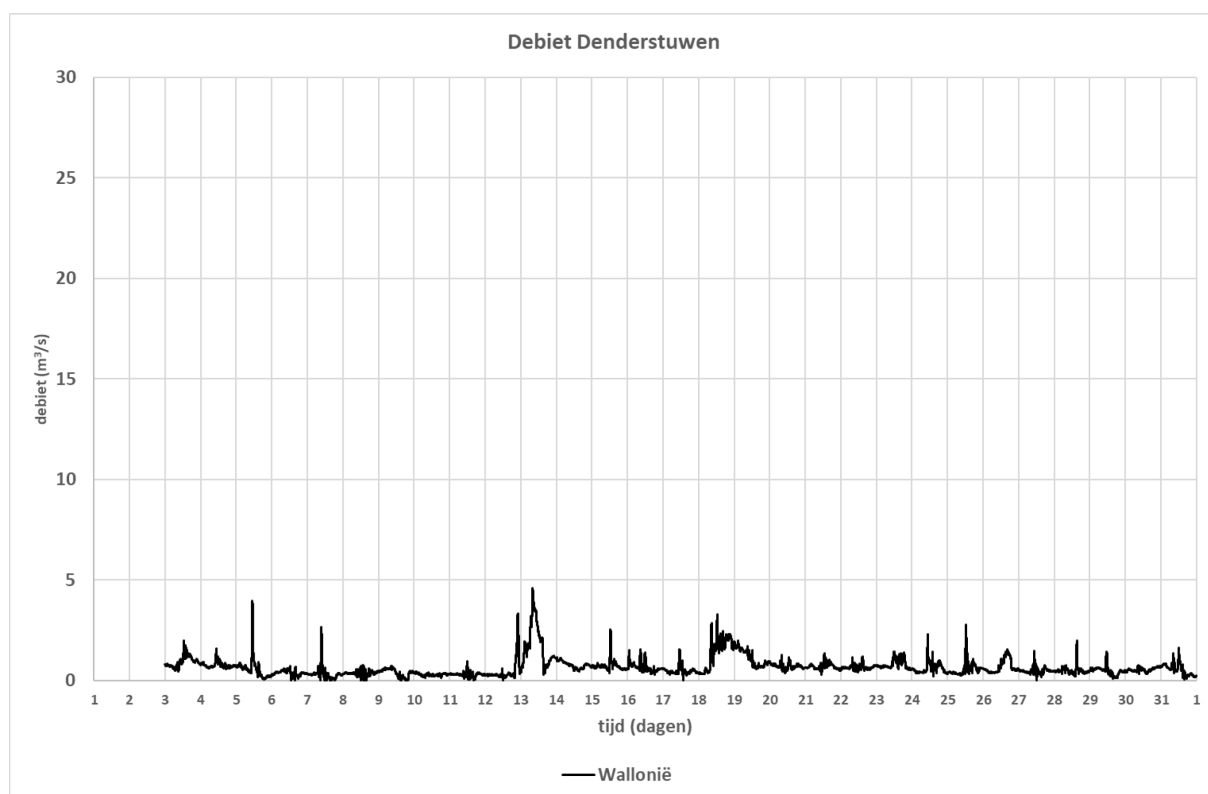
Figuur 43 – Juni 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



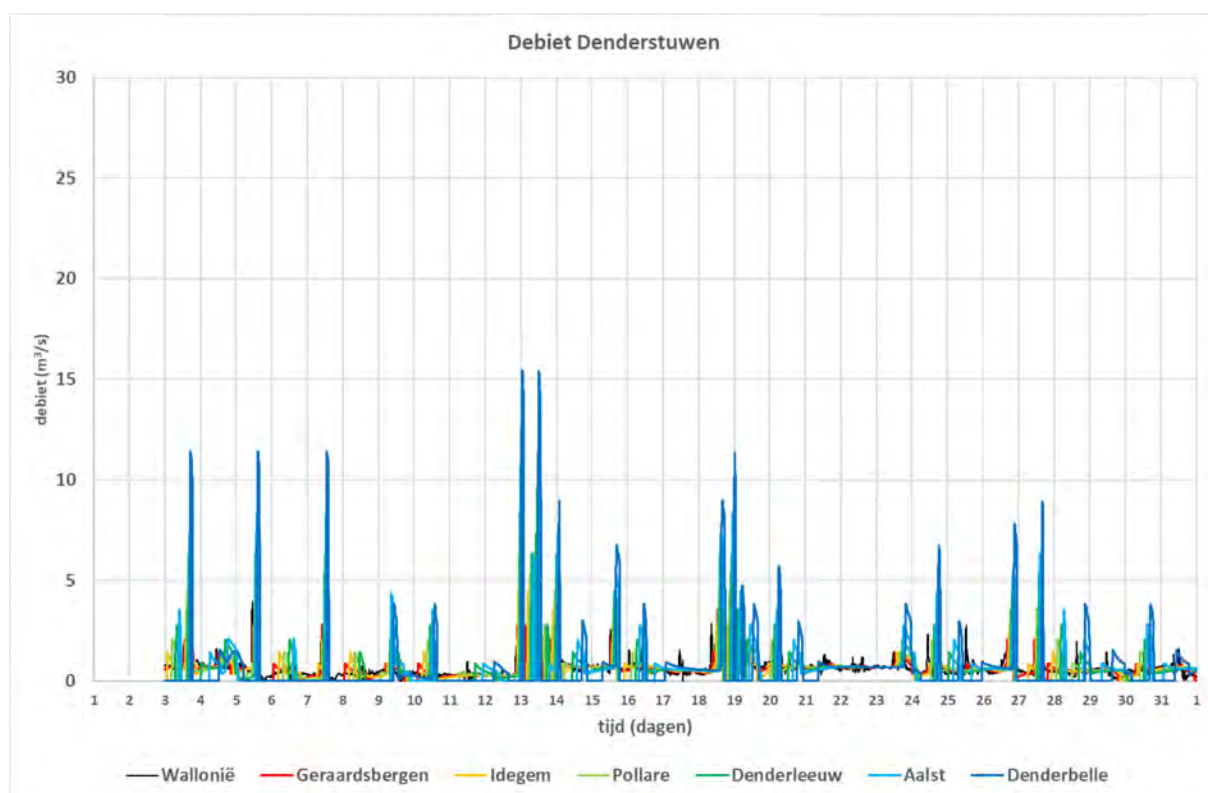
Figuur 44 – Juli 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



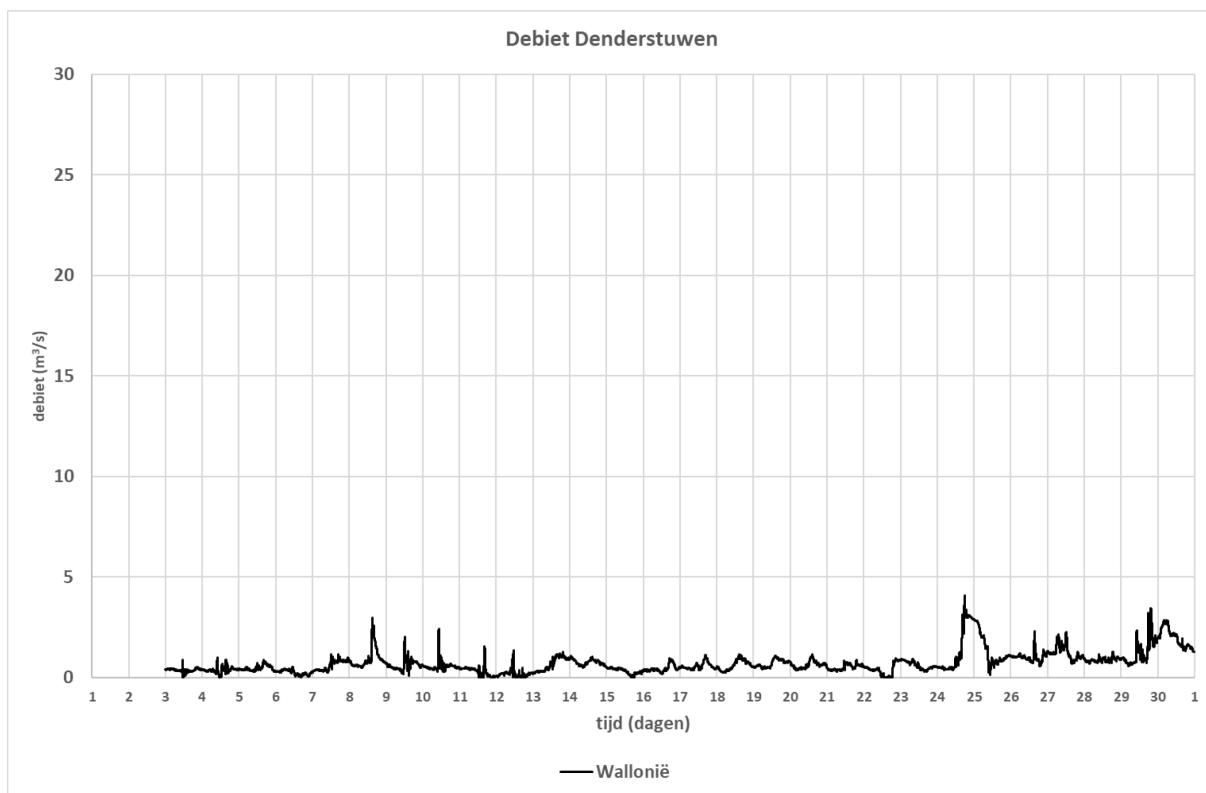
Figuur 45 – Juli 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



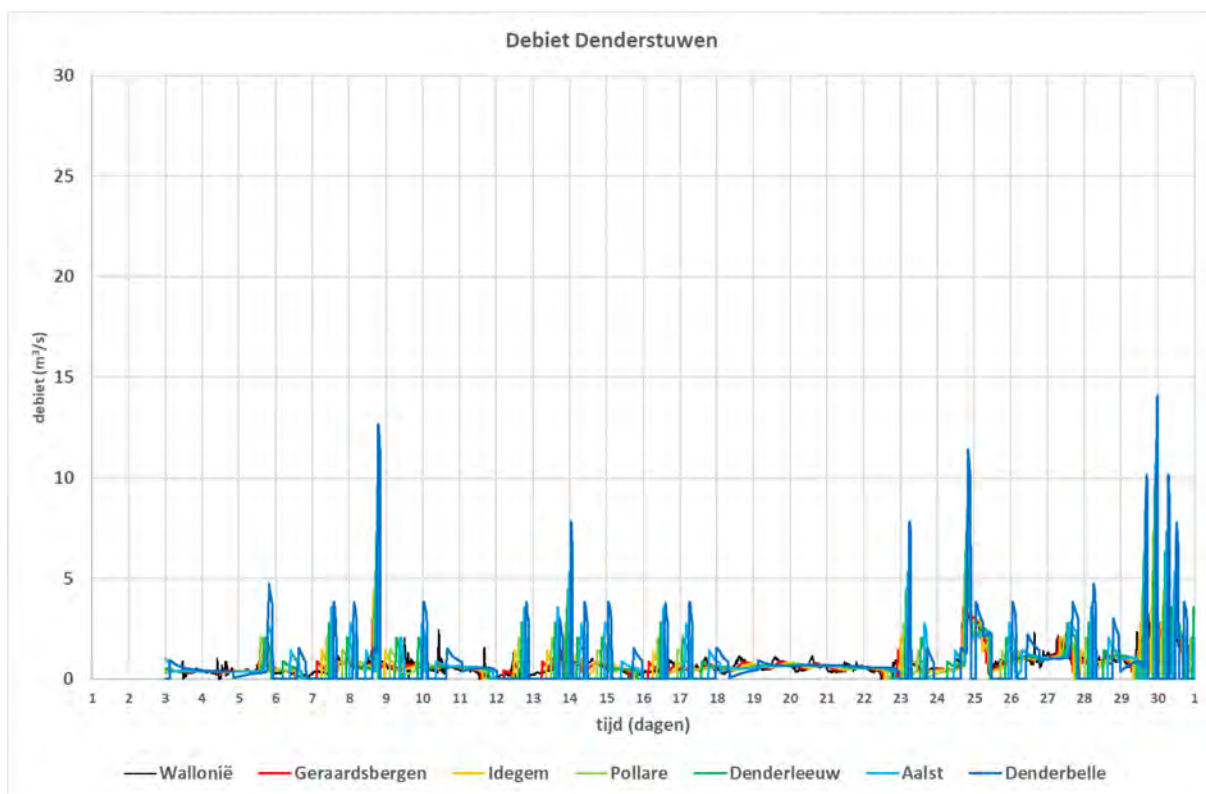
Figuur 46 – Augustus 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



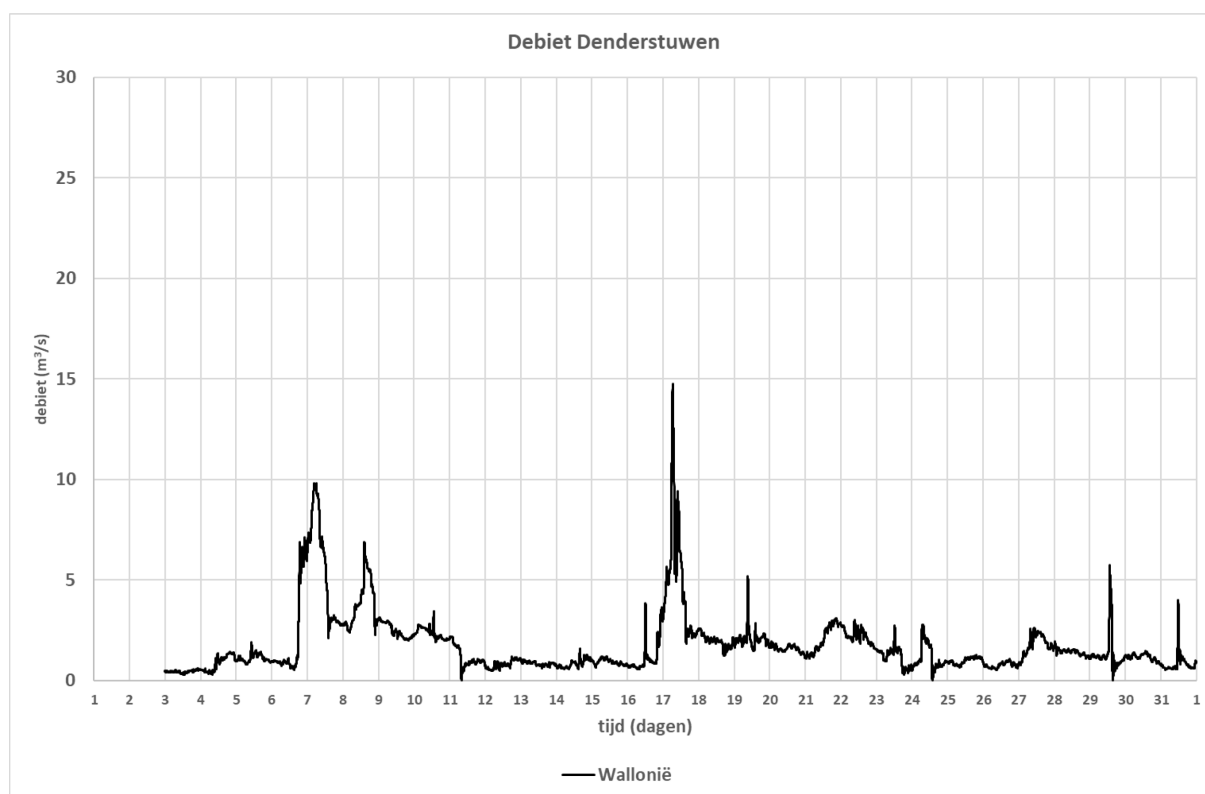
Figuur 47 – Augustus 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



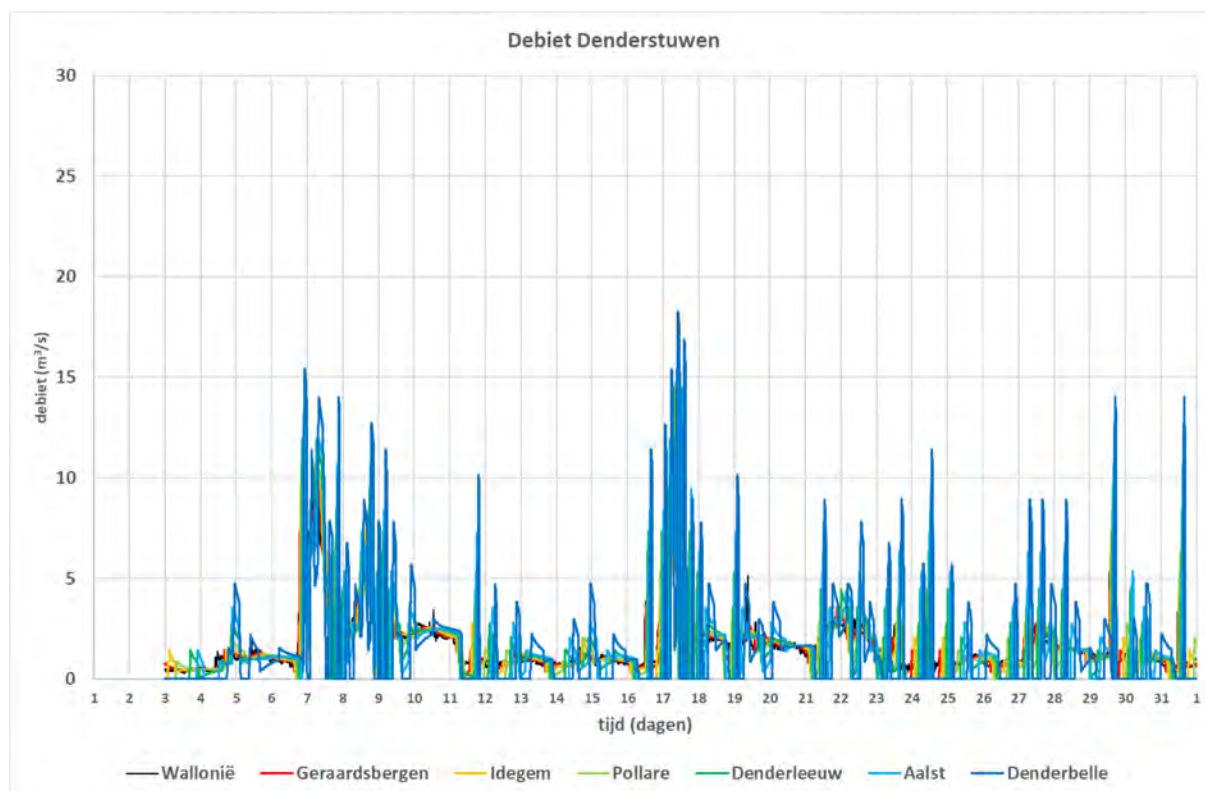
Figuur 48 – September 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



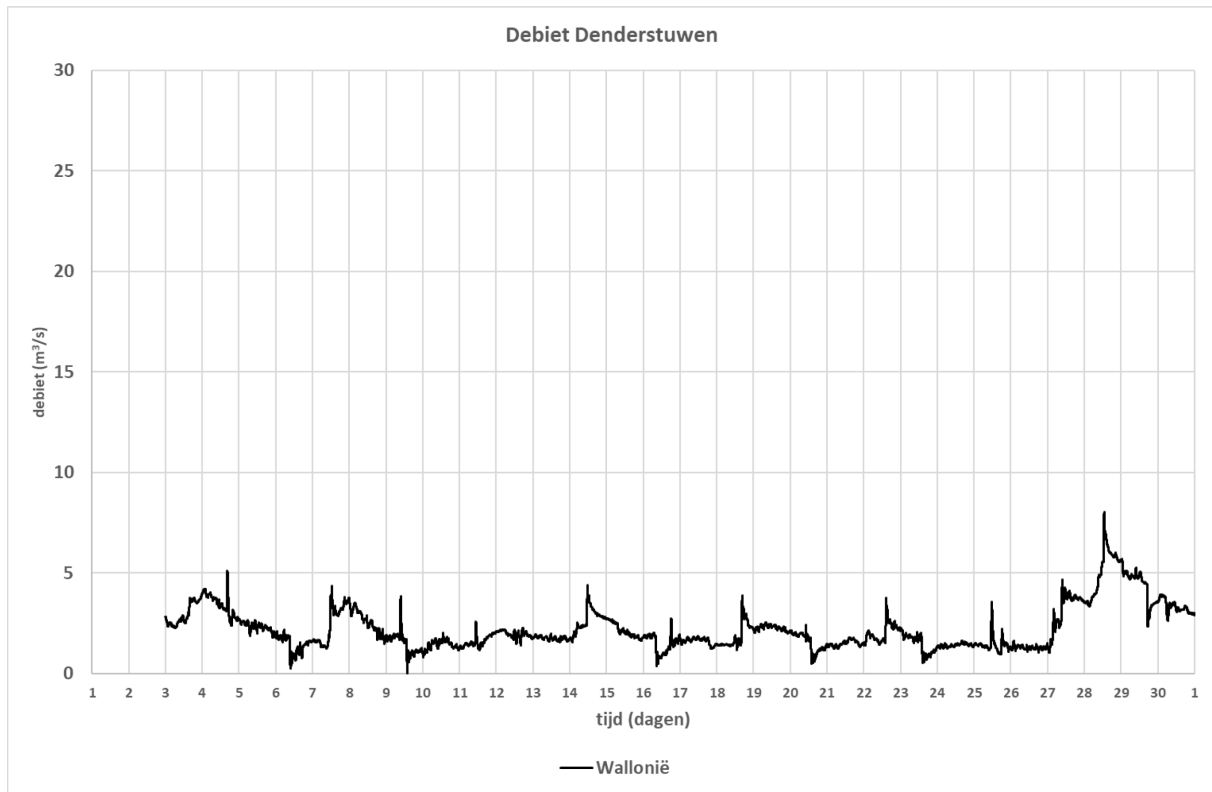
Figuur 49 – September 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



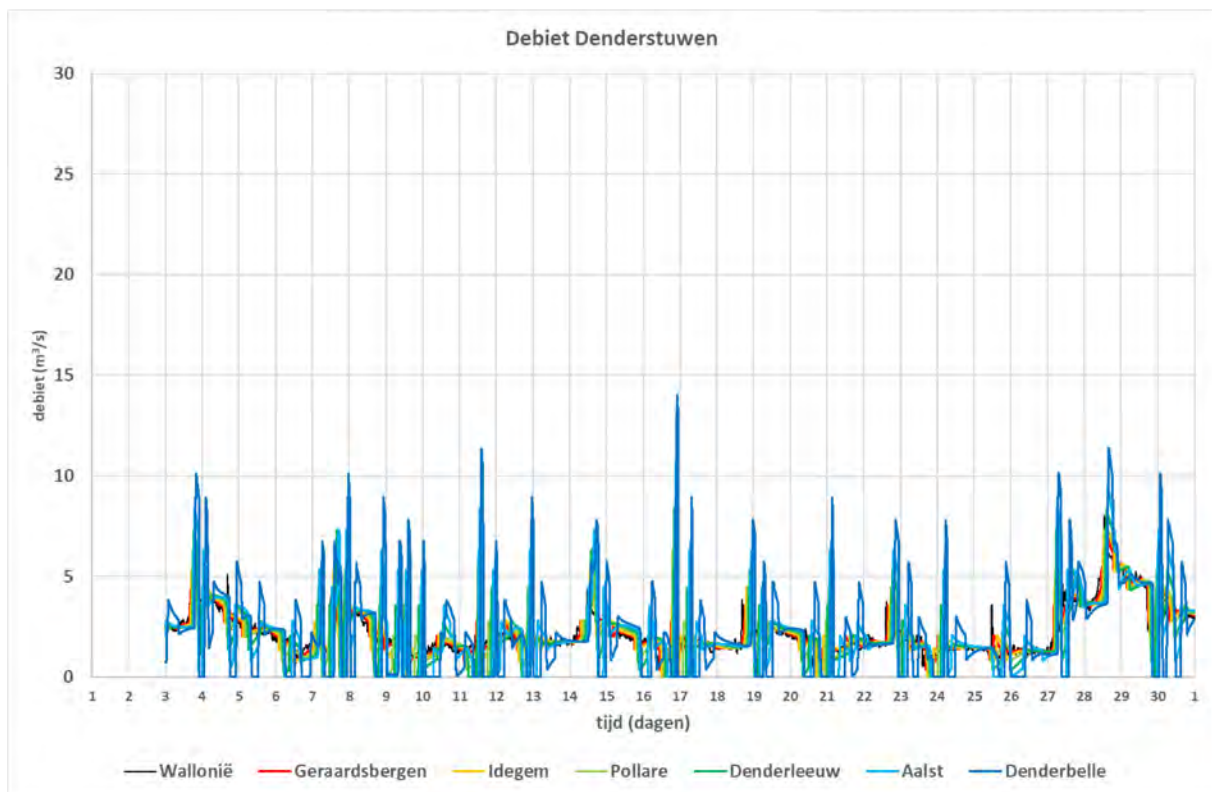
Figuur 50 – Oktober 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



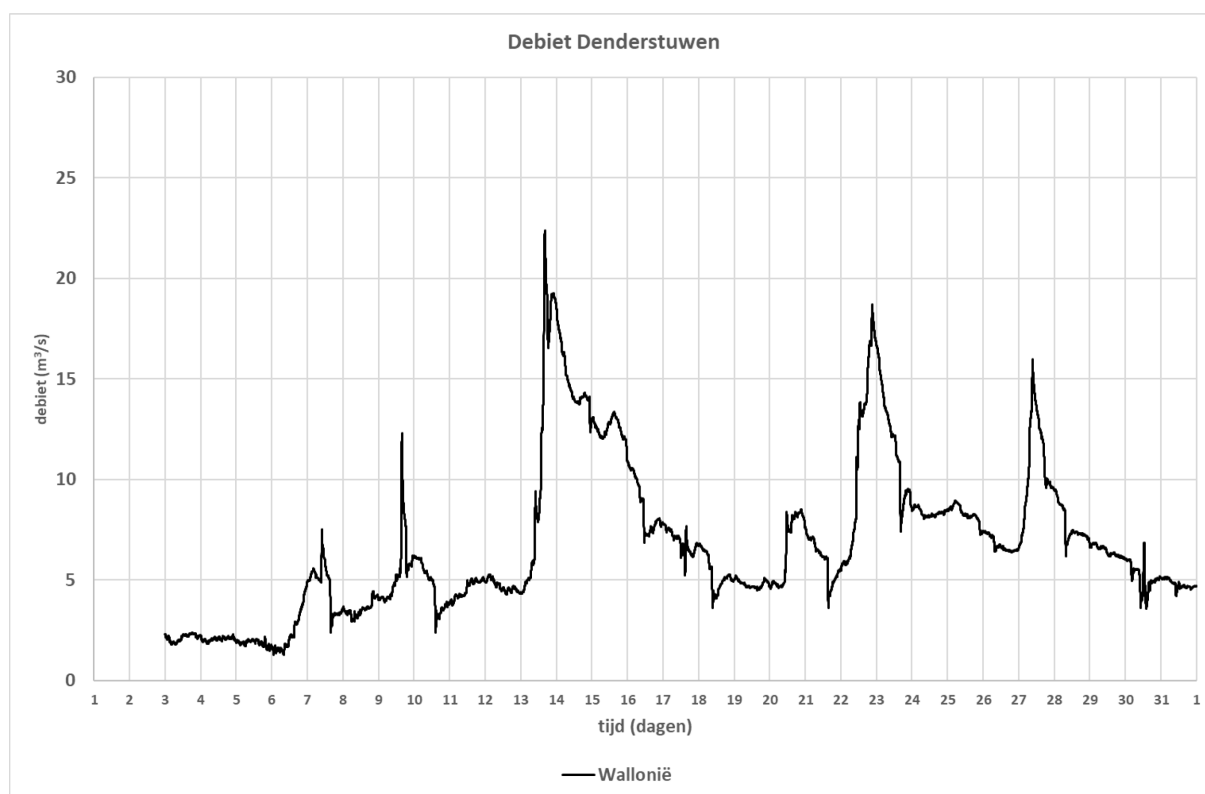
Figuur 51 – Oktober 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



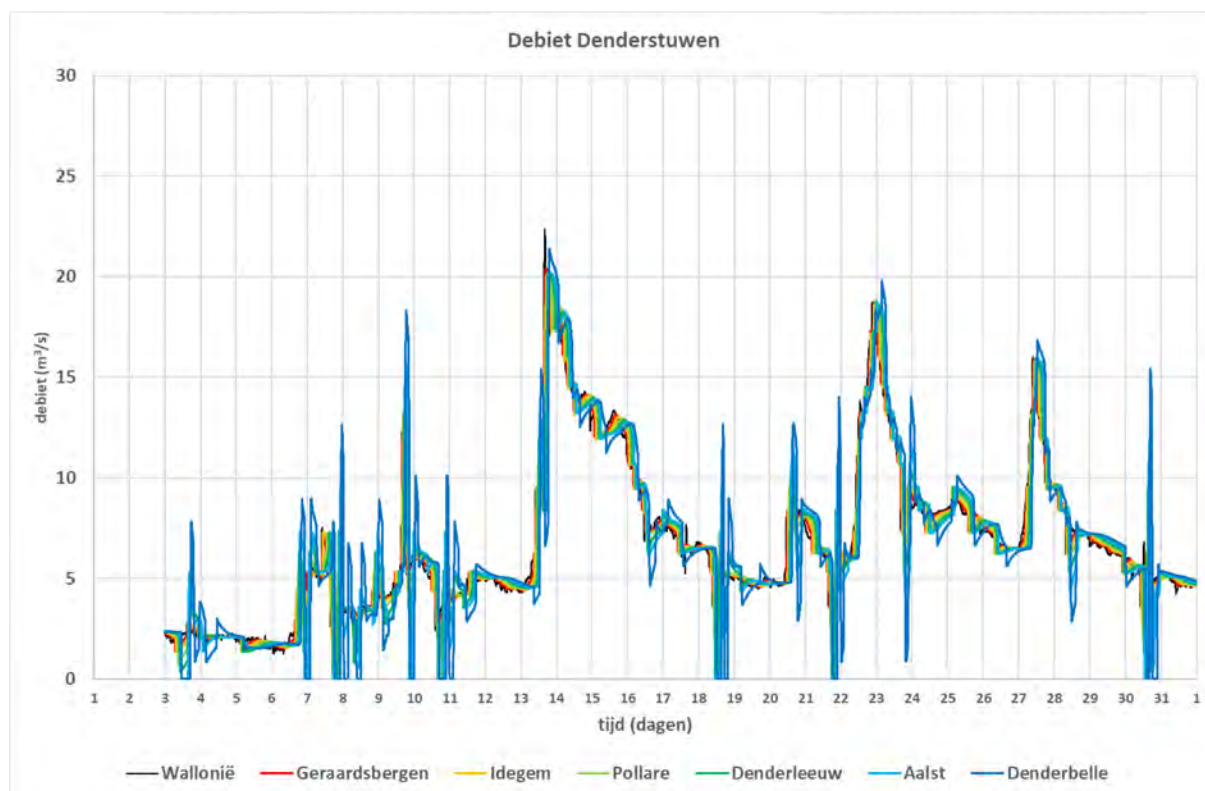
Figuur 52 – November 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



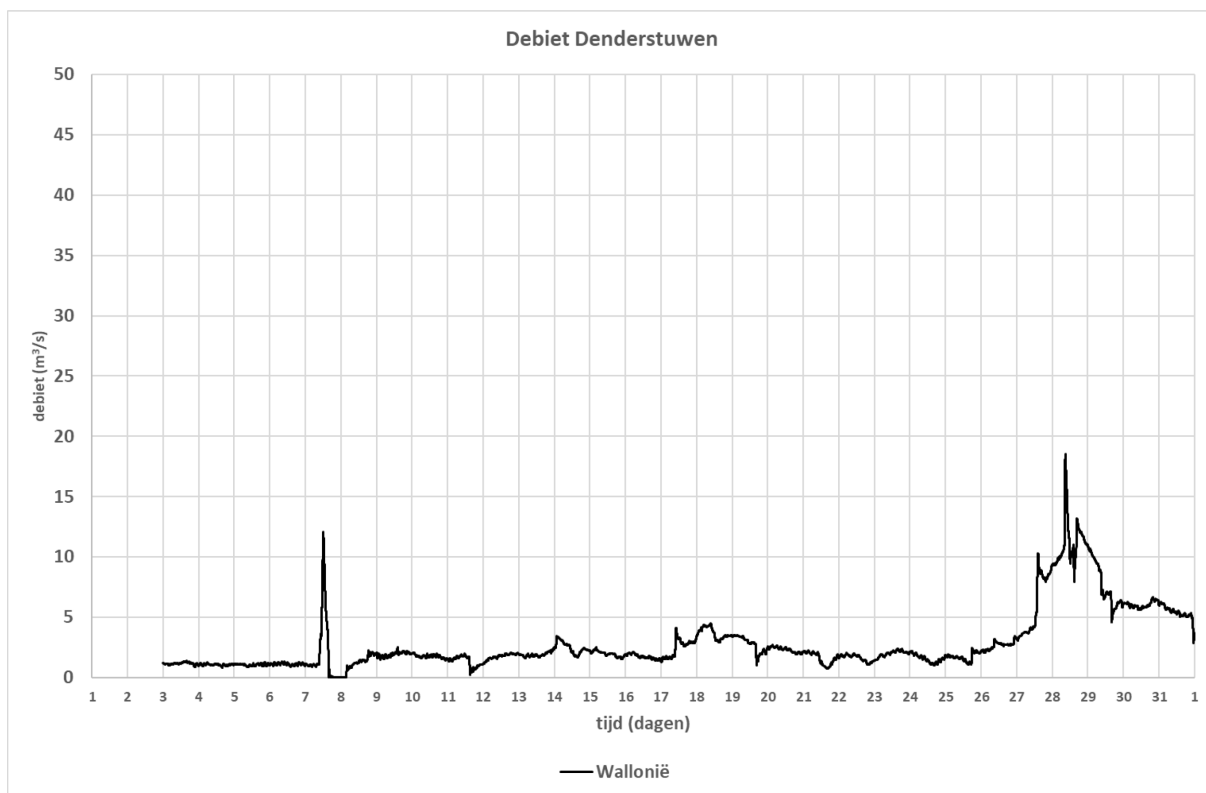
Figuur 53 – November 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



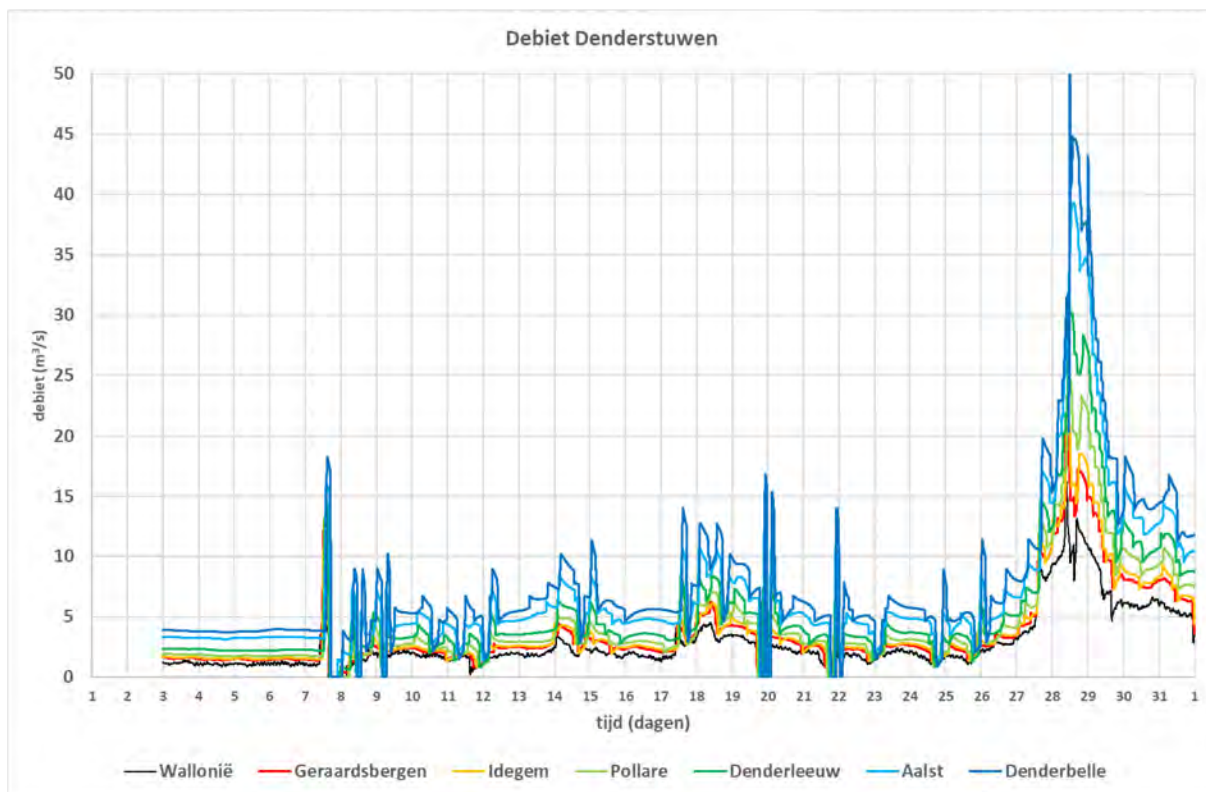
Figuur 54 – December 2019 - zonder zijlopen - debiet gewestgrens



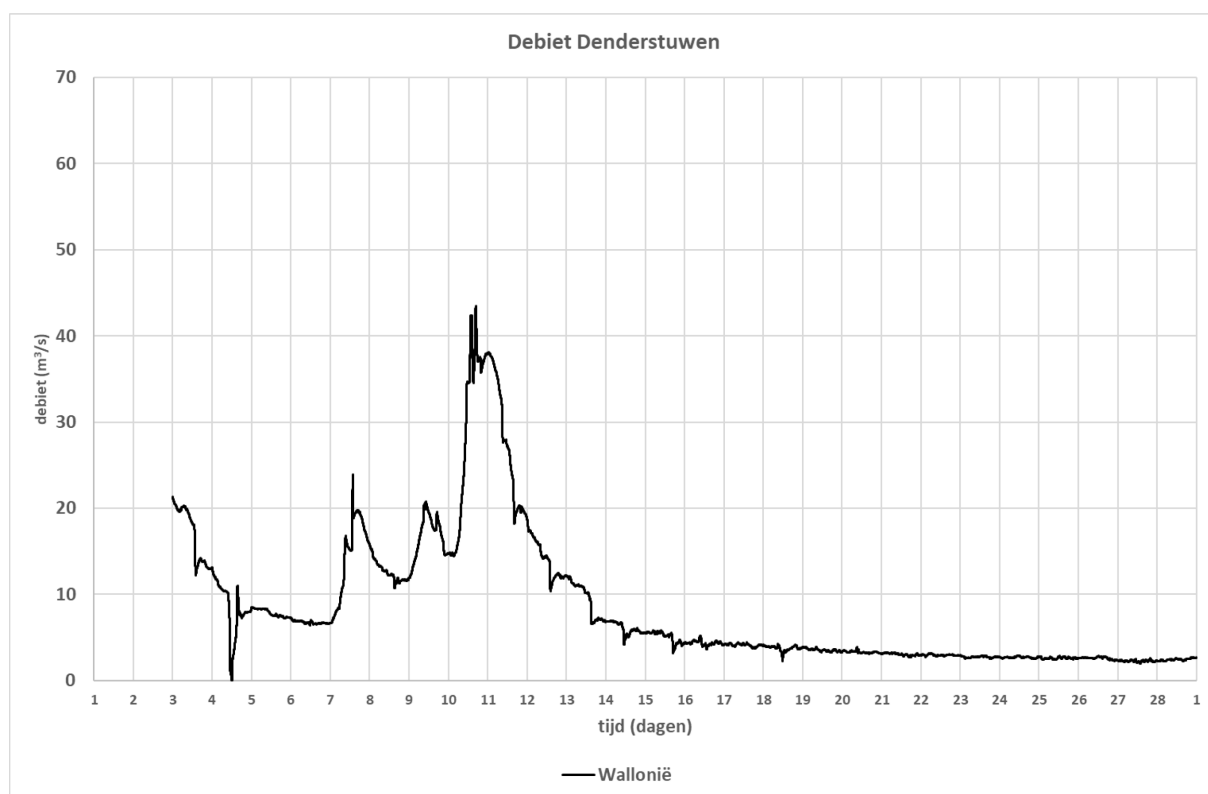
Figuur 55 – December 2019 - zonder zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



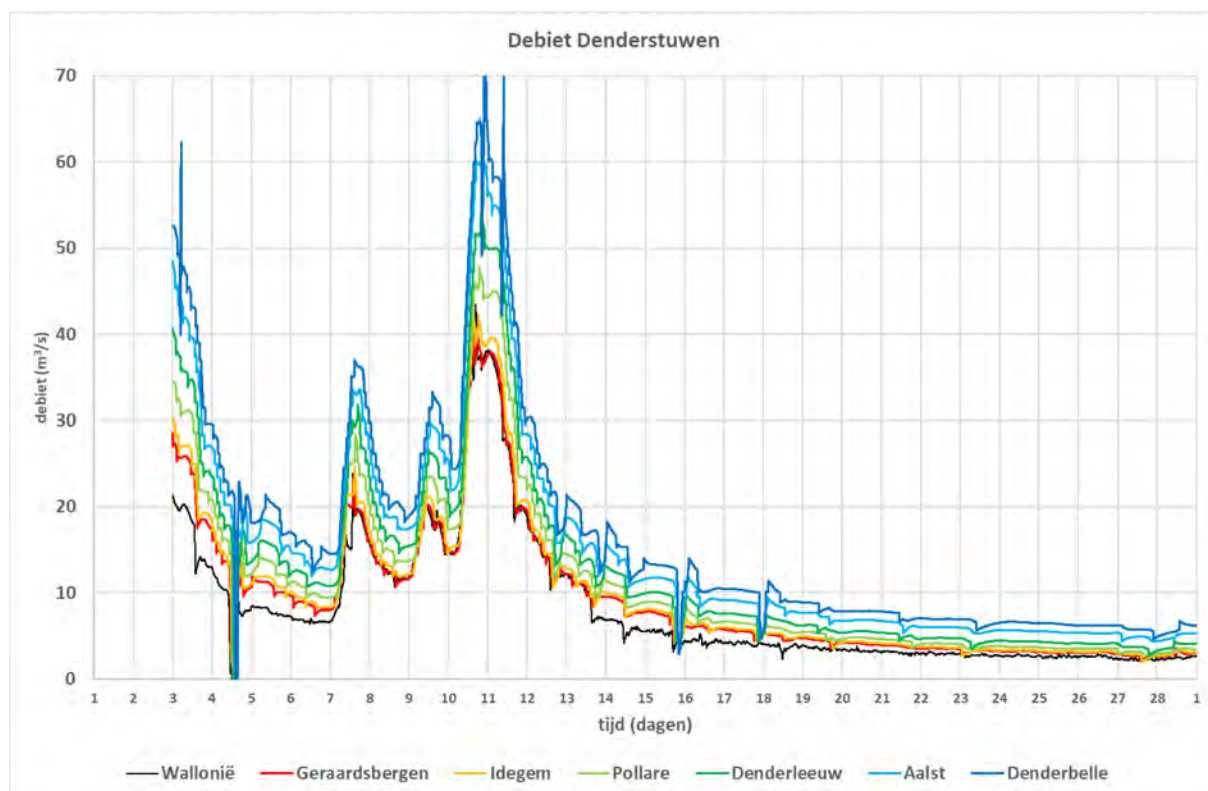
Figuur 56 – Januari 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



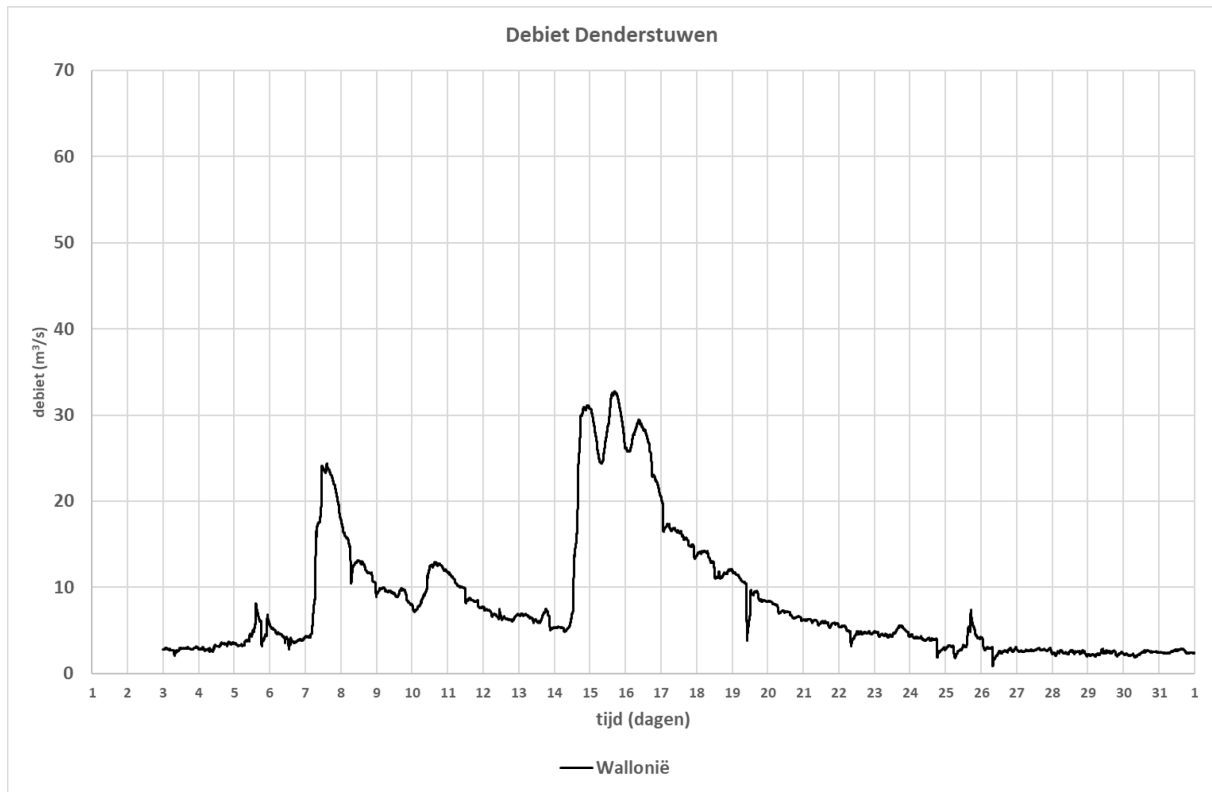
Figuur 57 – Januari 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



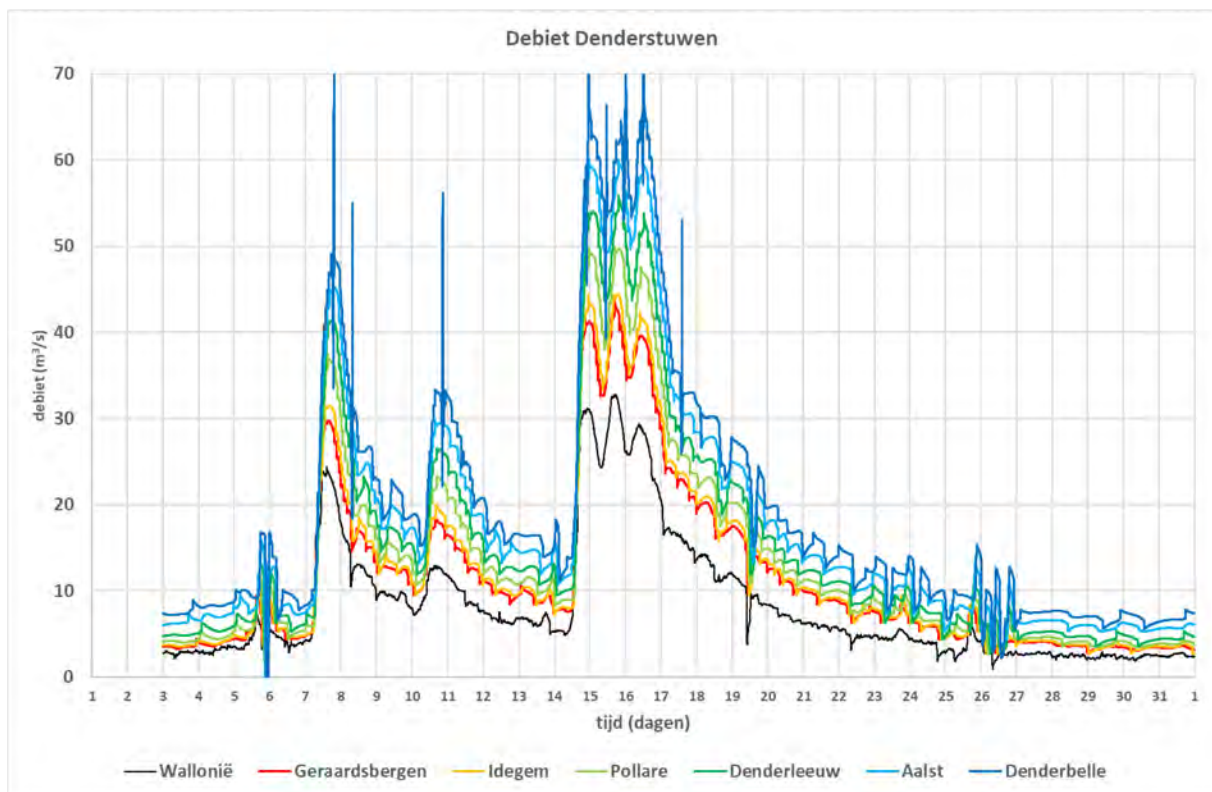
Figuur 58 – Februari 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



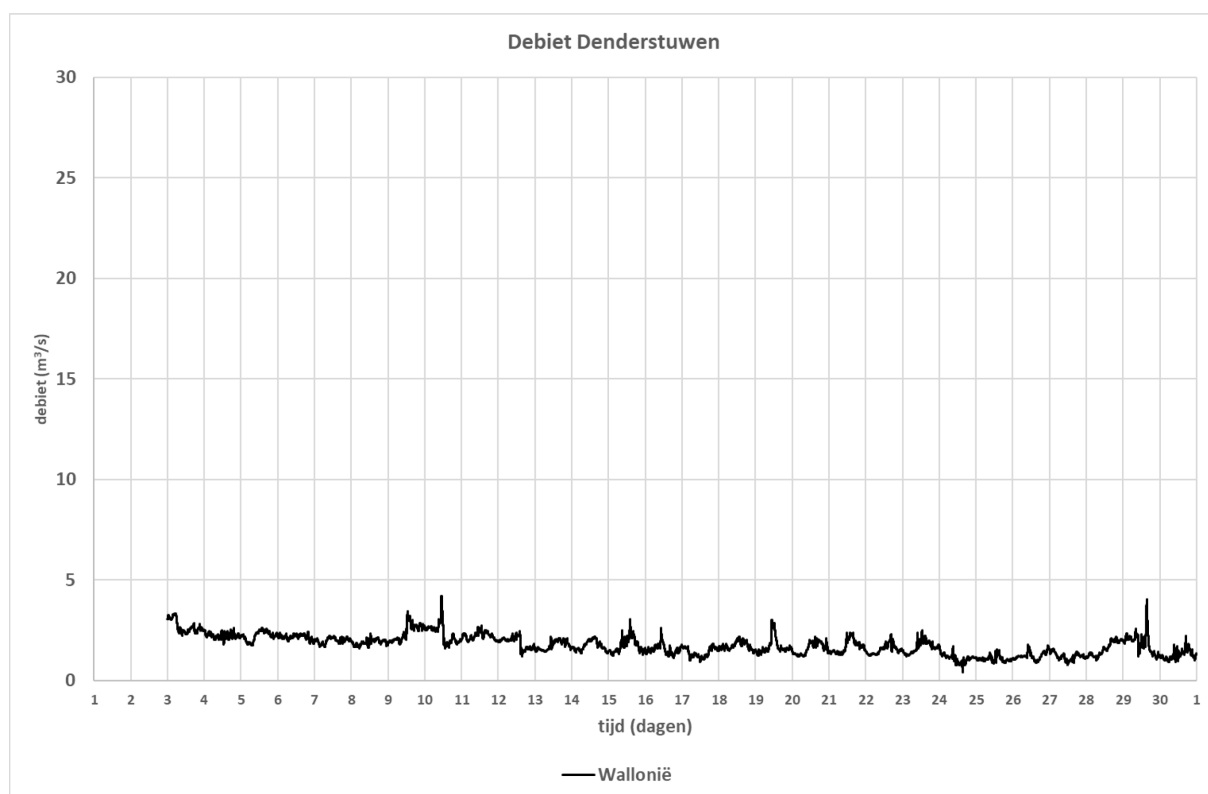
Figuur 59 – Februari 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



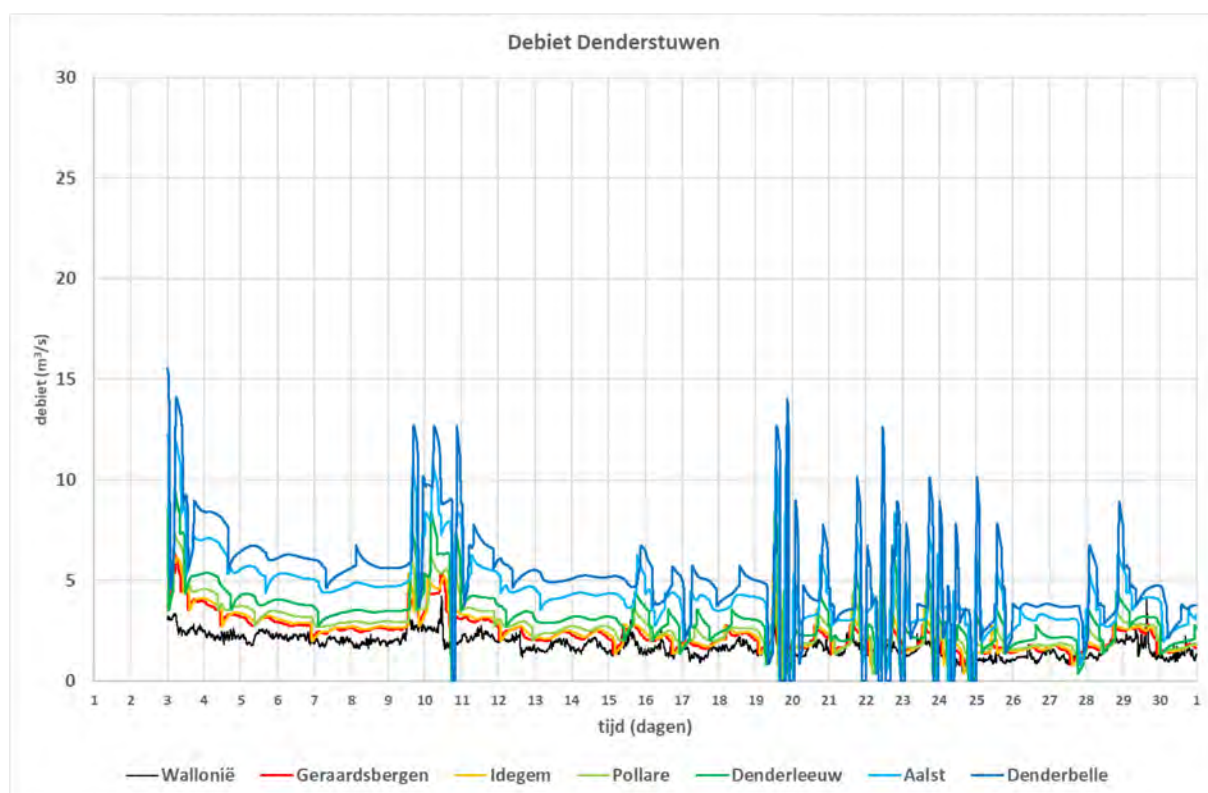
Figuur 60 – Maart 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



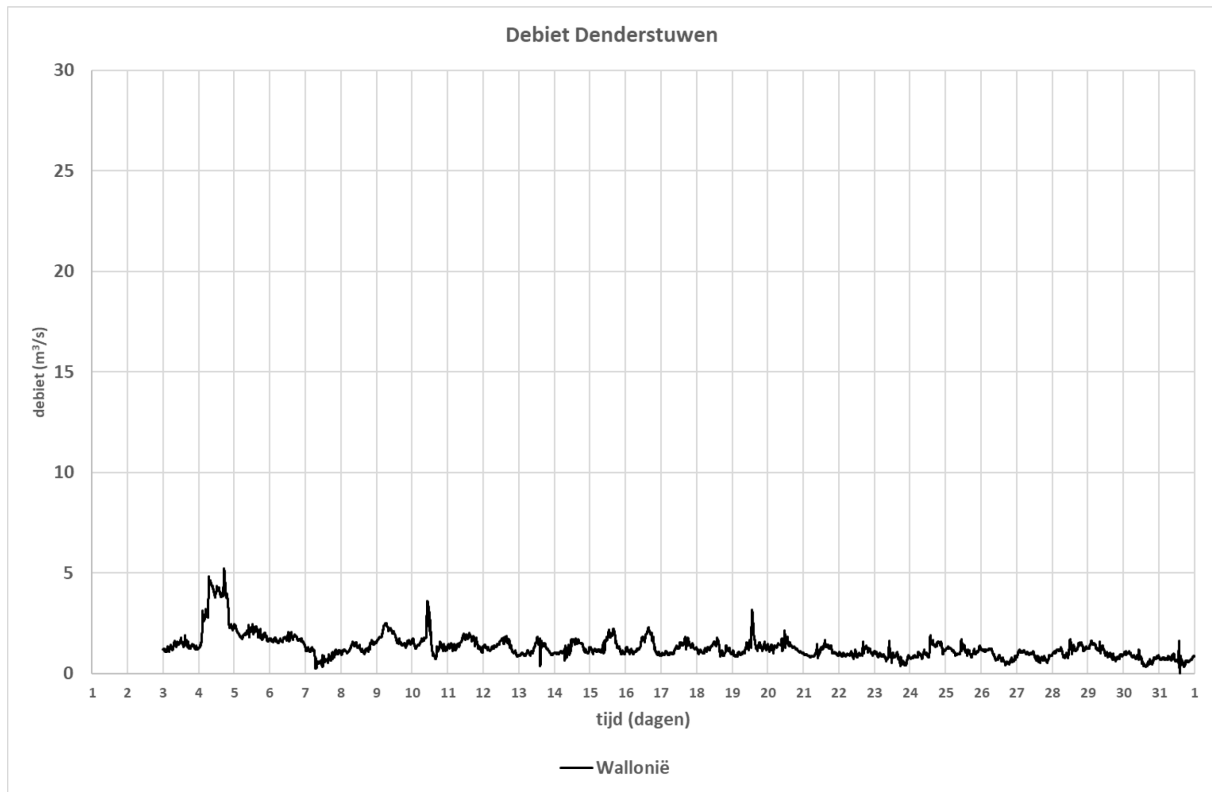
Figuur 61 – Maart 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



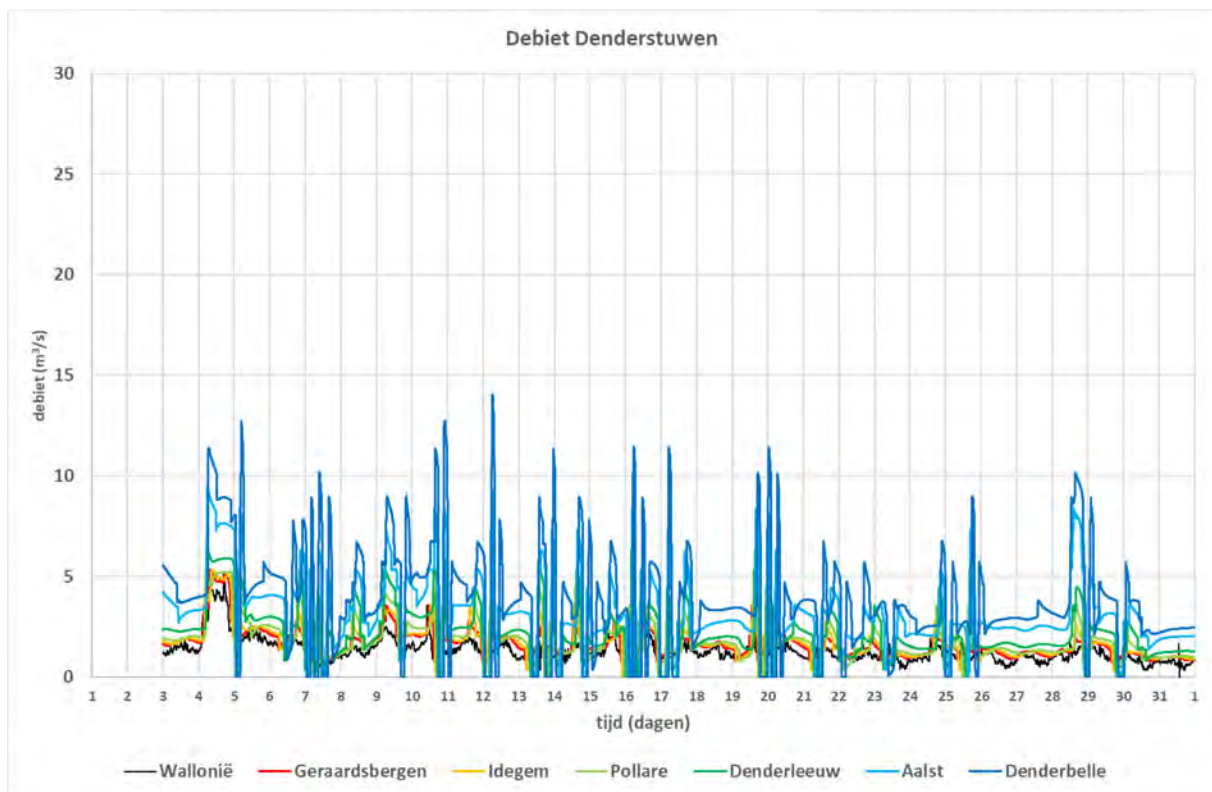
Figuur 62 – April 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



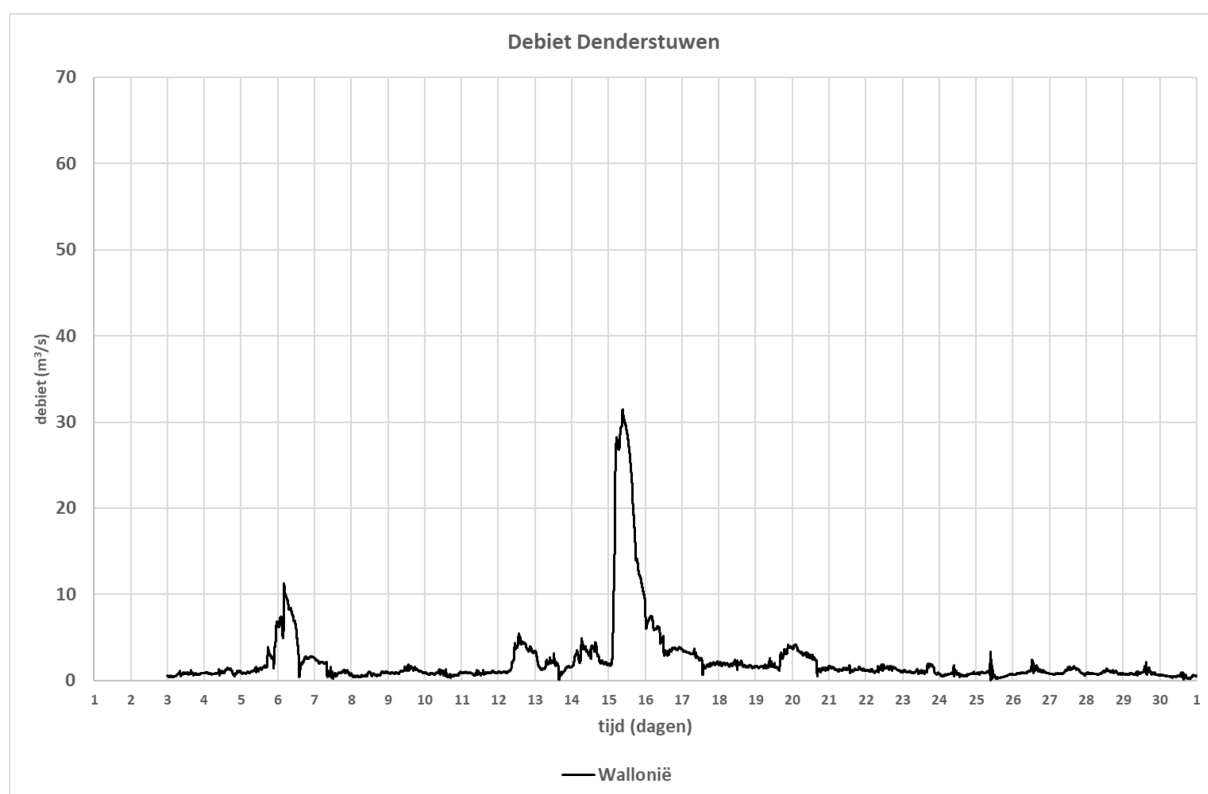
Figuur 63 – April 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



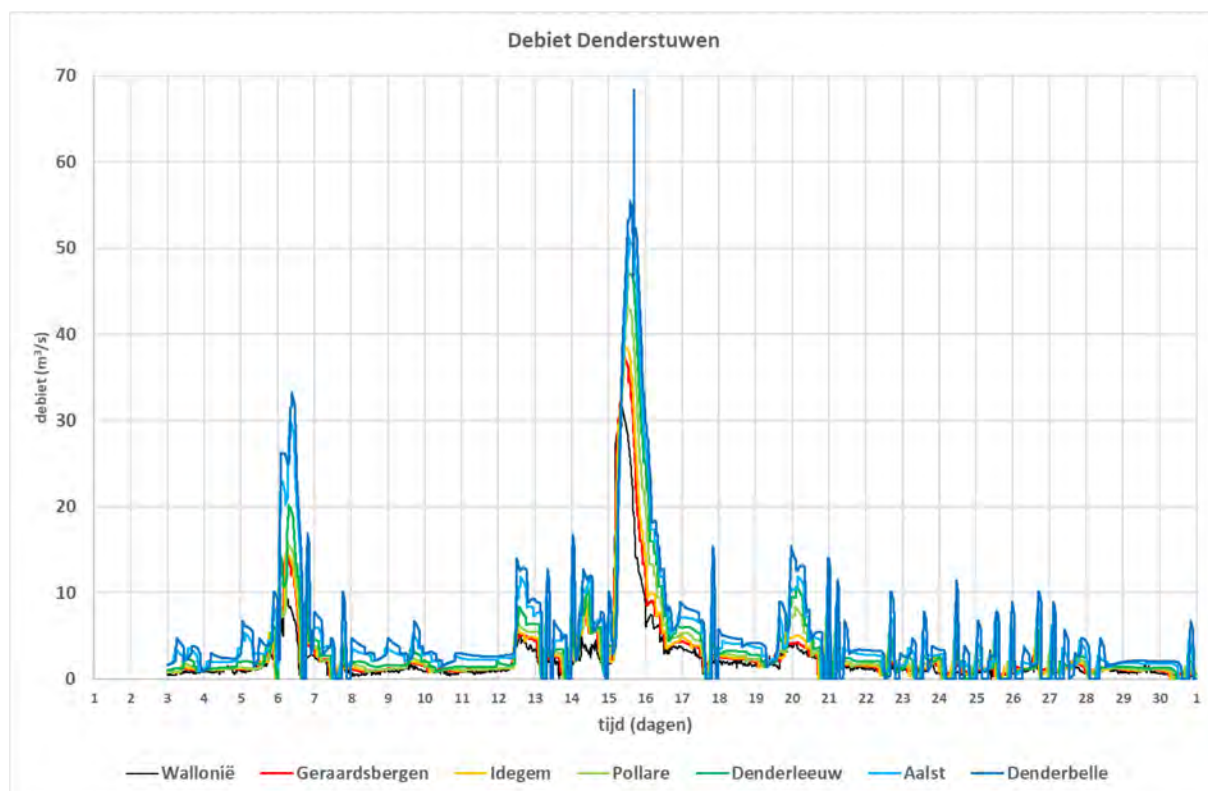
Figuur 64 – Mei 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



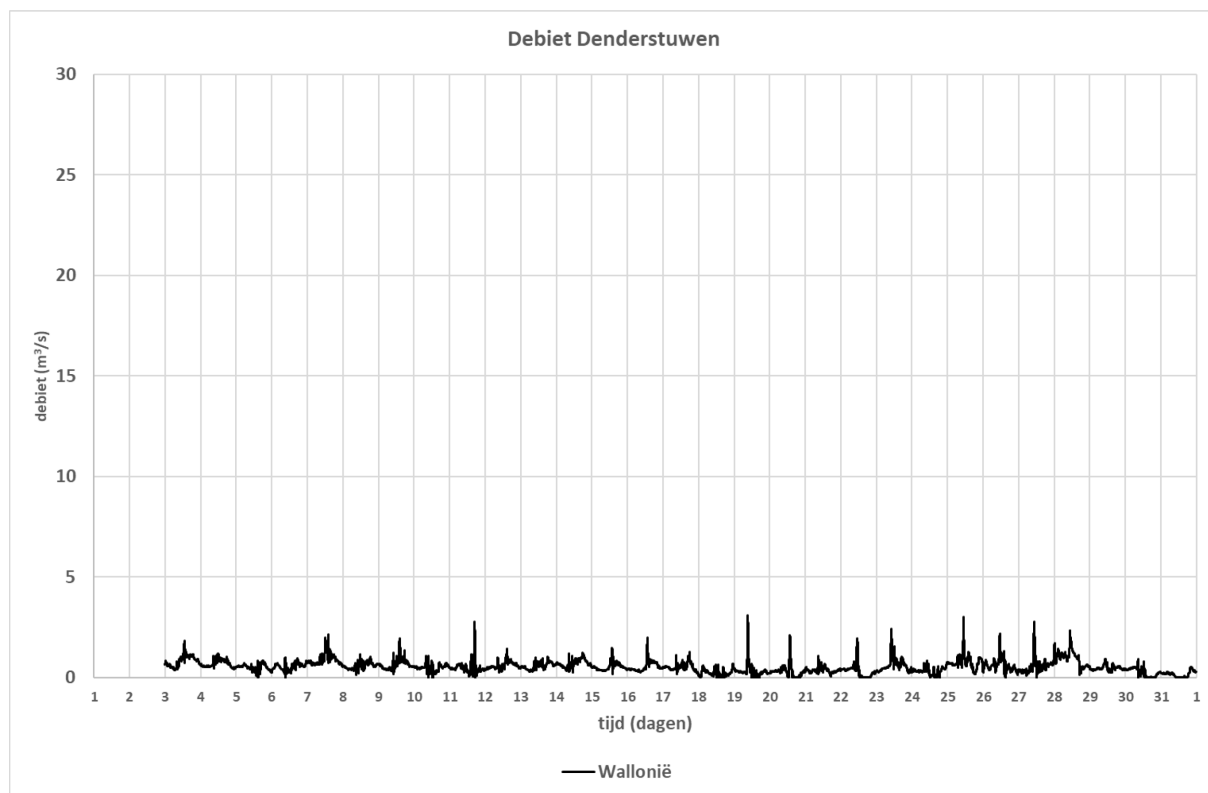
Figuur 65 – Mei 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



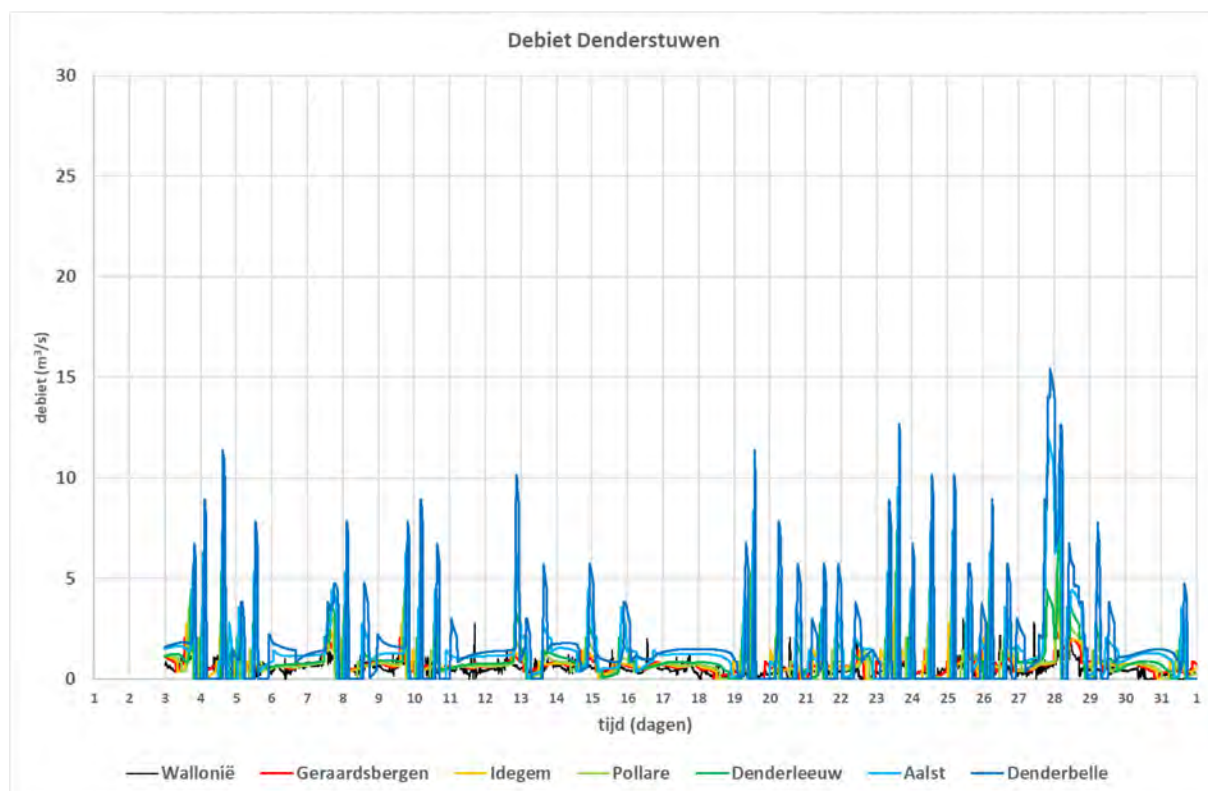
Figuur 66 – Juni 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



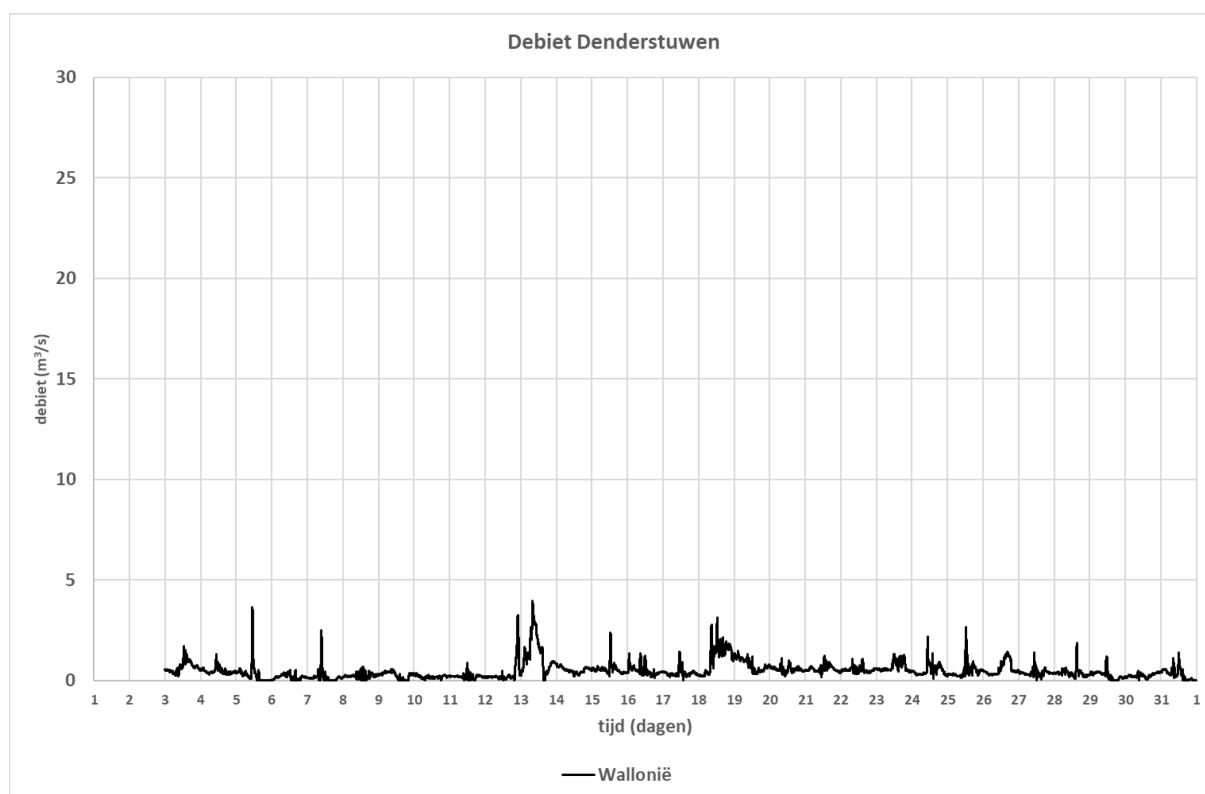
Figuur 67 – Juni 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



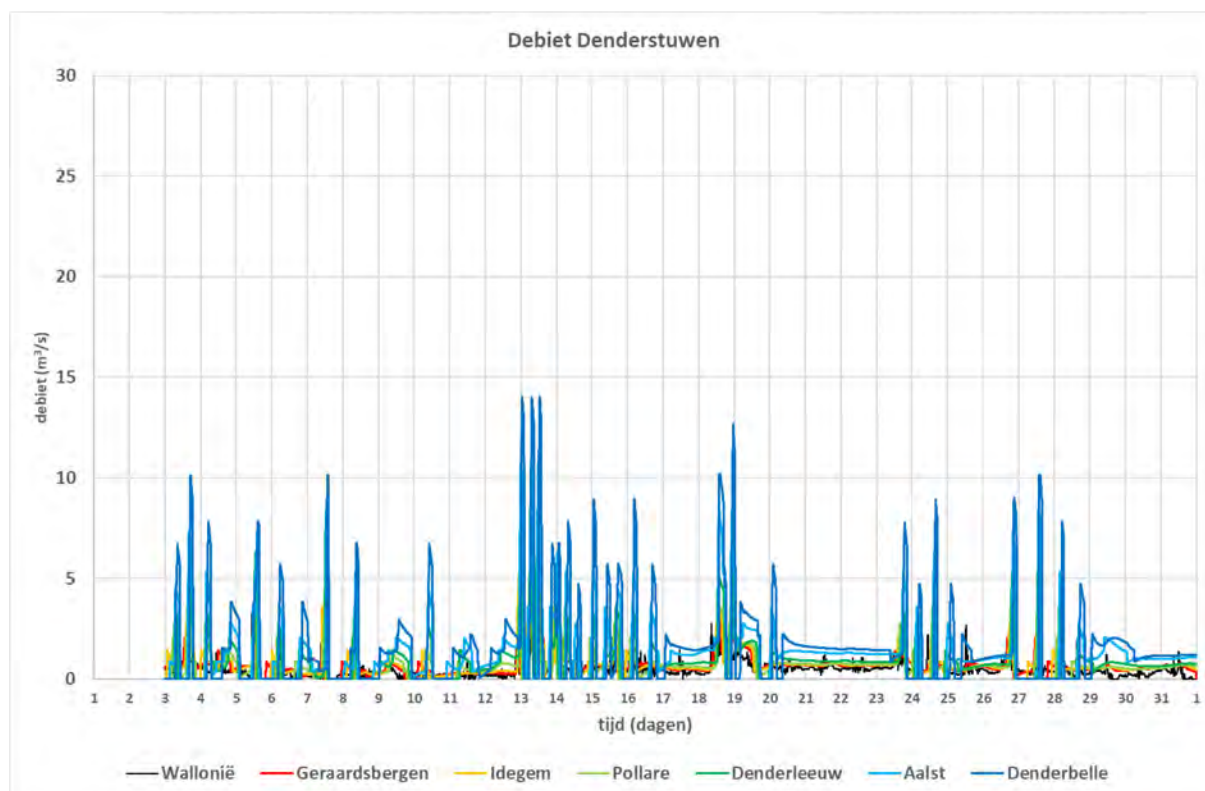
Figuur 68 – Juli 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



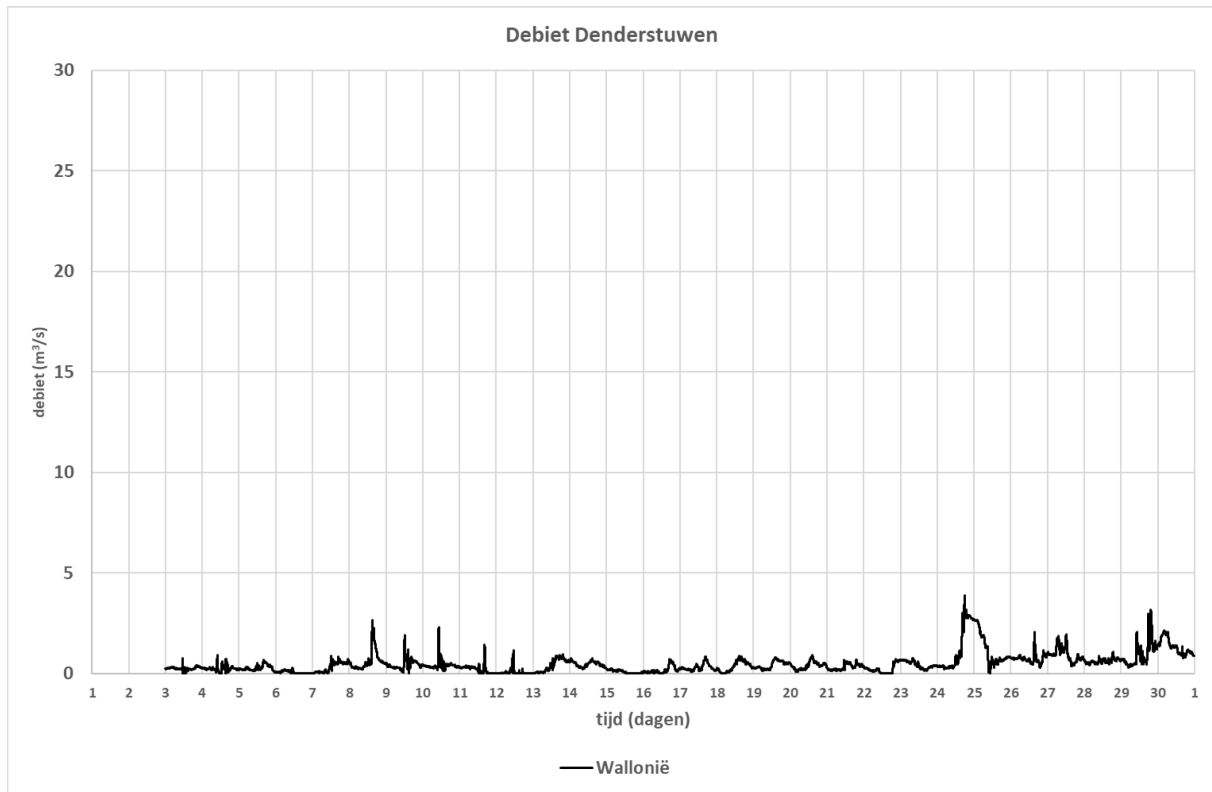
Figuur 69 – Juli 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



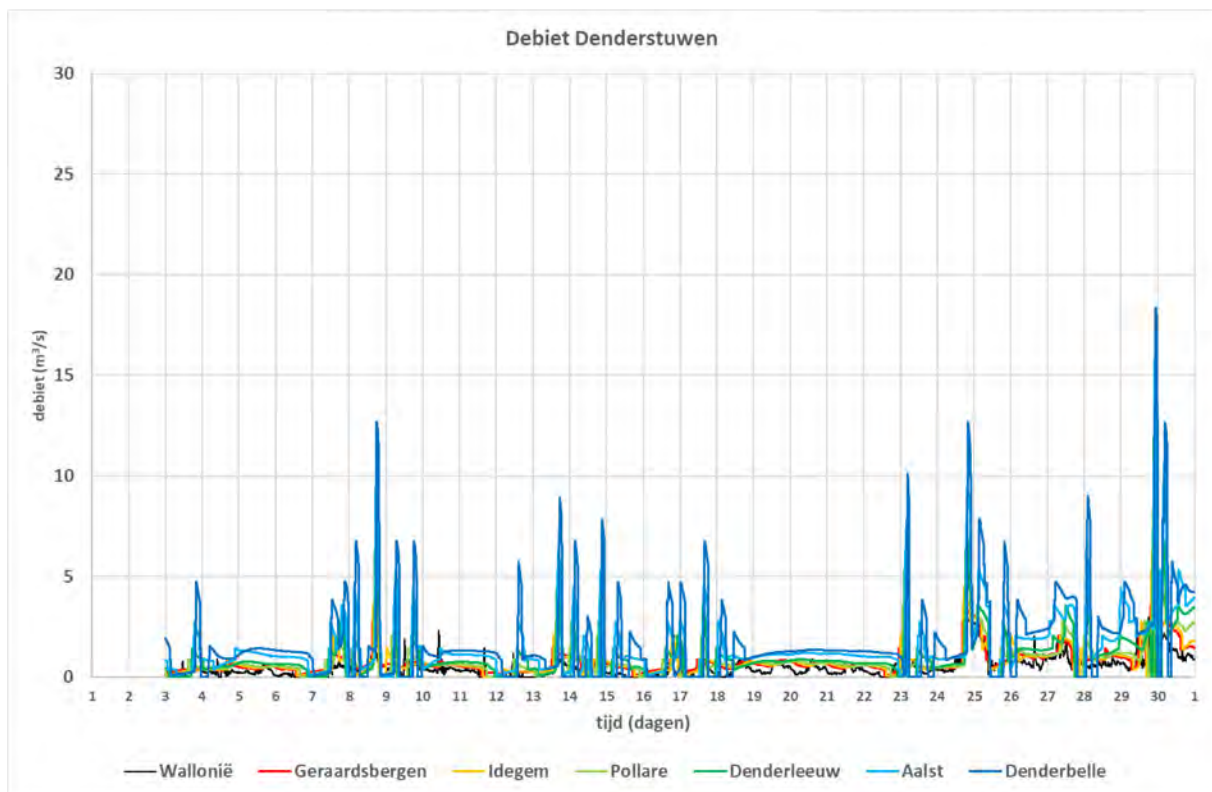
Figuur 70 – Augustus 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



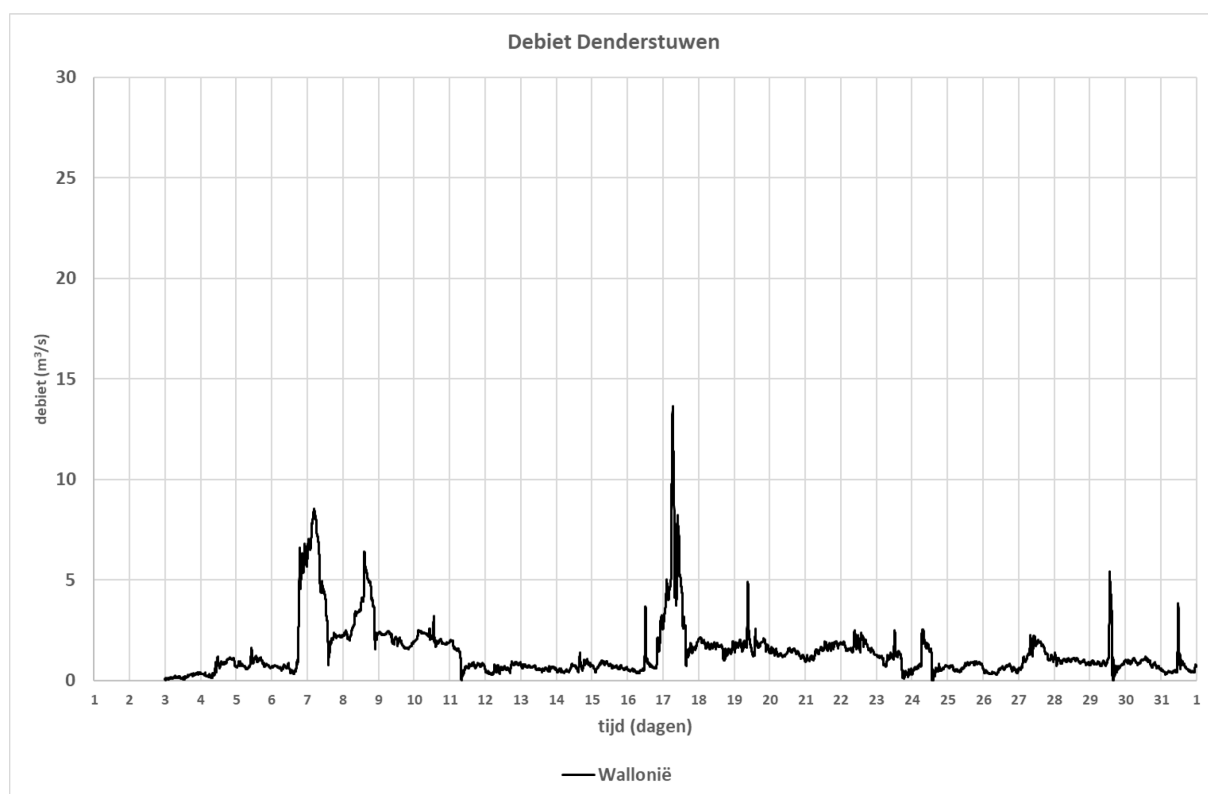
Figuur 71 – Augustus 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



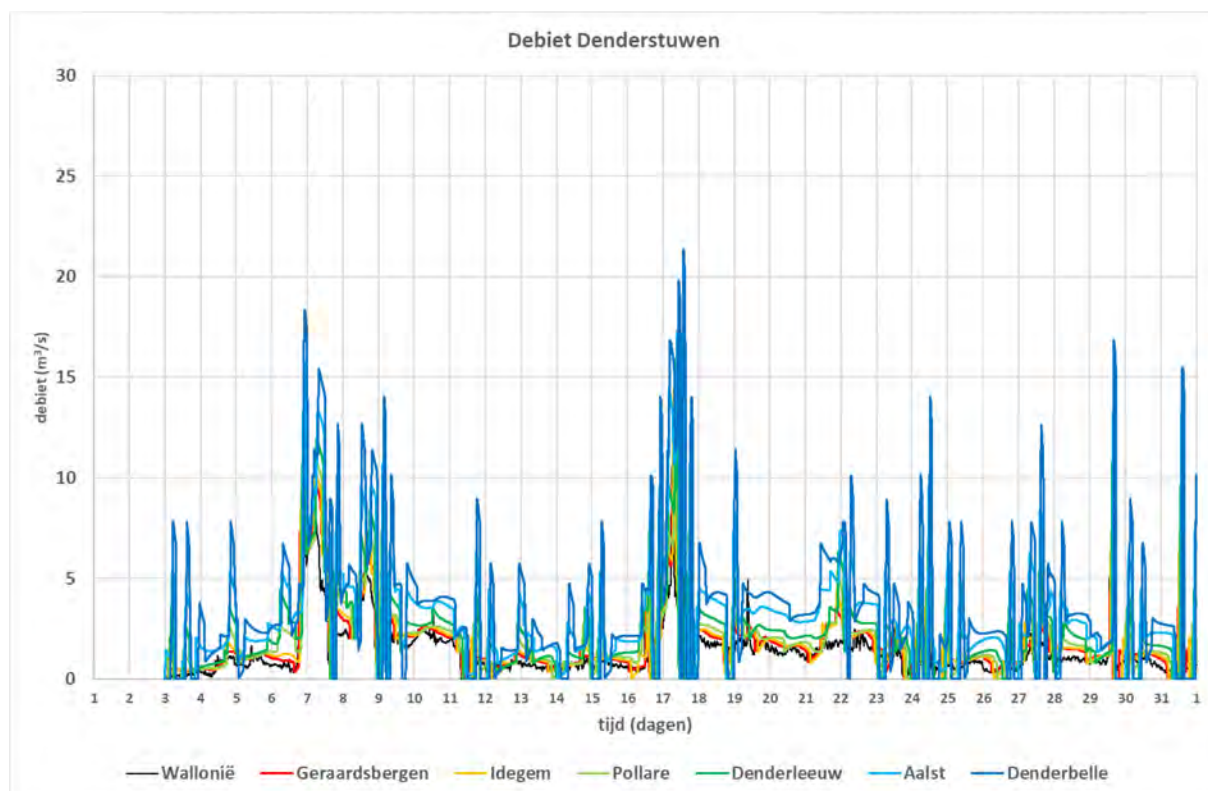
Figuur 72 – September 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



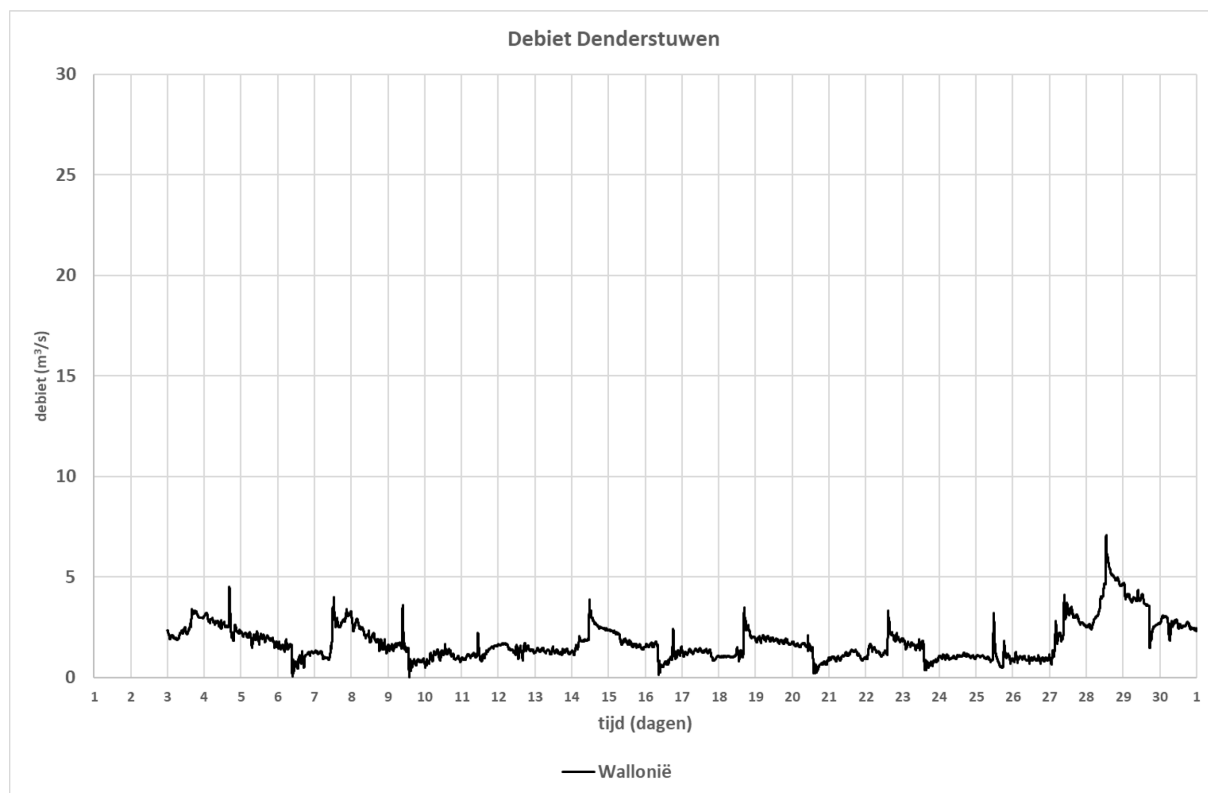
Figuur 73 – September 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



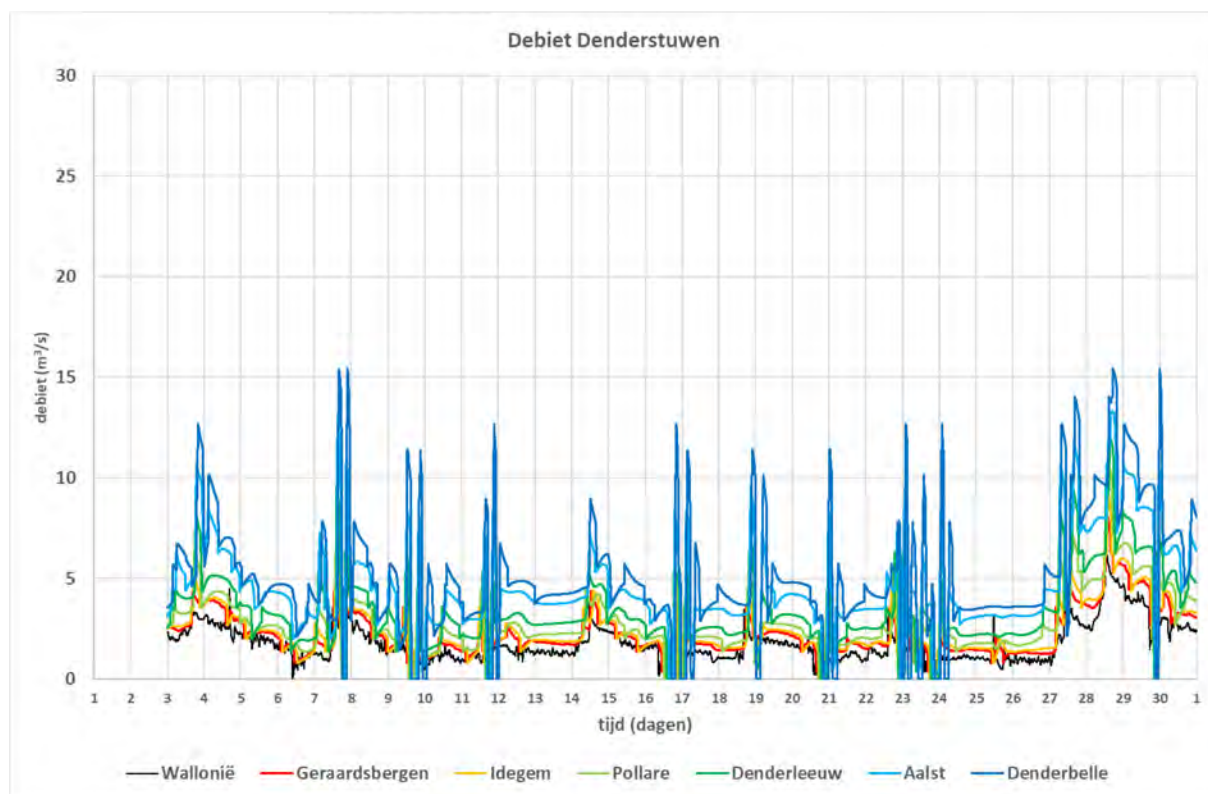
Figuur 74 – Oktober 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



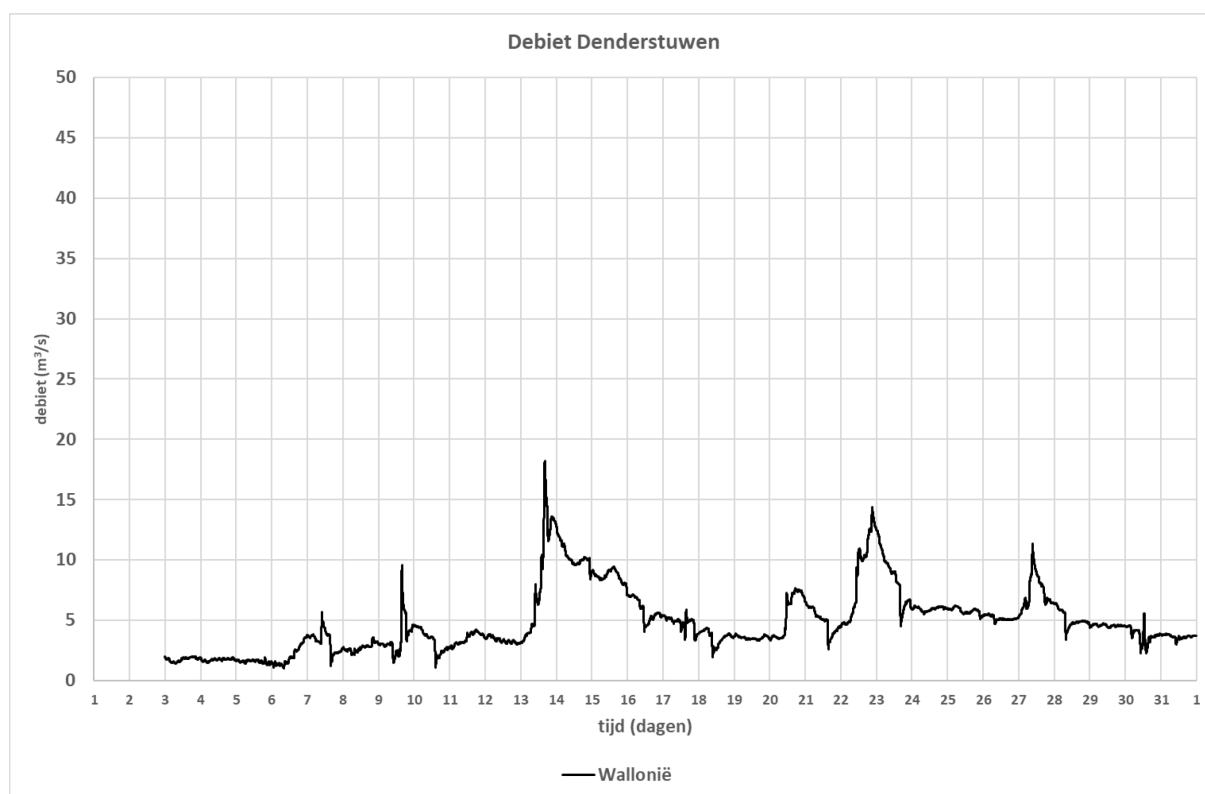
Figuur 75 – Oktober 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



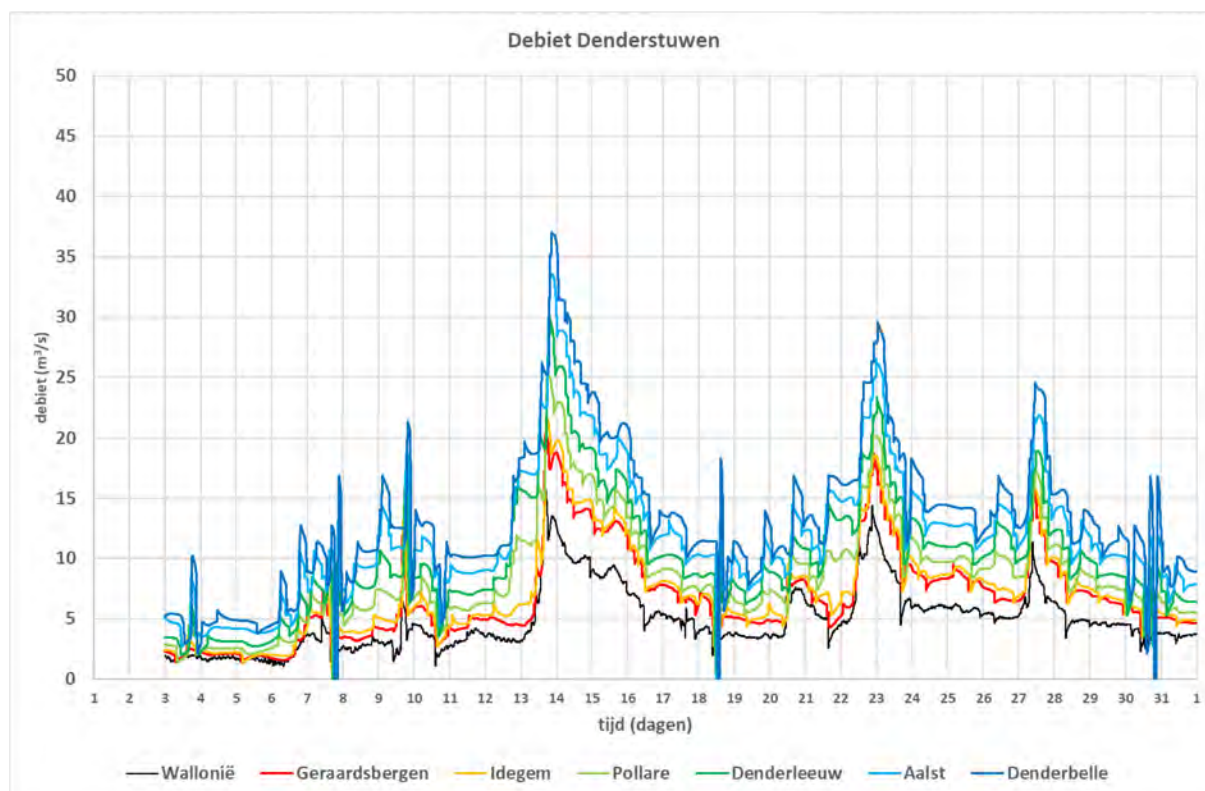
Figuur 76 – November 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



Figuur 77 – November 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen



Figuur 78 – December 2019 - met zijlopen - debiet gewestgrens



Figuur 79 – December 2019 - met zijlopen - debiet stuwen Vlaanderen

6.2.3 Gevoeligheidsanalyse

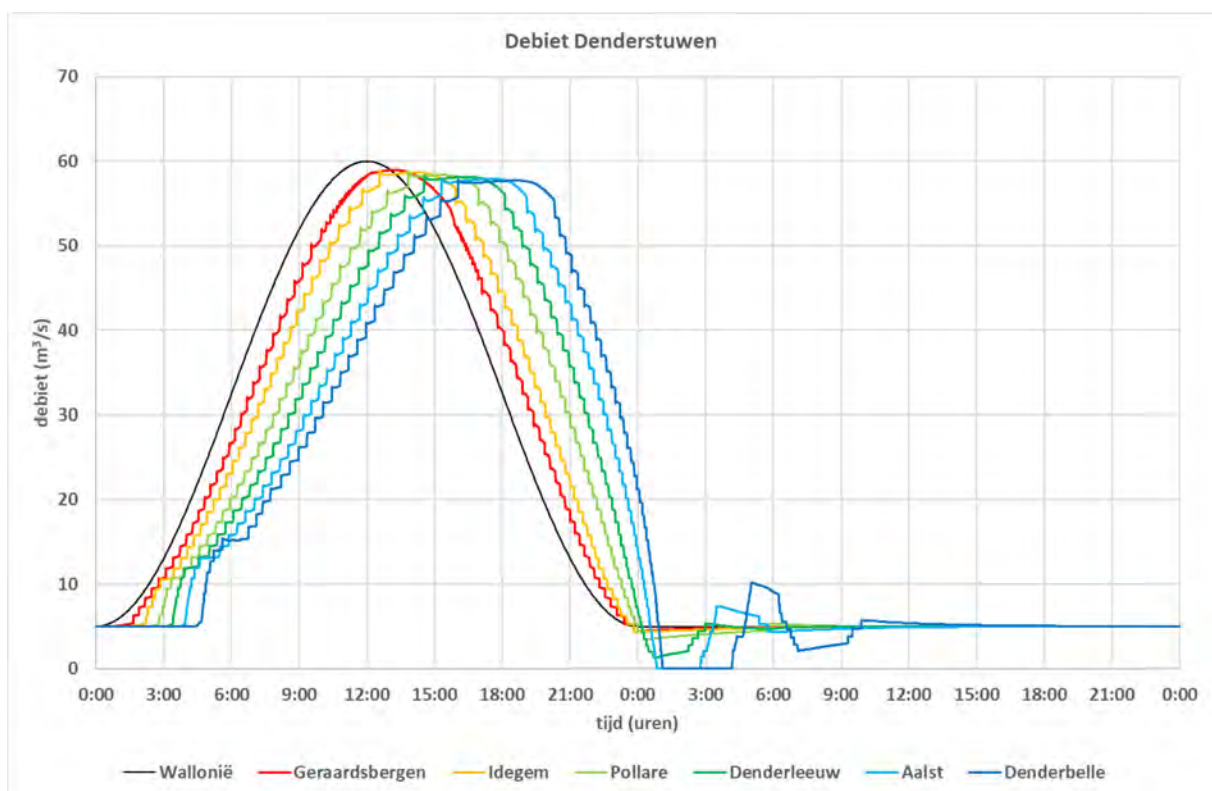
Figuren

De resultaten van de simulaties met elke parameterset worden weergegeven door middel van een figuur met daarin het verloop van het debiet aan de opwaartse rand van het model (Deux-Acren, Wallonië) en ter hoogte van de zes te vernieuwen stuwen in Vlaanderen (Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Aalst en Denderbelle).

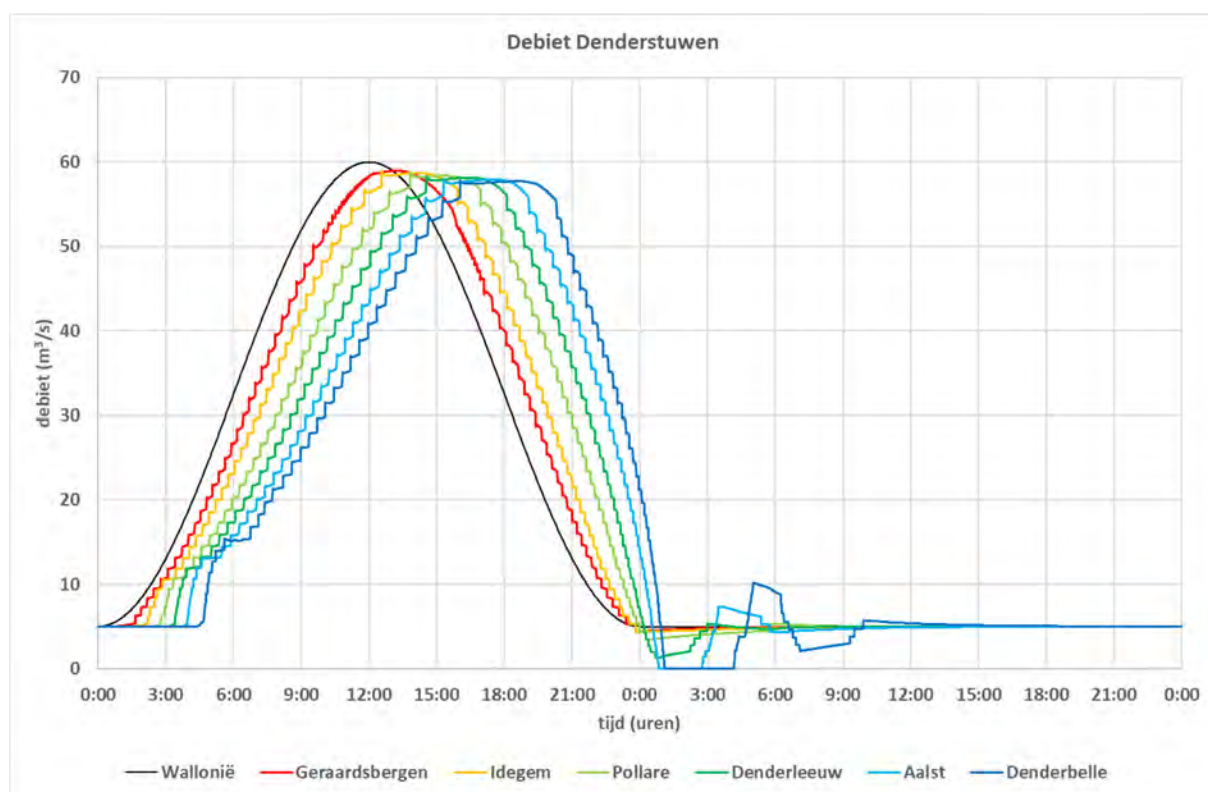
Synthetische en historische gebeurtenissen

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden getoond in Figuur 80 t.e.m. Figuur 86 (synthetisch hydrogram), Figuur 87 t.e.m. Figuur 93 (was van juni 2016) en Figuur 94 t.e.m. Figuur 100 (debietschommeling van februari 2019).

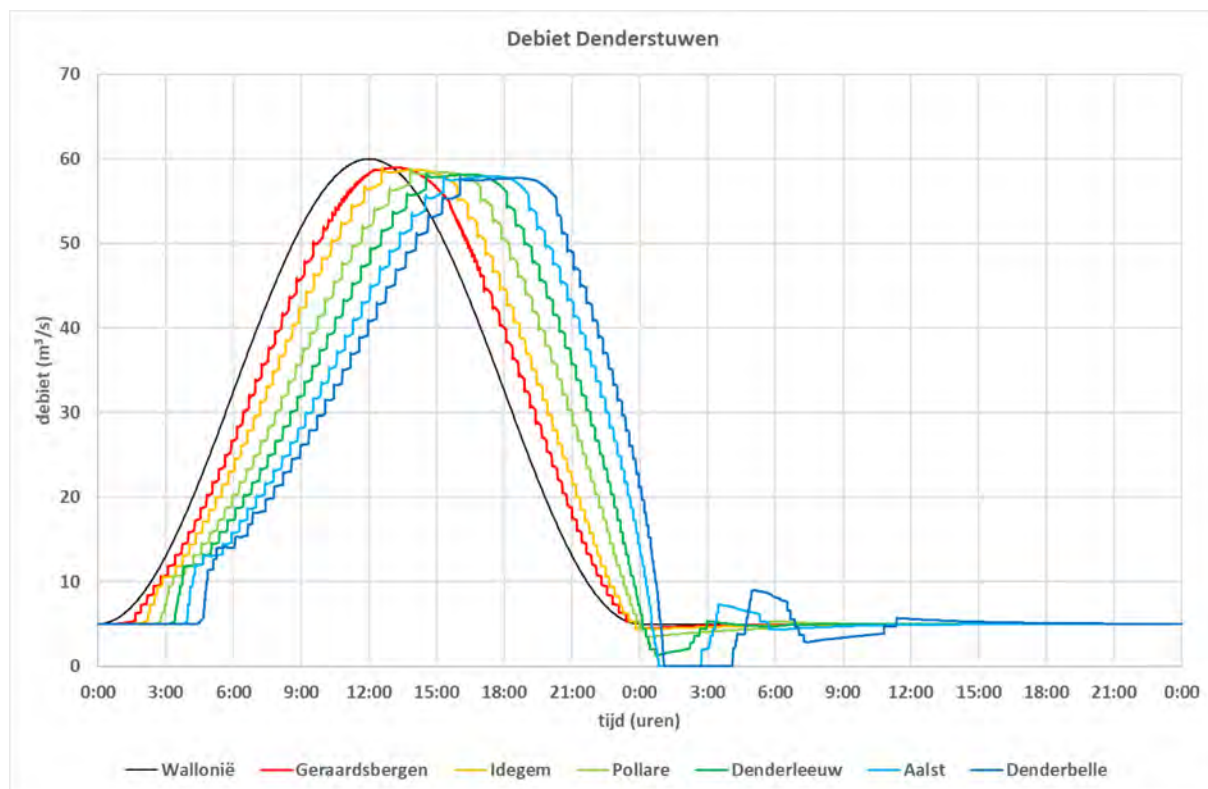
Alhoewel er kleine verschillen zijn tussen de resultaten bekomen met de verschillende parametersets, blijft het globale gedrag van de stuwenketen ongewijzigd.



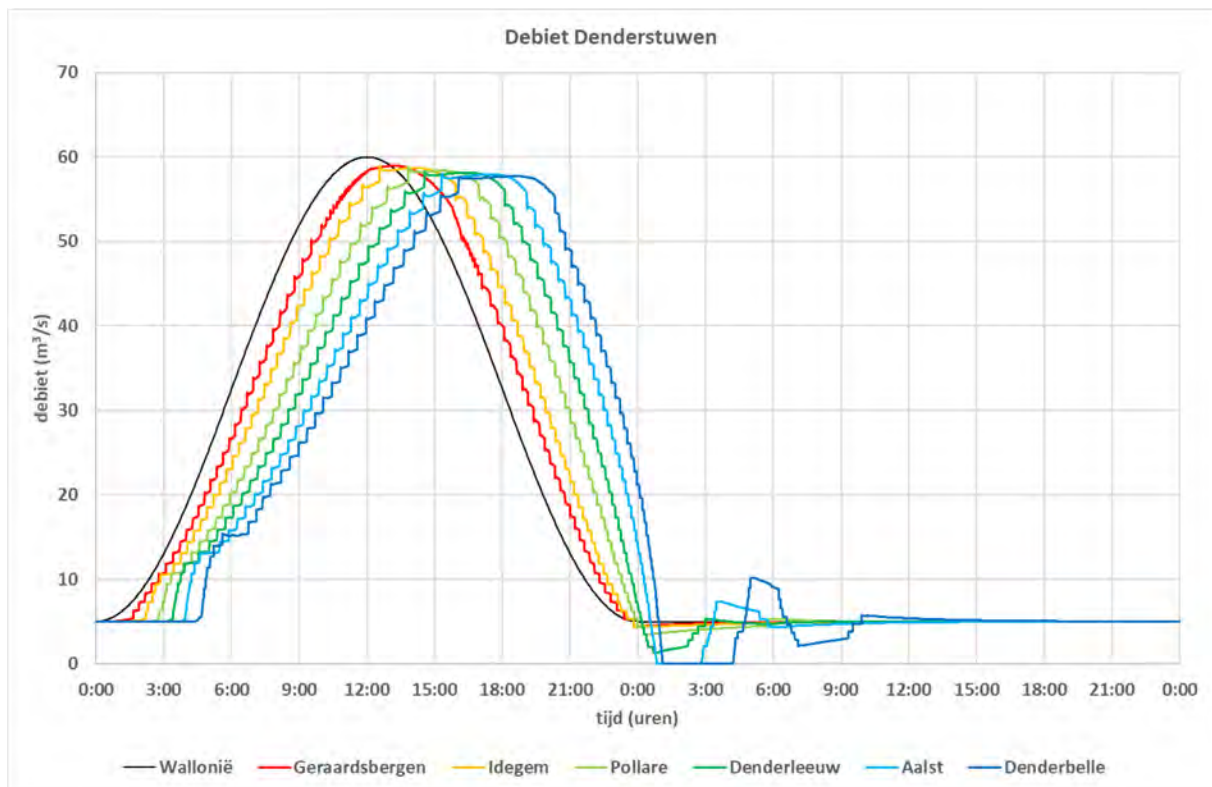
Figuur 80 – Parameterset 0 (referentie) - synthetisch hydrogram



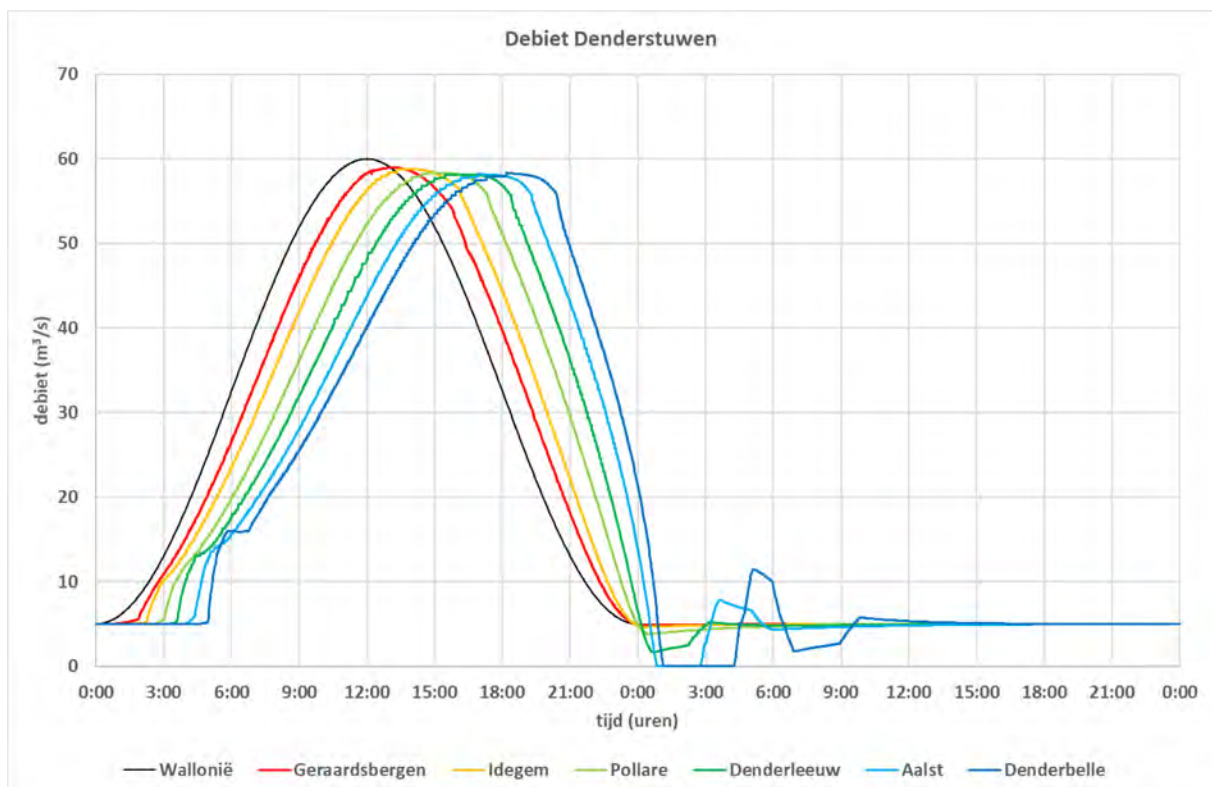
Figuur 81 – Parameterset 1 (met trend) - synthetisch hydrogram



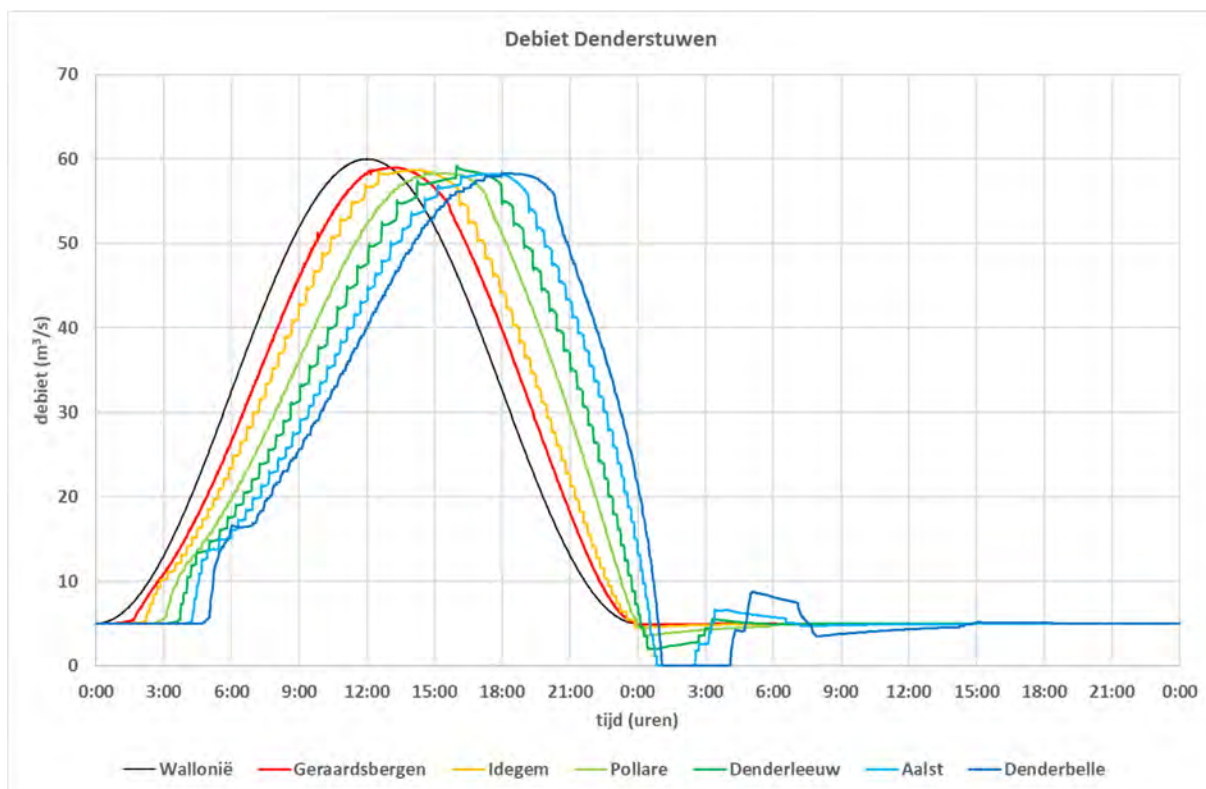
Figuur 82 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram



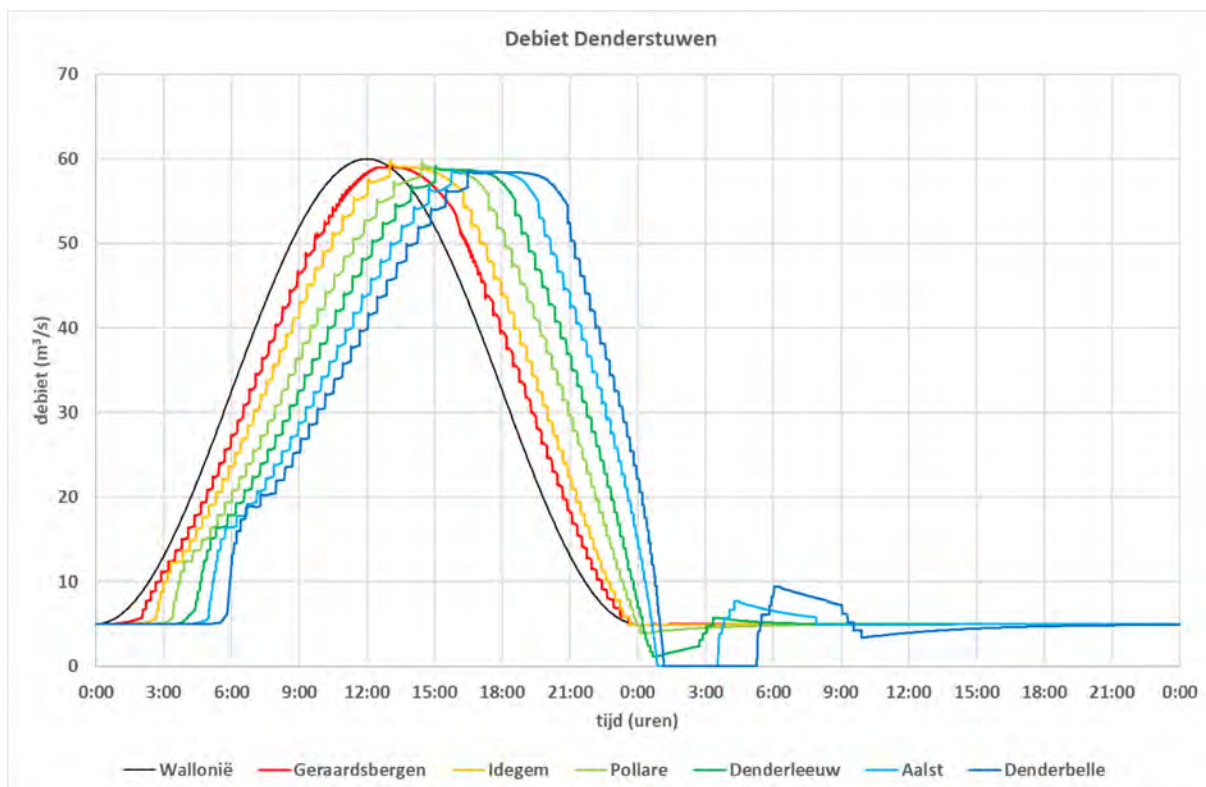
Figuur 83 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - synthetisch hydrogram



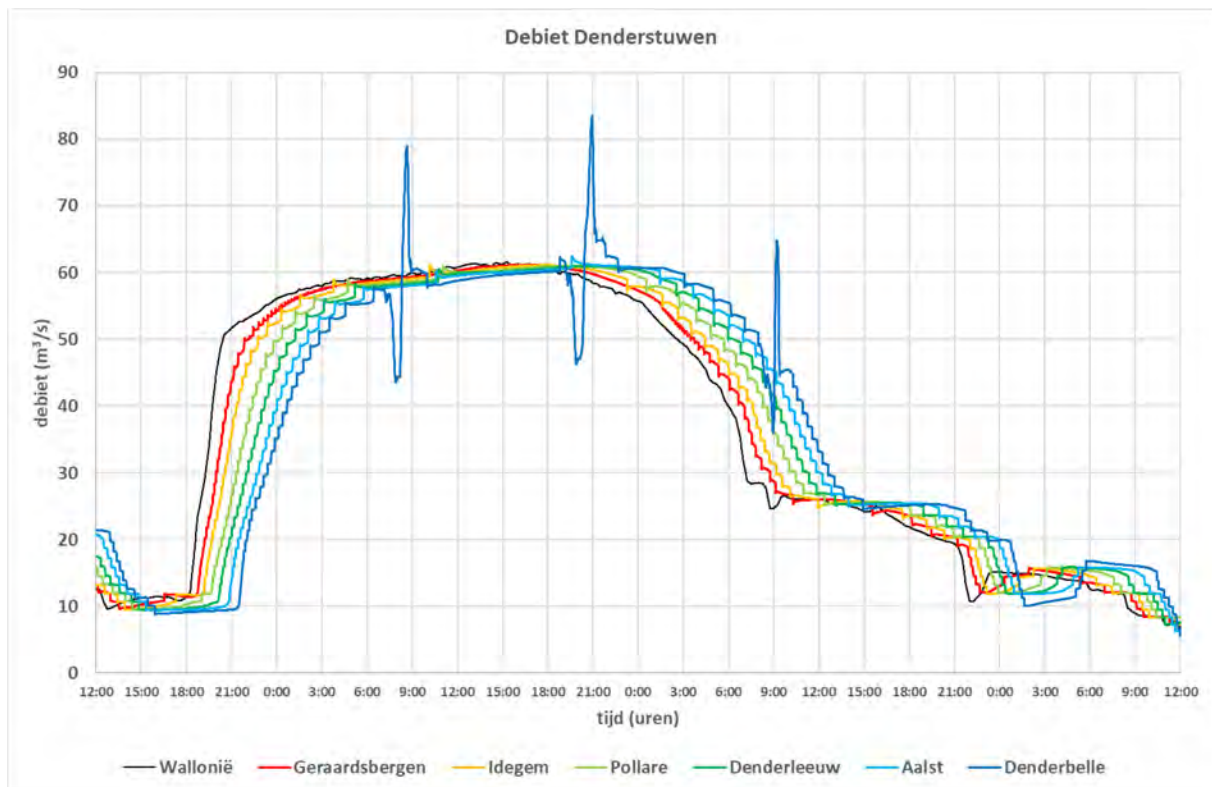
Figuur 84 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - synthetisch hydrogram



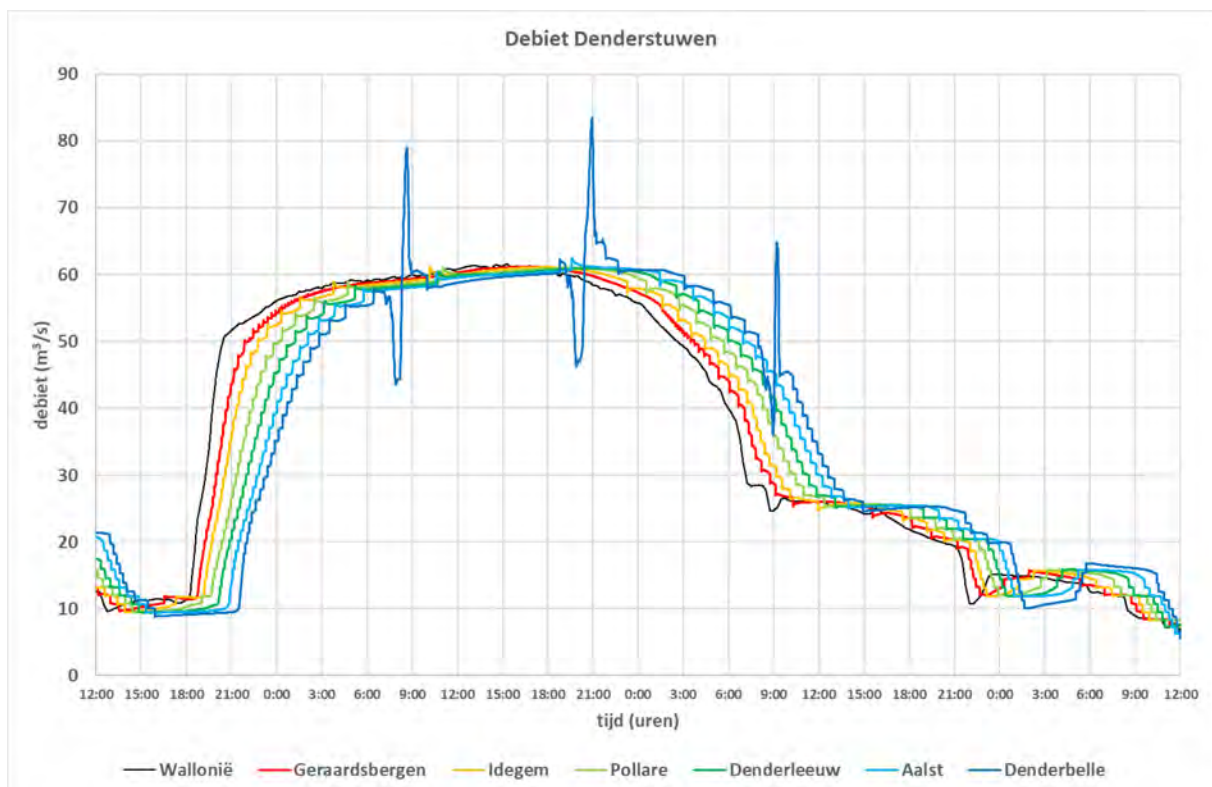
Figuur 85 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - synthetisch hydrogram



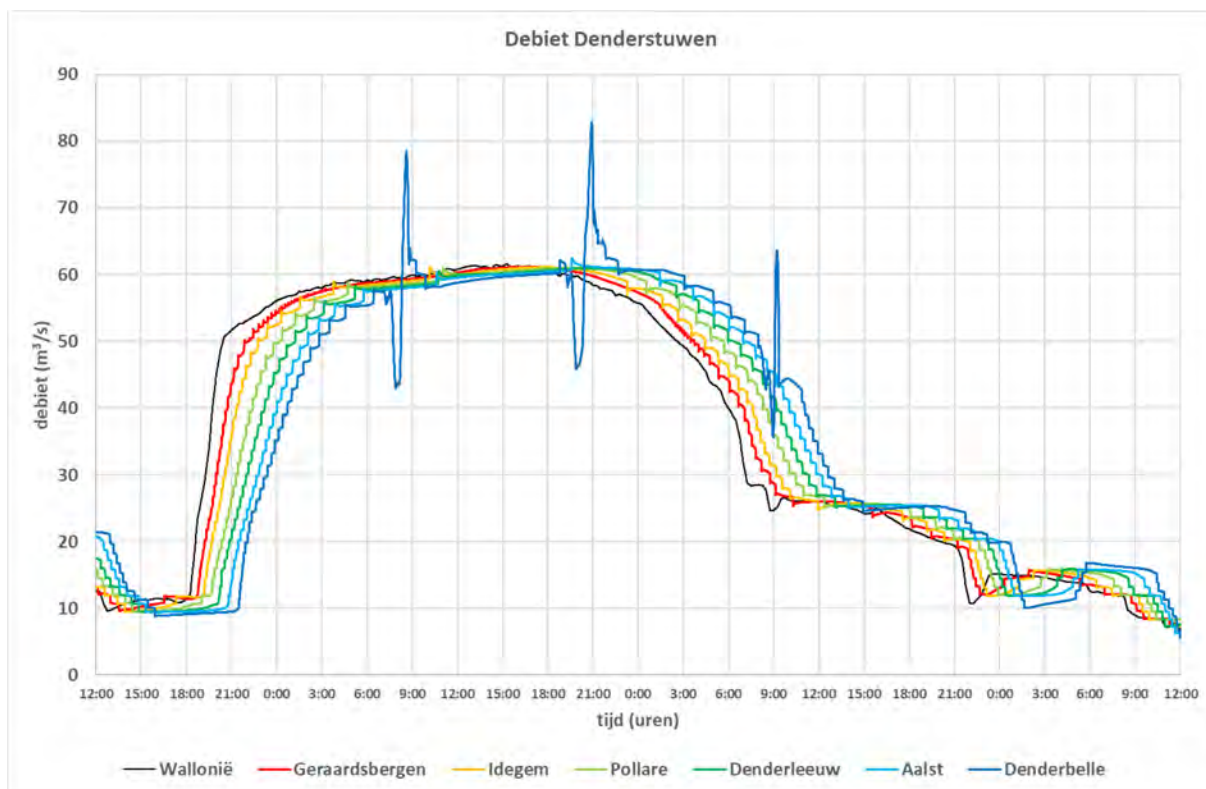
Figuur 86 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - synthetisch hydrogram



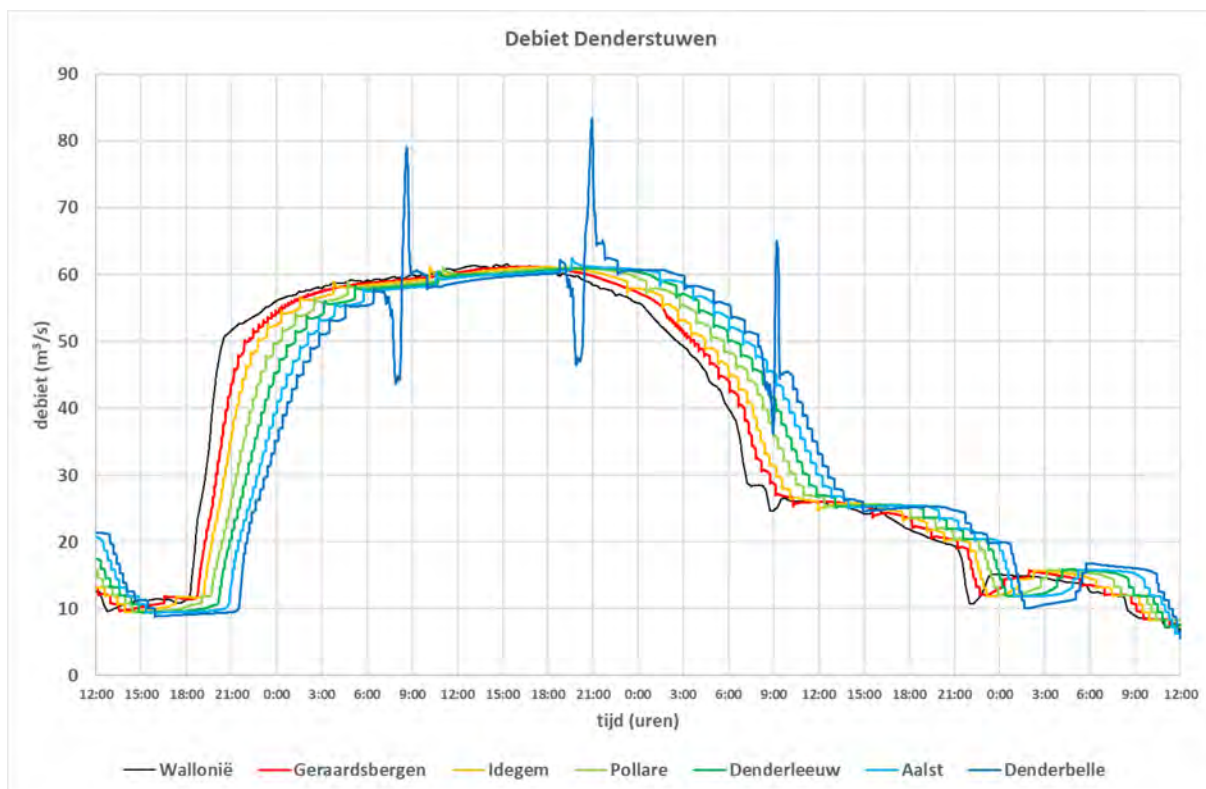
Figuur 87 – Parameterset 0 (referentie) - juni 2016



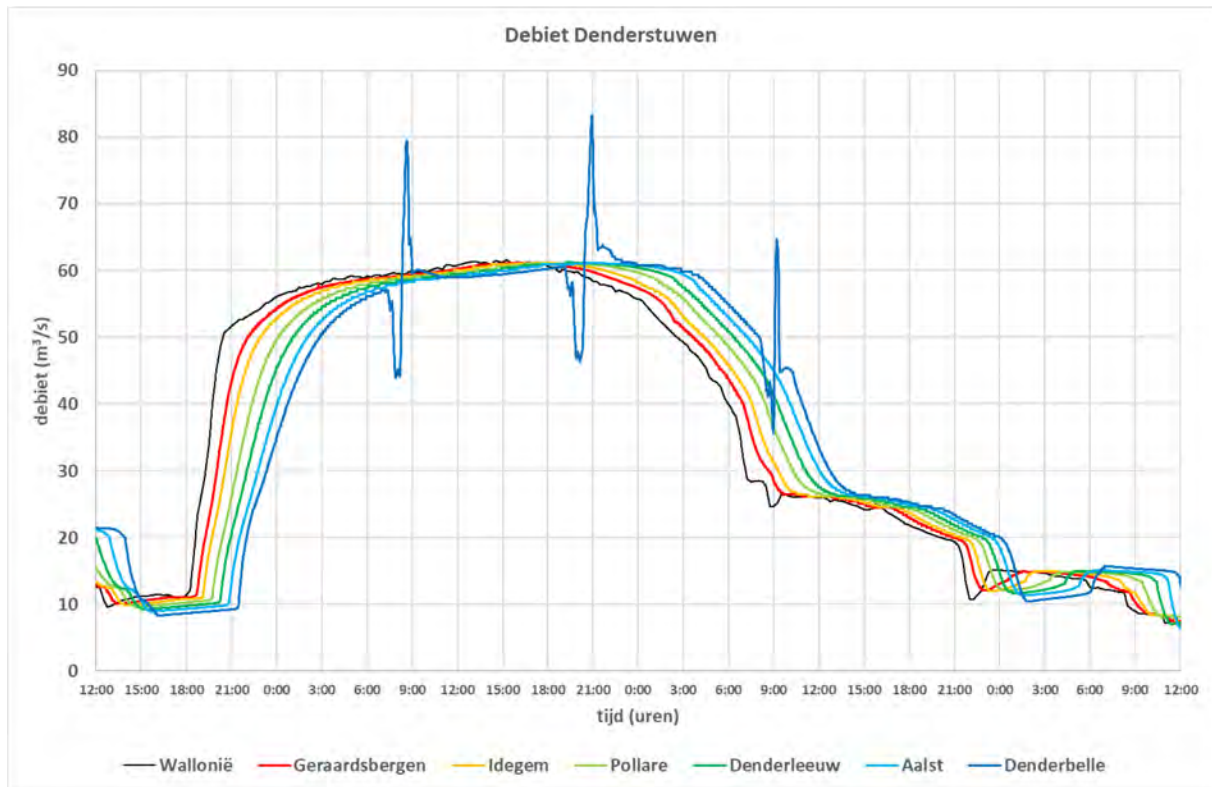
Figuur 88 – Parameterset 1 (met trend) - juni 2016



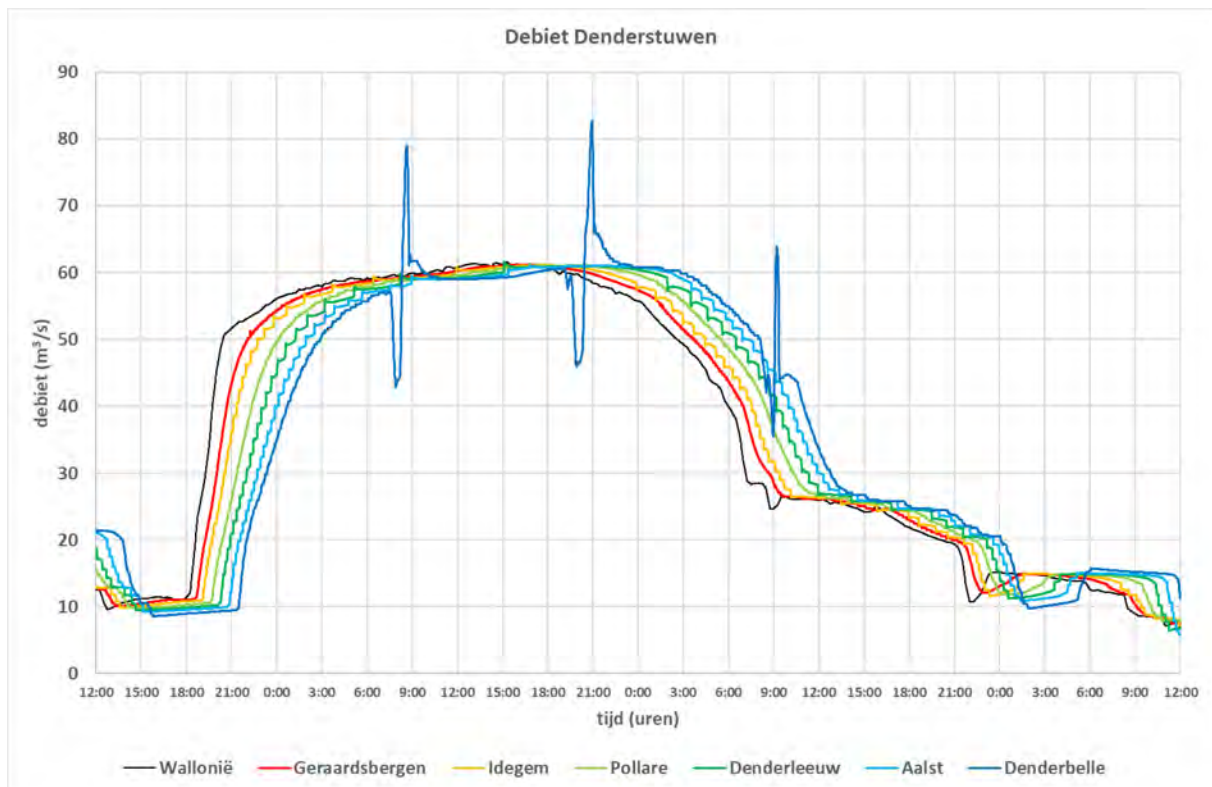
Figuur 89 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - juni 2016



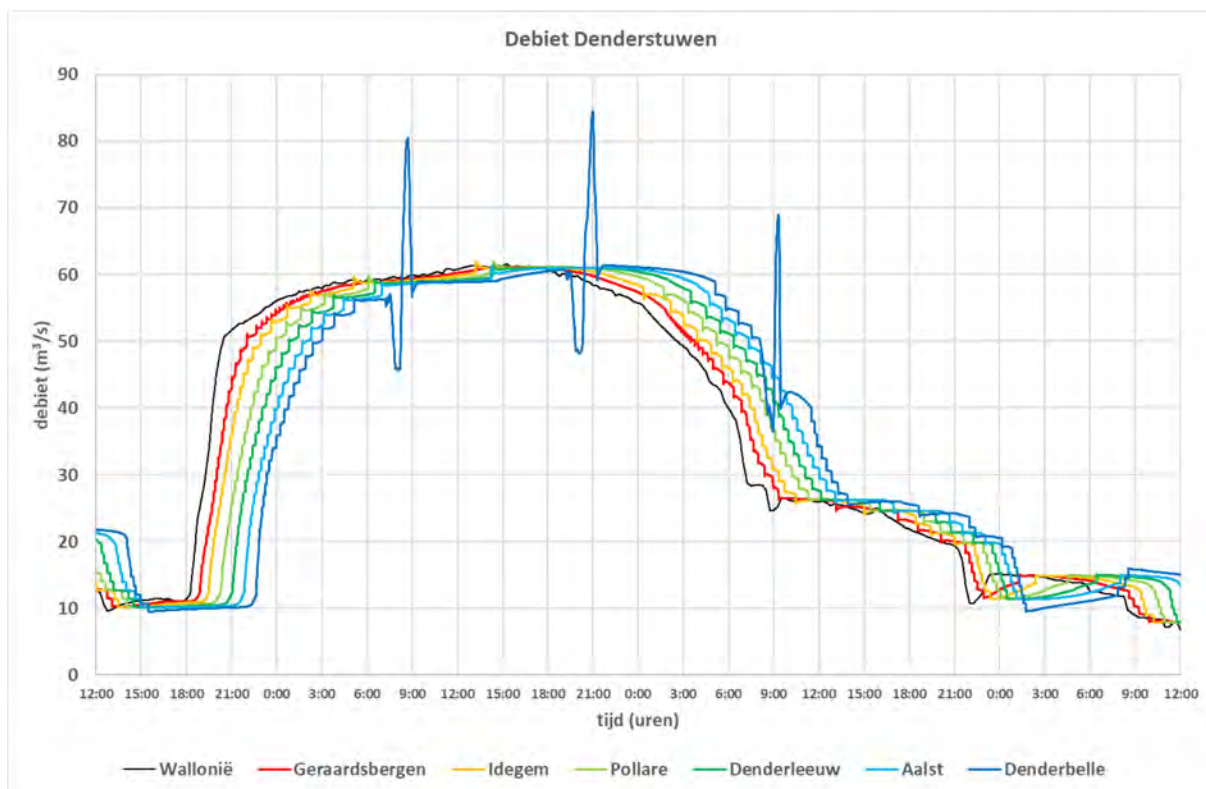
Figuur 90 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - juni 2016



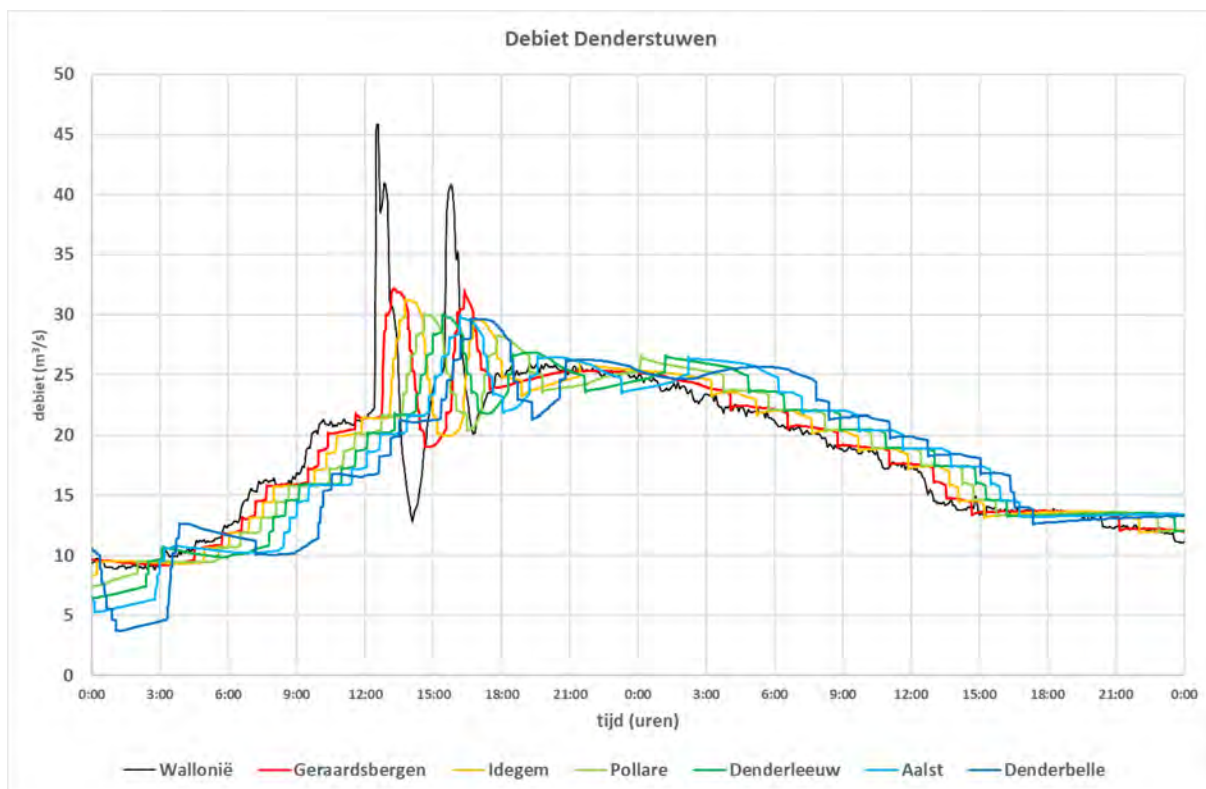
Figuur 91 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - juni 2016



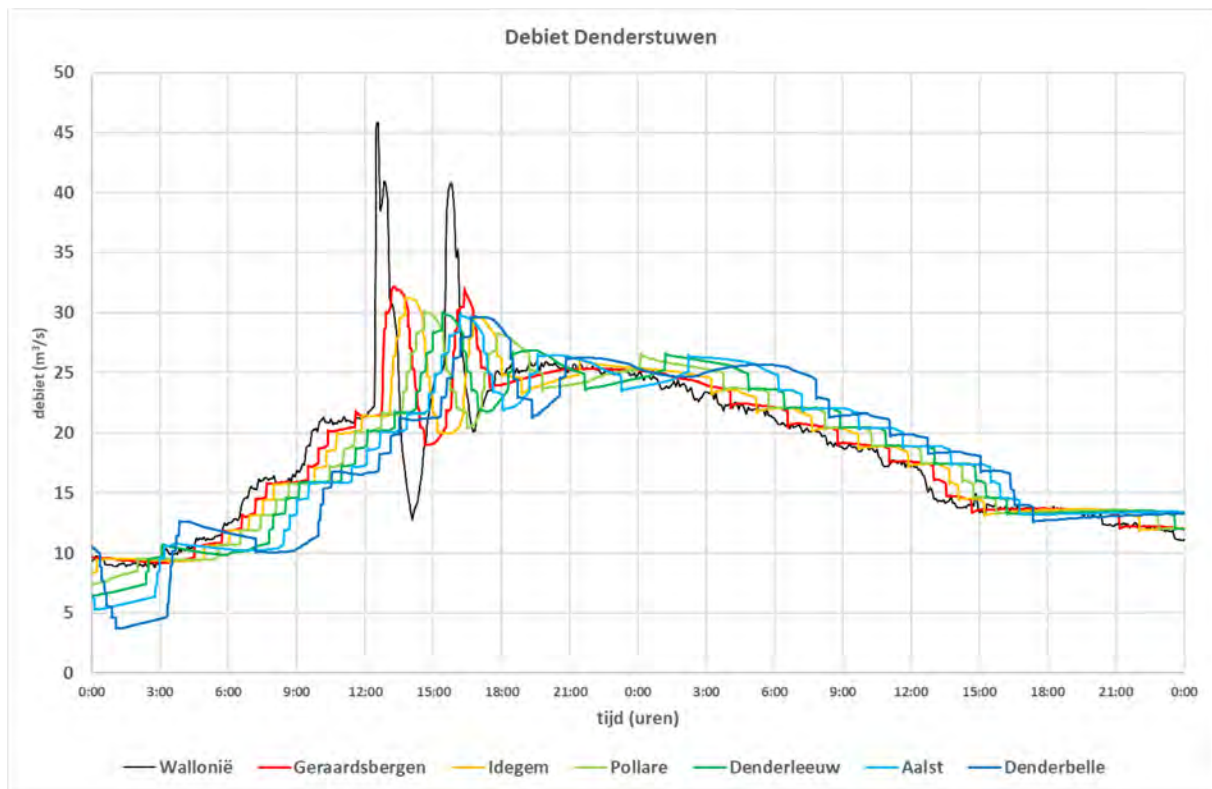
Figuur 92 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - juni 2016



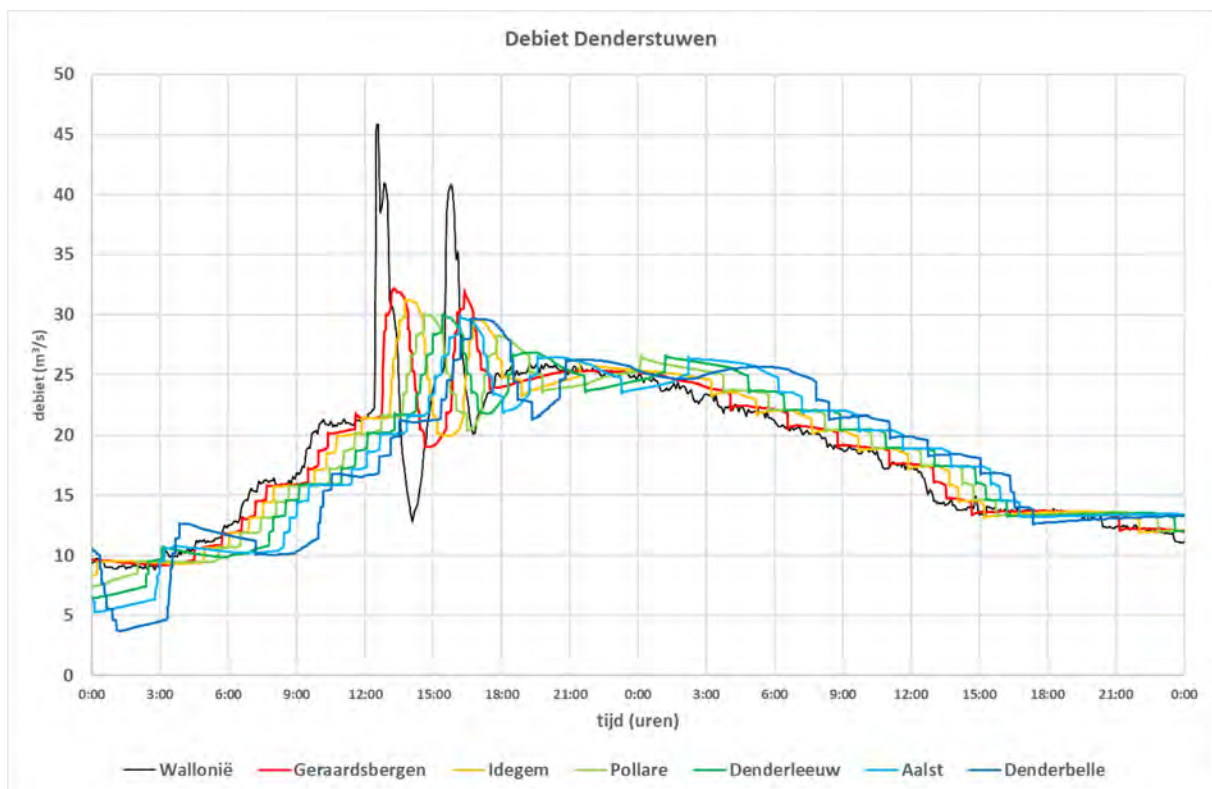
Figuur 93 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - juni 2016



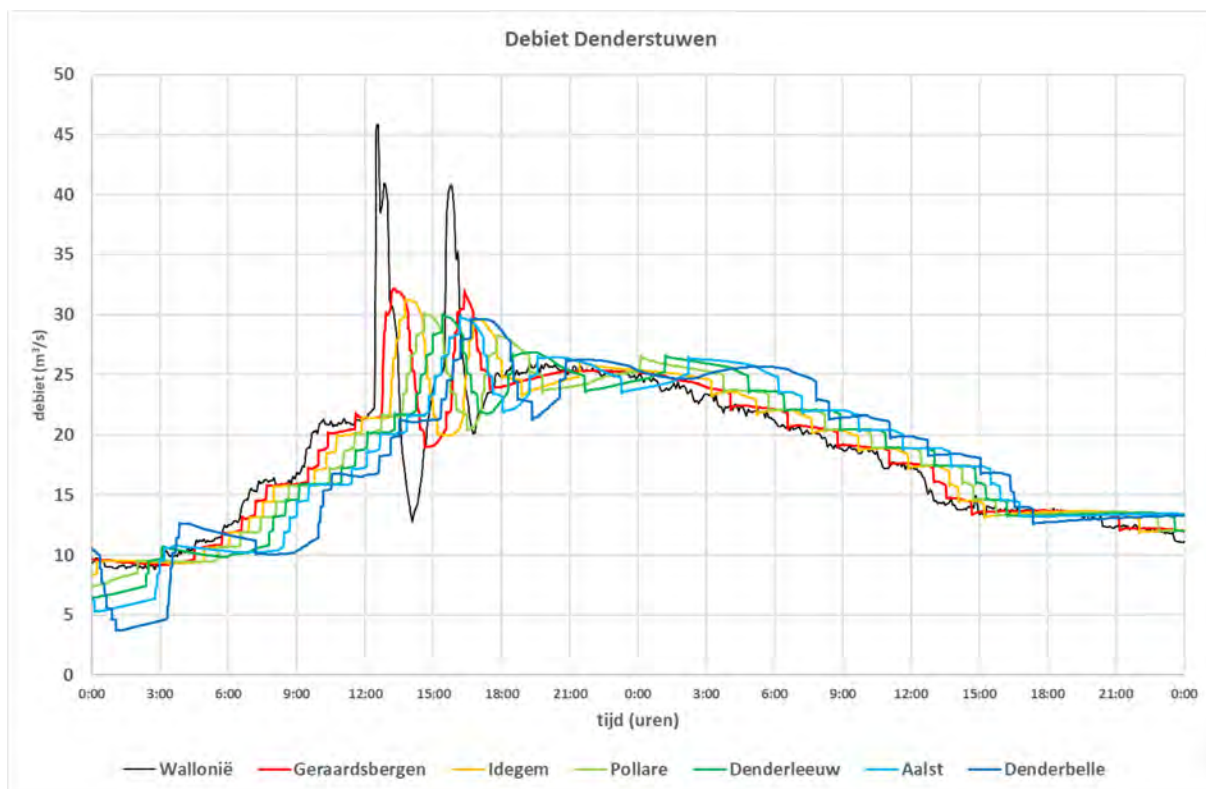
Figuur 94 – Parameterset 0 (referentie) - februari 2019



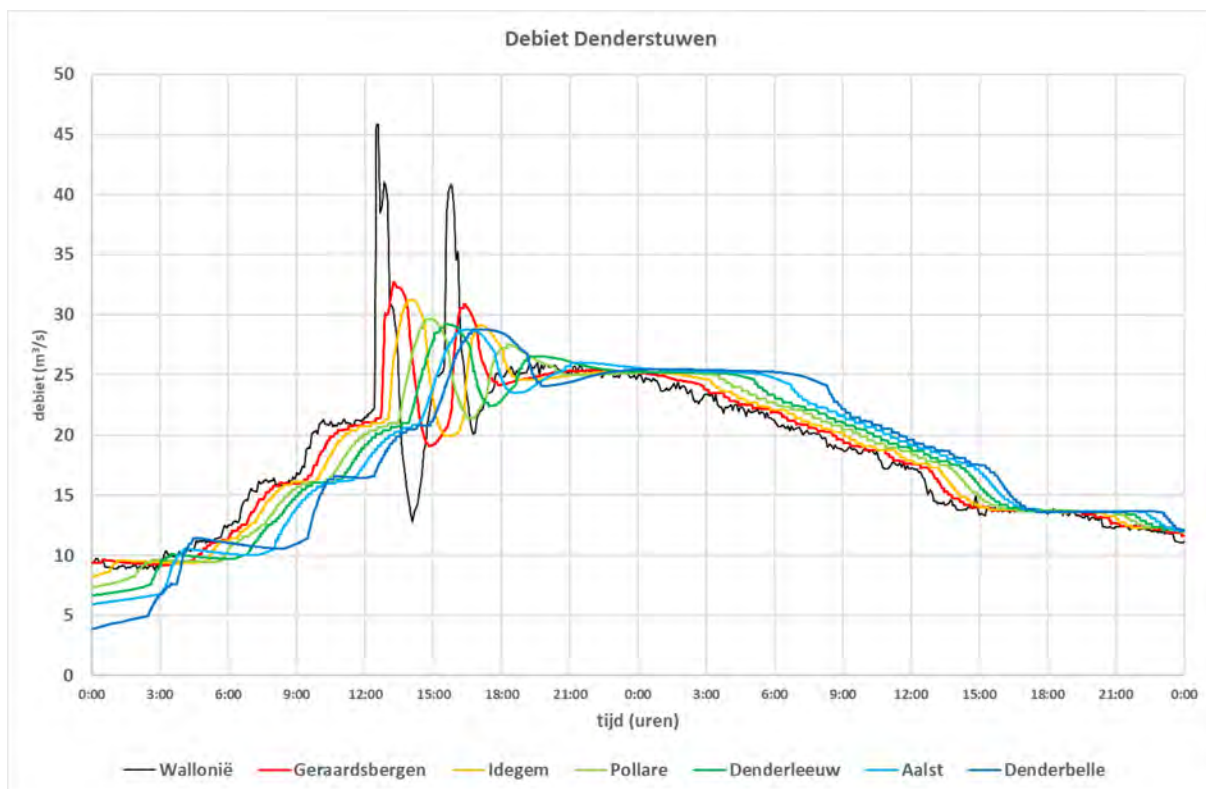
Figuur 95 – Parameterset 1 (met trend) - februari 2019



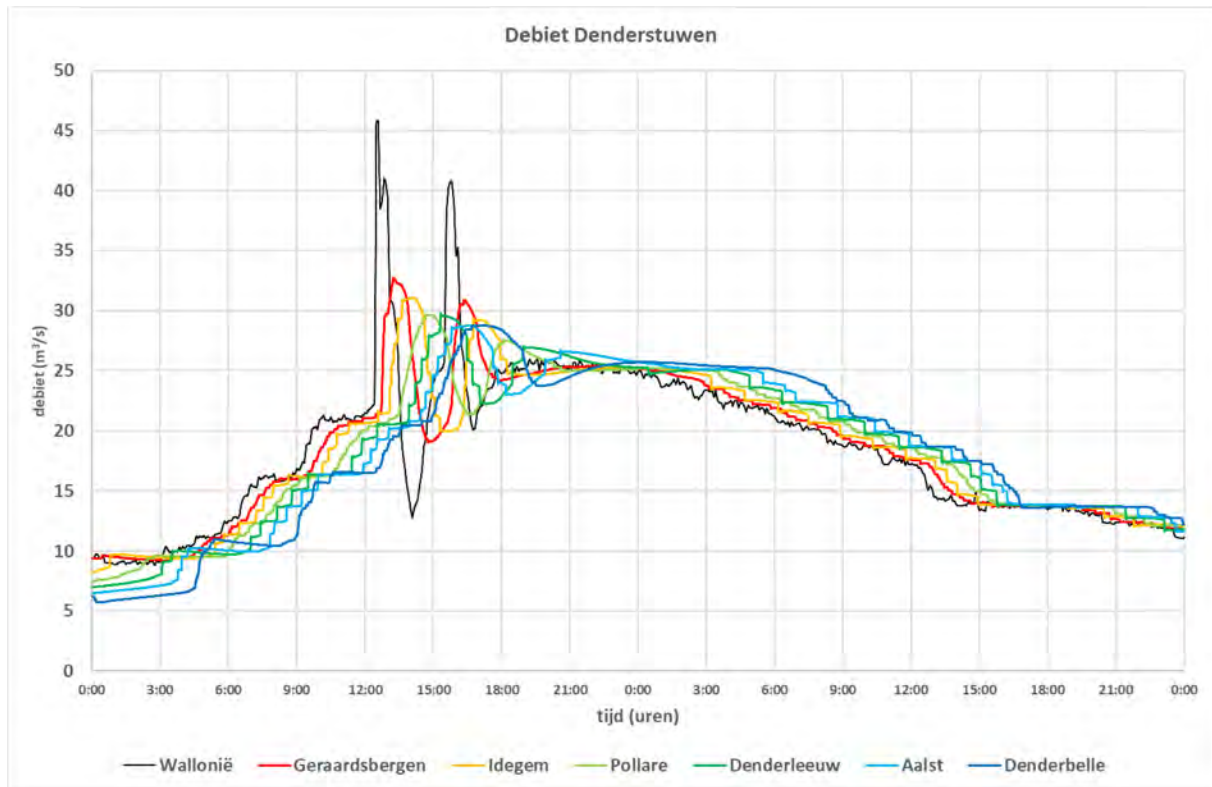
Figuur 96 – Parameterset 2 (zonder rusttijd) - februari 2019



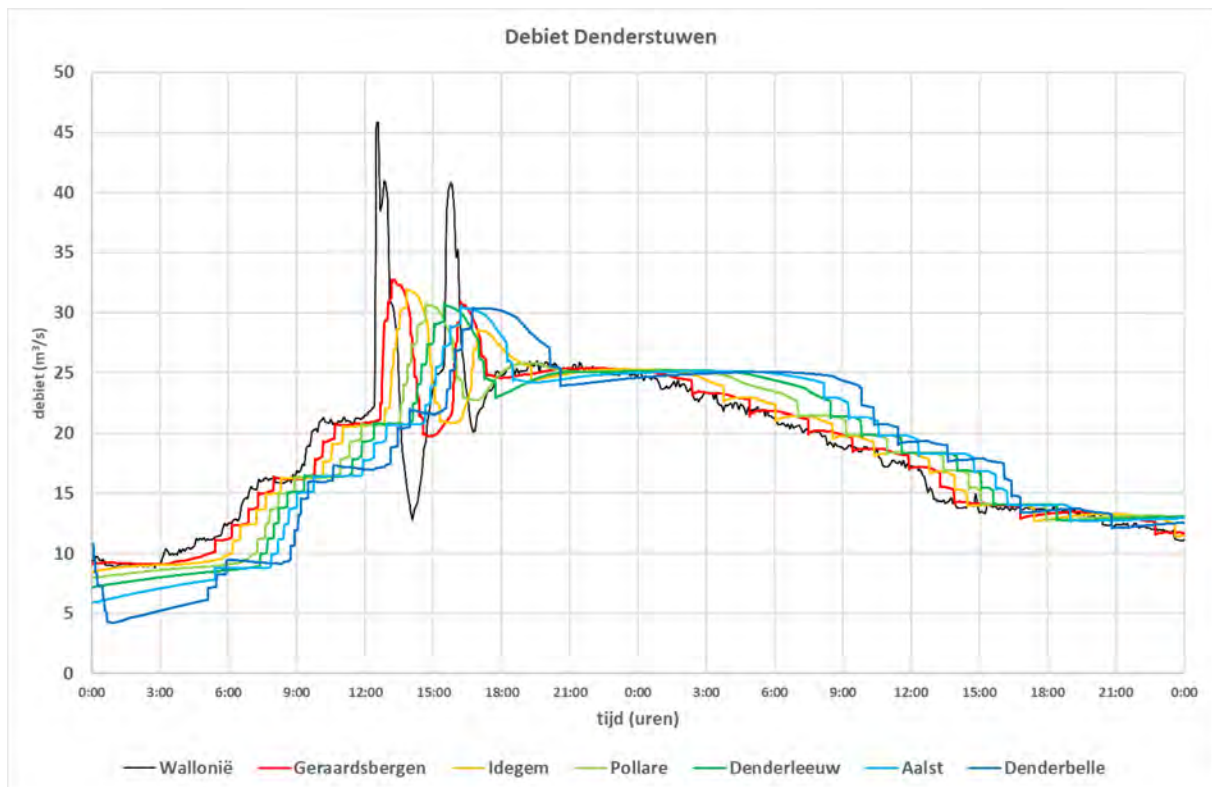
Figuur 97 – Parameterset 3 (met langere rusttijd) - februari 2019



Figuur 98 – Parameterset 4 (met kortere werktijd) - februari 2019



Figuur 99 – Parameterset 5 (met kortere werktijd en zonder rusttijd) - februari 2019



Figuur 100 – Parameterset 6 (met ruimere tolerantie voor waterpeil) - februari 2019

6.3 Conclusies en aanbevelingen

Theoretische beschouwingen op basis van de fysische kenmerken van de verschillende panden van de gekanaliseerde Dender doen vermoeden dat een automatische lokale sturing op waterpeil aanleiding zou kunnen geven tot versterkingen van debietschommelingen bij afvoeren minder dan 10 à 20 m³/s. Controleberekeningen met synthetische en historische gebeurtenissen bevestigen dit vermoeden.

De versterking van de debietafname op het einde van een was, kan ertoe leiden dat de meest afwaarts gelegen stuwen tijdelijk sluiten. Deze sluiting zou een negatieve impact kunnen hebben op de werking van de geplande vispassages.

Kleine verstoringen in de afvoer ter hoogte van de gewestgrens, vergelijkbaar met die in de meetreeks voor de Dender te Overboelare in het jaar 2019, zouden aanleiding kunnen geven tot het tijdelijk sluiten van een aantal vernieuwde stuwen in Vlaanderen. De laterale instroming vanuit de zijlopen van de Dender volstaat niet om dit te voorkomen.

De precieze oorzaak van de kleine verstoringen in de debietreeks van Overboelare is niet bekend. Indien er logboeken bestaan met een overzicht van de manuele interventies aan de stuwen van Geraardsbergen, dan zou het nuttig zijn om te onderzoeken of deze verstoringen eventueel gelinkt kunnen zijn aan bewegingen van de stuwen in Geraardsbergen.

De parameters van het onderzochte sturingsalgoritme blijken slechts een beperkte invloed te hebben op de werking van de volledige stuwenketen. De ongewenste versterking van een toename of afname van het debiet bij lage afvoeren blijft optreden bij verschillende combinaties van sturingsparameters.

In een volgende stap dient de interactie tussen de stuwen en de vispassages onderzocht te worden. Daarbij dient gecontroleerd te worden welk effect de versterking van debietschommelingen heeft op de werking van vispassages uitgerust met een toegevoegd debiet. Indien zou blijken dat het voorgestelde sturingsalgoritme een ongewenste impact heeft op de werking van de vispassages, dan moeten alternatieve sturingsalgoritmen onderzocht worden.

7 Interactie

7.1 Methodologie

7.1.1 Modelvariant

De interactie tussen de nieuwe stuwen en vispassages langsheen de Dender werd bestudeerd met het model dat eerder gebruikt werd voor de studie van de stuwen. In dit model werden de vispassages (en het toegevoegd debiet) en de lekverliezen en schutverliezen van de sluizen opnieuw geactiveerd.

7.1.2 Scenario's

De vispassages werden overgenomen uit scenario S2, beschreven in paragraaf 5.1.2. Dit scenario maakt gebruik van kleine bekkentrappen (met toegevoegd debiet) in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle en vertical slot passages (met toegevoegd debiet) in Idegem, Pollare en Denderleeuw.

7.1.3 Sturing

Alle vispassages openen op basis van het debiet over de stuwen en sluiten op basis van het waterpeil opwaarts van de stuwen (= variant S2 - q, beschreven in paragraaf 5.1.3).

Voor de stuwen werd de sturing met basisparameters (beschreven in paragraaf 6.1.3) gebruikt.

7.1.4 Analyse

De analyses werden uitgevoerd aan de hand van synthetische en historische gebeurtenissen.

Synthetische gebeurtenissen

De synthetische gebeurtenissen zijn de sinusoidale hydrogrammen met variabele duur, zoals beschreven in paragraaf 6.1.5. Deze synthetische hydrogrammen houden geen rekening met zijdelingse instroming langsheen de Dender.

Historische gebeurtenissen

De historische gebeurtenissen omvatten de was van juni 2016 en het volledige jaar 2019, zoals beschreven in paragraaf 6.1.5. Het jaar 2019 werd opnieuw opgesplitst in 12 deelperioden van 1 maand, waarbij de eerste 2 dagen van elke maand gebruikt werden als initialisatieperiode. Enkel de variant met zijdelingse instroming werd doorgerekend.

De analyse focust op de interactie tussen de verschillende kunstwerken (stuwen, vispassage en toegevoegd debiet) op een specifieke site. In het bijzonder wordt gecontroleerd of de versterking van kleine afvoergolven in een stuwenketen een negatieve impact zou kunnen hebben op de werking van de vispassages naast die stuwen.

7.2 Resultaten

7.2.1 Figuren

De resultaten worden gevisualiseerd in twee reeksen figuren.

Elke figuur van de eerste reeks geeft het gedrag van de kunstwerken op een bepaalde site weer aan de hand van: (1) het waterpeil opwaarts van de stuw, (2) de stand van de stuwklep, (3) het debiet over de stuw, (4) het toegevoegd debiet en (5) het debiet doorheen de vispassage.

Elke figuur van de tweede reeks toont de impact van de bijkomende kunstwerken (vispassage en toegevoegd debiet) op een bepaalde site op de werking van de stuwen op die site aan de hand van (1) het debiet doorheen een stuw in afwezigheid van andere kunstwerken (= grafiek 'stuw - zonder interactie'), en (2) het debiet doorheen een stuw in aanwezigheid van andere kunstwerken (= grafiek 'stuw - met interactie'). De eerste grafiek werd overgenomen uit de studie van de stuwen (hoofdstuk 6), de tweede grafiek werd berekend tijdens de studie van de interactie (hoofdstuk 7).

Ter herinnering: het debiet doorheen een bekkentrap is afhankelijk van het waterpeil en vertoont dus kleine schommelingen. Het debiet doorheen een vertical slot passage werd onafhankelijk van het waterpeil verondersteld en vertoont dus geen schommelingen.

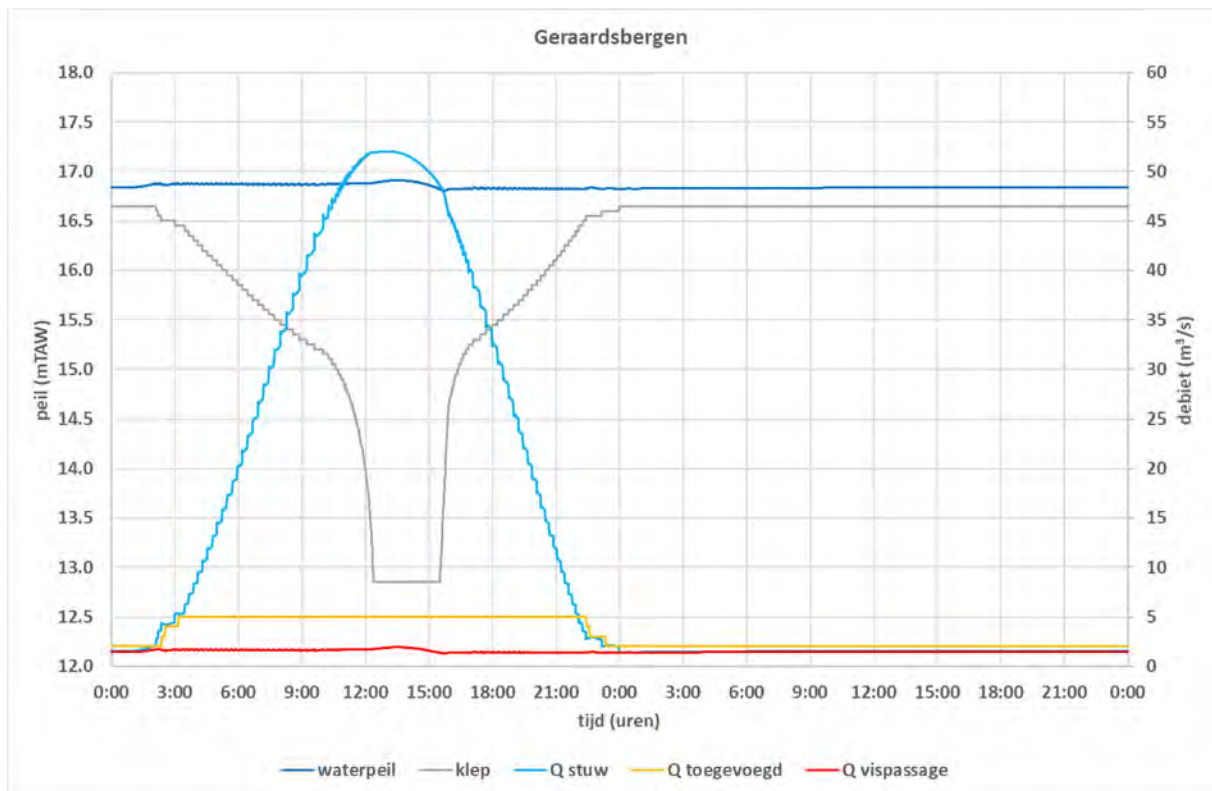
7.2.2 Synthetische gebeurtenissen

De resultaten van de analyses met synthetische hydrogrammen worden getoond in Figuur 101 t.e.m. Figuur 130 (eerste reeks) en Figuur 131 t.e.m. Figuur 160 (tweede reeks).

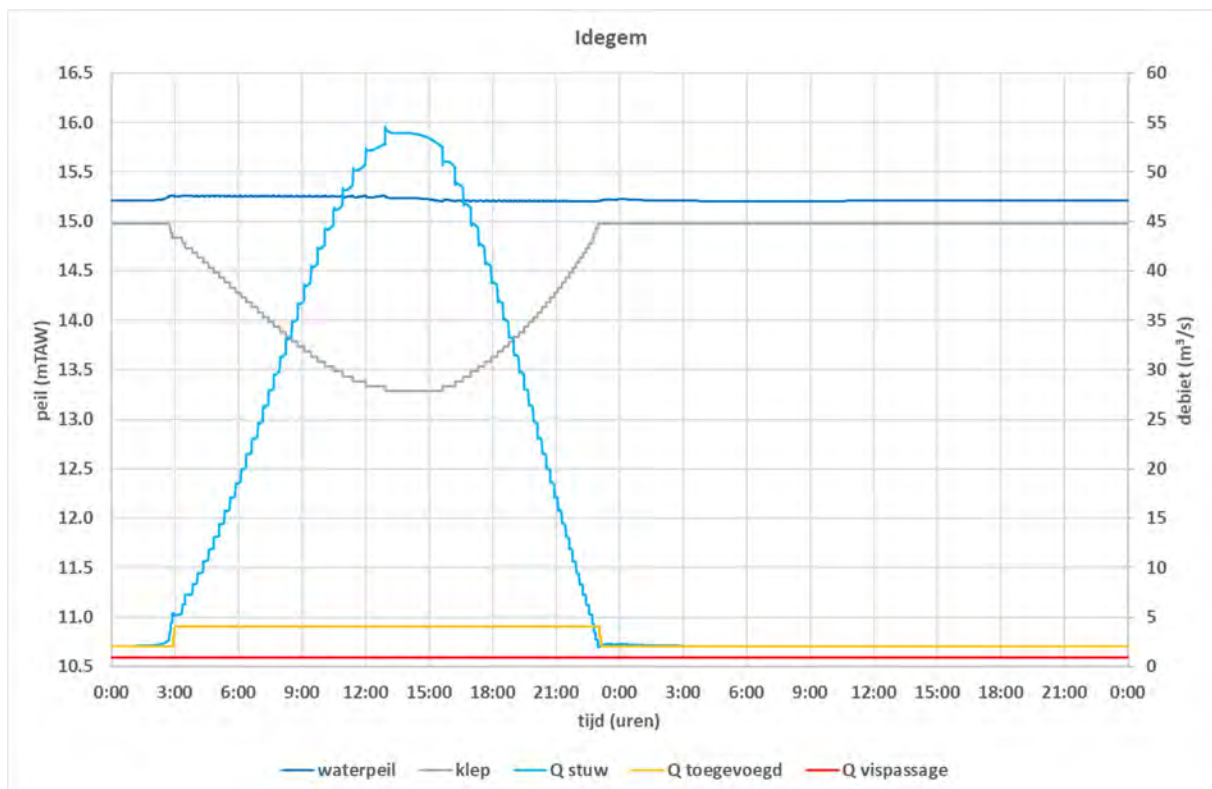
De basisafvoer van het synthetische hydrogram bedraagt 5 m³/s. Voor en na de piekafvoer wordt deze basisafvoer verdeeld over de vispassage, het toegevoegd debiet en de stuwen.

Uit de eerste reeks figuren blijkt dat het debiet over de afwaartse stuwen soms tijdelijk terugvalt op 0 op het einde van een synthetische gebeurtenis. Het toegevoegd debiet (waarvan de grootte proportioneel is met het debiet over de stuwen) valt dan met enige vertraging ook tijdelijk terug op 0. De schommelingen van het waterpeil zijn echter zeer bescheiden, waardoor de vispassages altijd open blijven.

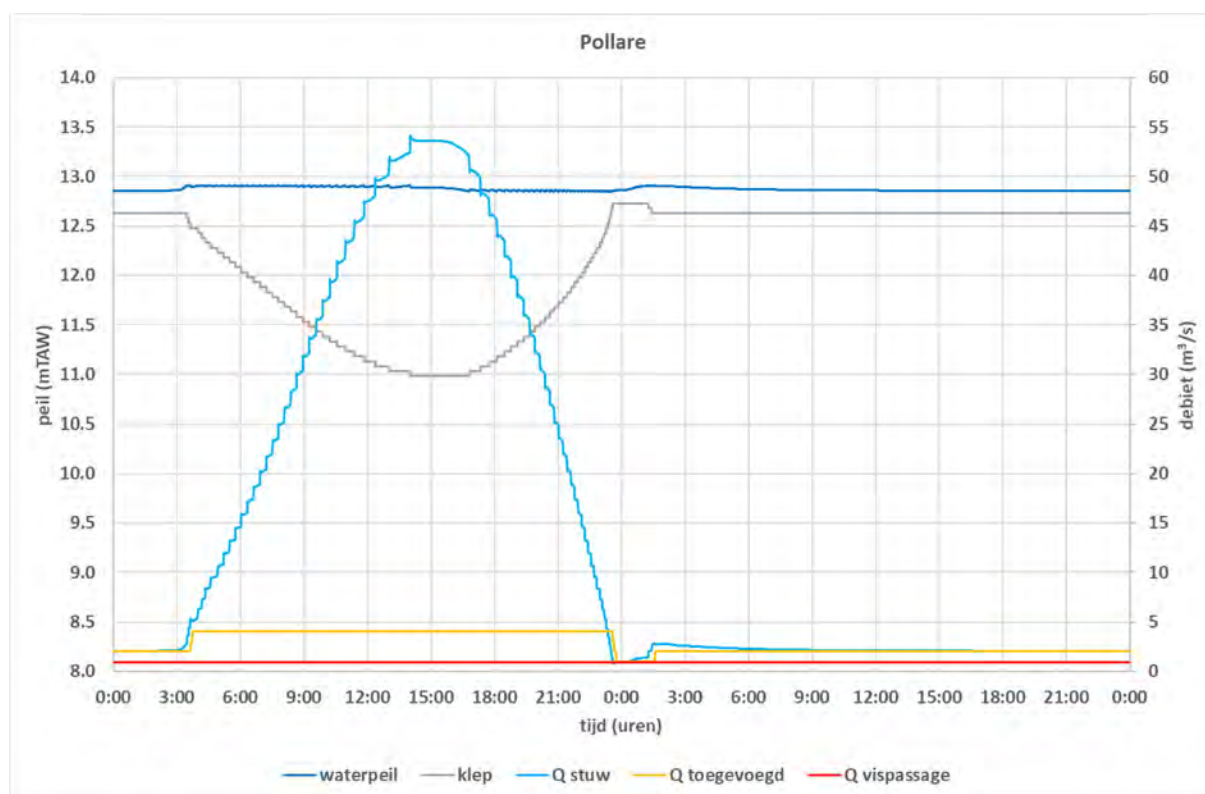
De tweede reeks figuren toont aan dat de inzet van de bijkomende kunstwerken op een bepaalde site logischerwijze leidt tot een afname van het debiet dat over de stuw gaat, zowel bij lage als bij middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het sluiten van de afwaartse stuwen toe. De algemene vorm van de hydrogrammen wordt maar in beperkte mate beïnvloed. In een aantal gevallen wordt de neiging tot versterking van het debiet aan de voet van de stijgende flank licht afgezwakt.



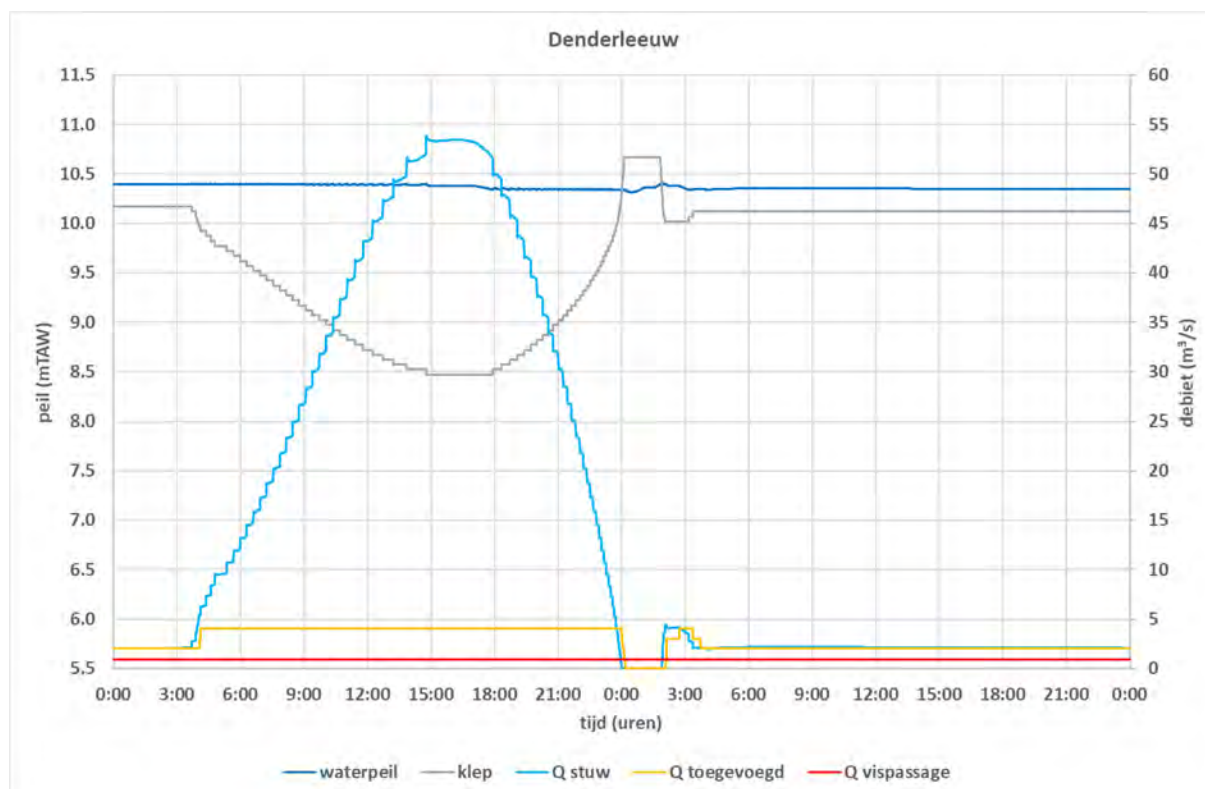
Figuur 101 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Geraardsbergen (reeks 1)



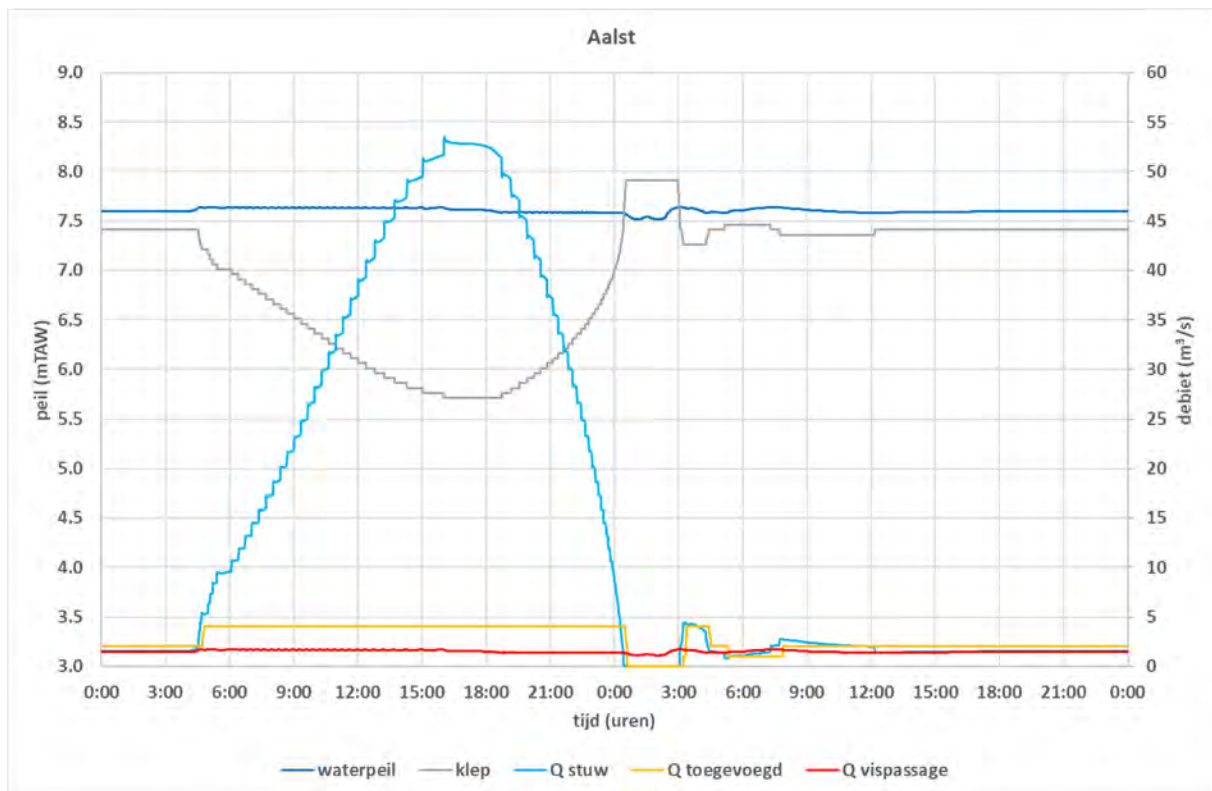
Figuur 102 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Idegem (reeks 1)



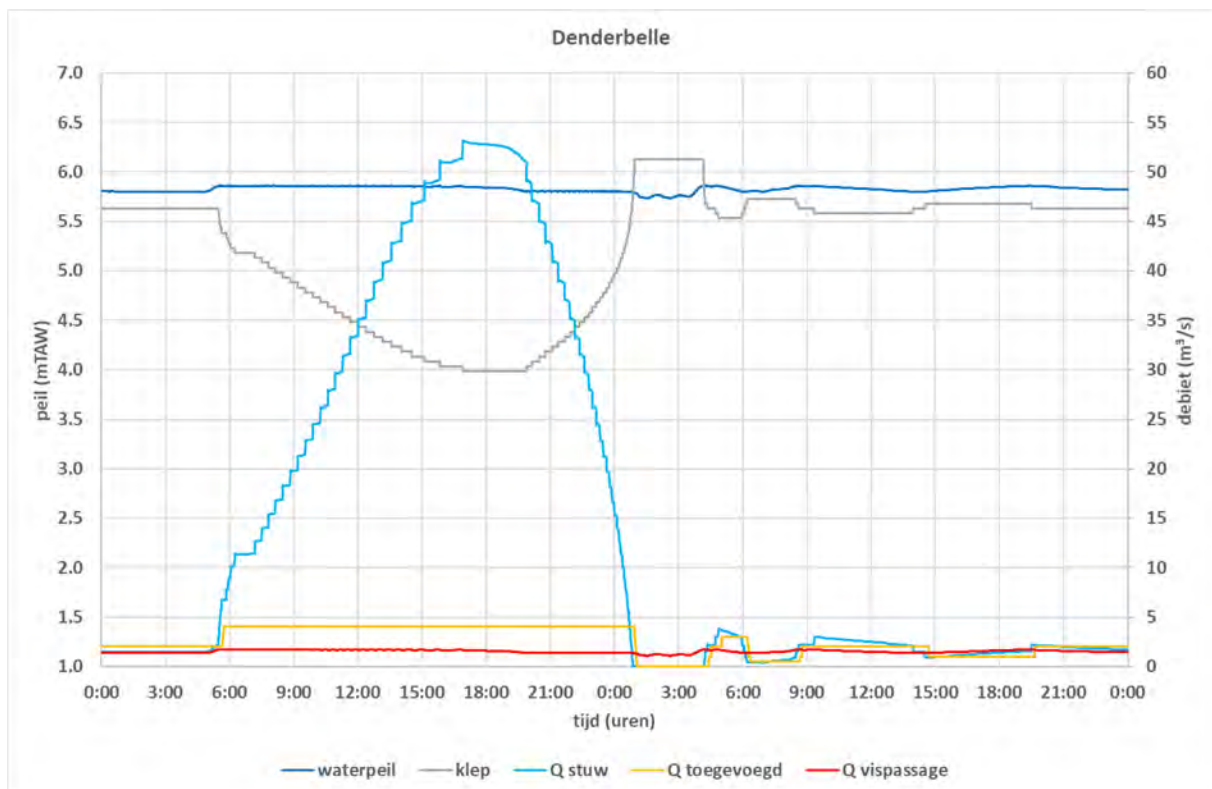
Figuur 103 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Pollare (reeks 1)



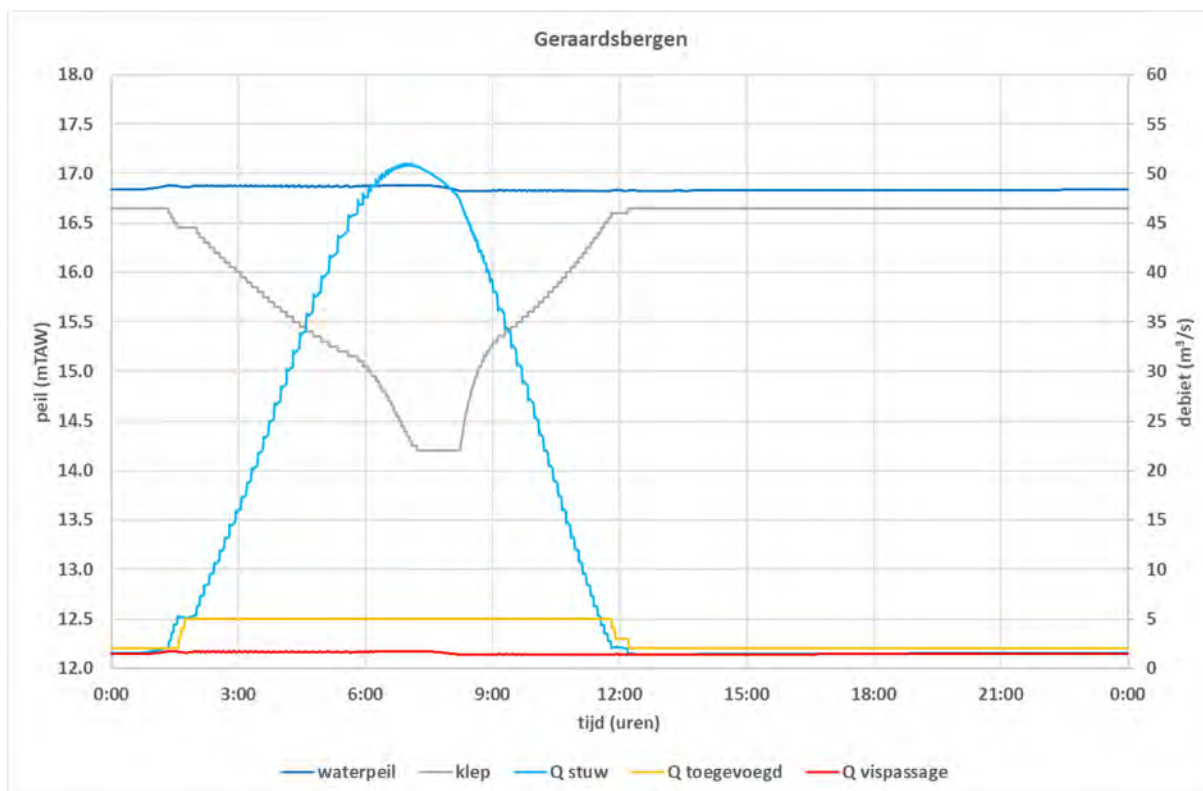
Figuur 104 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderleeuw (reeks 1)



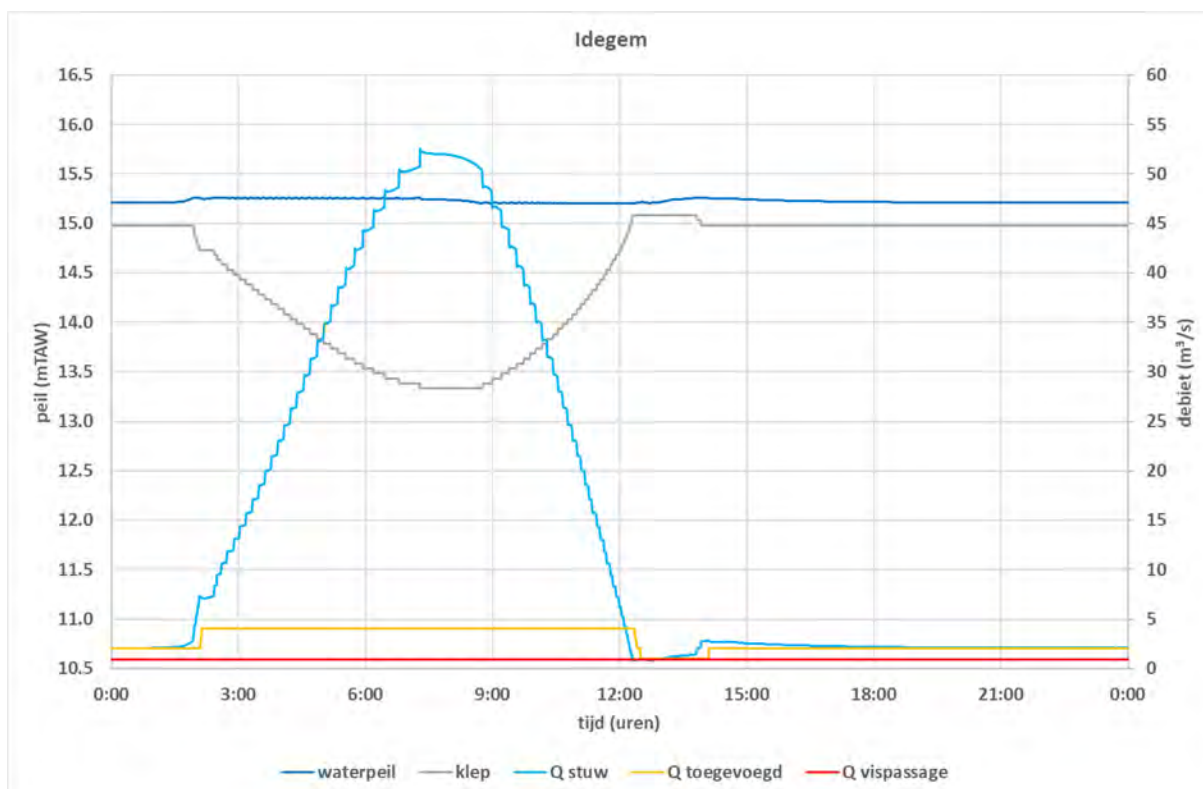
Figuur 105 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Aalst (reeks 1)



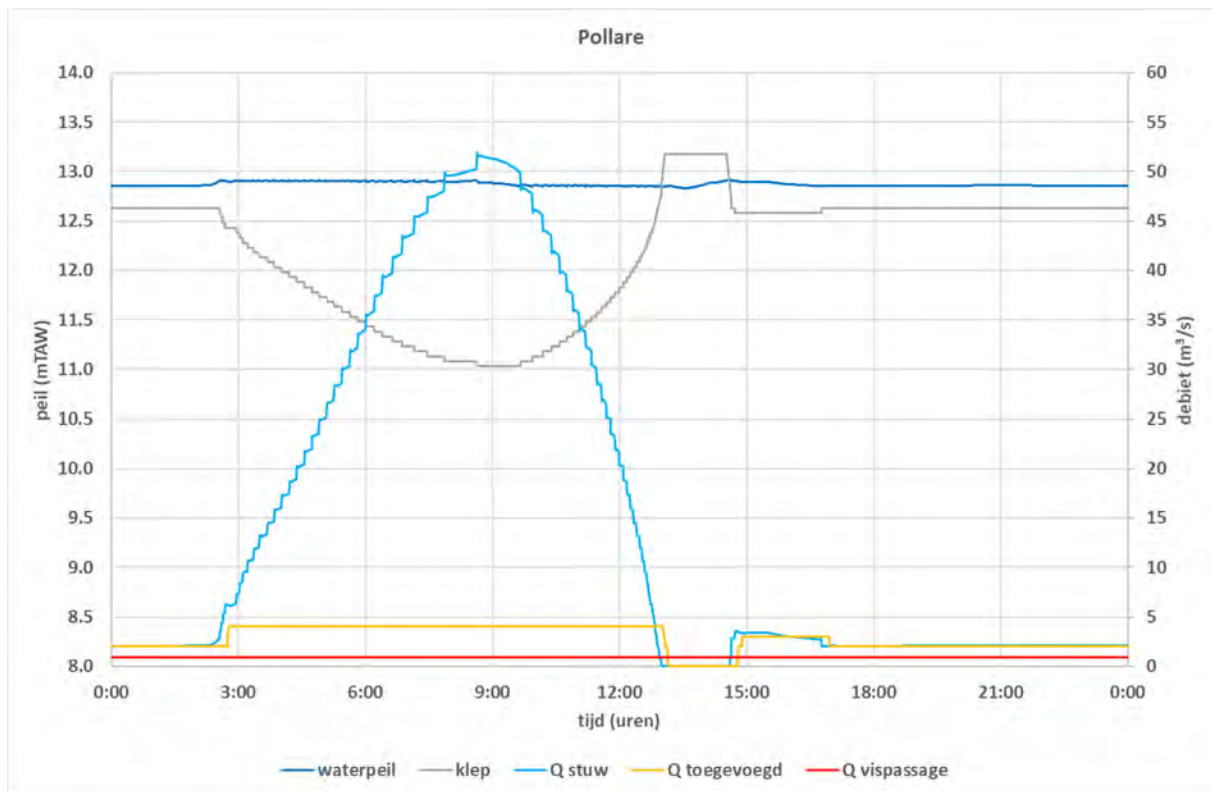
Figuur 106 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderbelle (reeks 1)



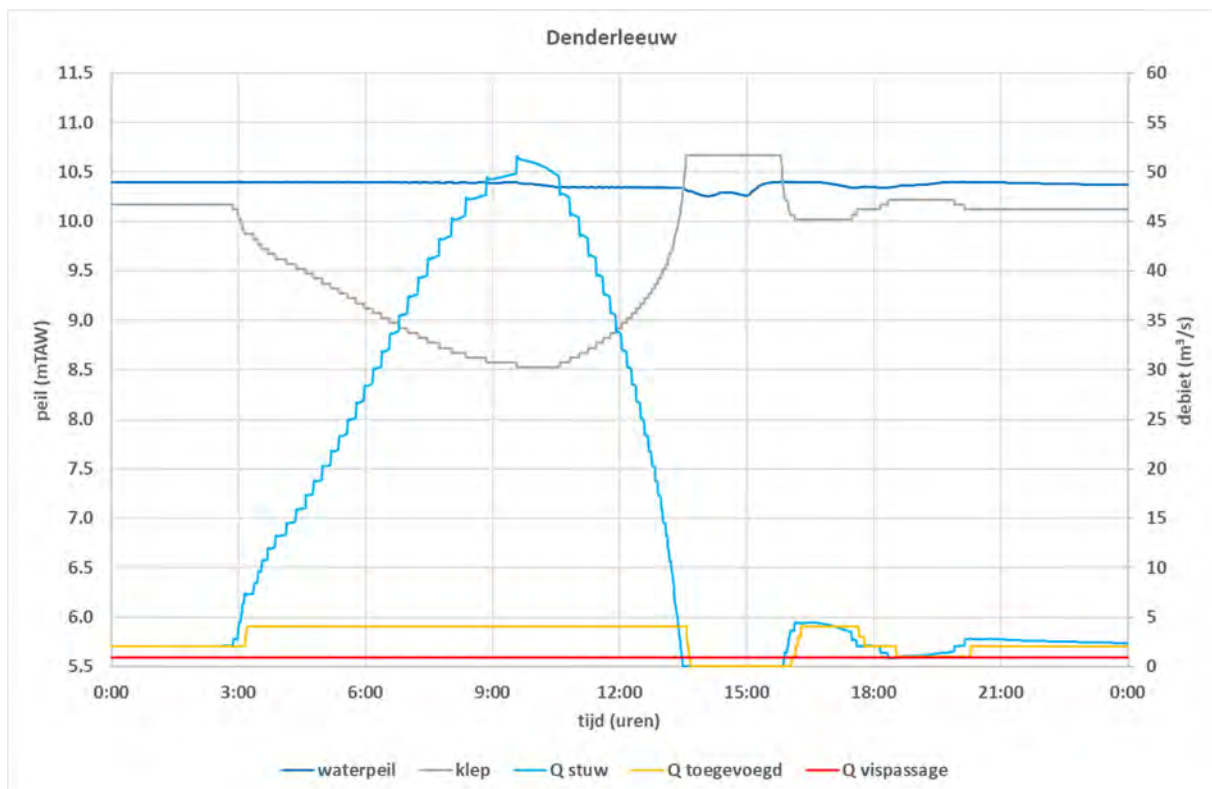
Figuur 107 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Geraardsbergen (reeks 1)



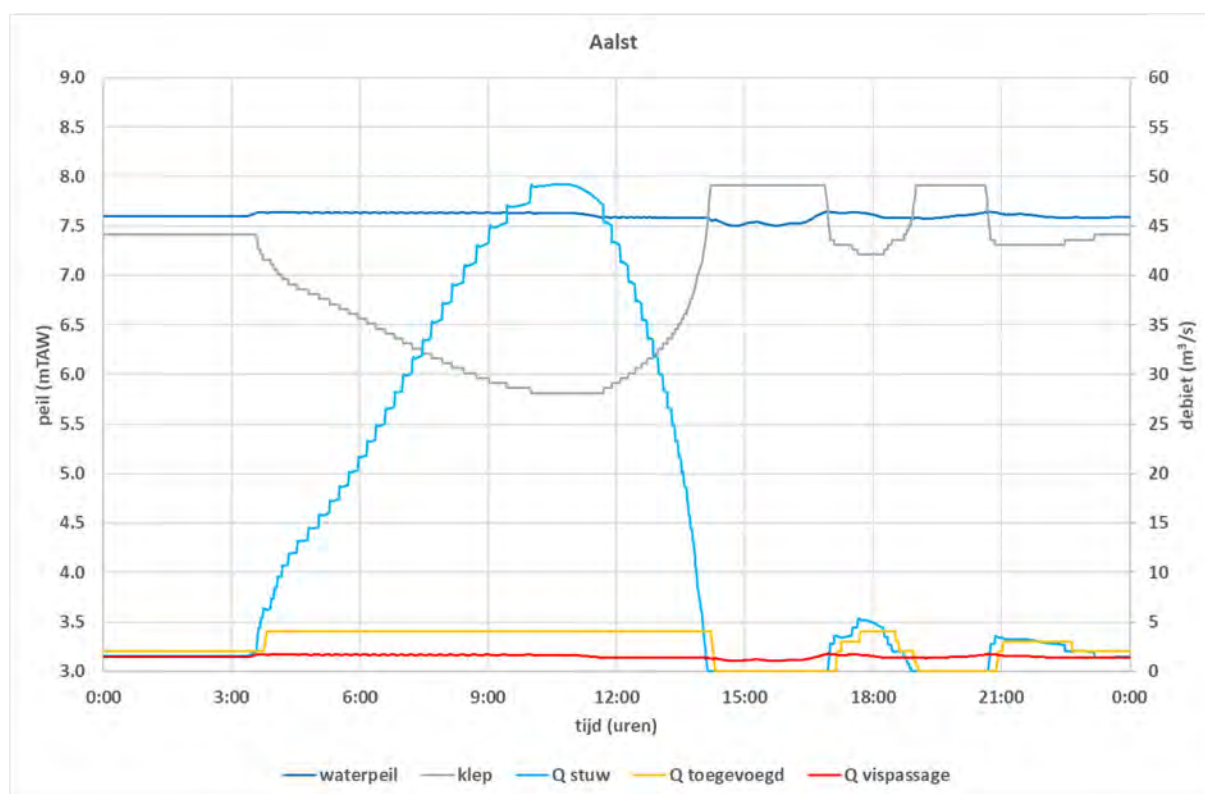
Figuur 108 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Idegem (reeks 1)



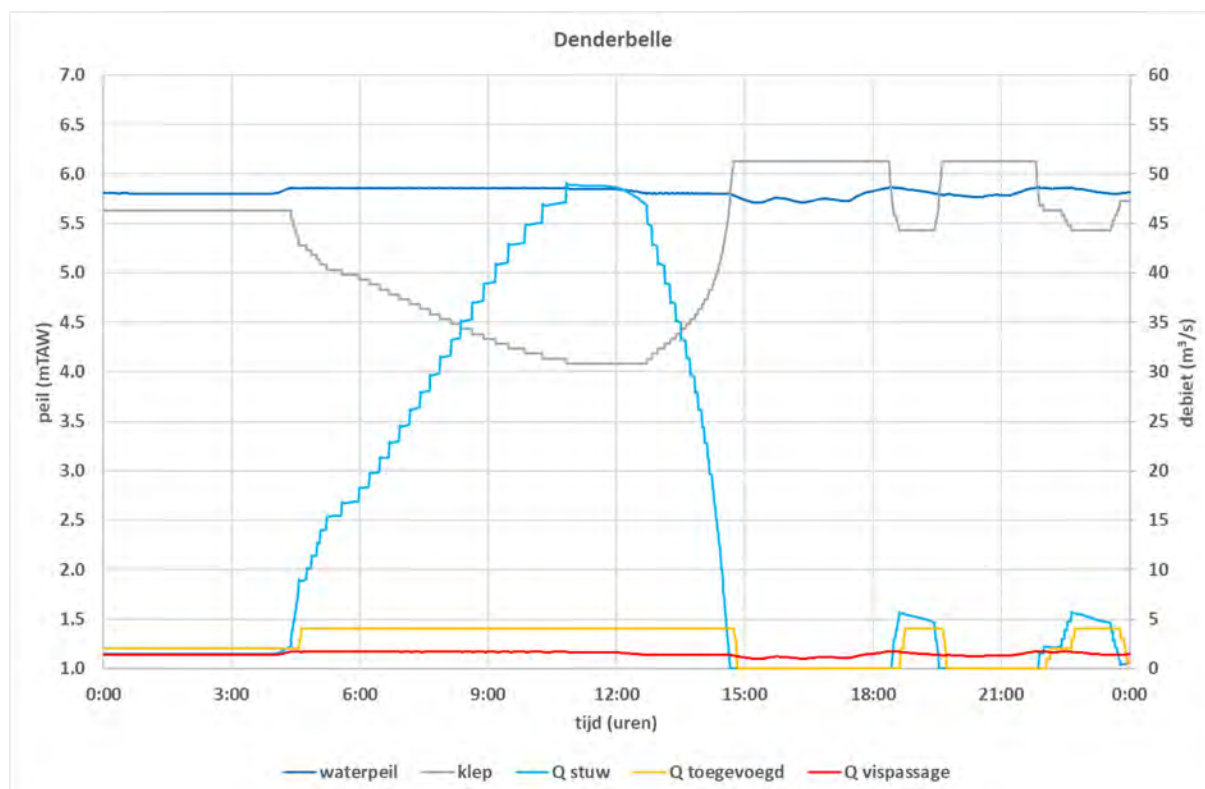
Figuur 109 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Pollare (reeks 1)



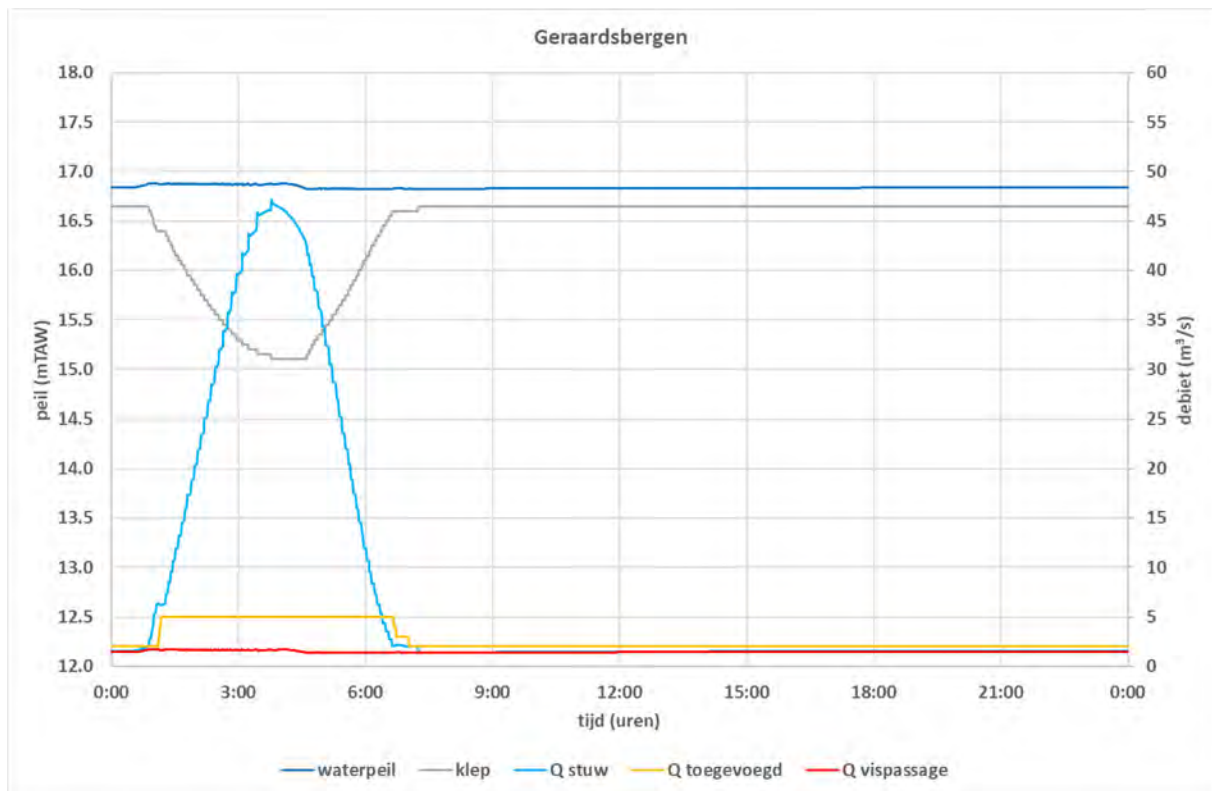
Figuur 110 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderleeuw (reeks 1)



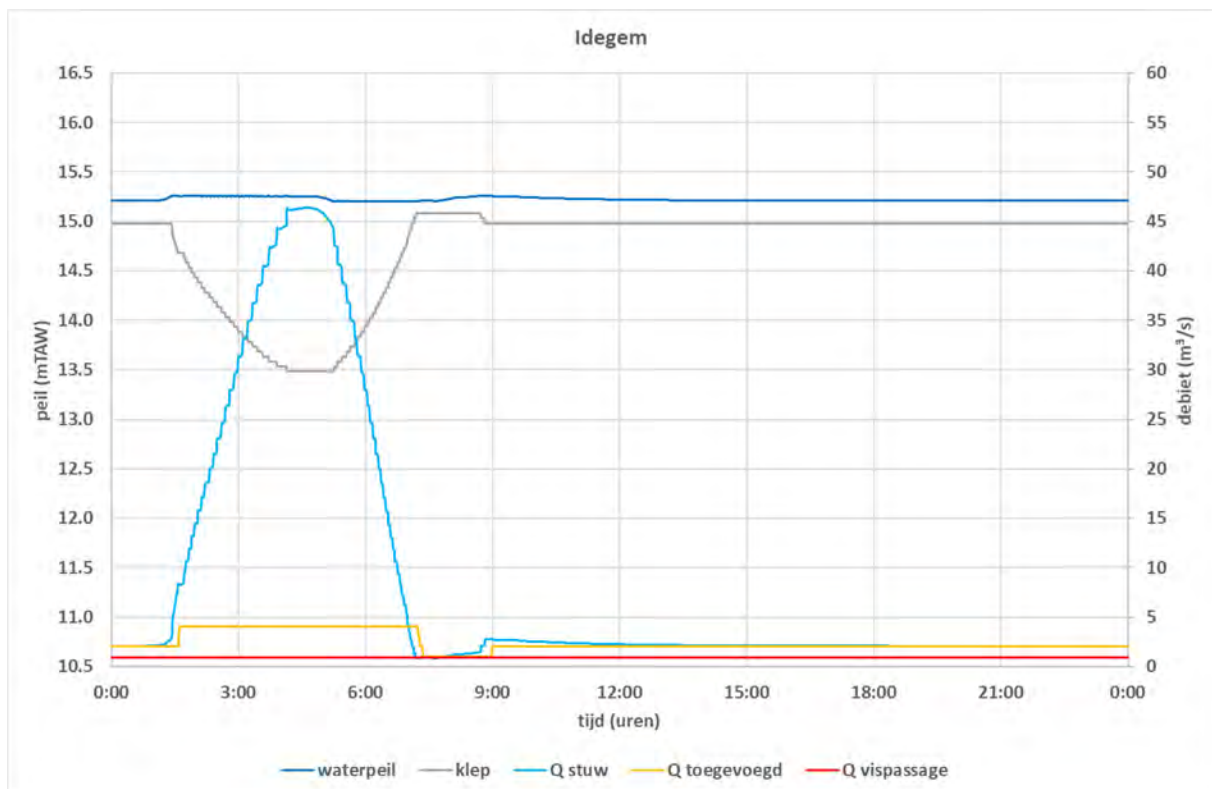
Figuur 111 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Aalst (reeks 1)



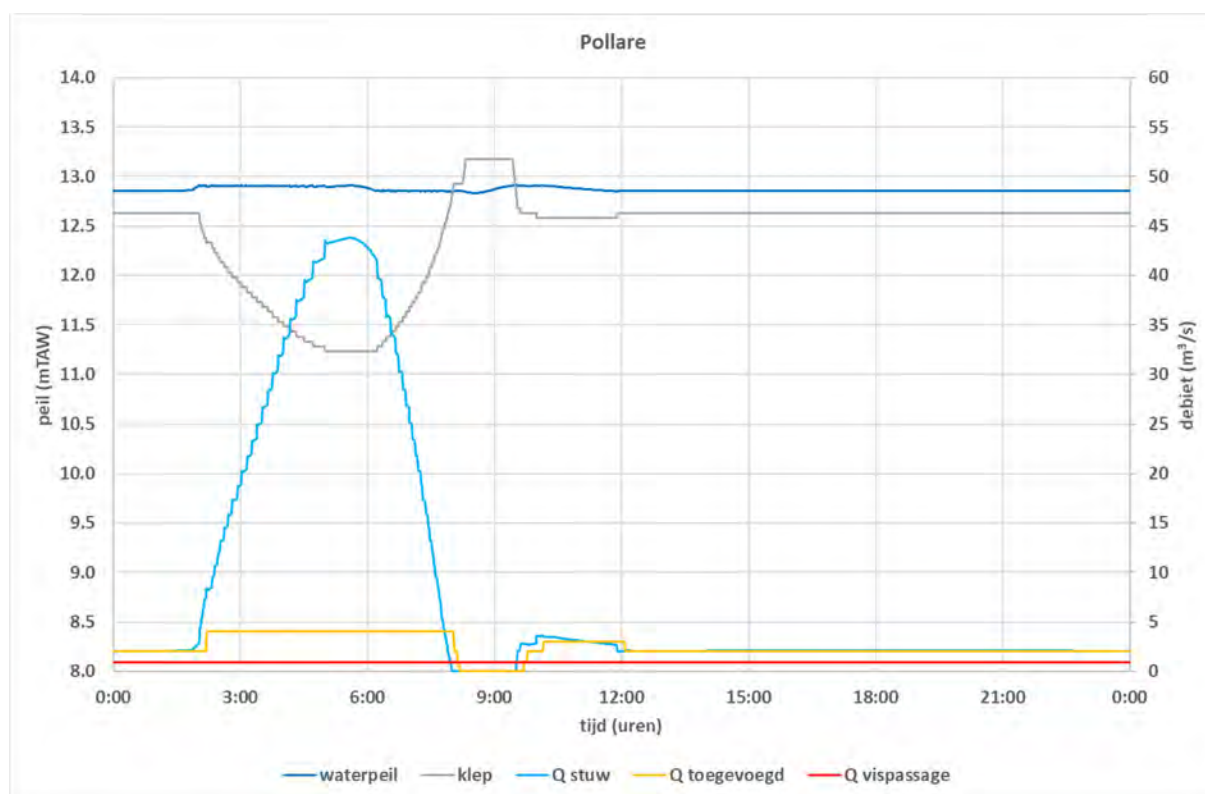
Figuur 112 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderbelle (reeks 1)



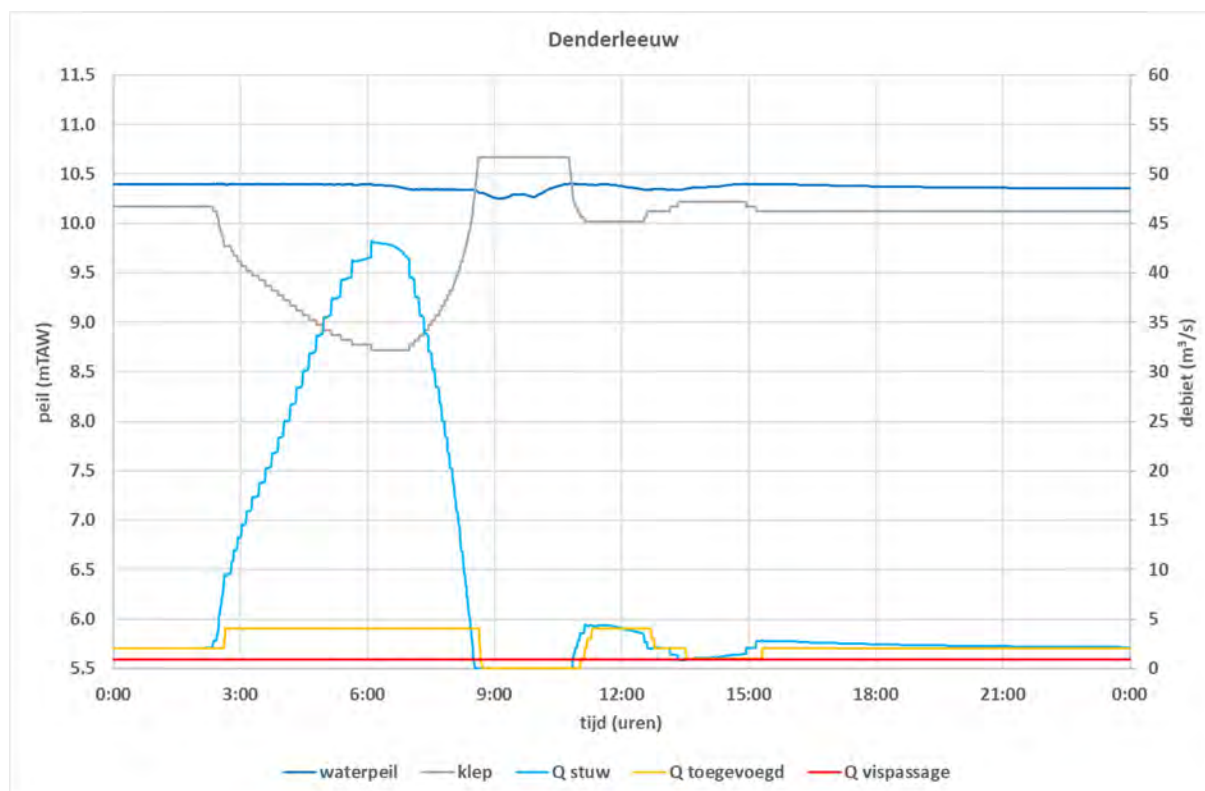
Figuur 113 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Geraardsbergen (reeks 1)



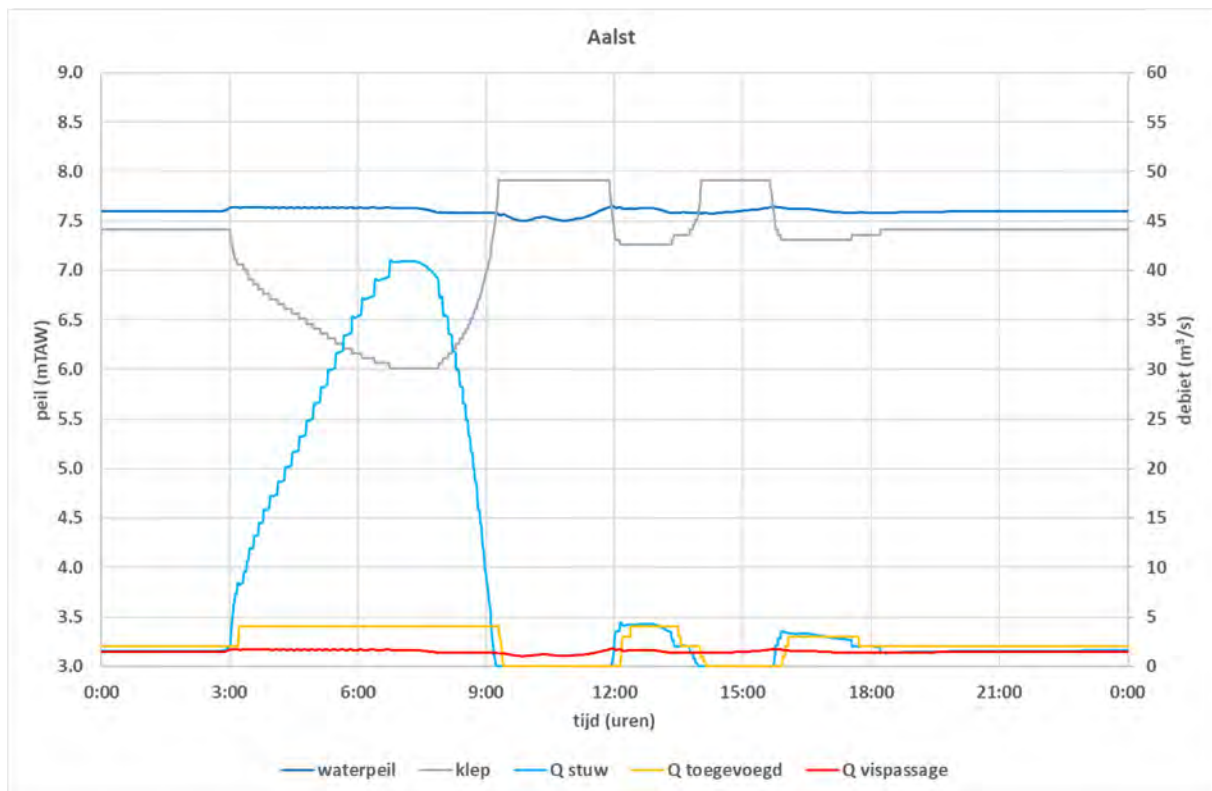
Figuur 114 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Idegem (reeks 1)



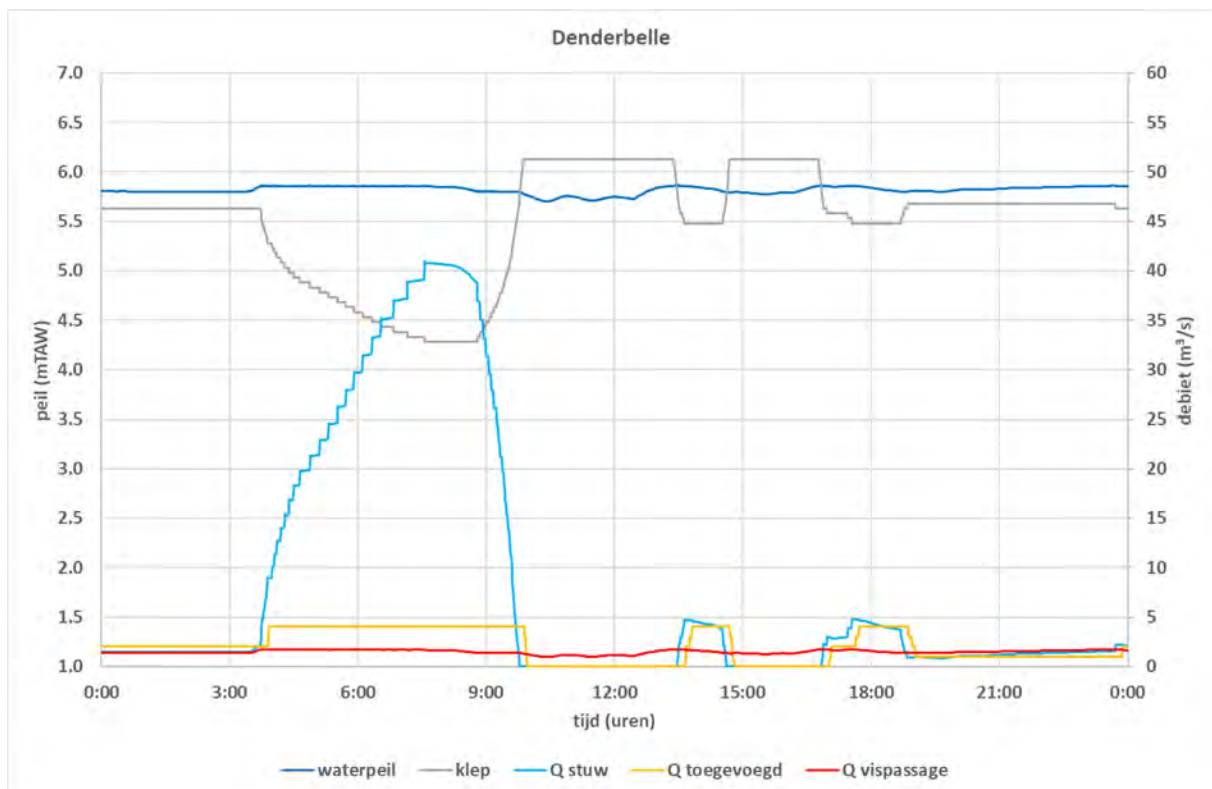
Figuur 115 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Pollare (reeks 1)



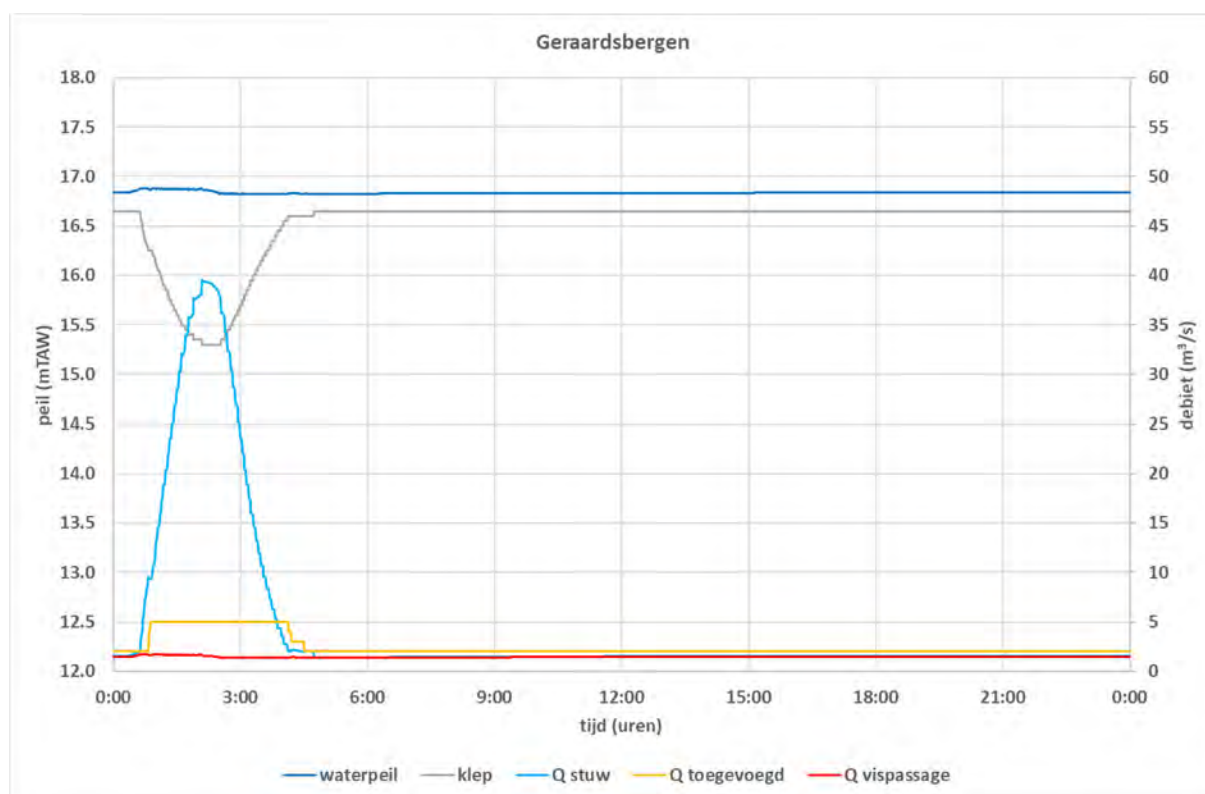
Figuur 116 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderleeuw (reeks 1)



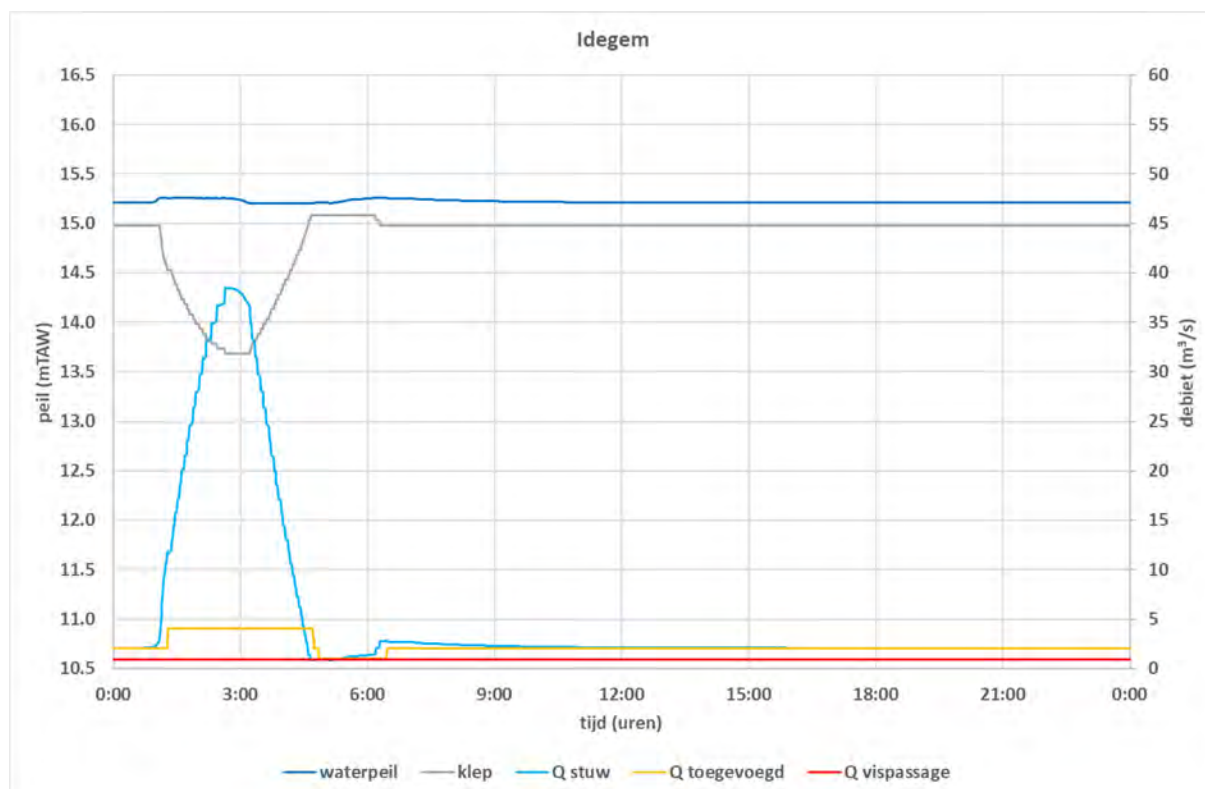
Figuur 117 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 6 uur - Aalst (reeks 1)



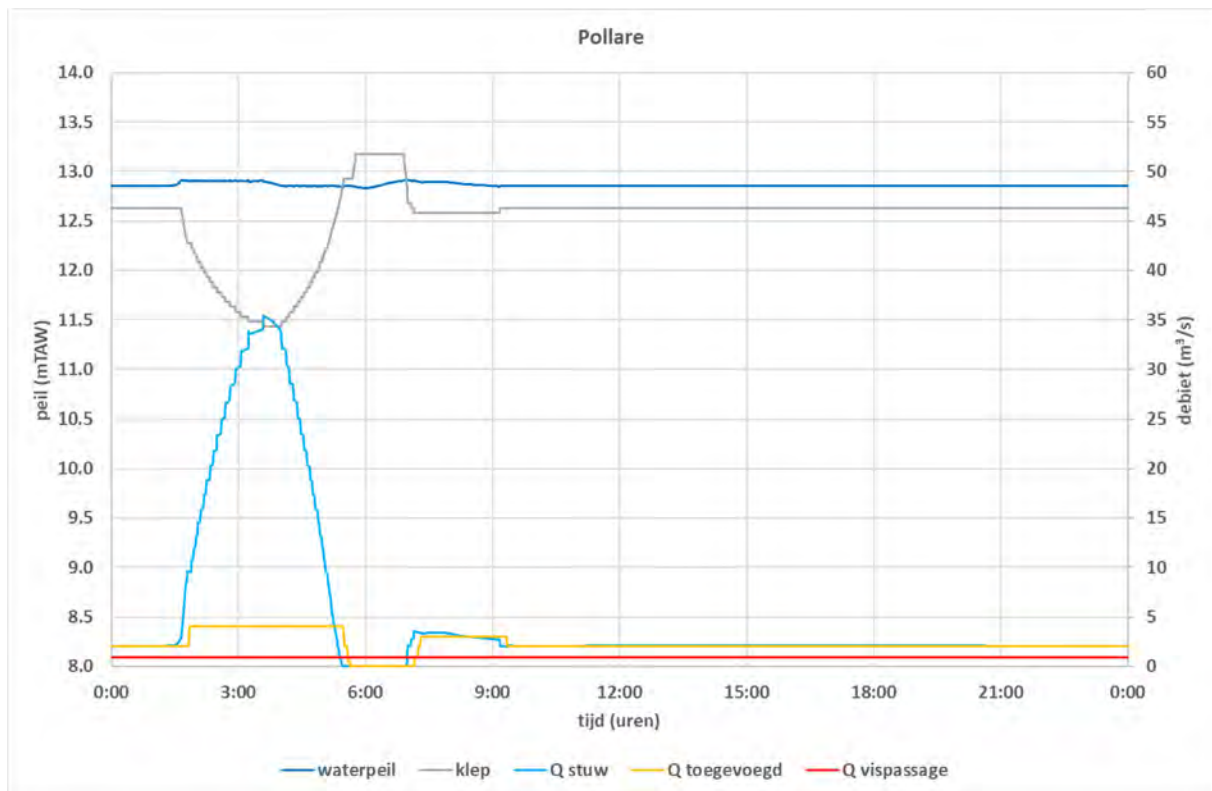
Figuur 118 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderbelle (reeks 1)



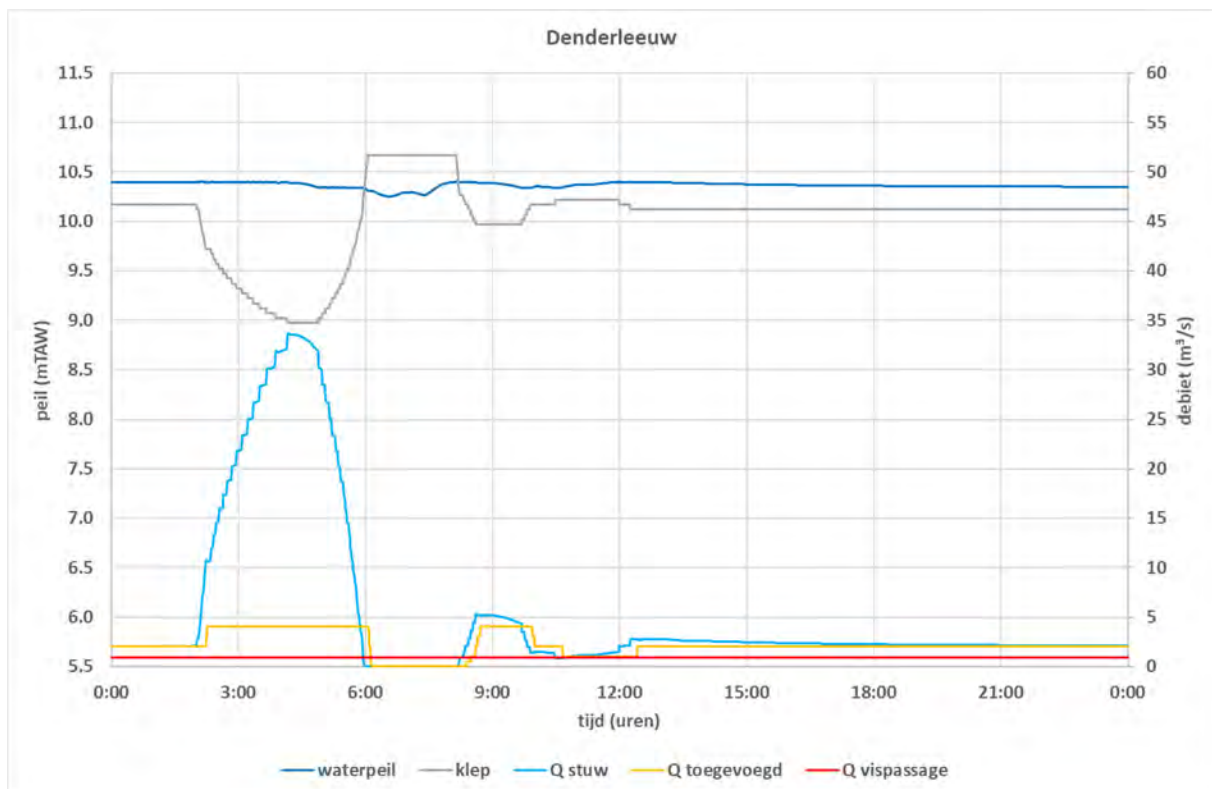
Figuur 119 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Geraardsbergen (reeks 1)



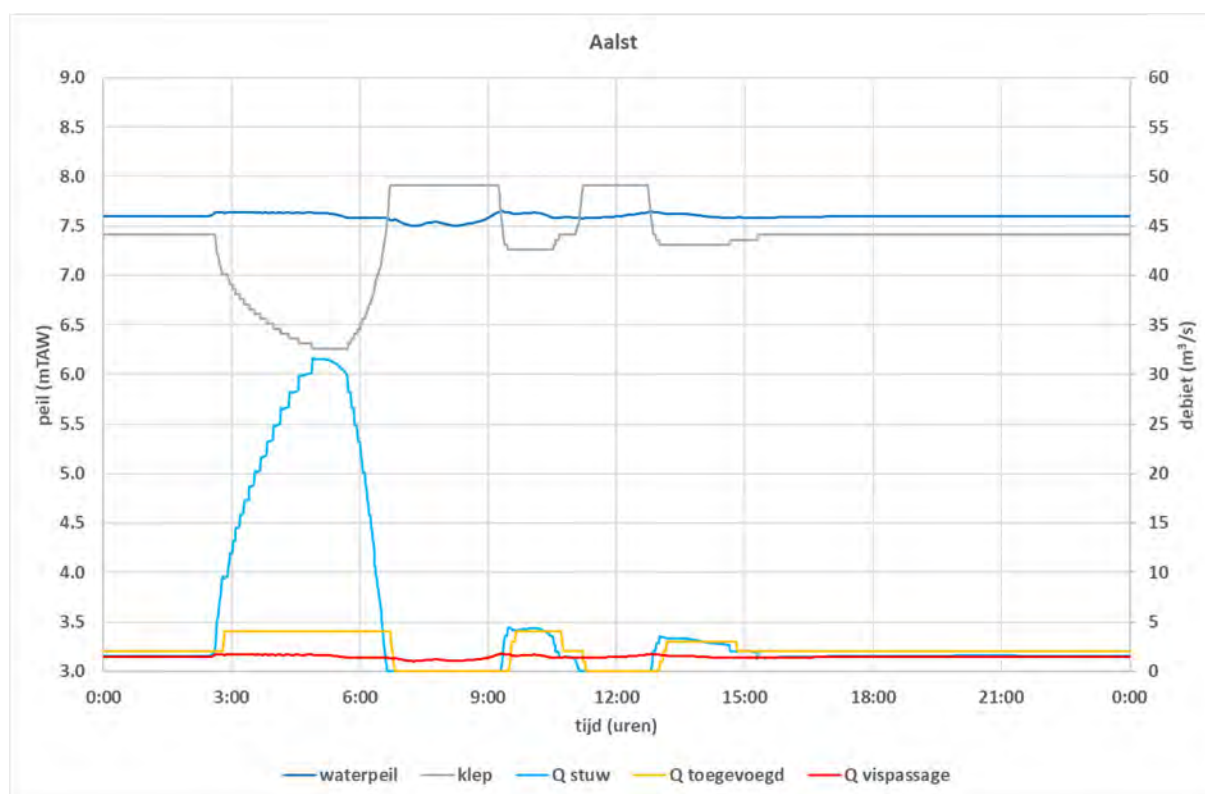
Figuur 120 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Idegem (reeks 1)



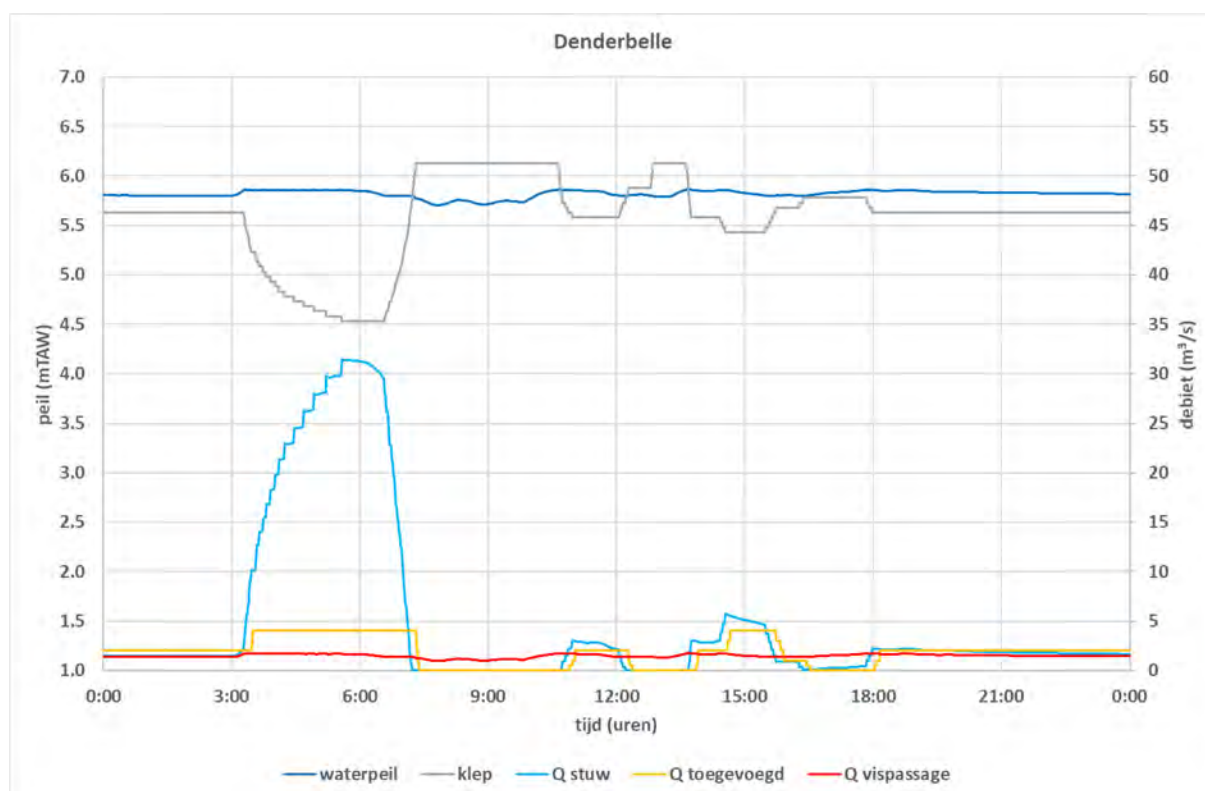
Figuur 121 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Pollare (reeks 1)



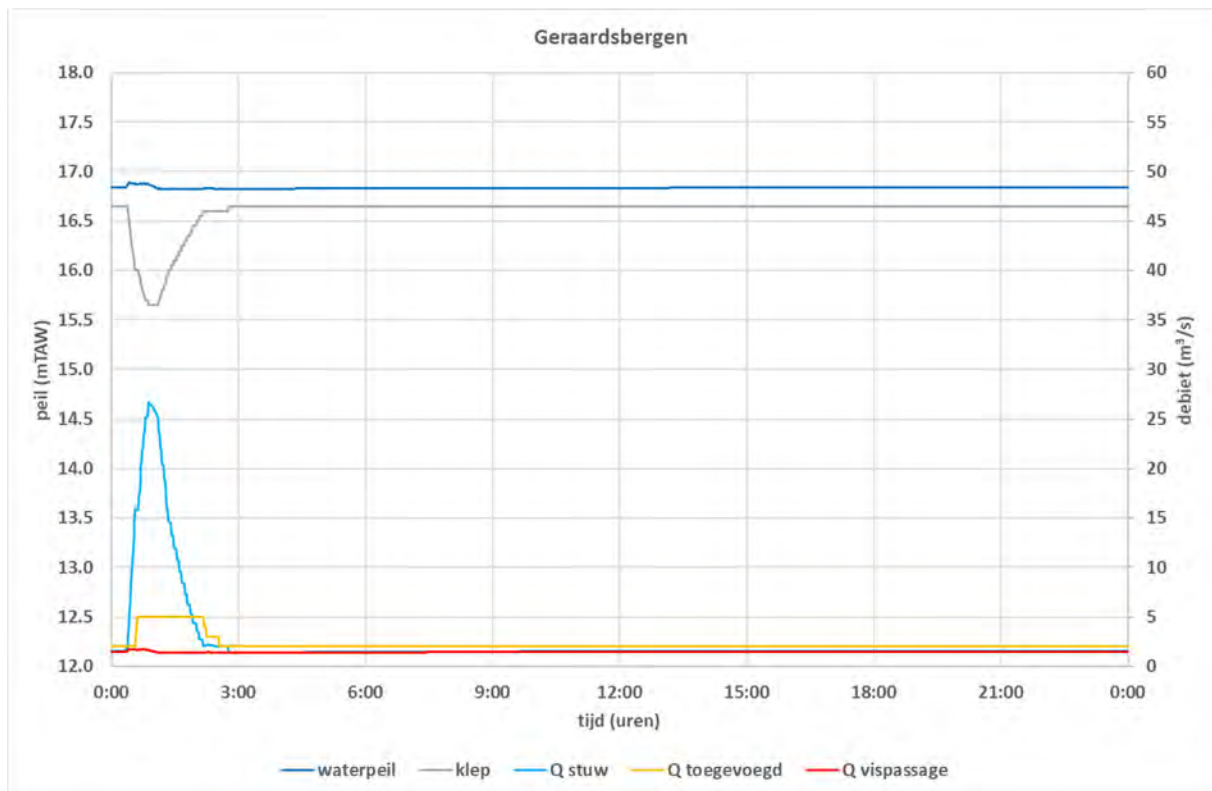
Figuur 122 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderleeuw (reeks 1)



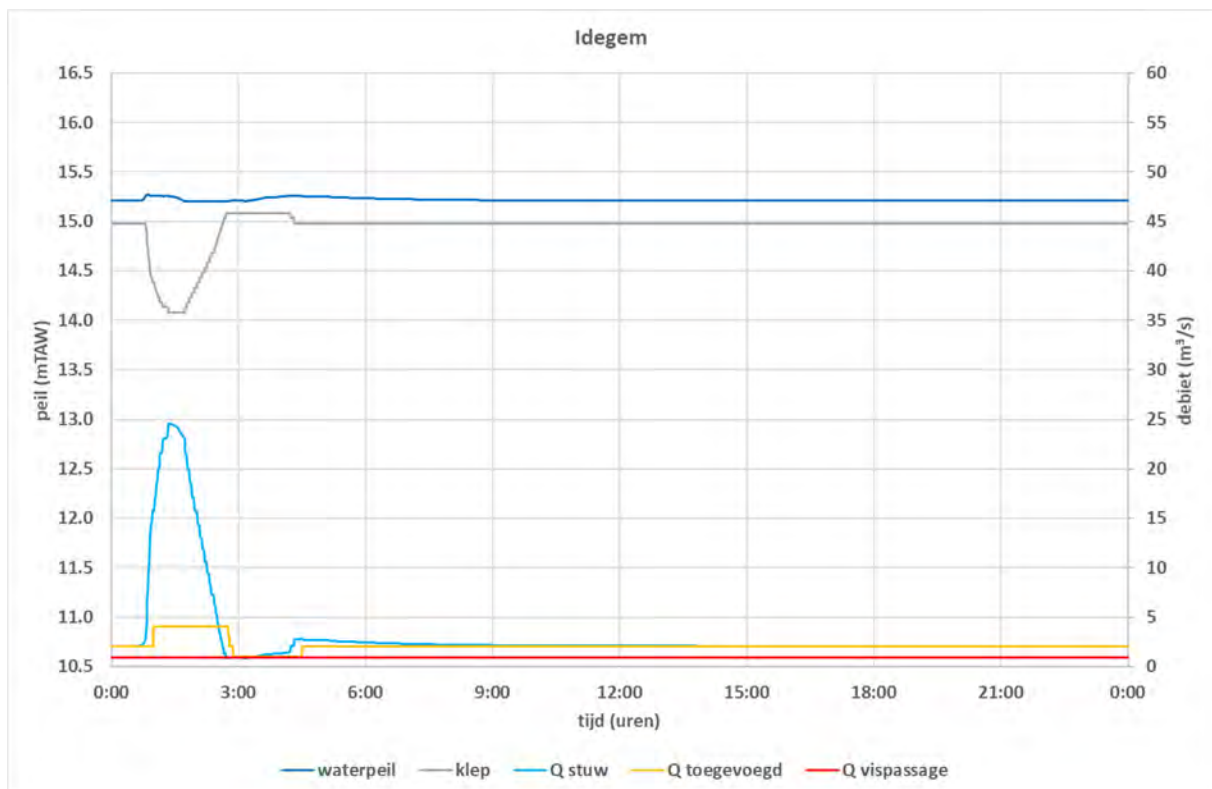
Figuur 123 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Aalst (reeks 1)



Figuur 124 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderbelle (reeks 1)



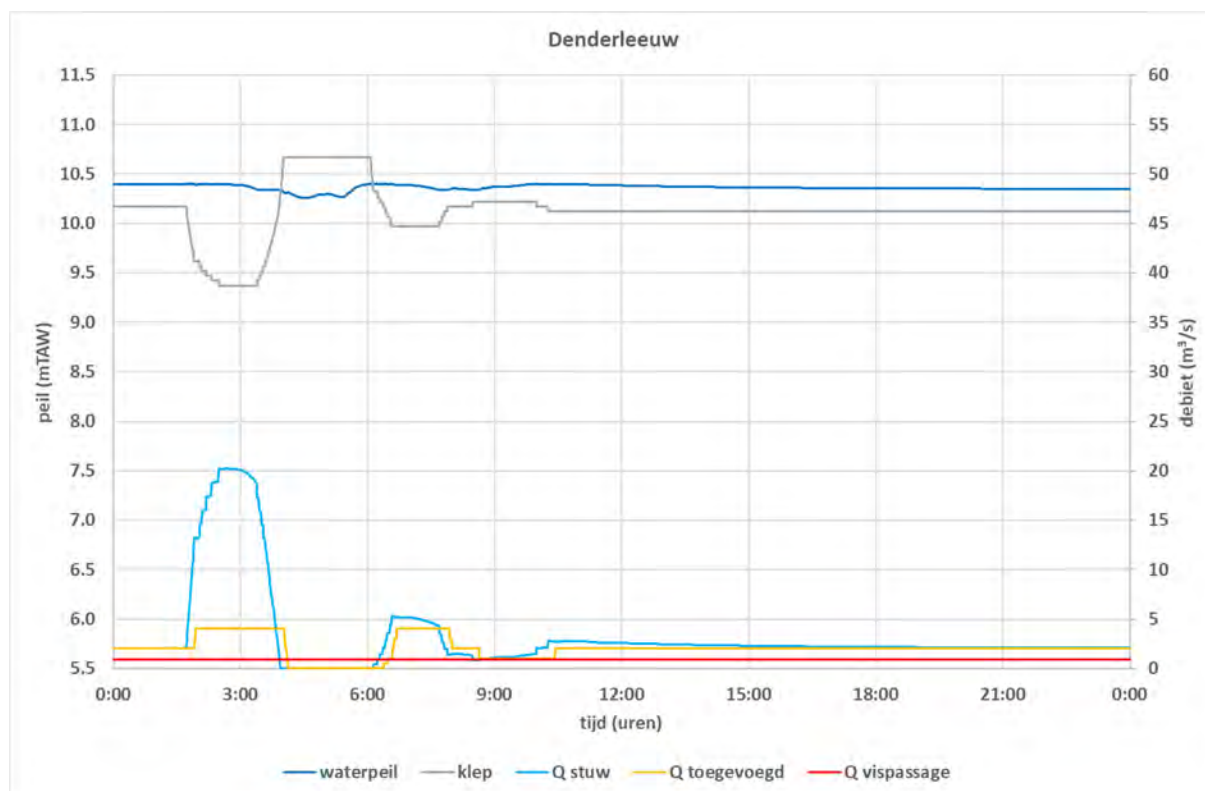
Figuur 125 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Geraardsbergen (reeks 1)



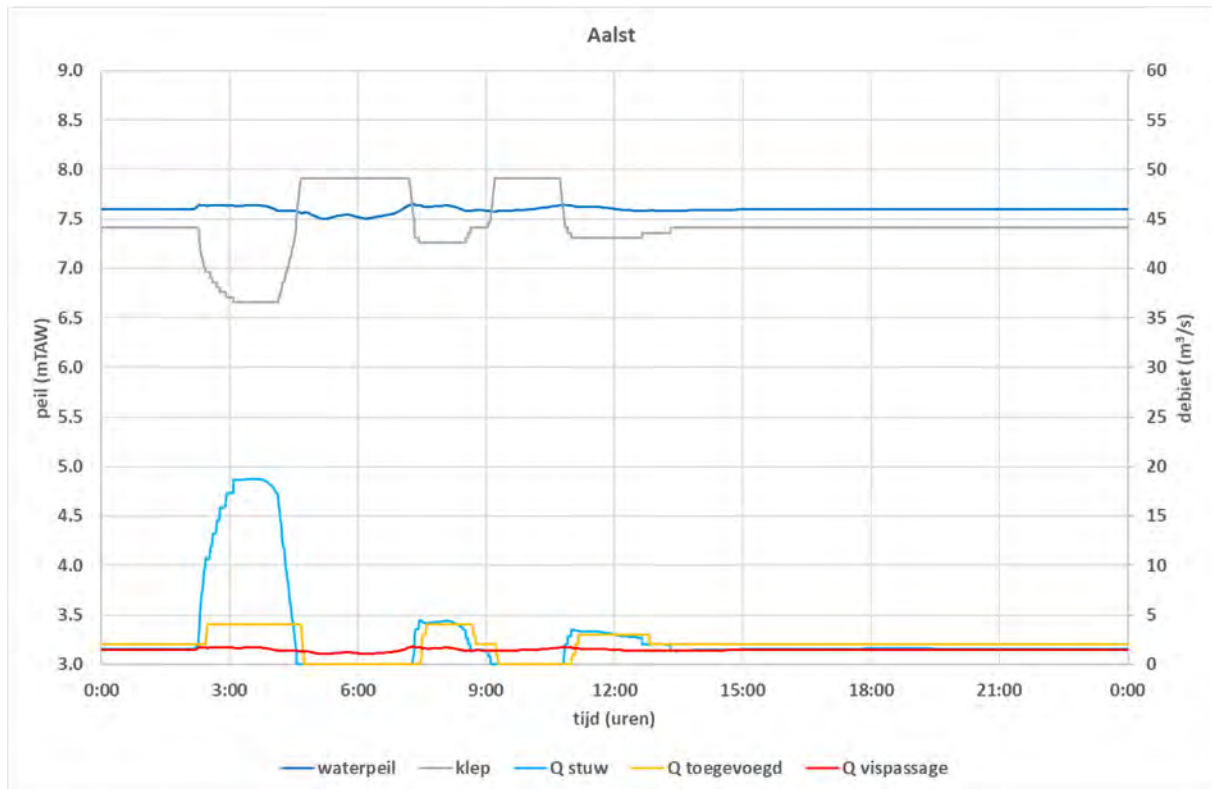
Figuur 126 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Idegem (reeks 1)



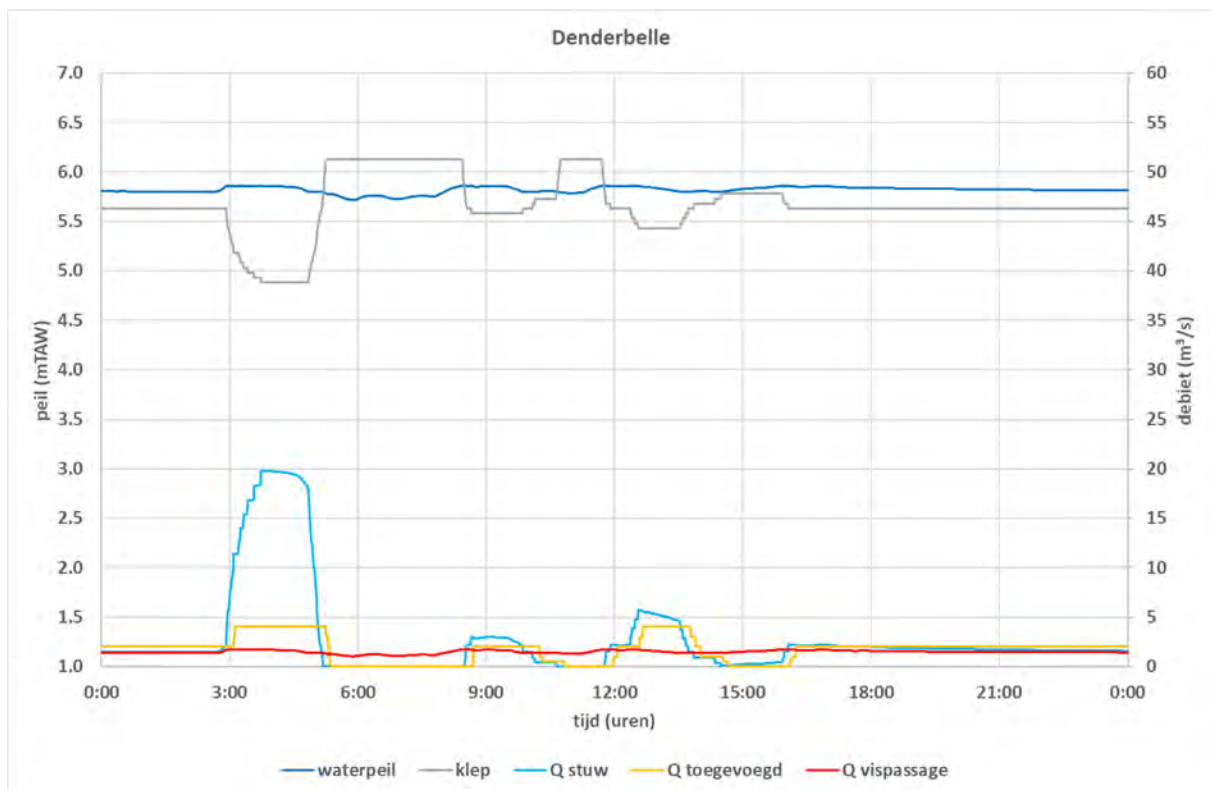
Figuur 127 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Pollare (reeks 1)



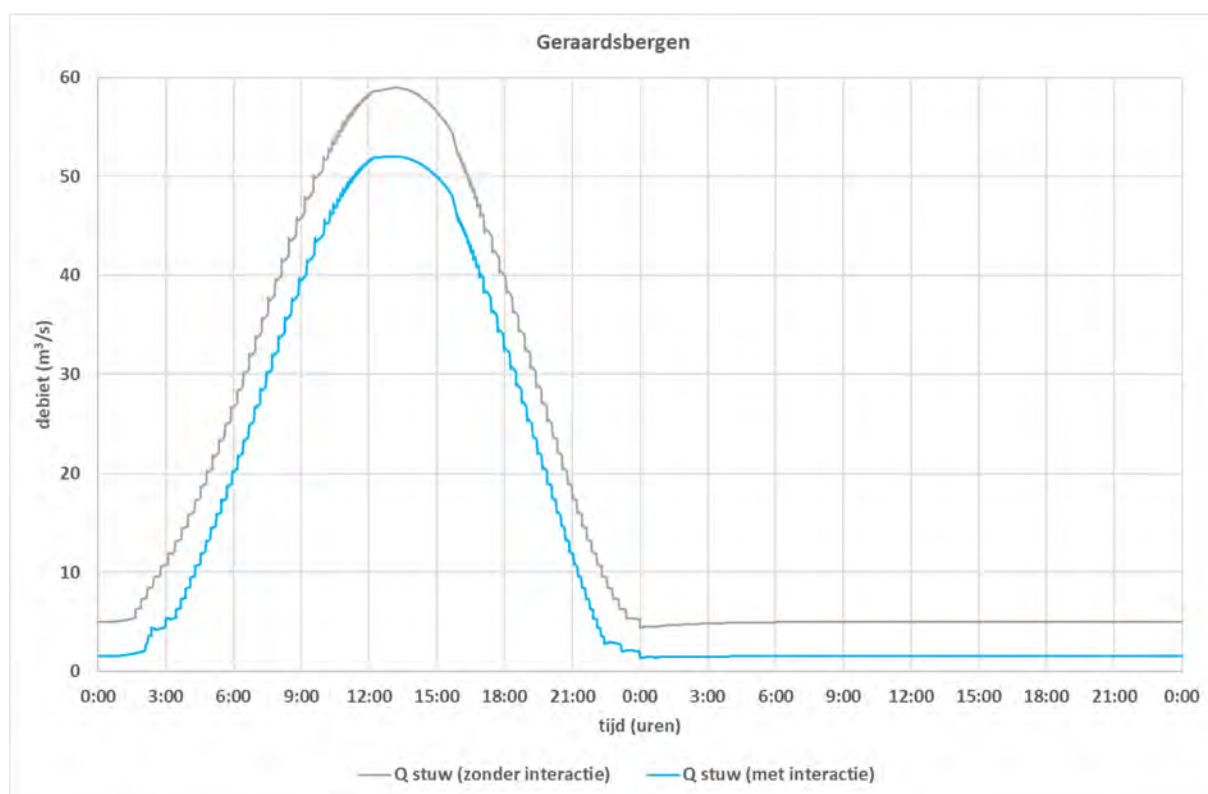
Figuur 128 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderleeuw (reeks 1)



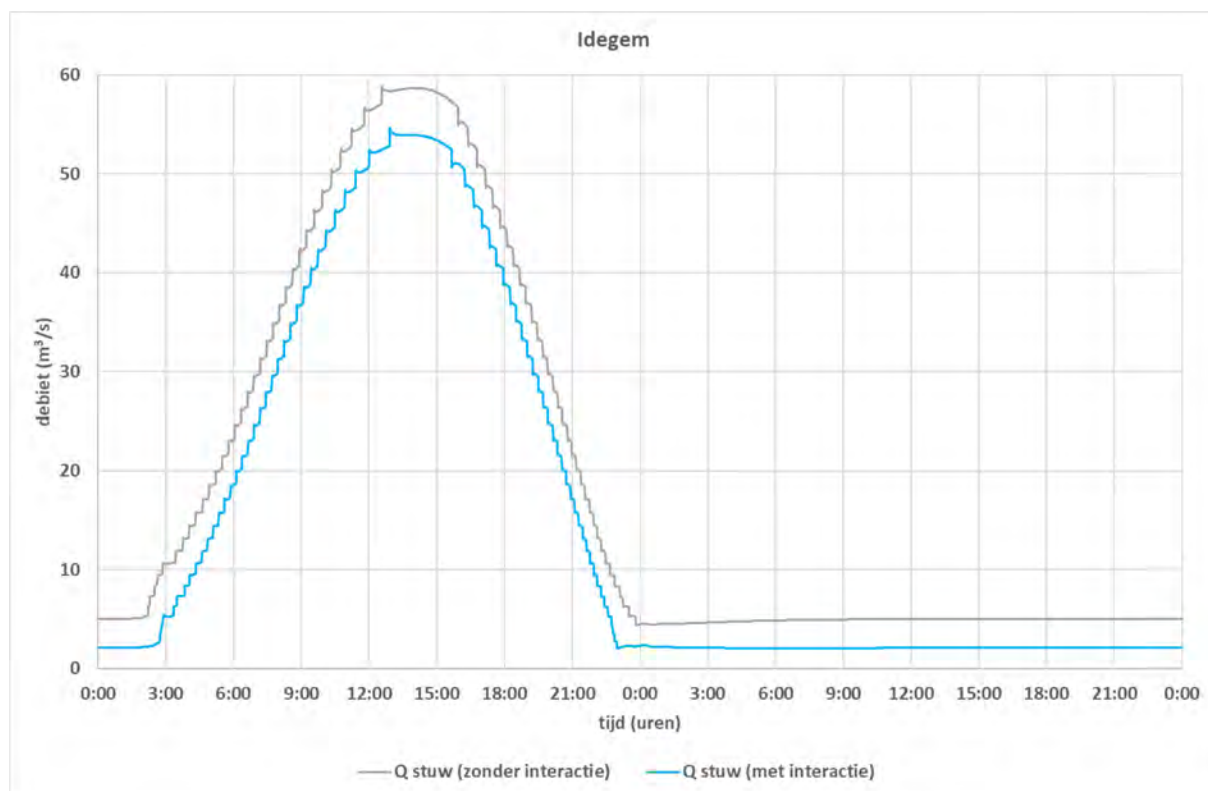
Figuur 129 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 1 uur - Aalst (reeks 1)



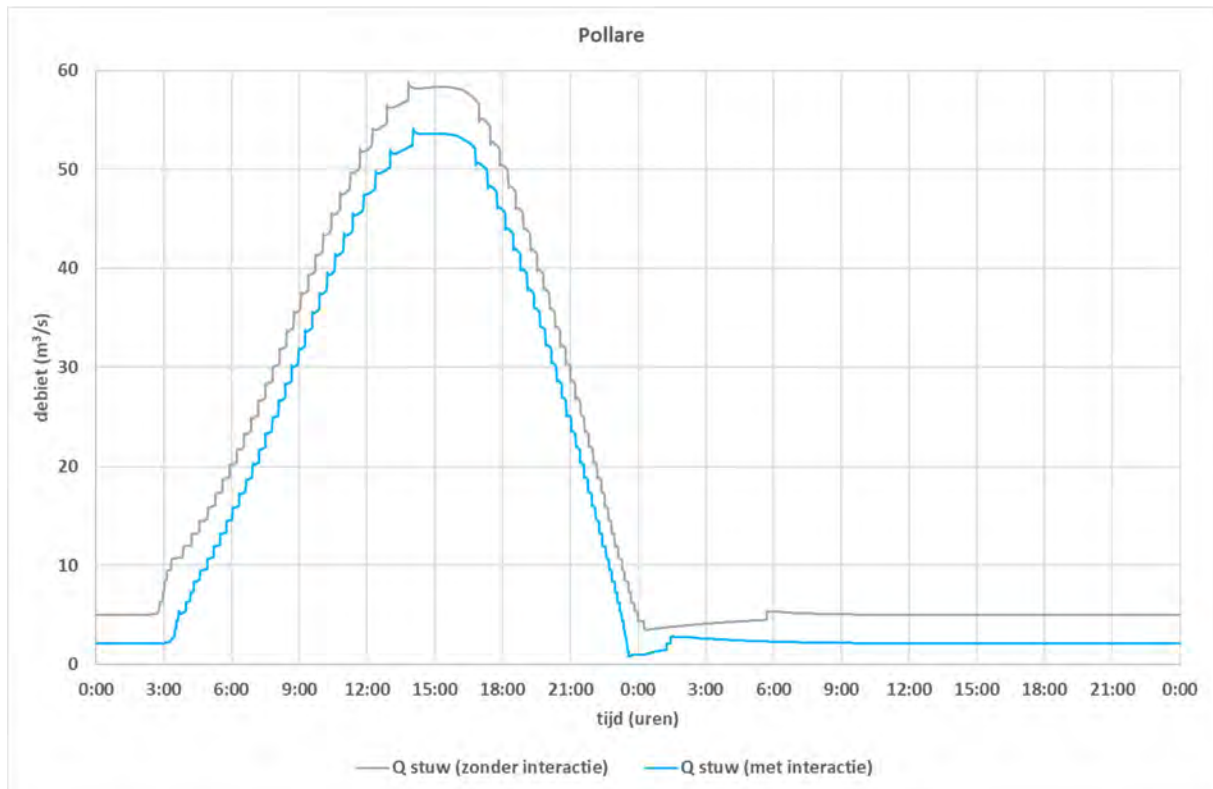
Figuur 130 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderbelle (reeks 1)



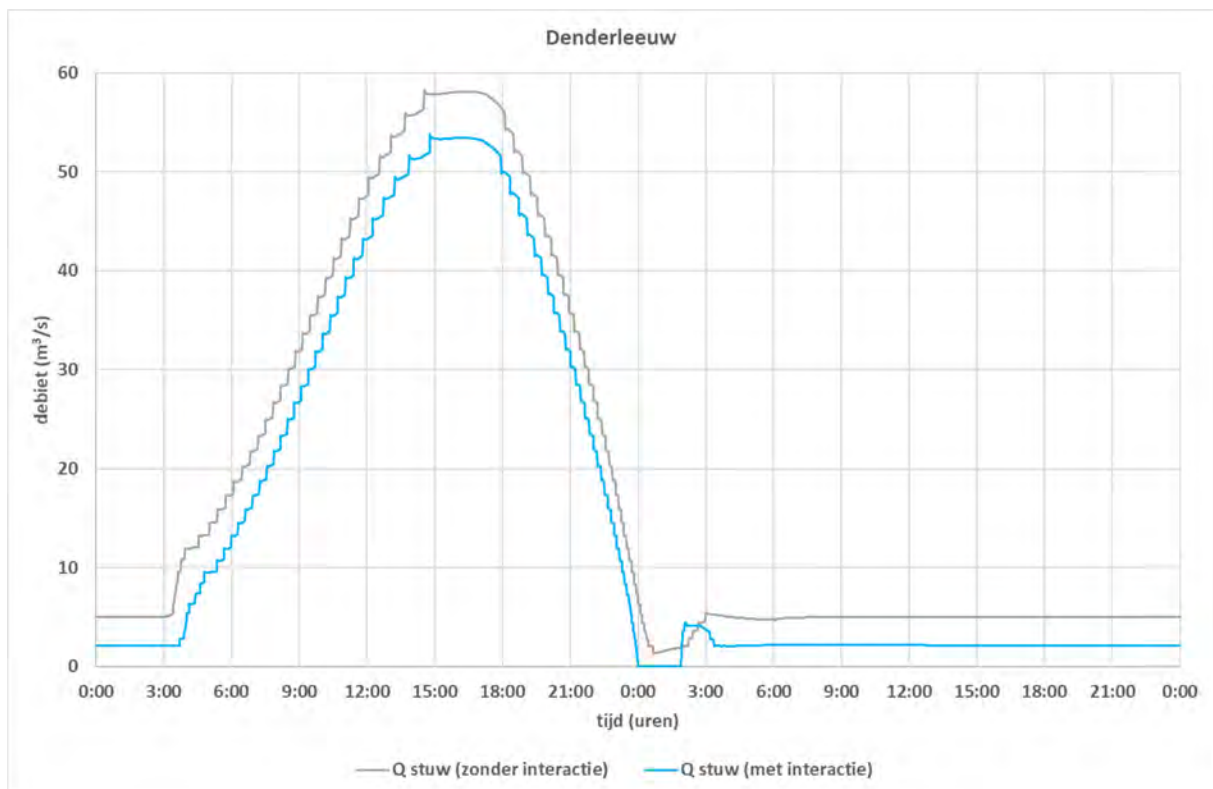
Figuur 131 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Geraardsbergen (reeks 2)



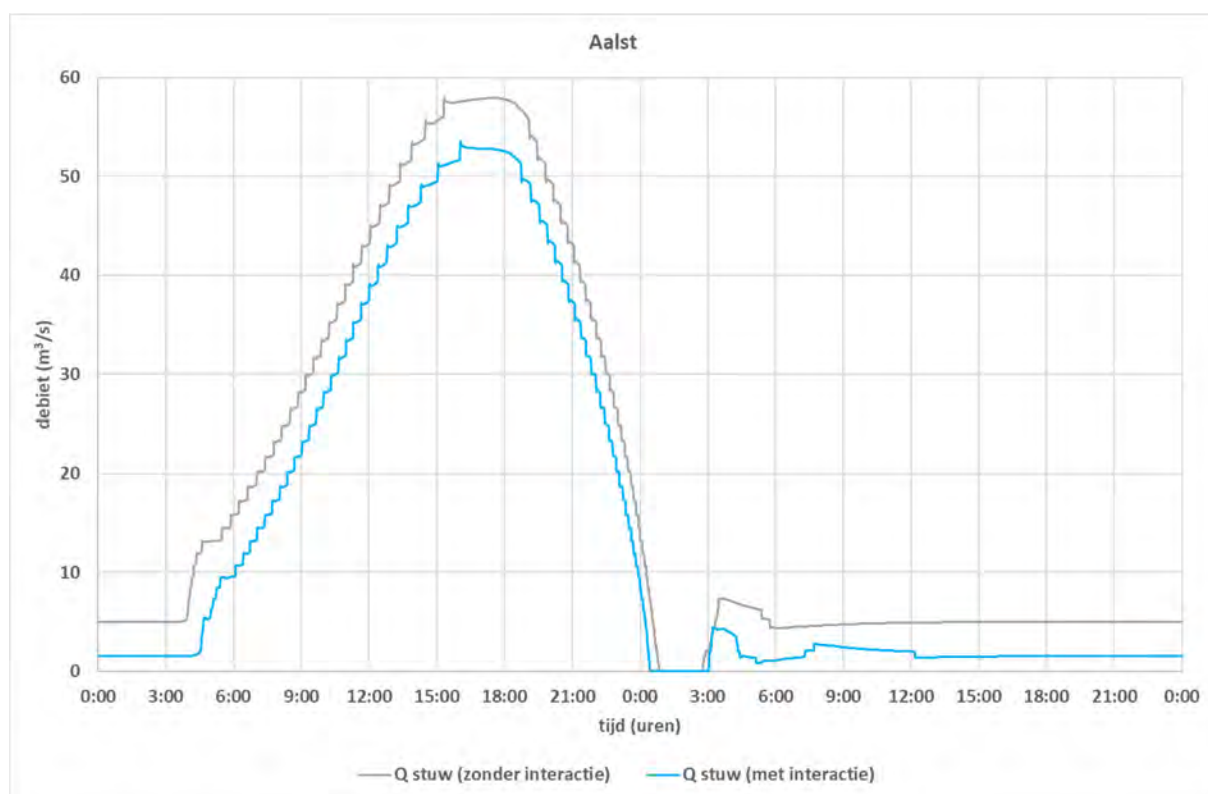
Figuur 132 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Idegem (reeks 2)



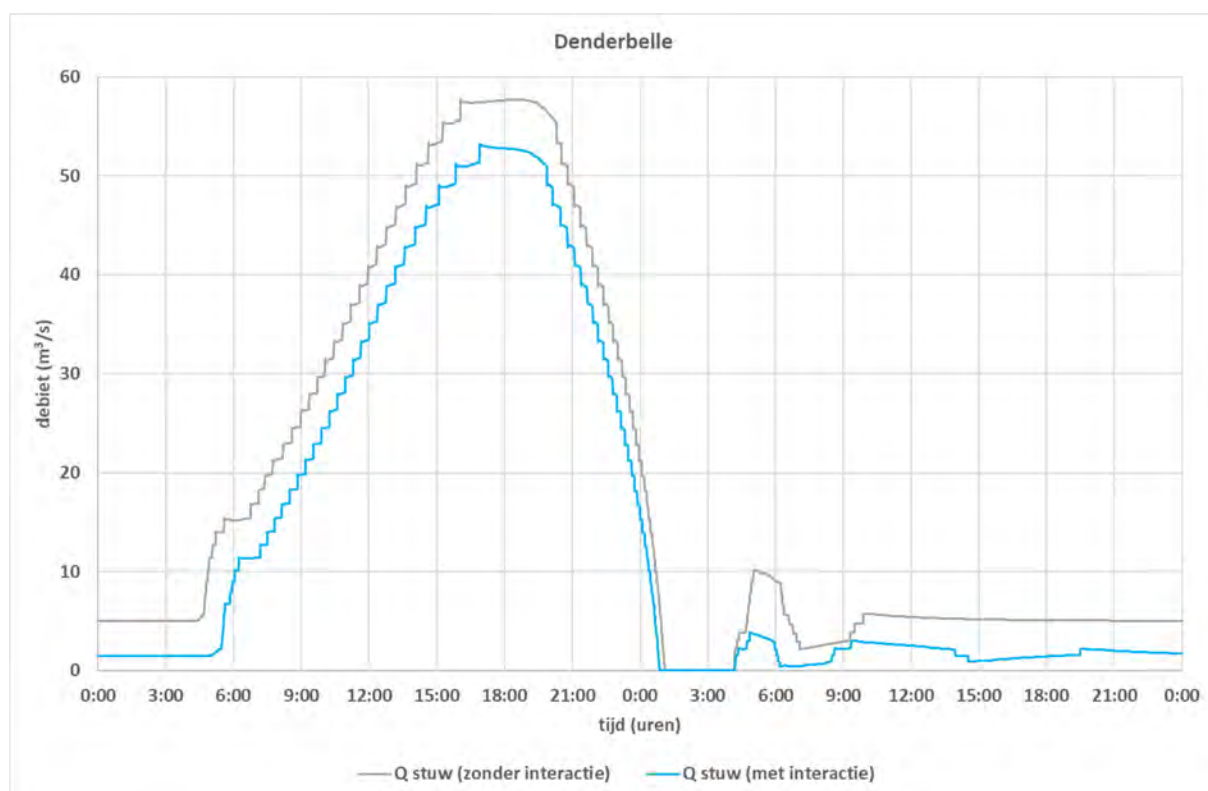
Figuur 133 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Pollare (reeks 2)



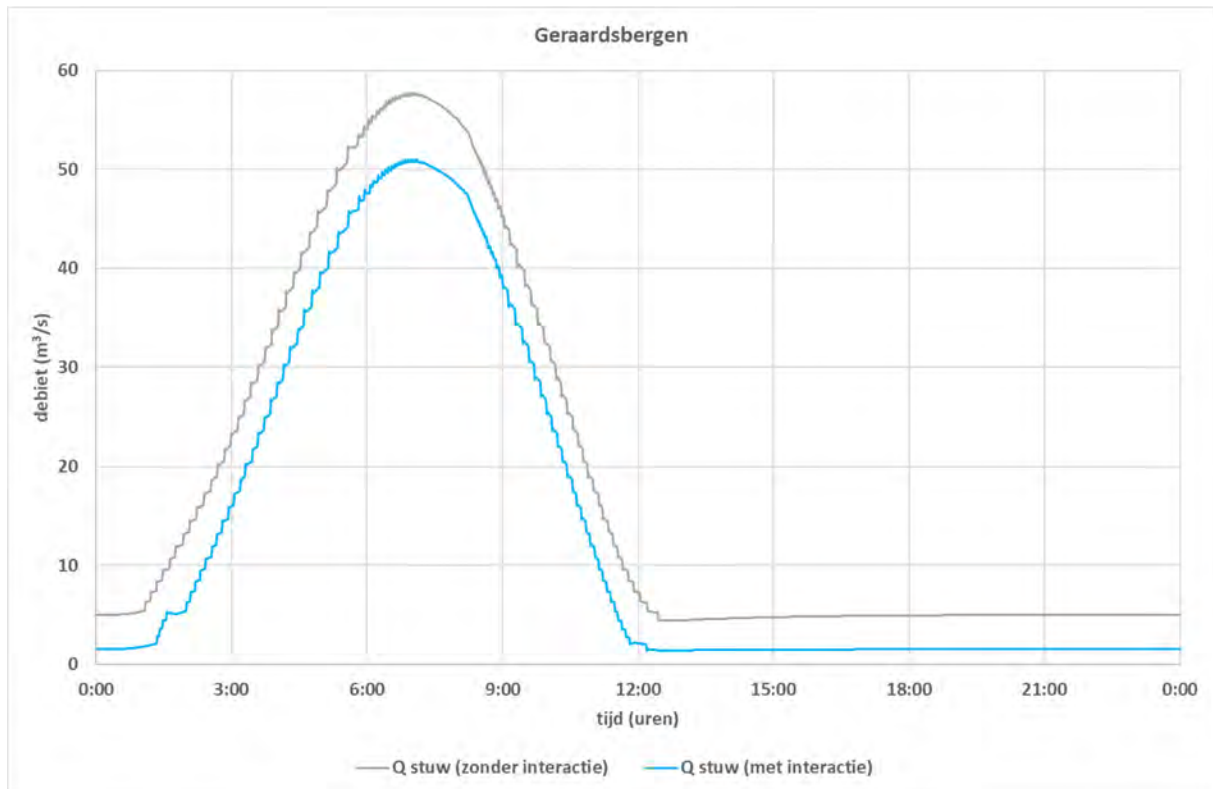
Figuur 134 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderleeuw (reeks 2)



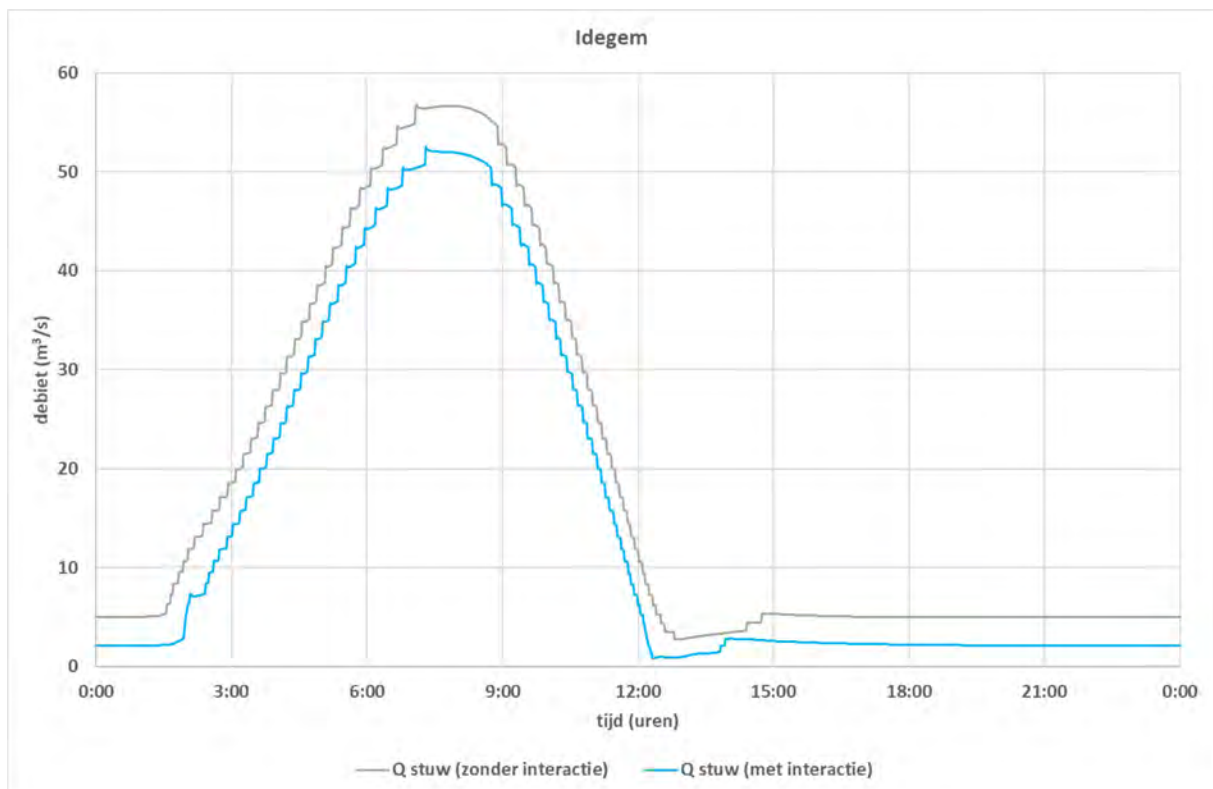
Figuur 135 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Aalst (reeks 2)



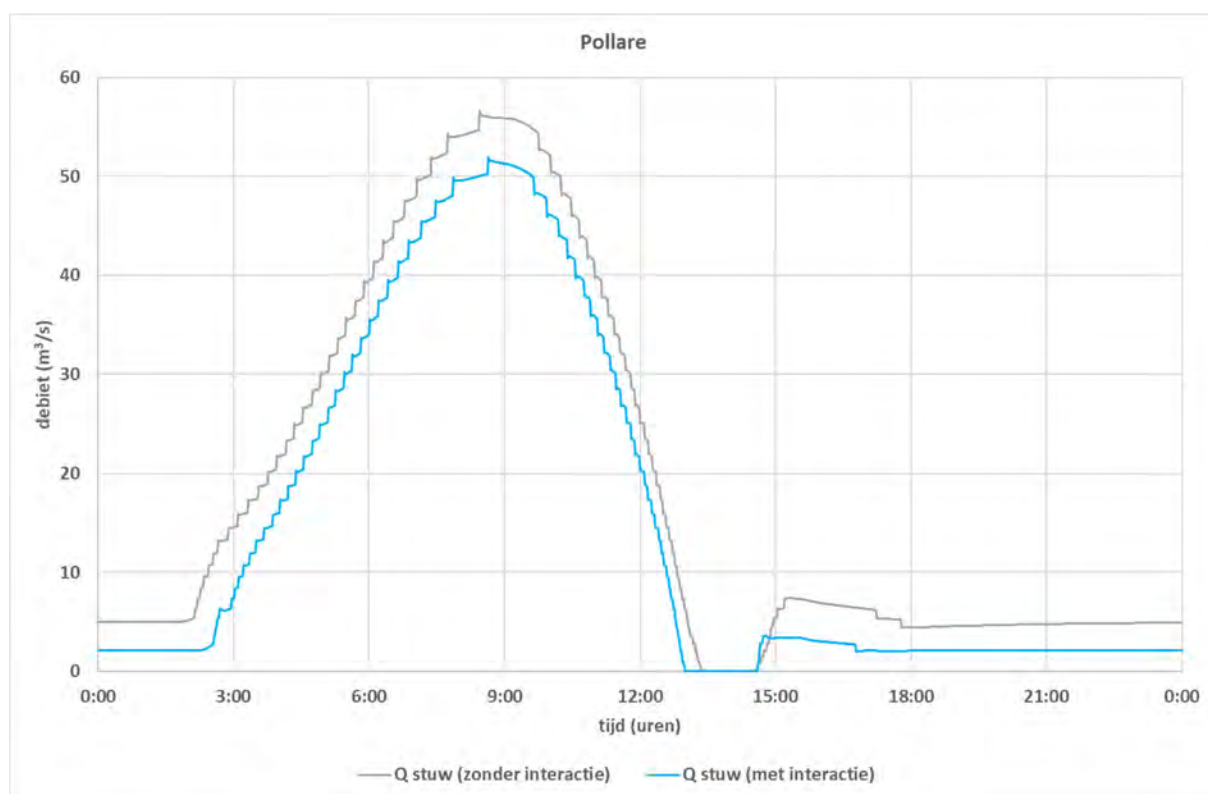
Figuur 136 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 24 uur - Denderbelle (reeks 2)



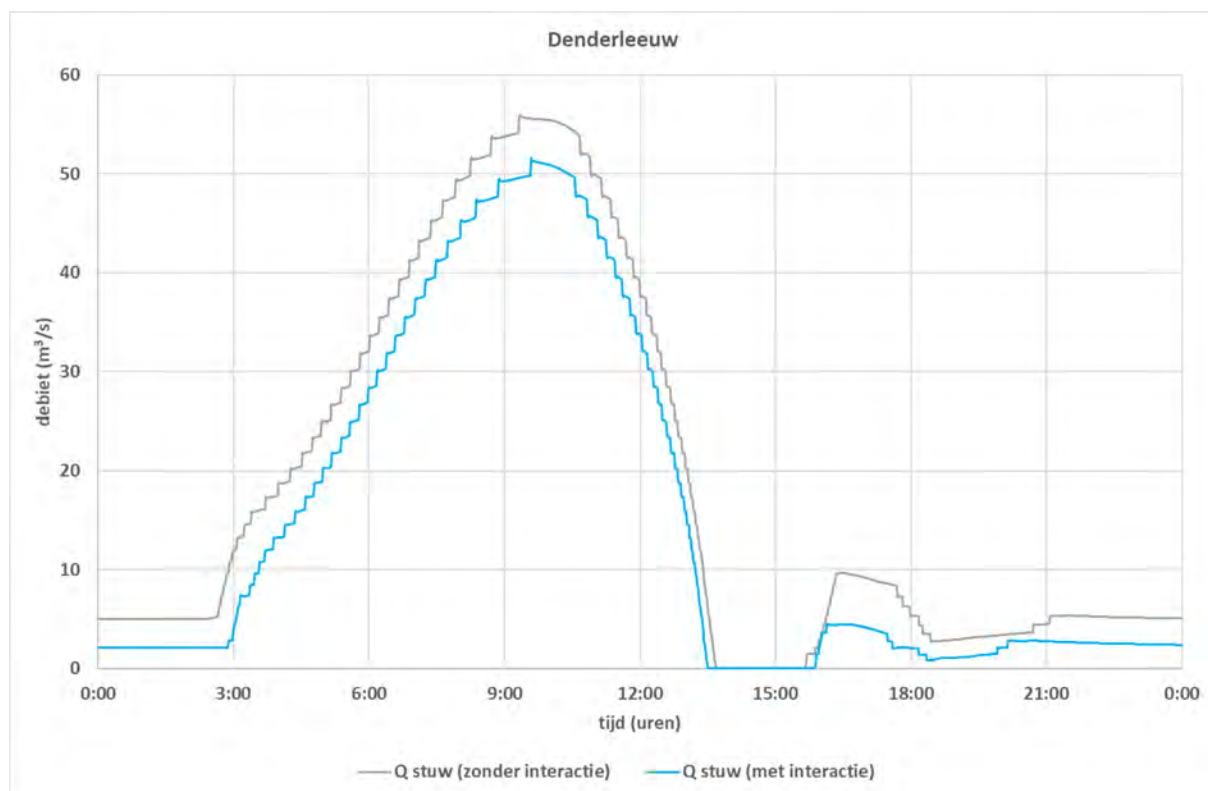
Figuur 137 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Geraardsbergen (reeks 2)



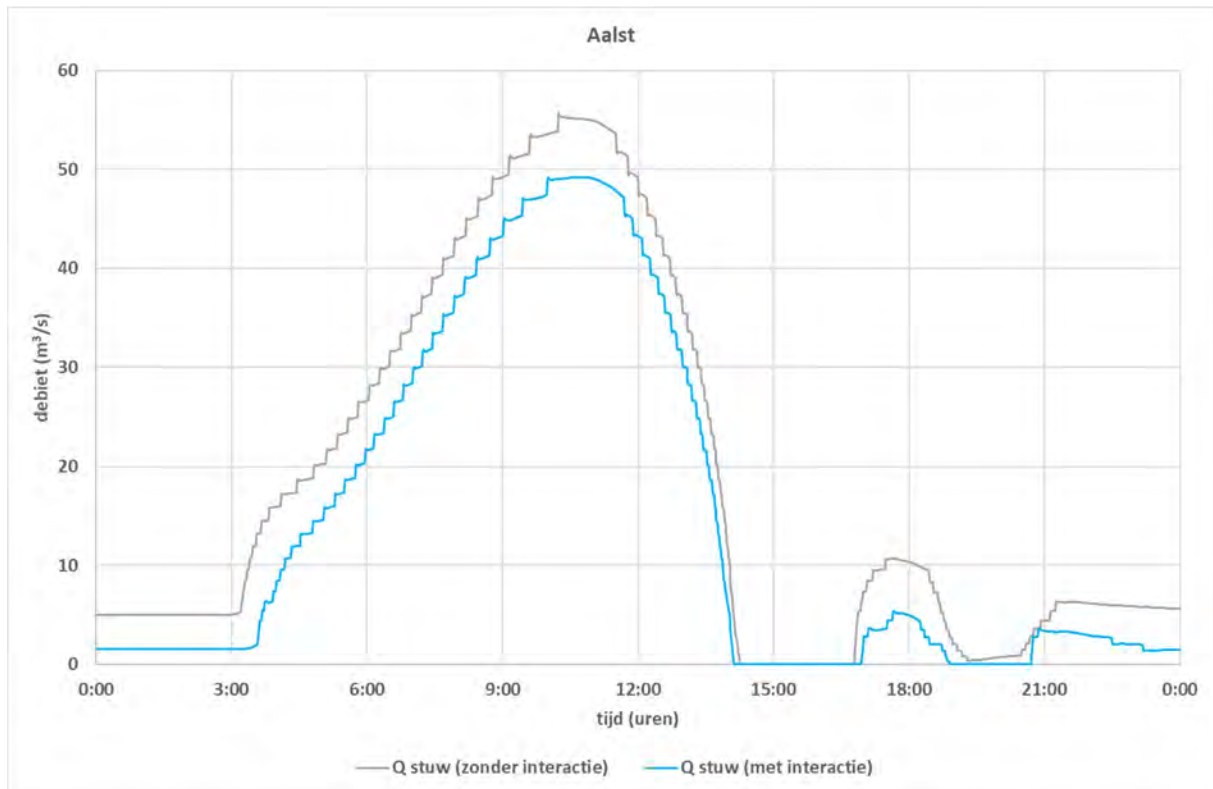
Figuur 138 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Idegem (reeks 2)



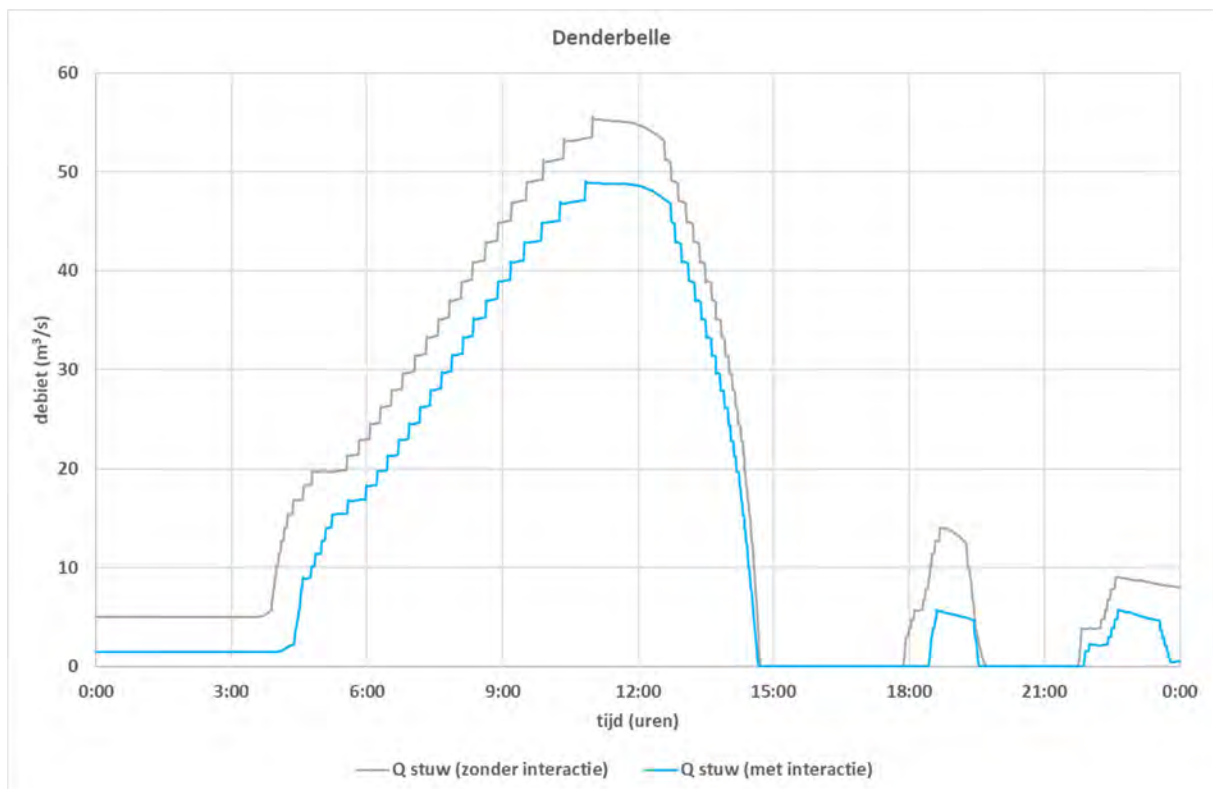
Figuur 139 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Pollare (reeks 2)



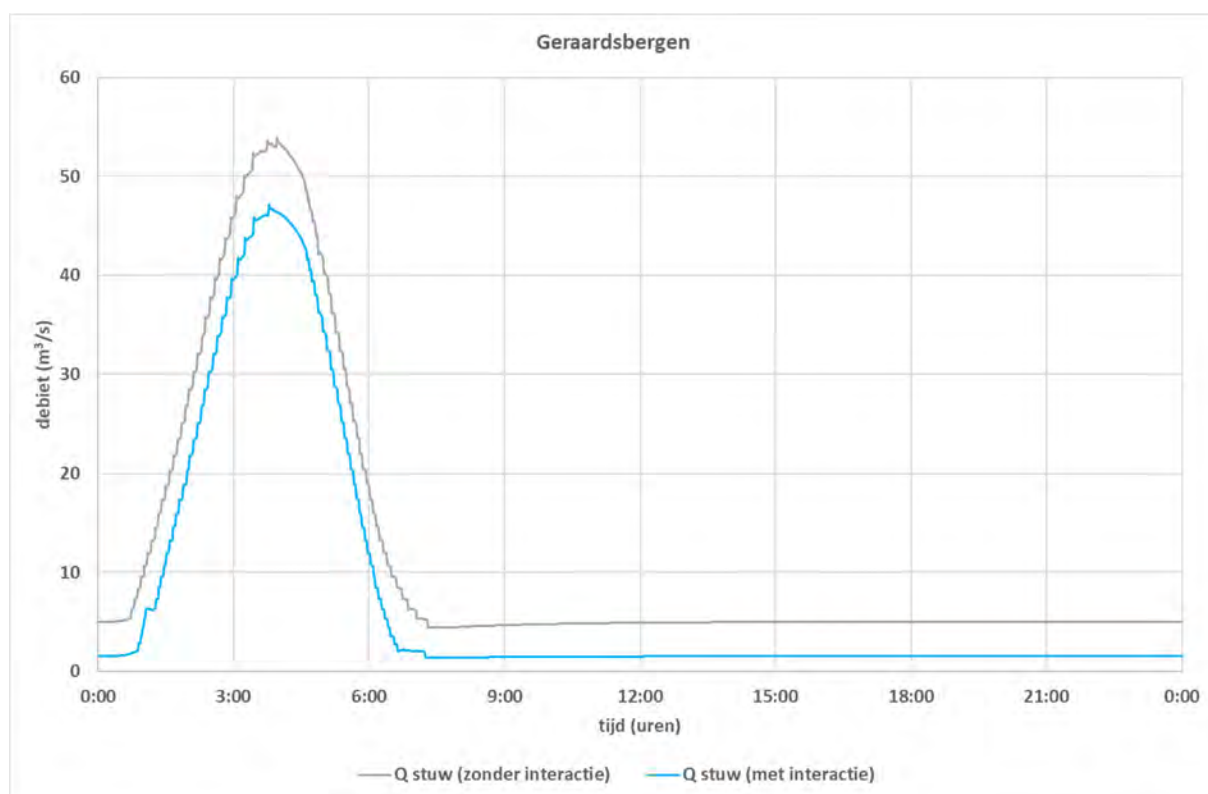
Figuur 140 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderleeuw (reeks 2)



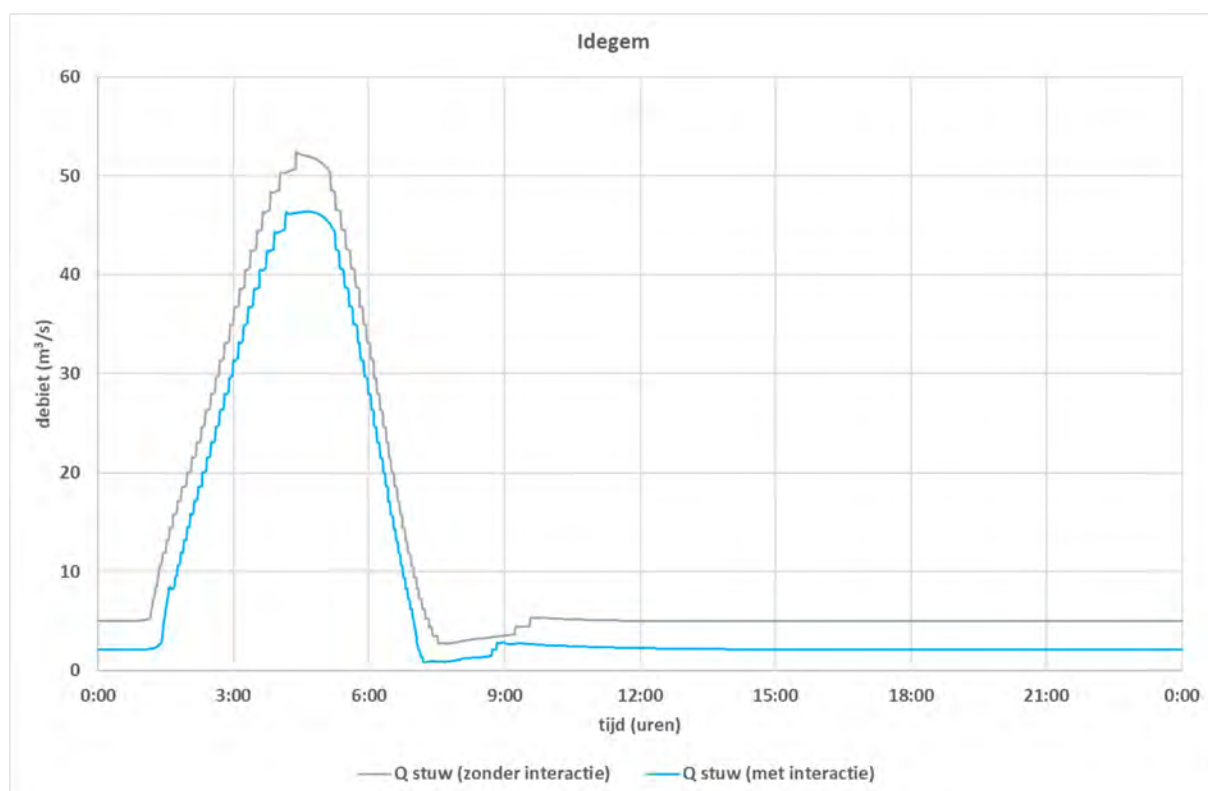
Figuur 141 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Aalst (reeks 2)



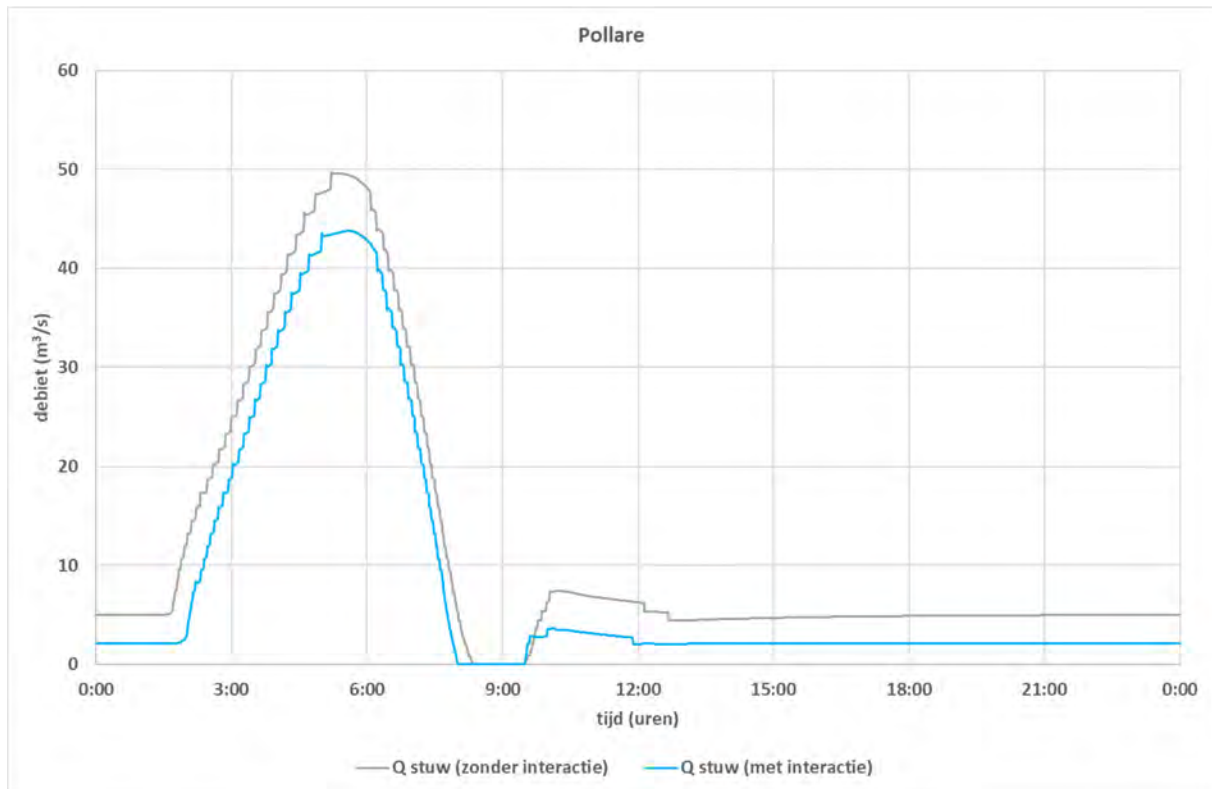
Figuur 142 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 12 uur - Denderbelle (reeks 2)



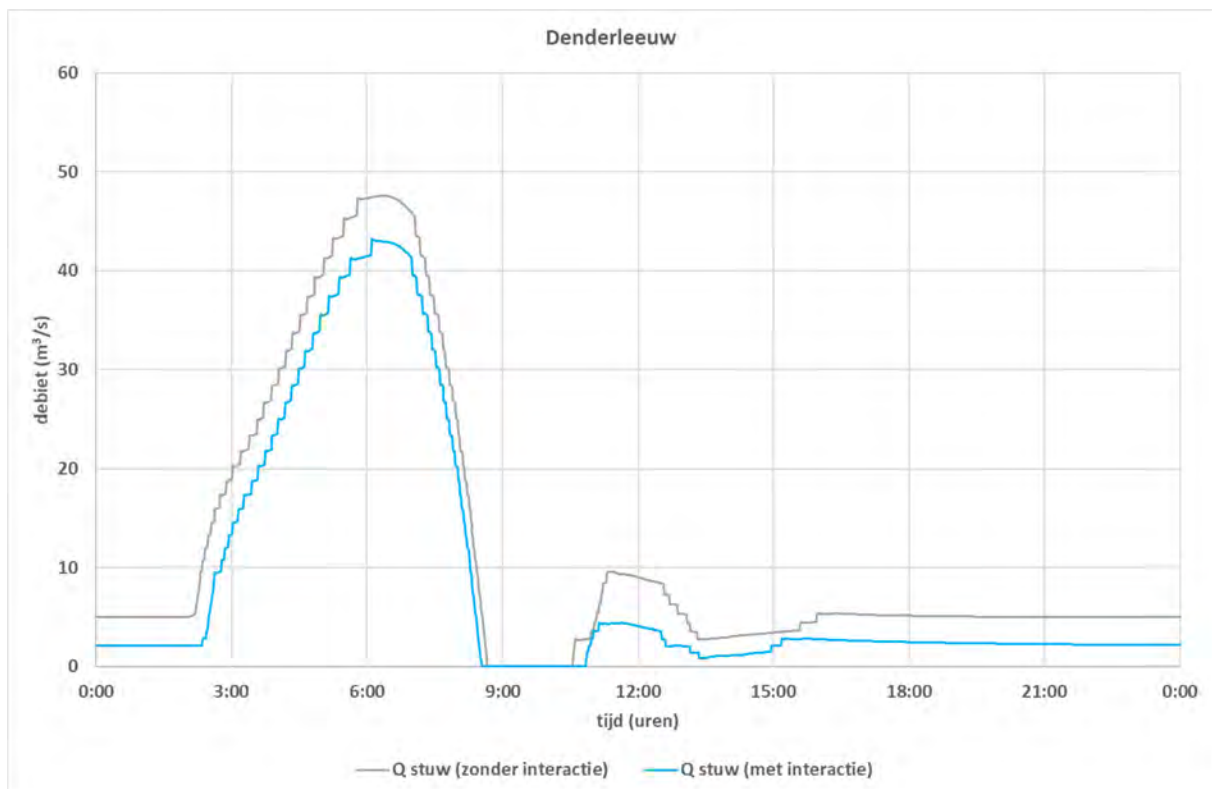
Figuur 143 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 6 uur - Geraardsbergen (reeks 2)



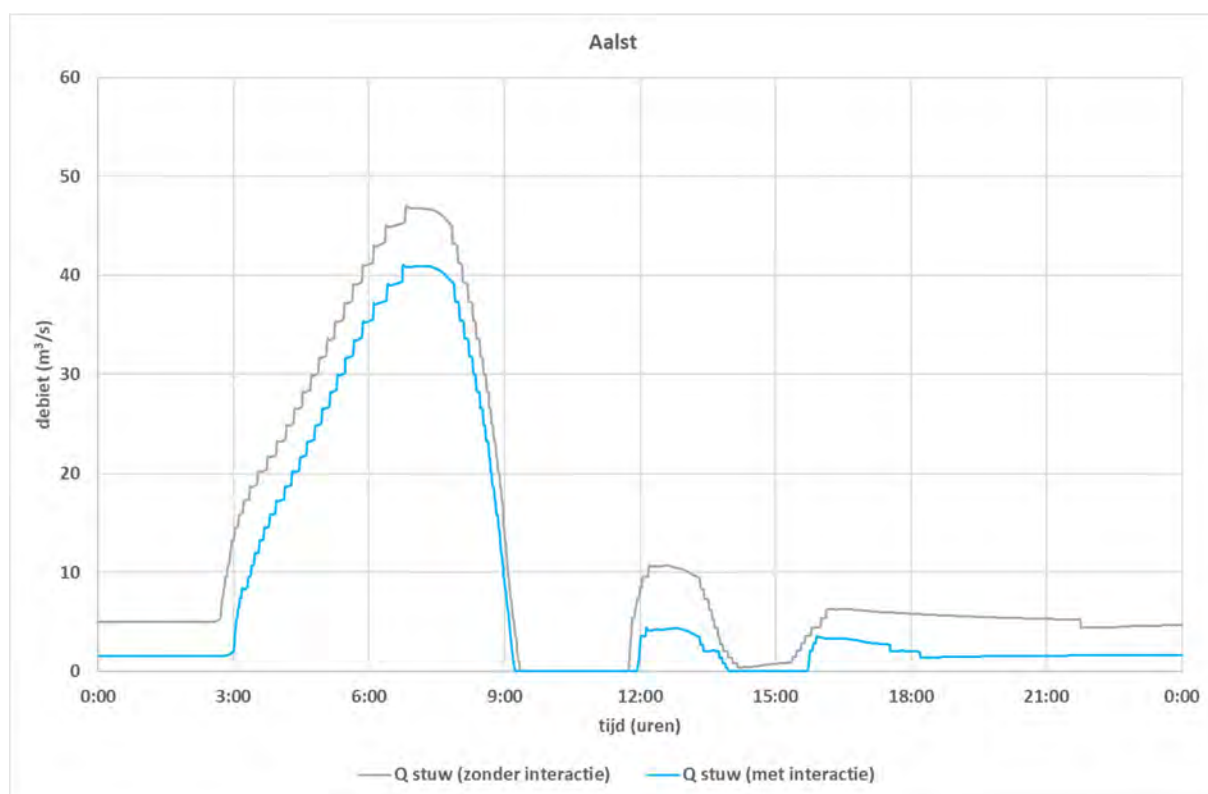
Figuur 144 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 6 uur - Idegem (reeks 2)



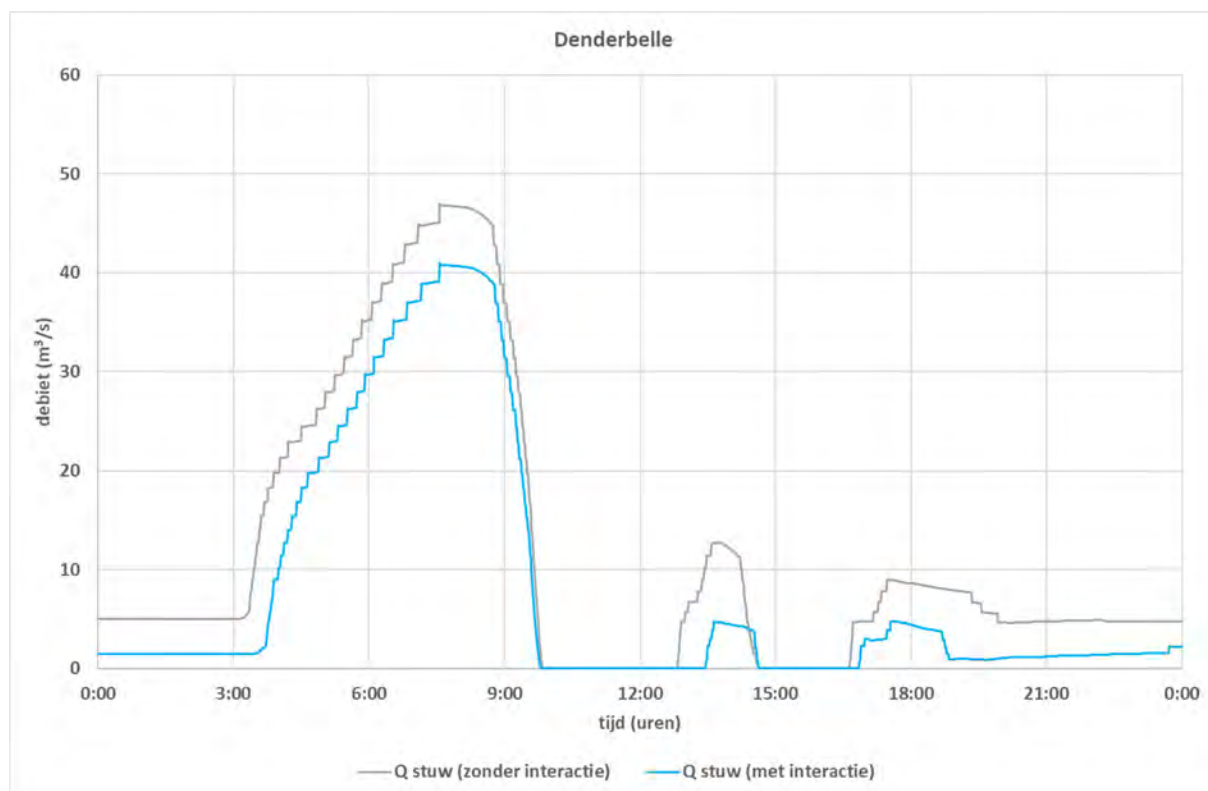
Figuur 145 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Pollare (reeks 2)



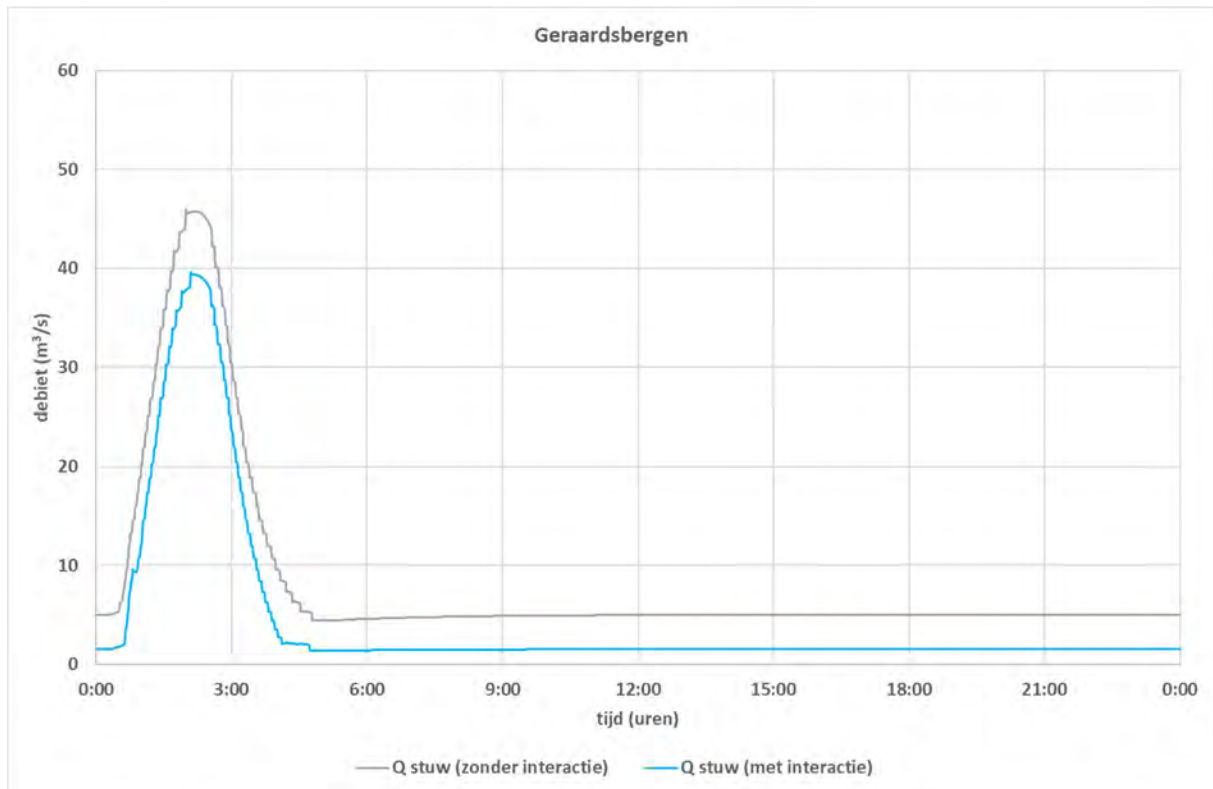
Figuur 146 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderleeuw (reeks 2)



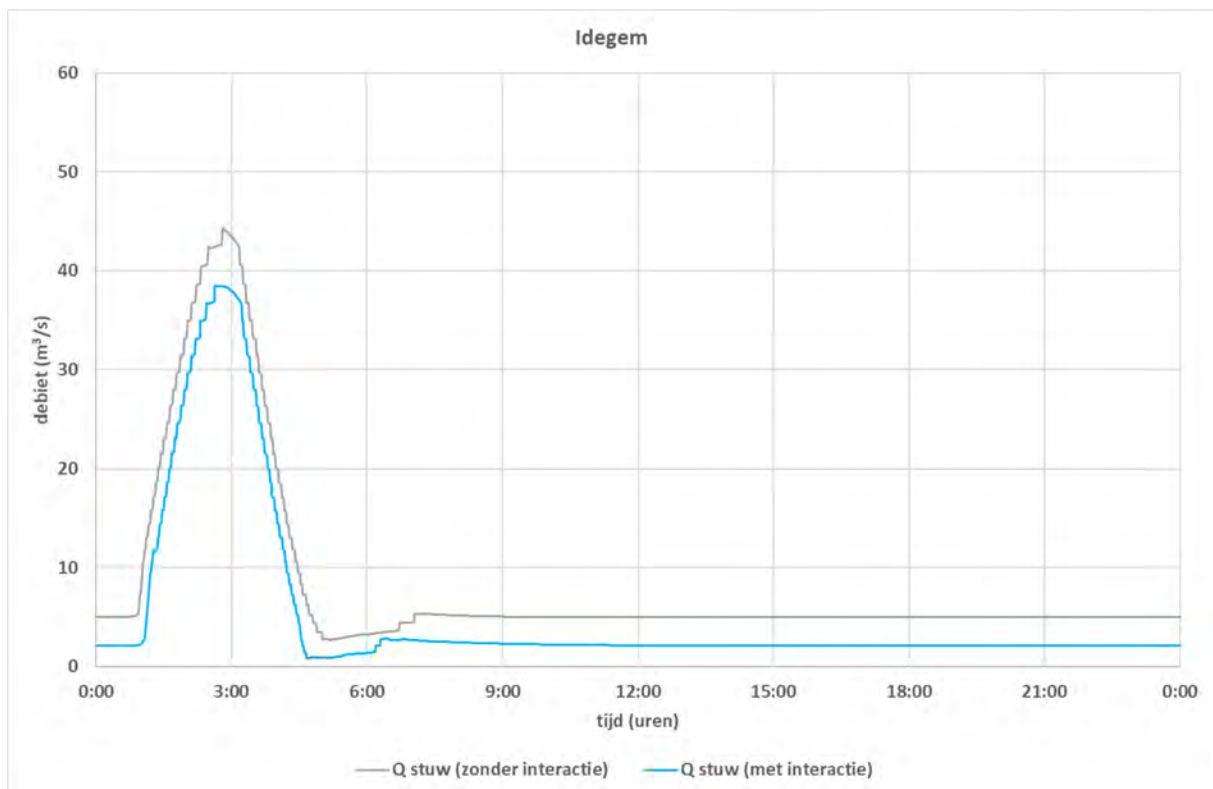
Figuur 147 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Aalst (reeks 2)



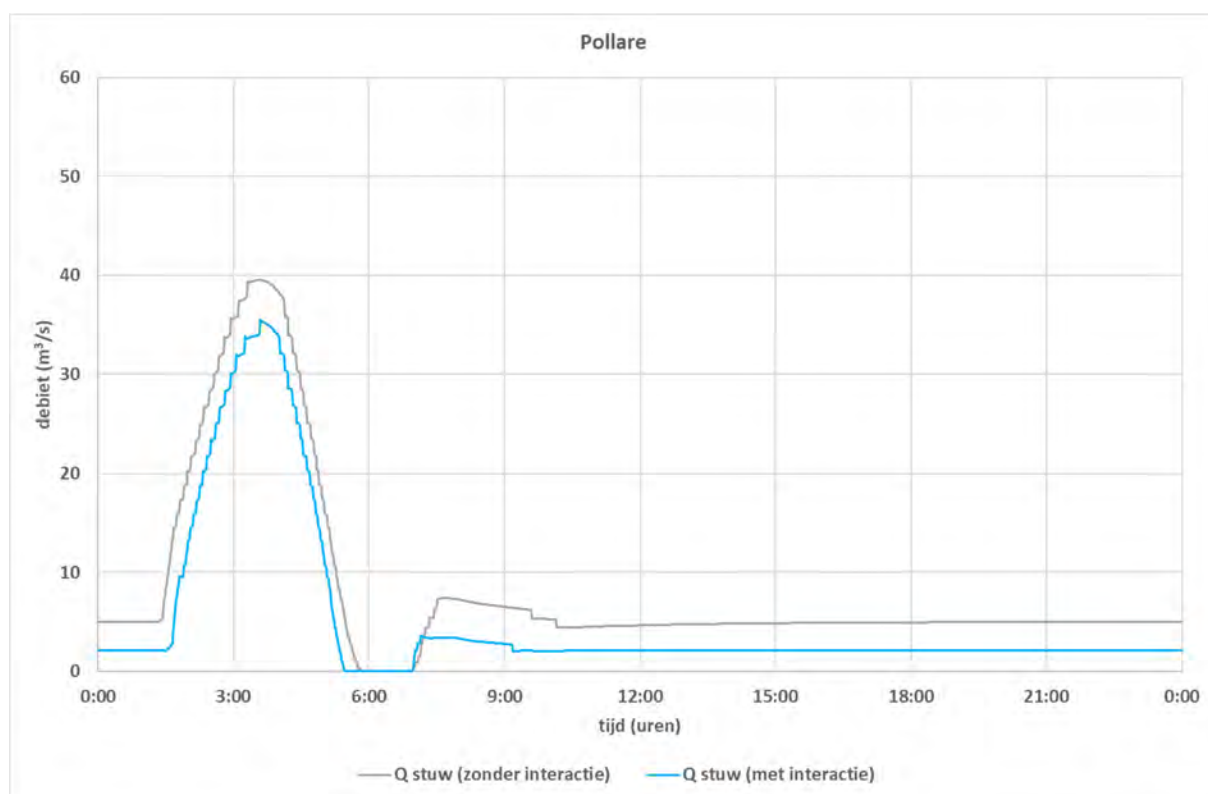
Figuur 148 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 6 uur - Denderbelle (reeks 2)



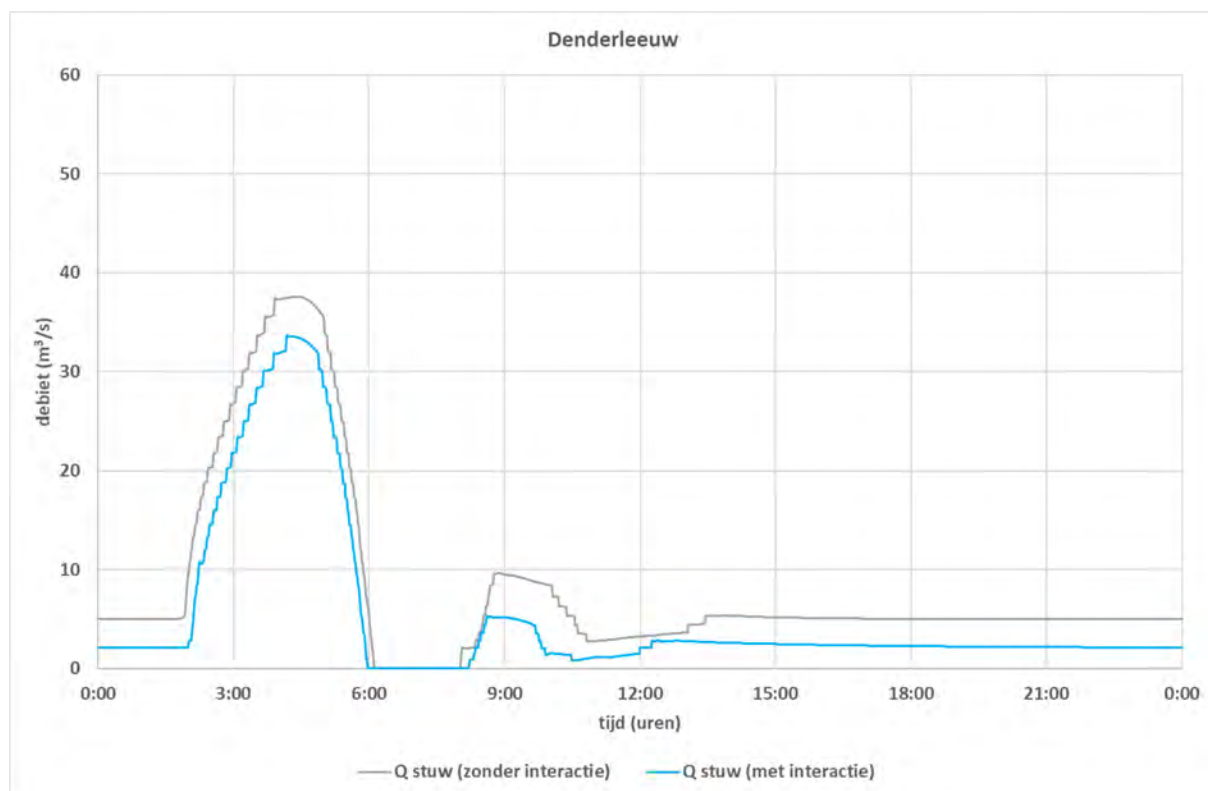
Figuur 149 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Geraardsbergen (reeks 2)



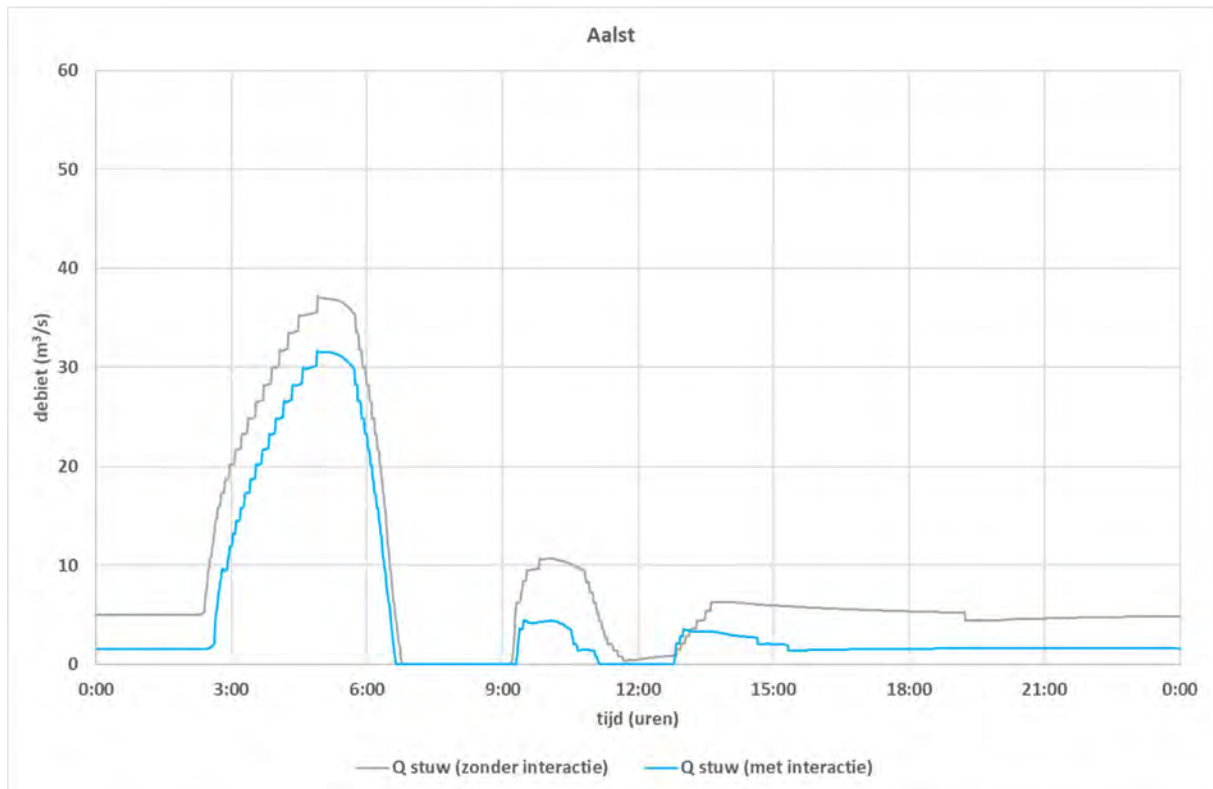
Figuur 150 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Idegem (reeks 2)



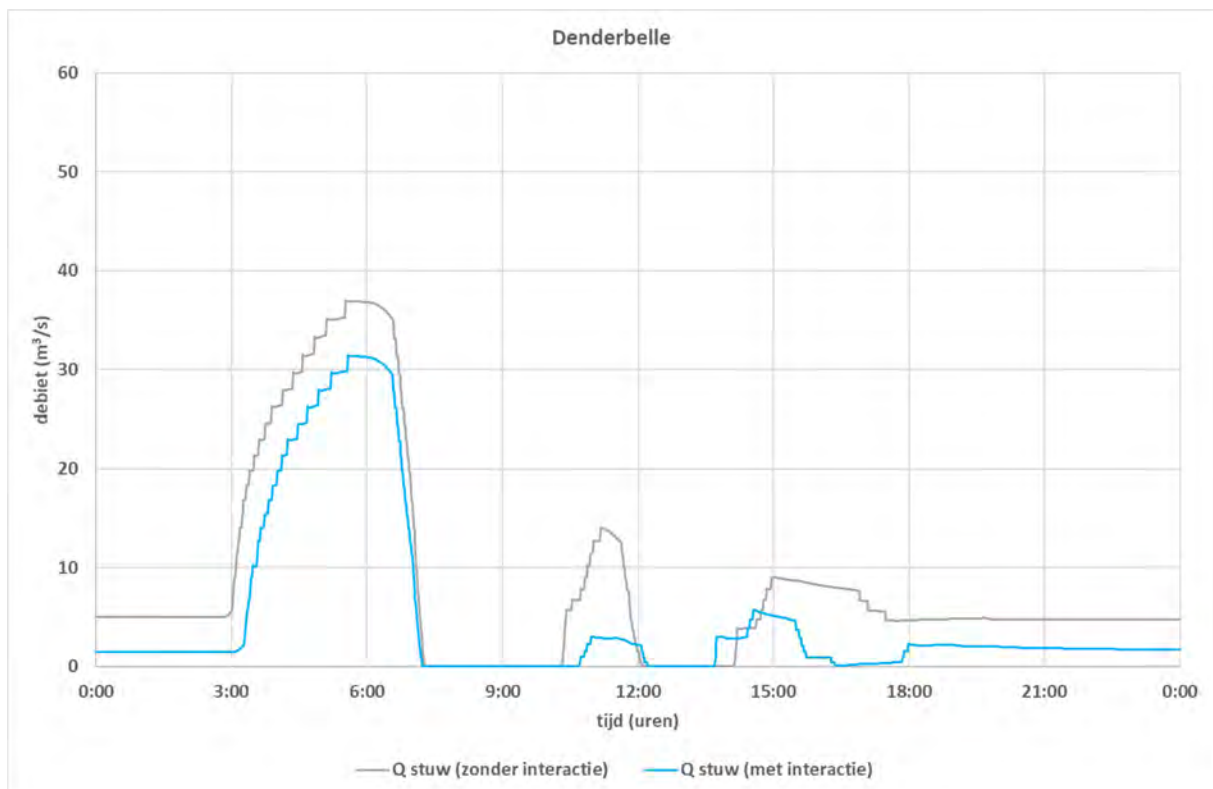
Figuur 151 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Pollare (reeks 2)



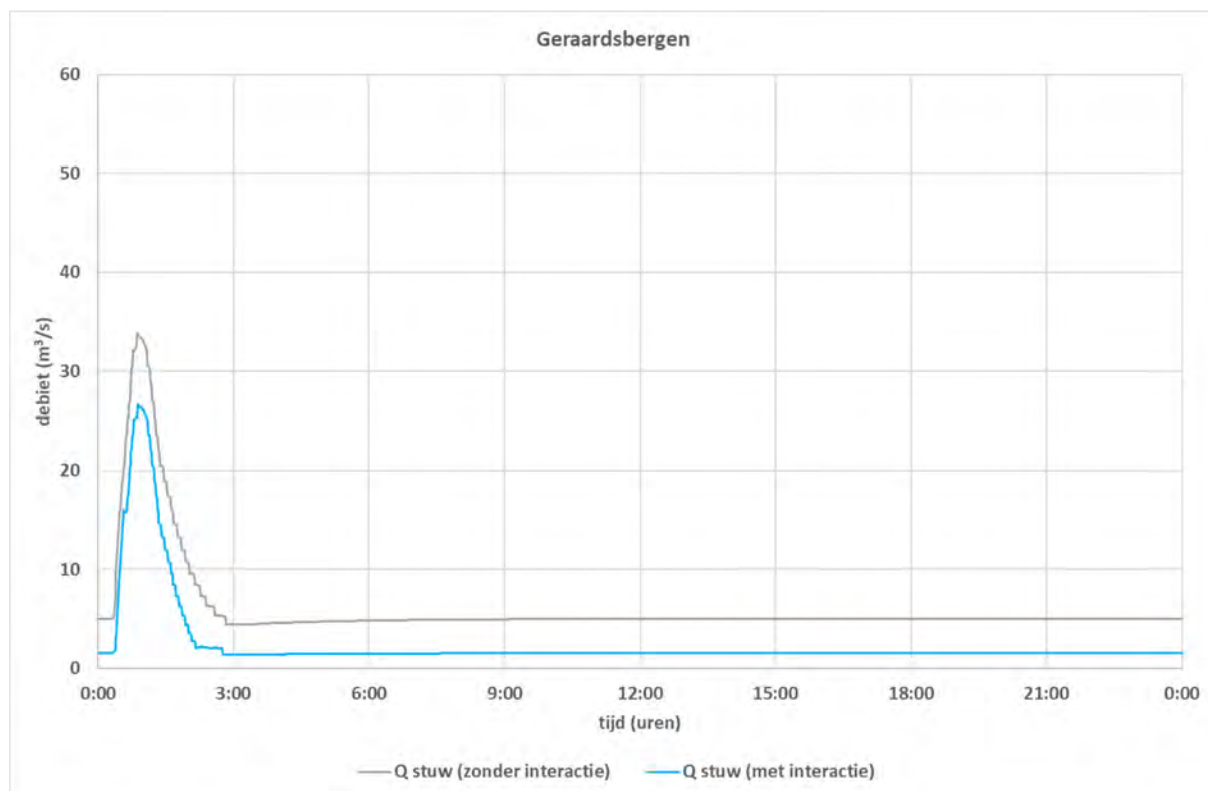
Figuur 152 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderleeuw (reeks 2)



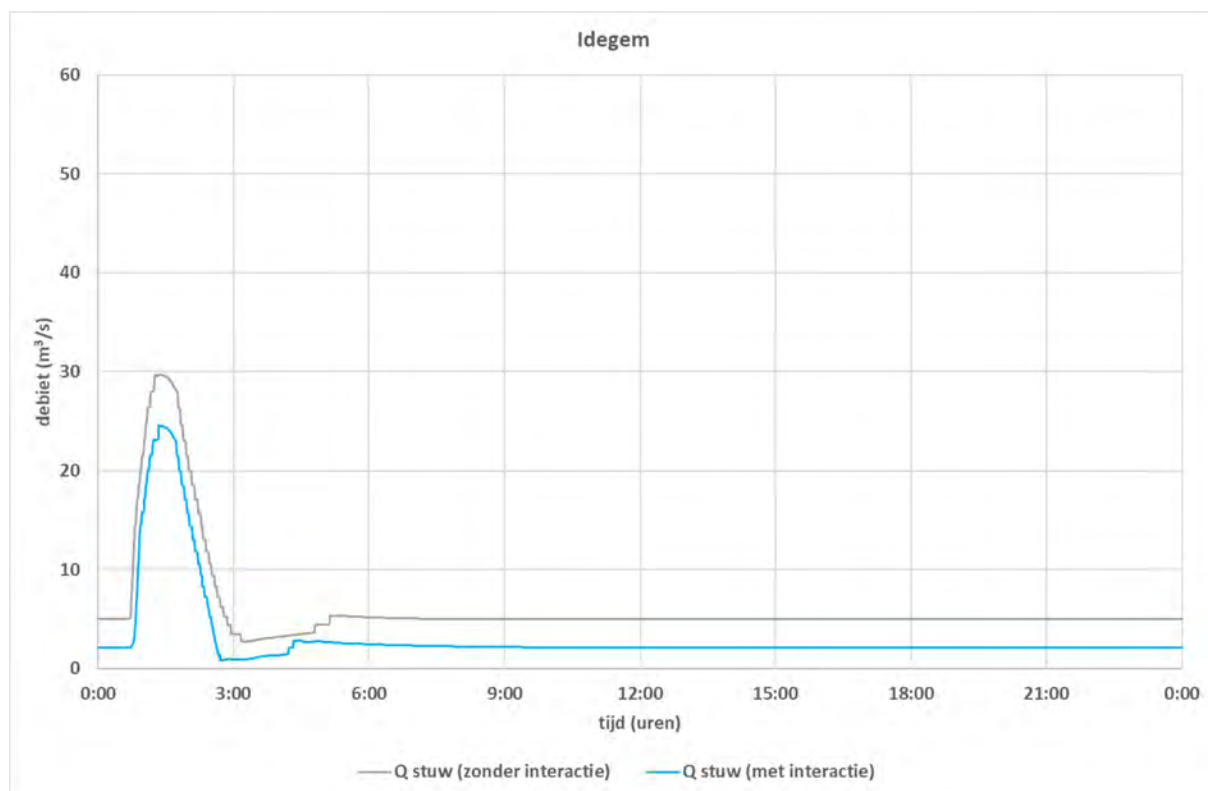
Figuur 153 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 3 uur - Aalst (reeks 2)



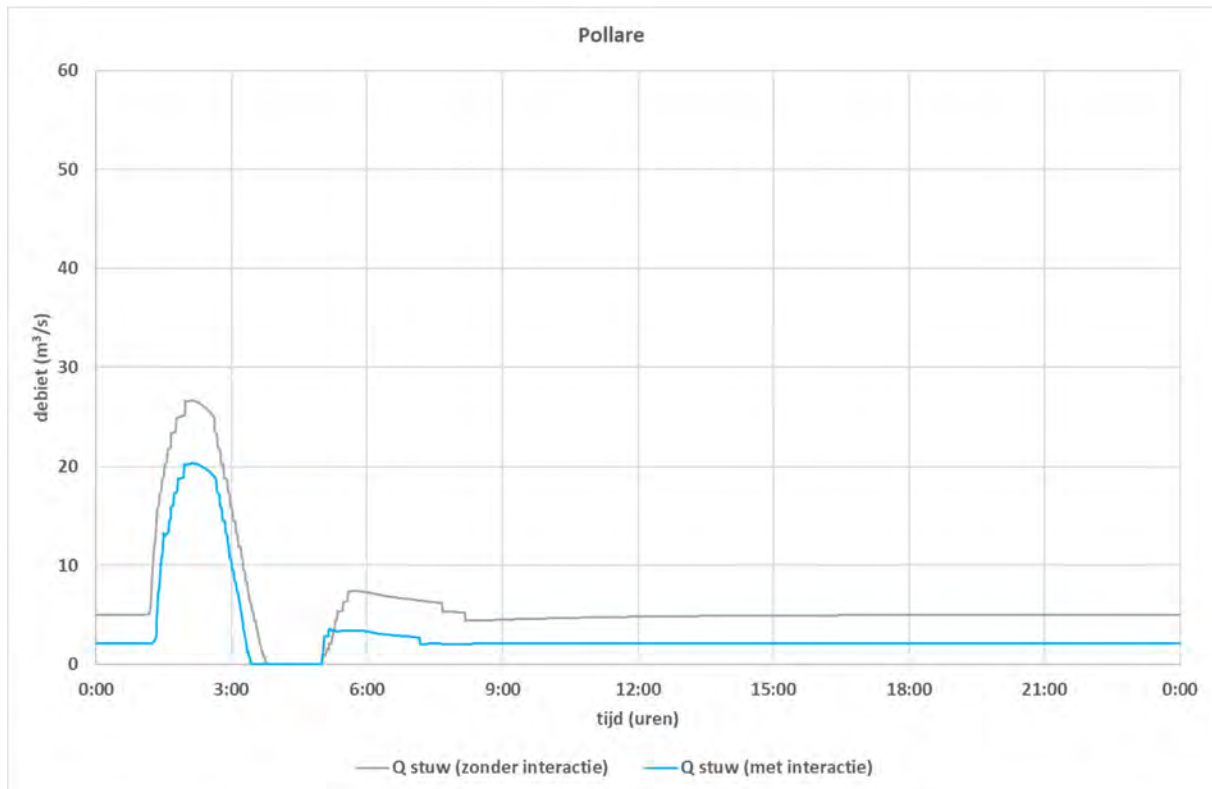
Figuur 154 – Sinusoidaal hydrogram met een duur van 3 uur - Denderbelle (reeks 2)



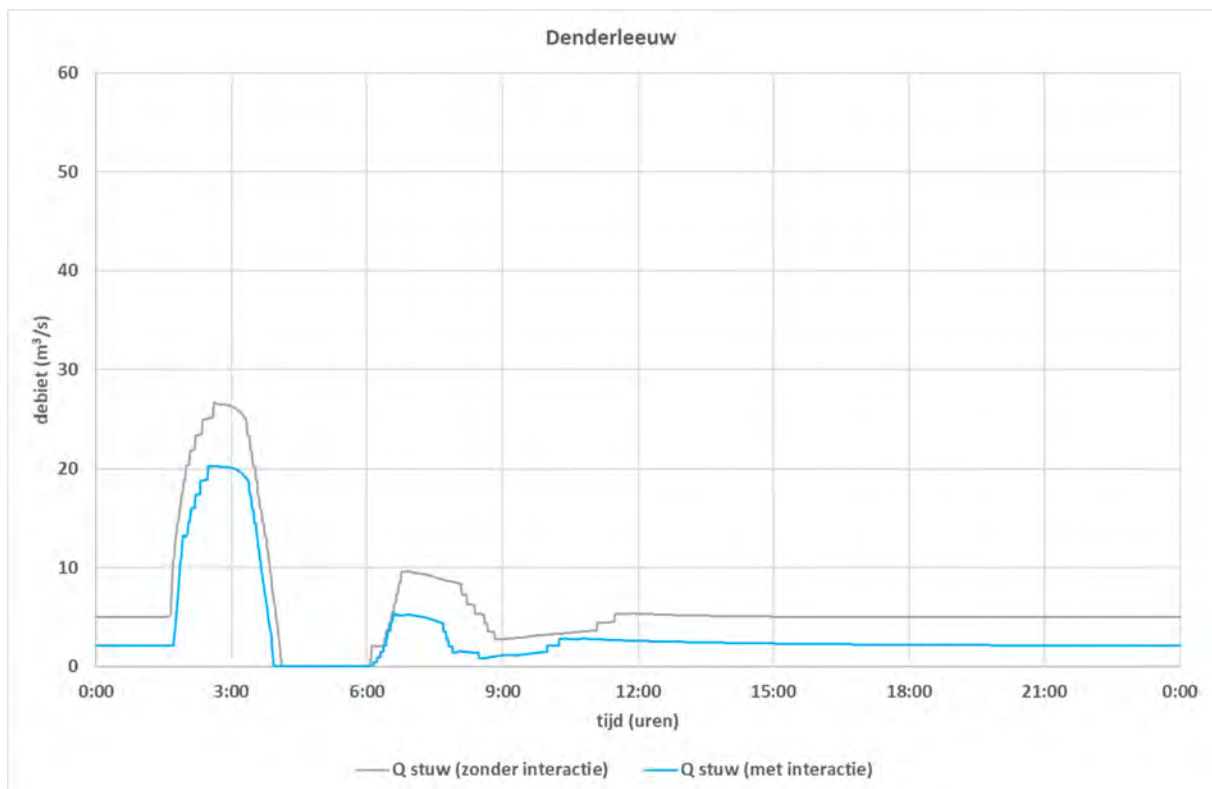
Figuur 155 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Geraardsbergen (reeks 2)



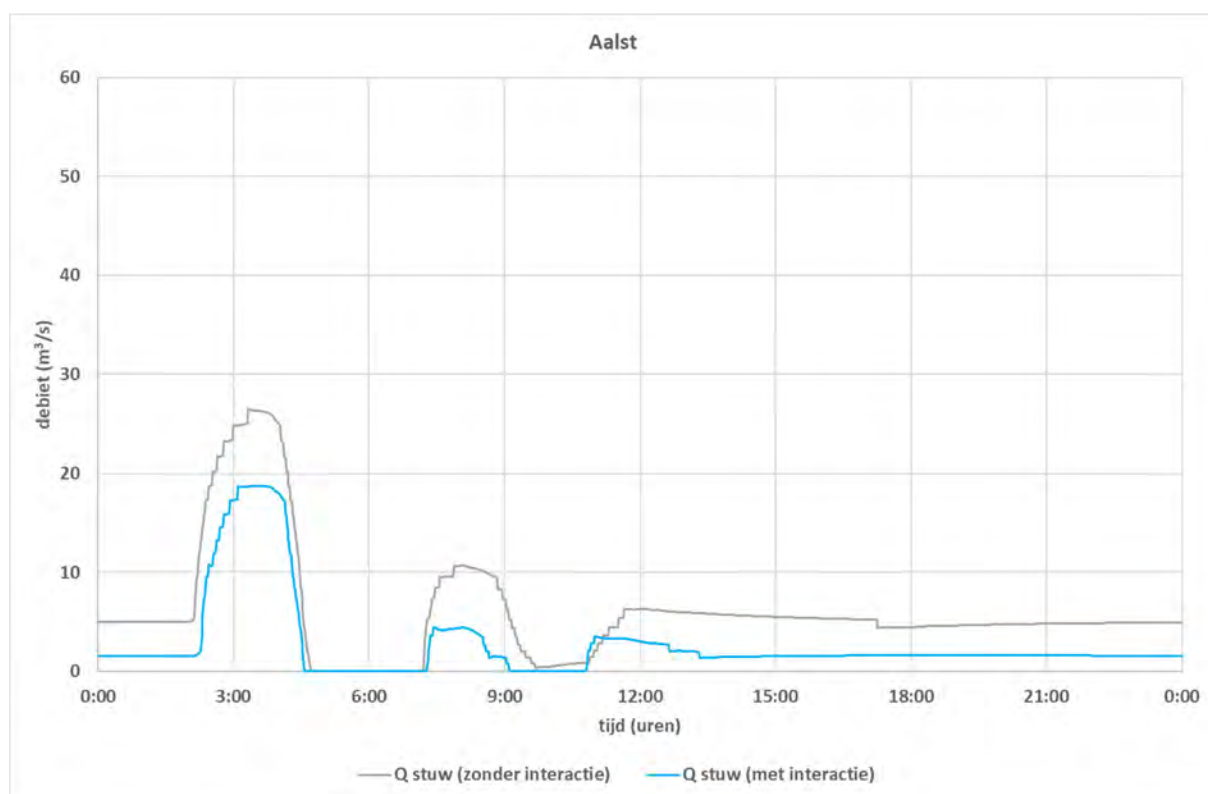
Figuur 156 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Idegem (reeks 2)



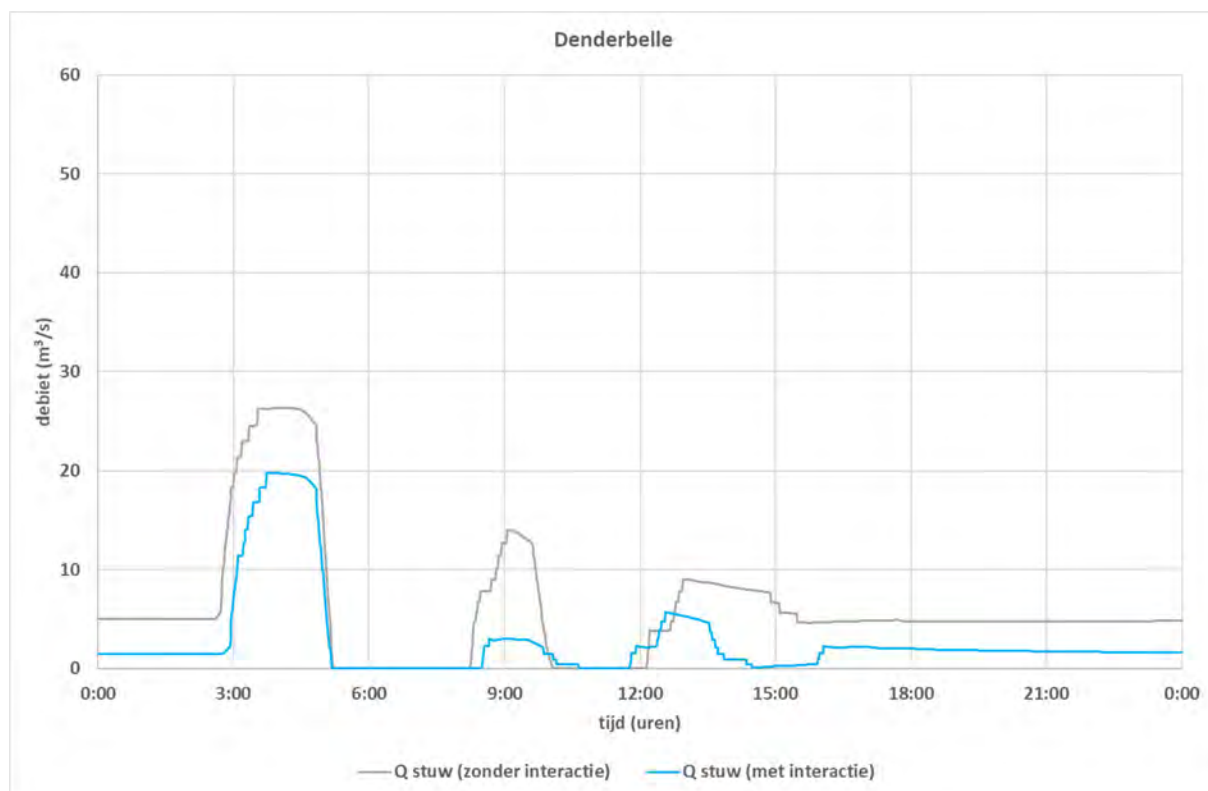
Figuur 157 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Pollare (reeks 2)



Figuur 158 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderleeuw (reeks 2)



Figuur 159 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Aalst (reeks 2)



Figuur 160 – Sinusoïdaal hydrogram met een duur van 1 uur - Denderbelle (reeks 2)

7.2.3 Historische gebeurtenissen

Was van juni 2016

De resultaten voor de was van juni 2016 worden getoond in Figuur 161 t.e.m. Figuur 166 (eerste reeks) en Figuur 179 t.e.m. Figuur 184 (tweede reeks).

In Denderbelle leidt de opstuwing vanuit het afwaartse pand ertoe dat het waterpeil stijgt tot 20 cm boven het streefpeil, ondanks een volledige opening van de stuwen. Omwille van het hoge waterpeil zal de bekkentrap preventief sluiten. Er is er wel nog steeds vismigratie mogelijk over de volledig geopende stuwen heen.

De installatie van vispassages met een bijhorend toegevoegd debiet leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen.

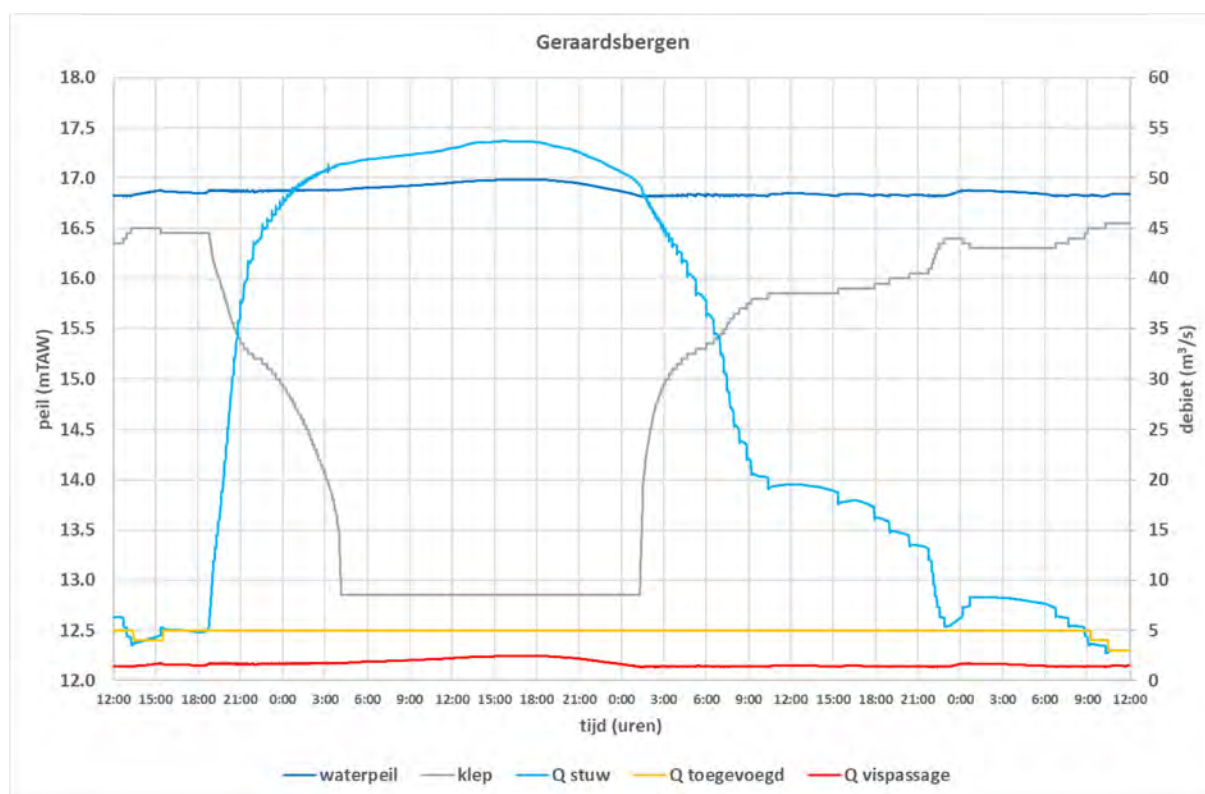
Volledige jaar 2019 met zijdelingse instroming

De resultaten voor een natte maand (maart 2019) en een droge maand (augustus 2019) worden getoond in Figuur 167 t.e.m. Figuur 178 (eerste reeks) en Figuur 185 t.e.m. Figuur 196 (tweede reeks). De resultaten voor de overige maanden werden opgenomen in Bijlage 1 Interactie – figuren reeks 1 en Bijlage 2 Interactie – figuren reeks 2.

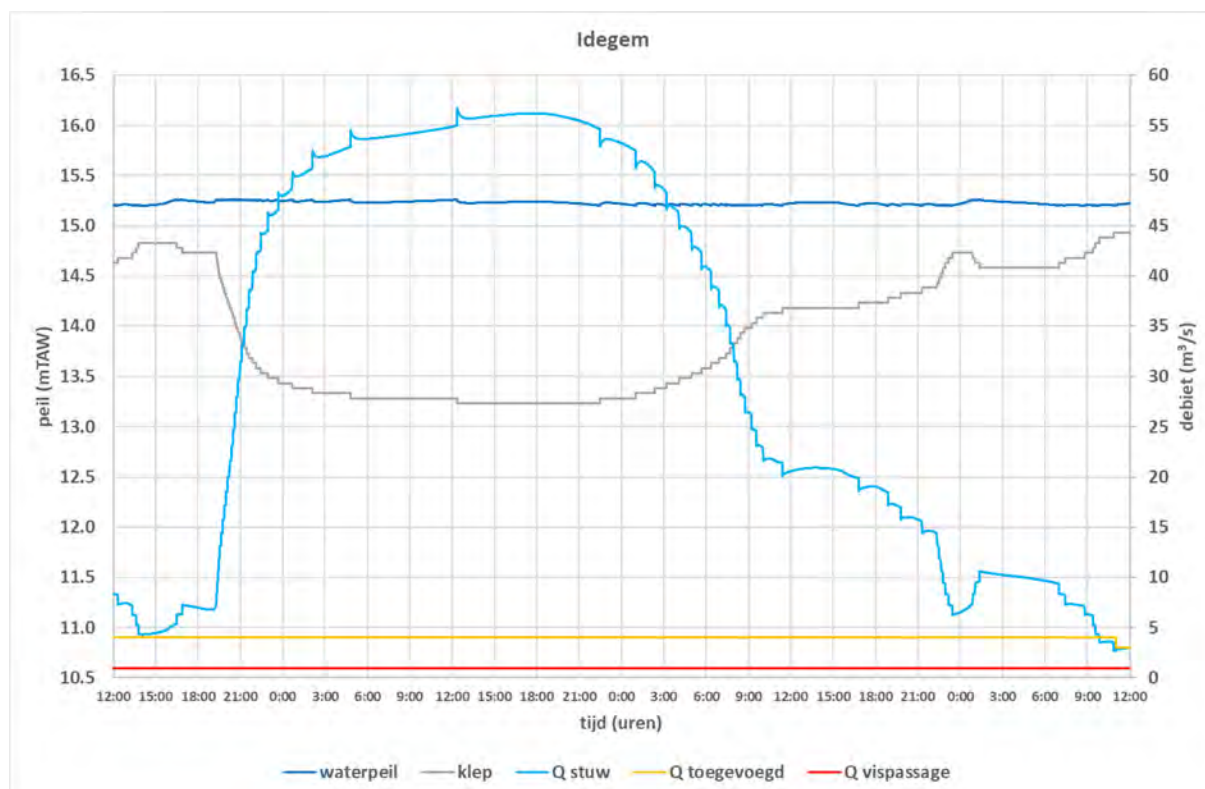
Gedurende de zomer worden de vispassages soms langdurig gesloten wegens watertekort. Tijdens wassen wordt de vispassage van Denderbelle soms gesloten wegens opstuwing. Er zijn echter geen aanwijzingen dat de vispassages sluiten omwille van debietschommelingen in de stuwenketen. Het toegevoegd debiet reageert logischerwijze wel op kleine debietschommelingen aangezien dit gekoppeld is aan het debiet over de stuwen.

De installatie van vispassages met een bijhorend toegevoegd debiet leidt, zoals verwacht, opnieuw tot een afname van het debiet over de stuwen. Gedurende de zomermaanden stroomt er gedurende lange perioden helemaal geen water over de stuwen.

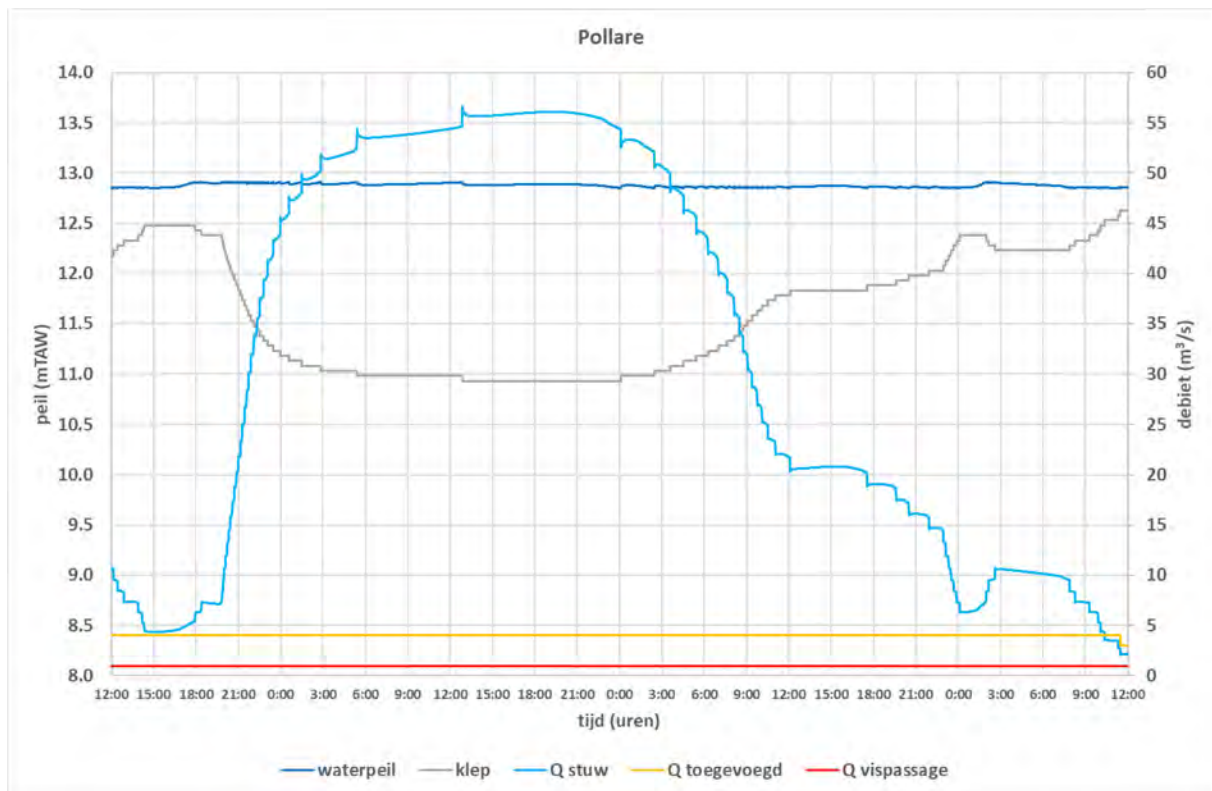
Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langsheen de Dender wordt dus niet in rekening gebracht.



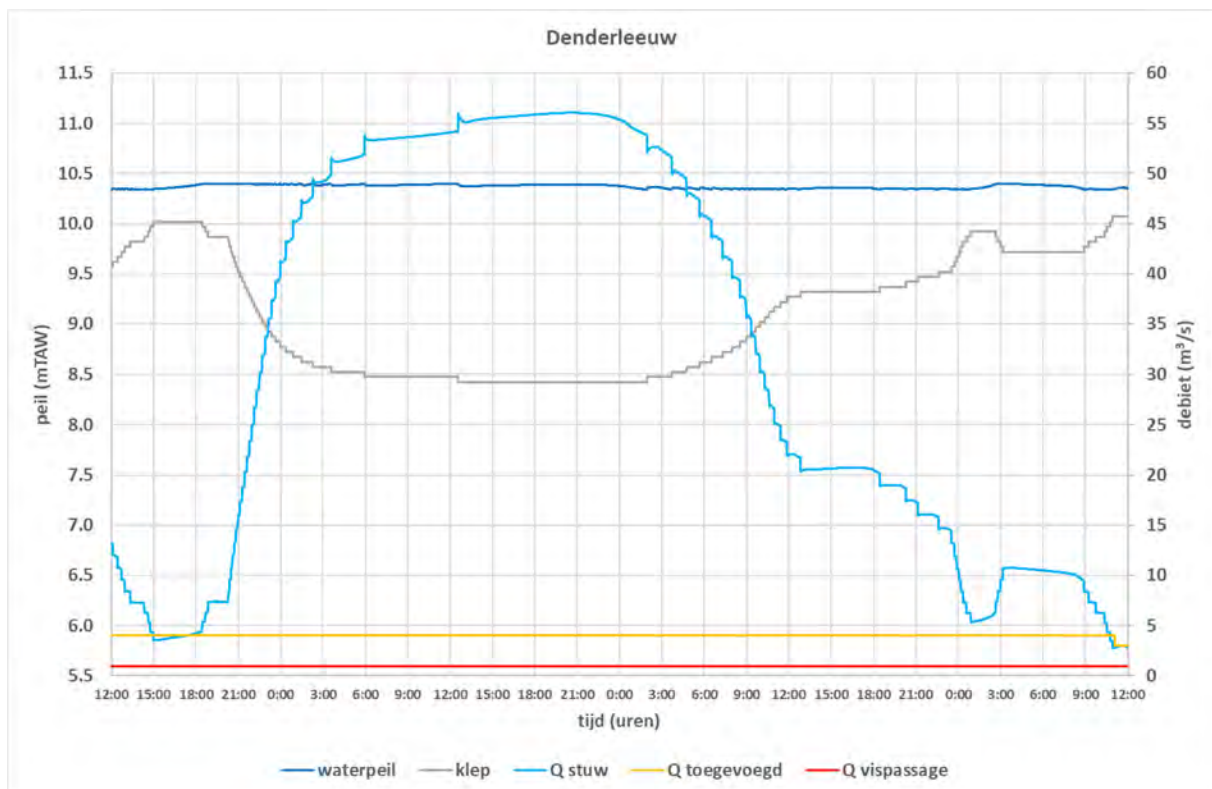
Figuur 161 – Juni 2016 - Geraardsbergen (reeks 1)



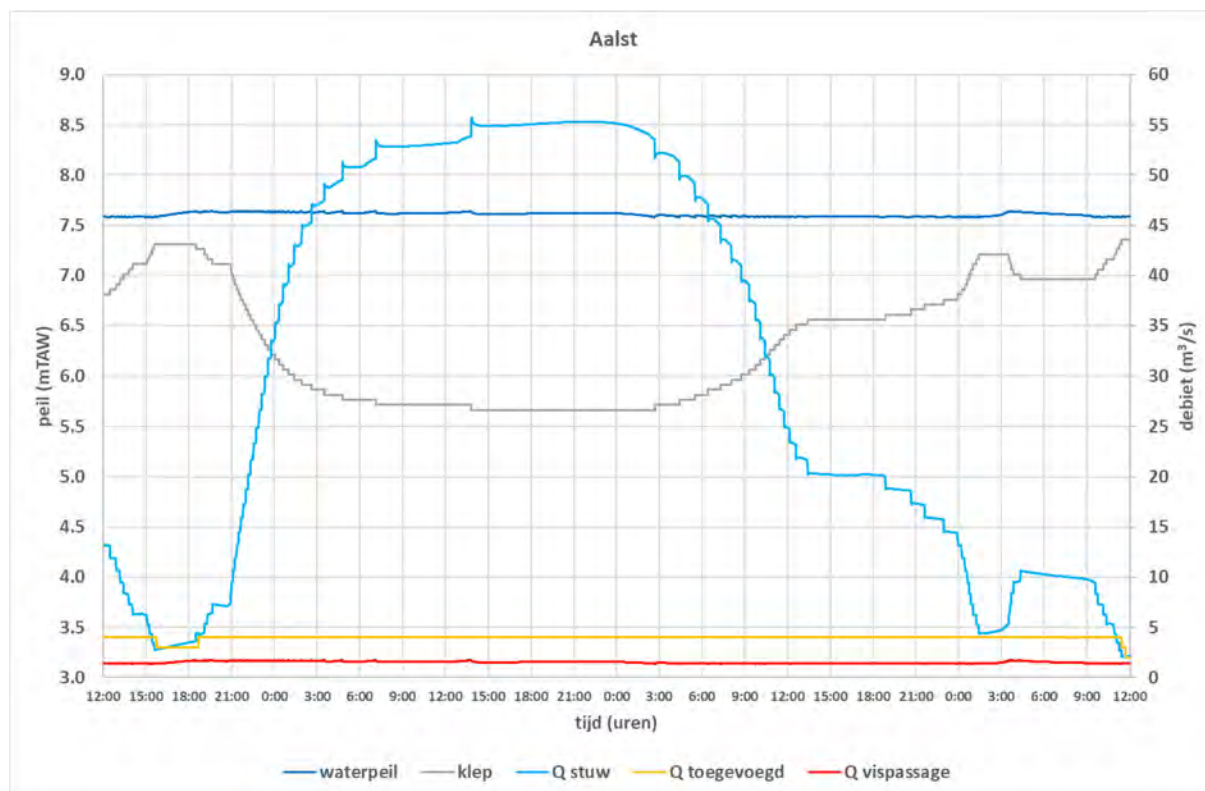
Figuur 162 – Juni 2016 - Idegem (reeks 1)



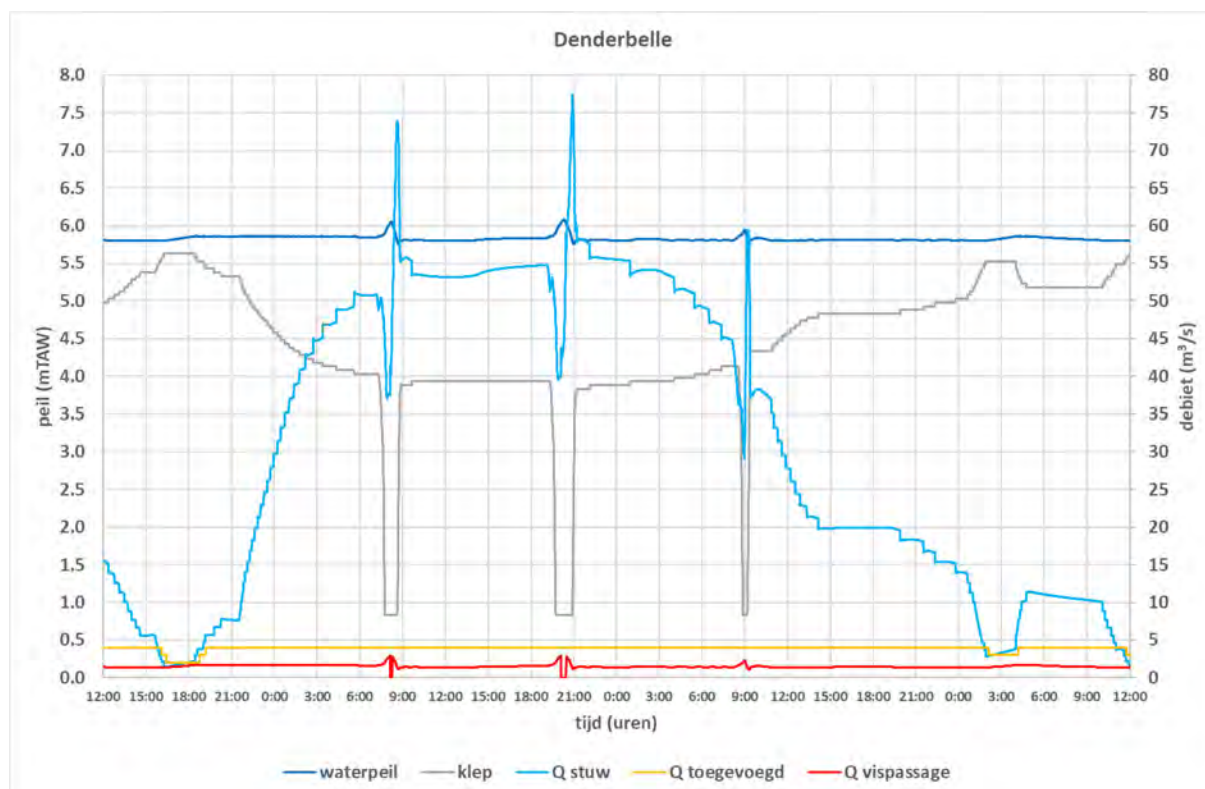
Figuur 163 – Juni 2016 - Pollare (reeks 1)



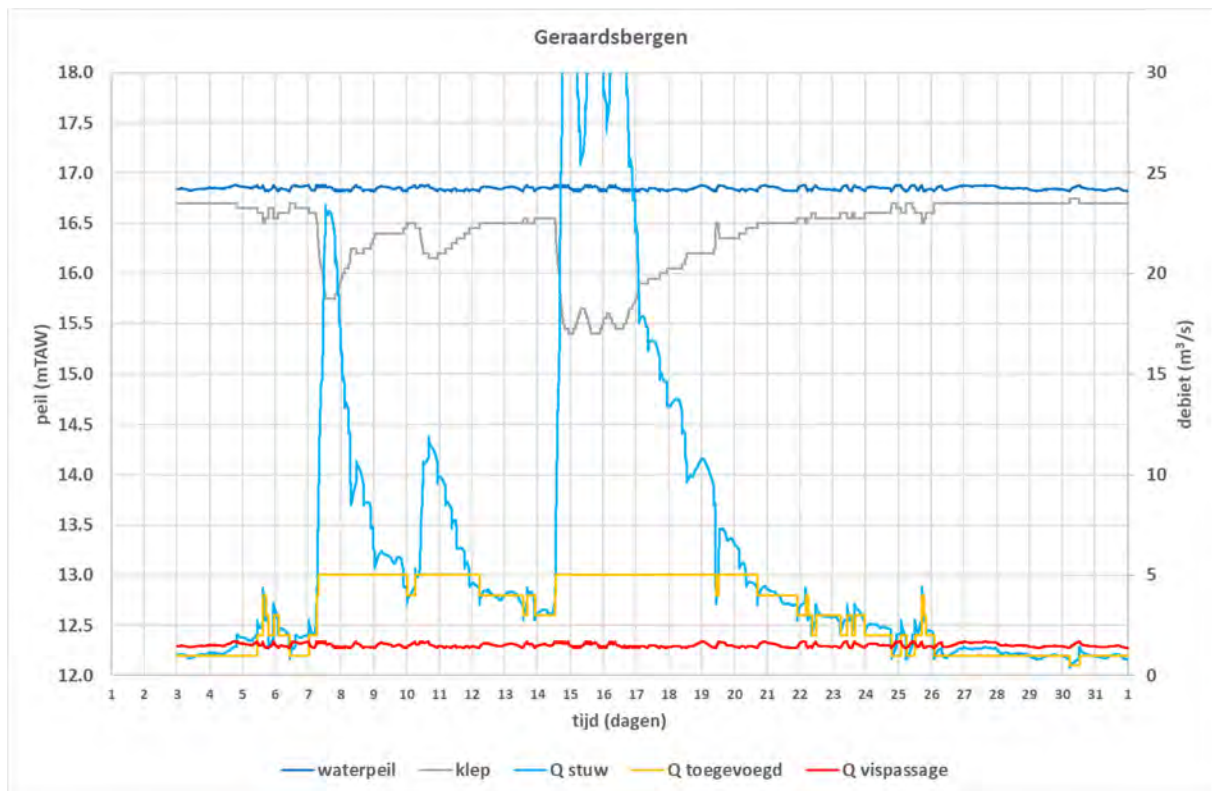
Figuur 164 – Juni 2016 - Denderleeuw (reeks 1)



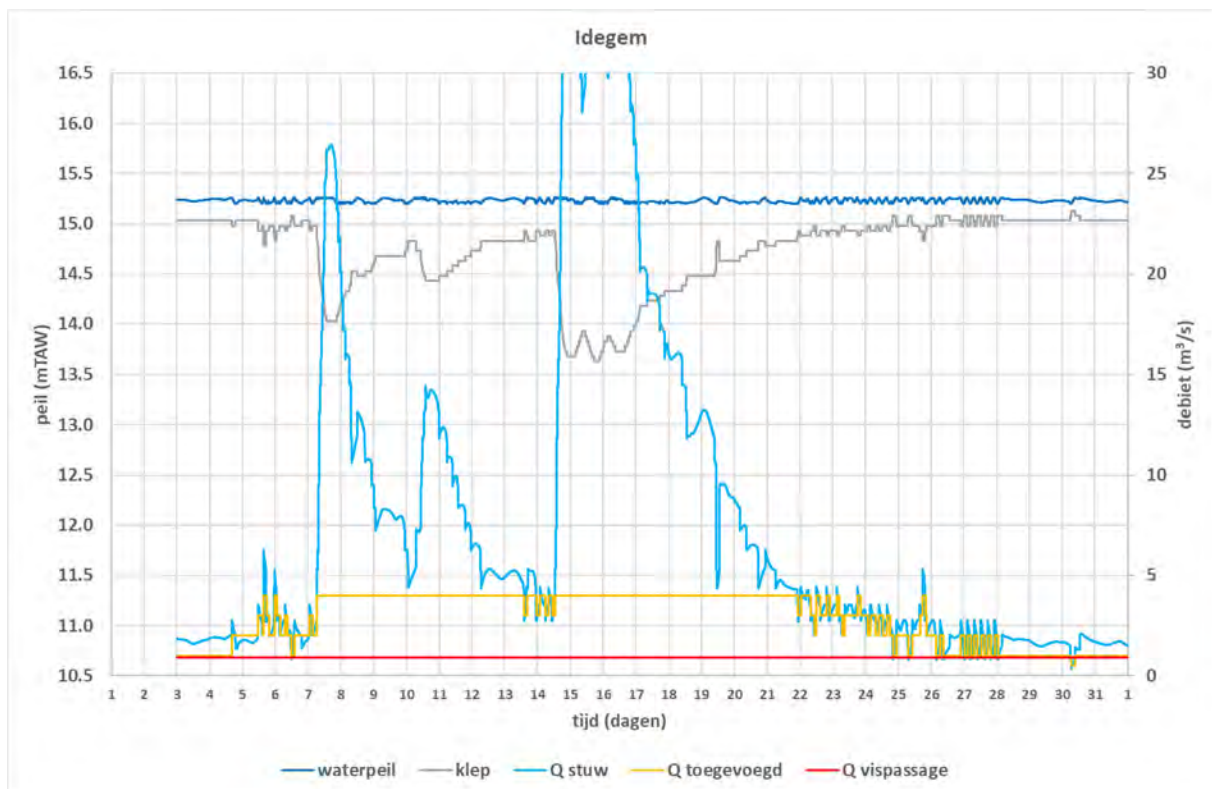
Figuur 165 – Juni 2016 - Aalst (reeks 1)



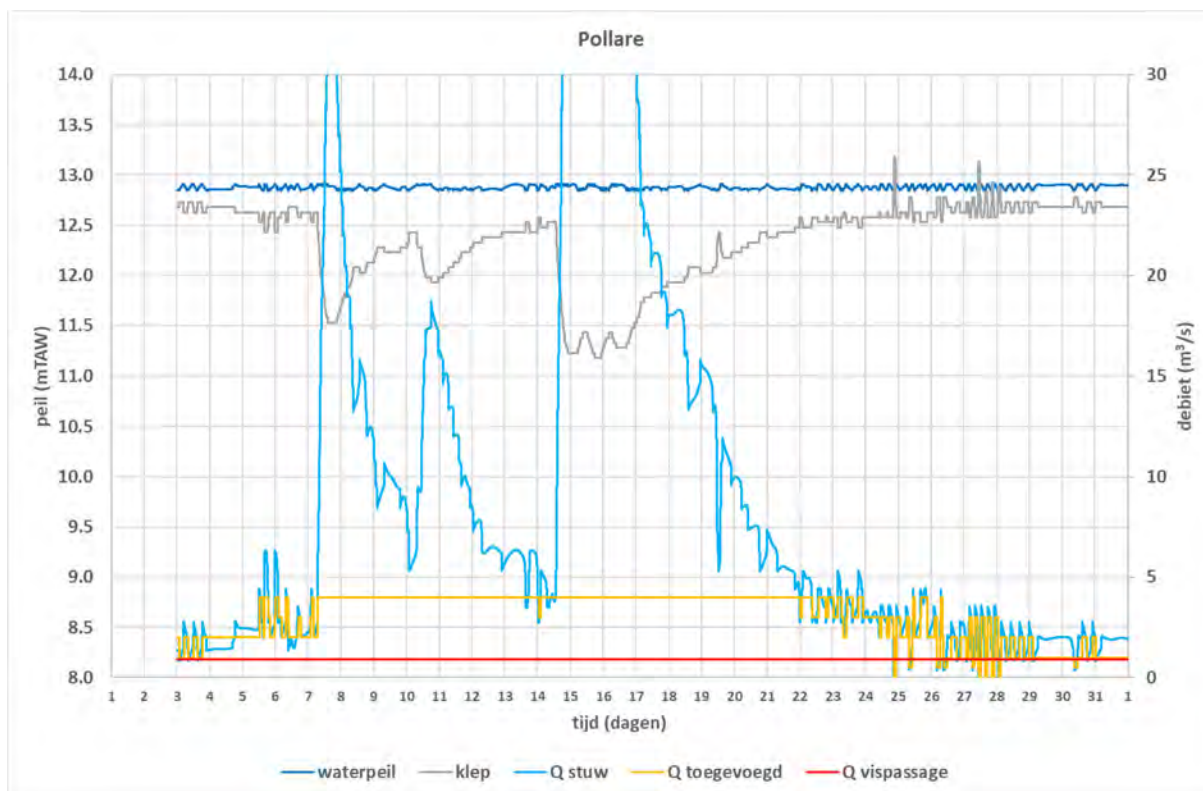
Figuur 166 – Juni 2016 - Denderbelle (reeks 1)



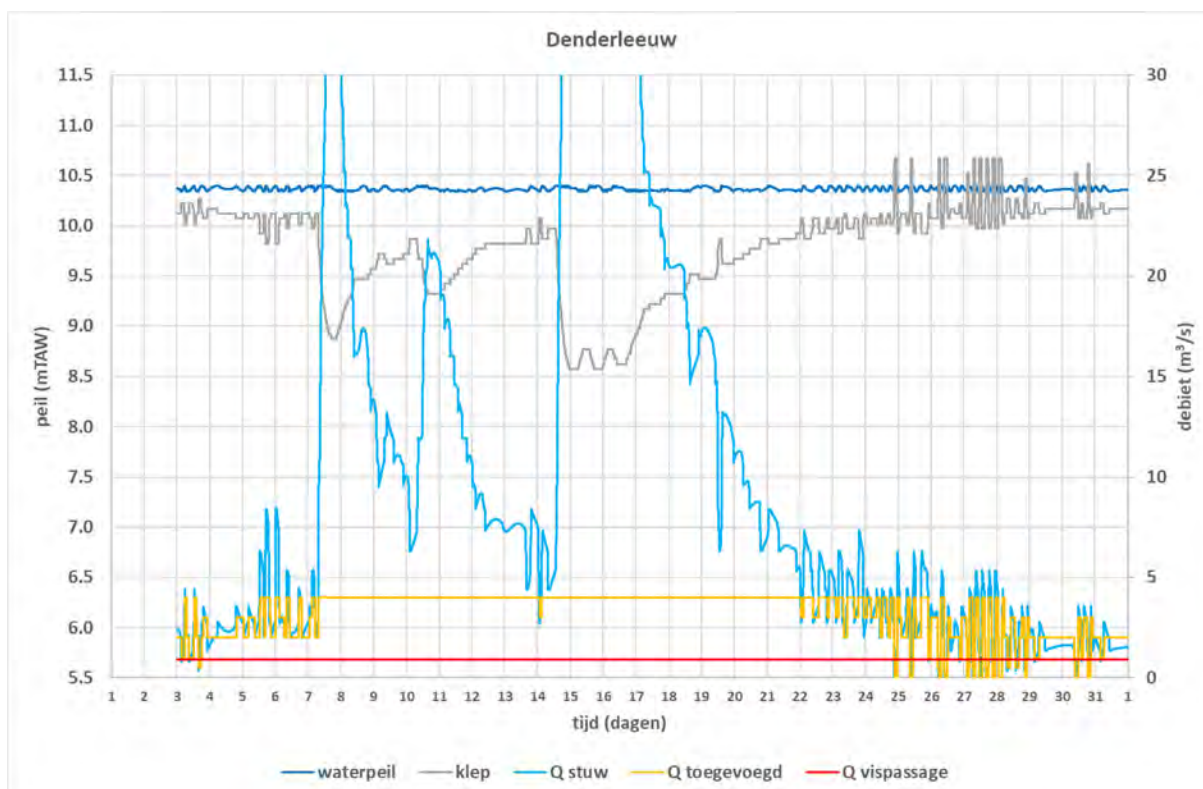
Figuur 167 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



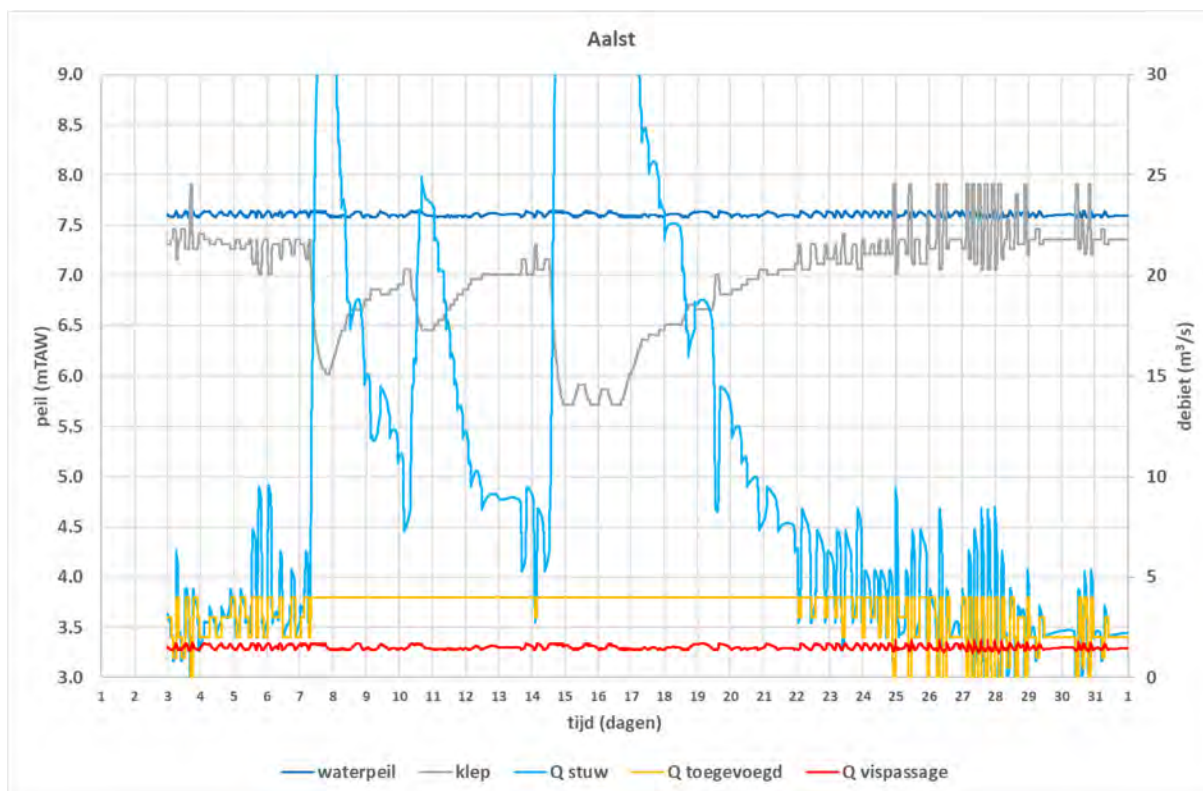
Figuur 168 – Maart 2019 - Idegem (reeks 1)



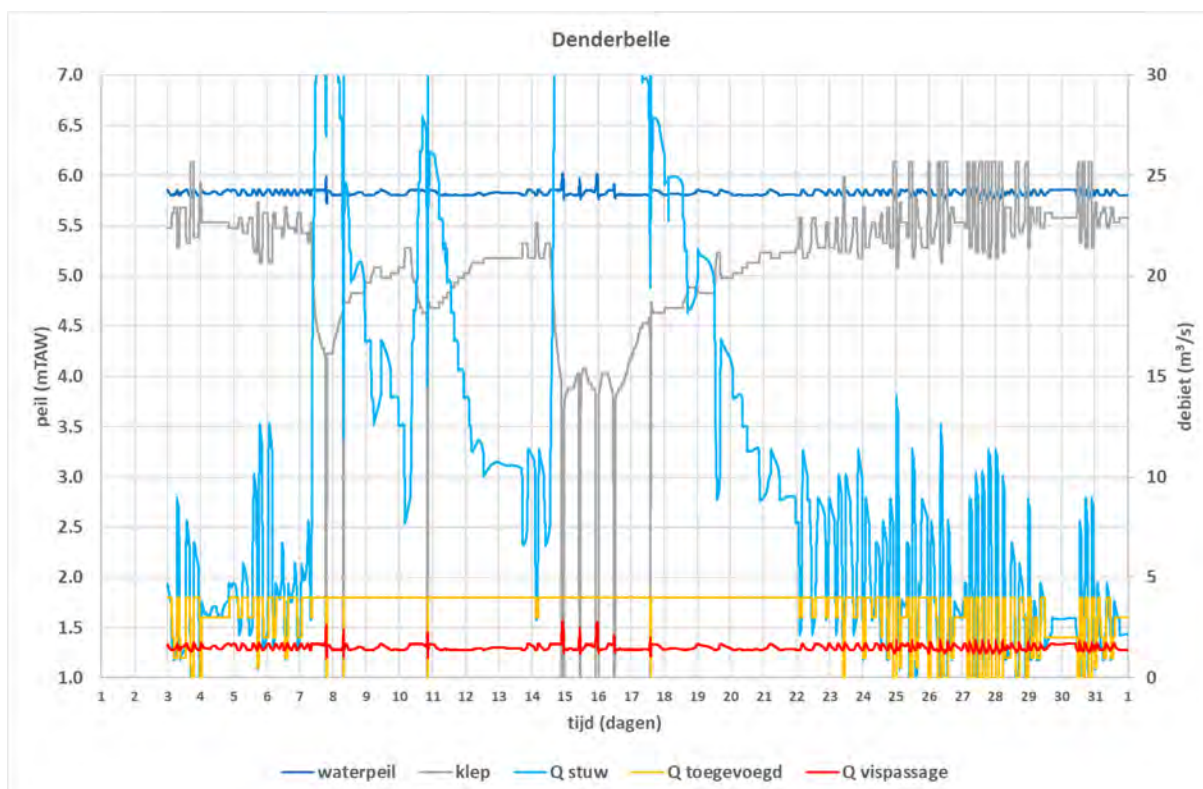
Figuur 169 – Maart 2019 - Pollare (reeks 1)



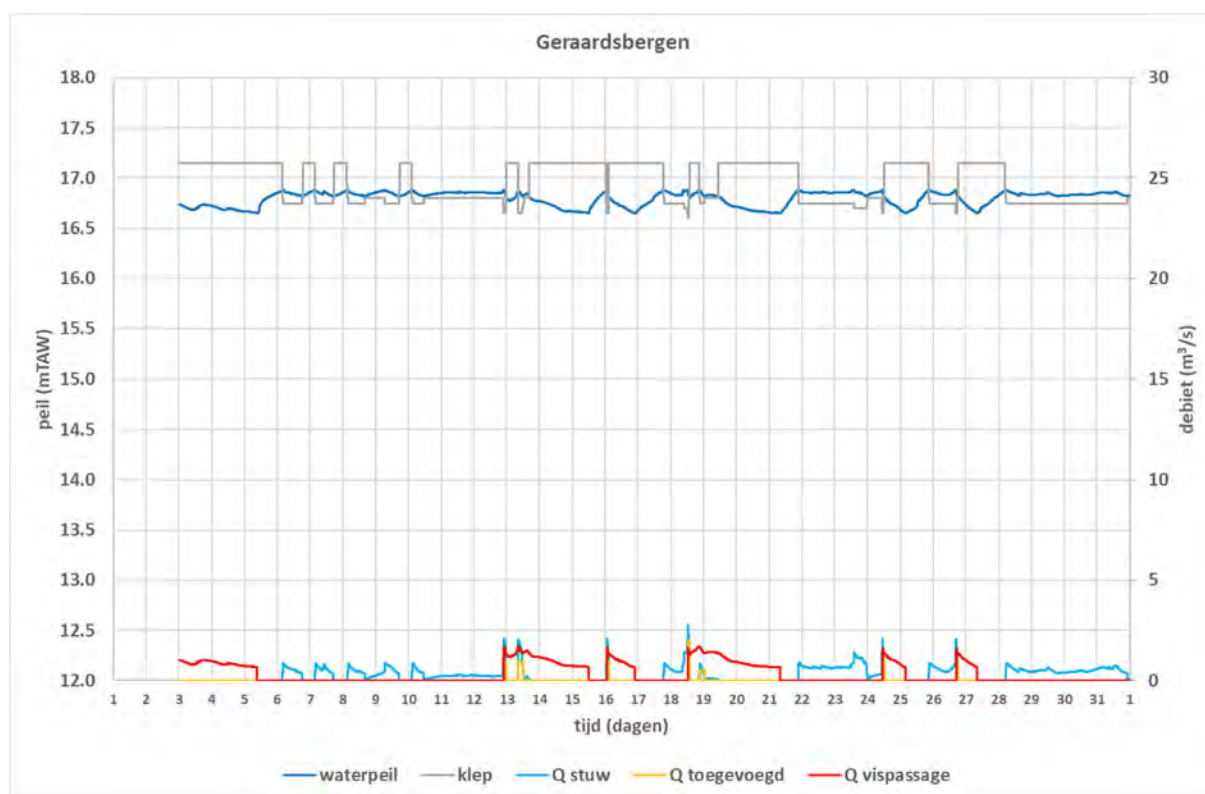
Figuur 170 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



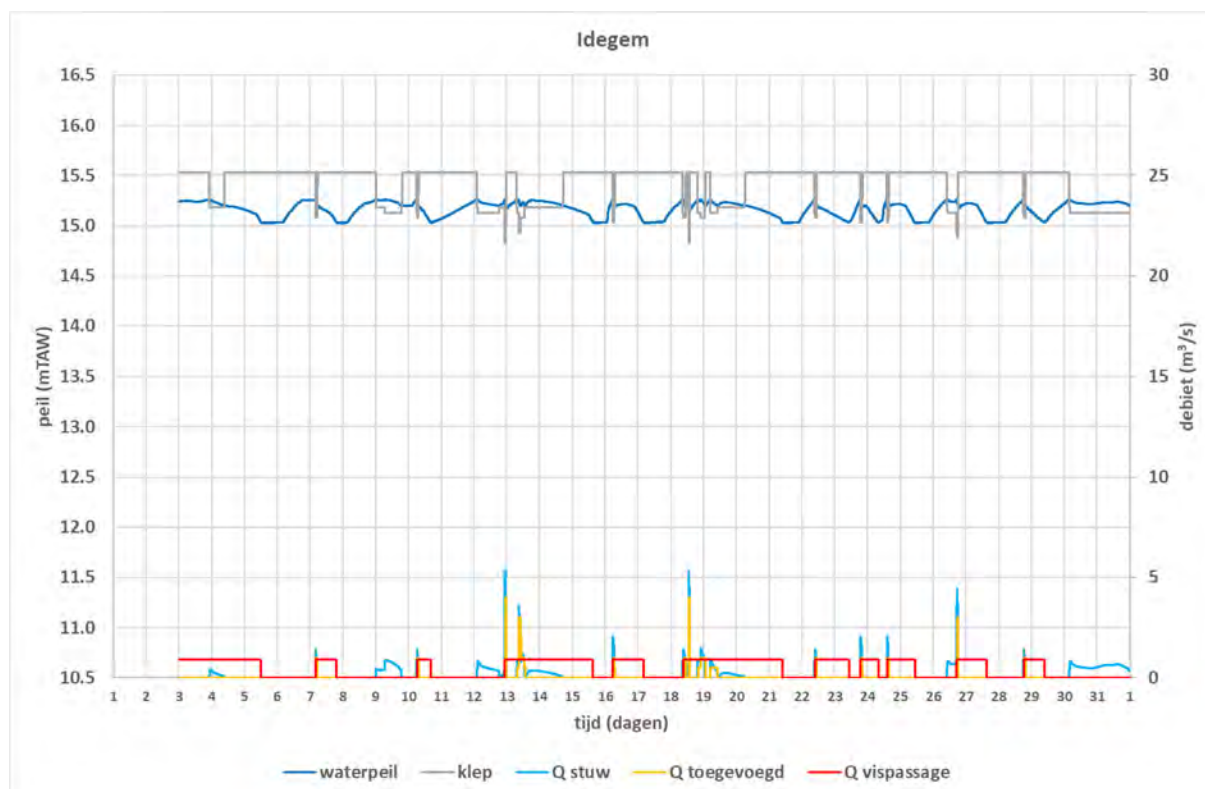
Figuur 171 – Maart 2019 - Aalst (reeks 1)



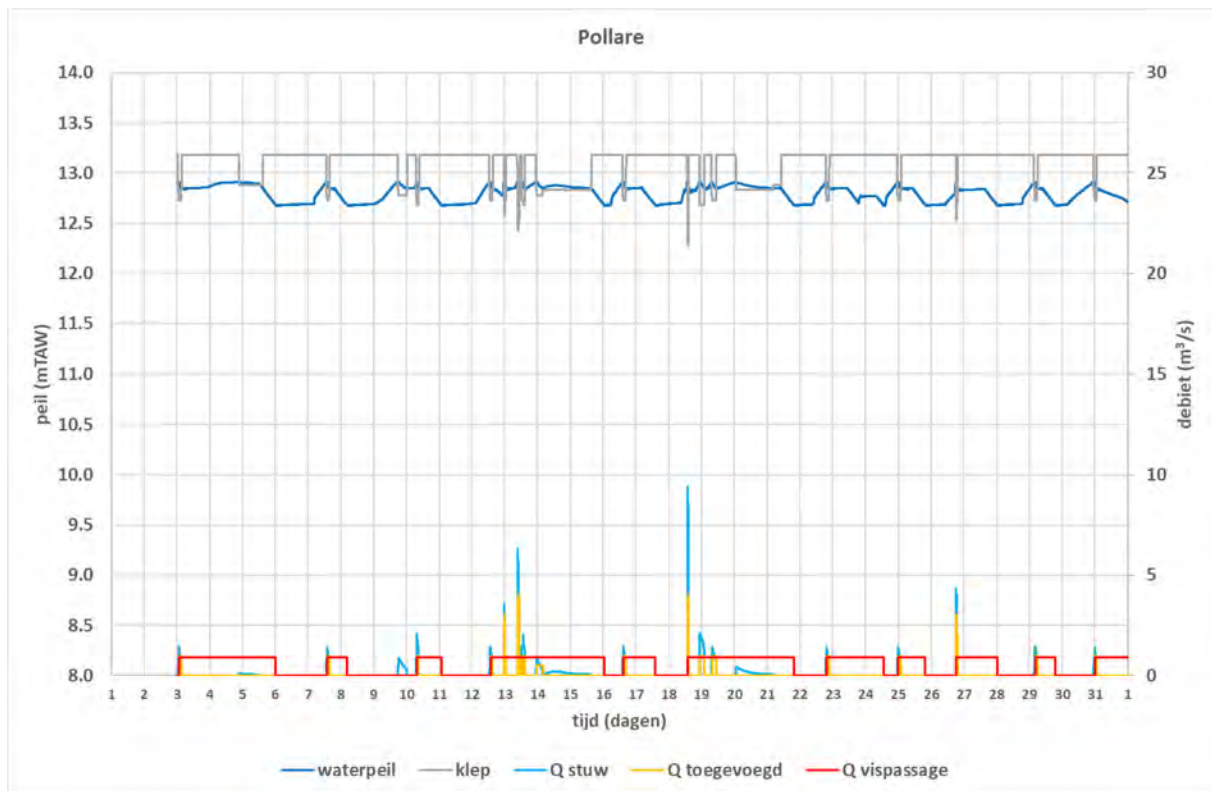
Figuur 172 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 1)



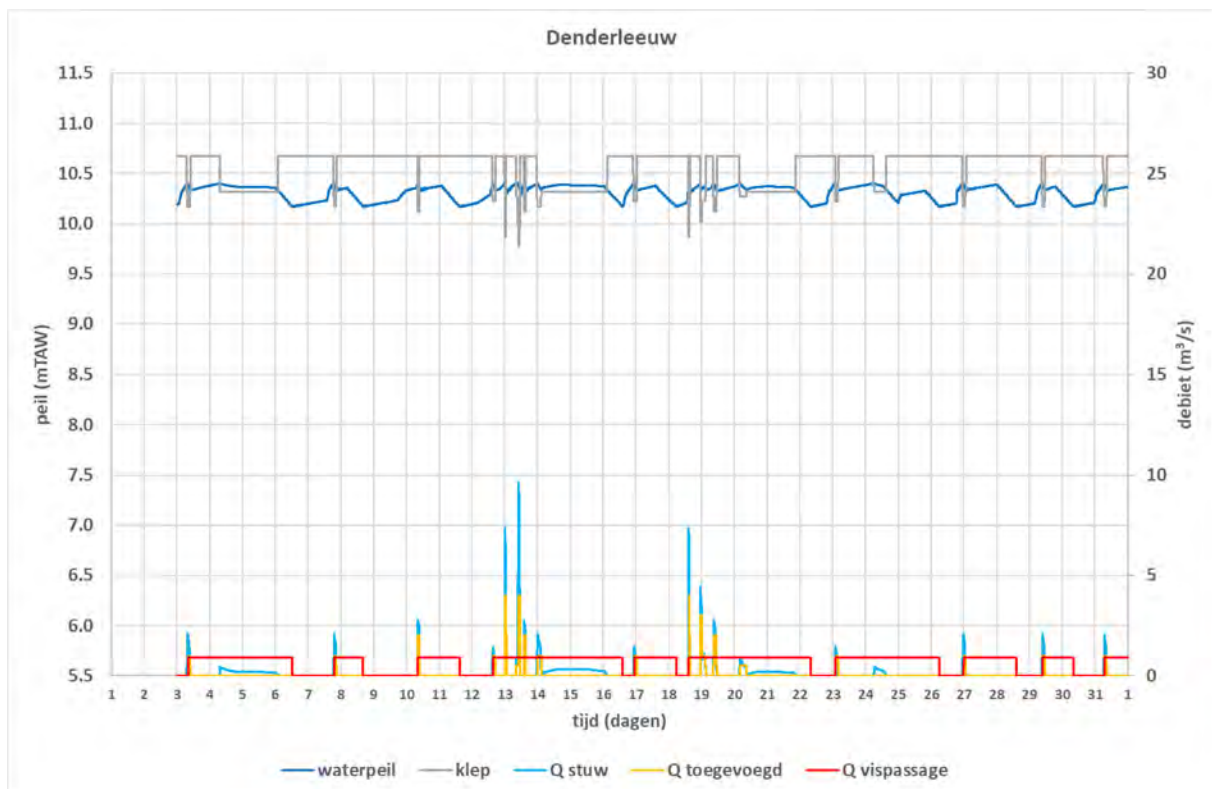
Figuur 173 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



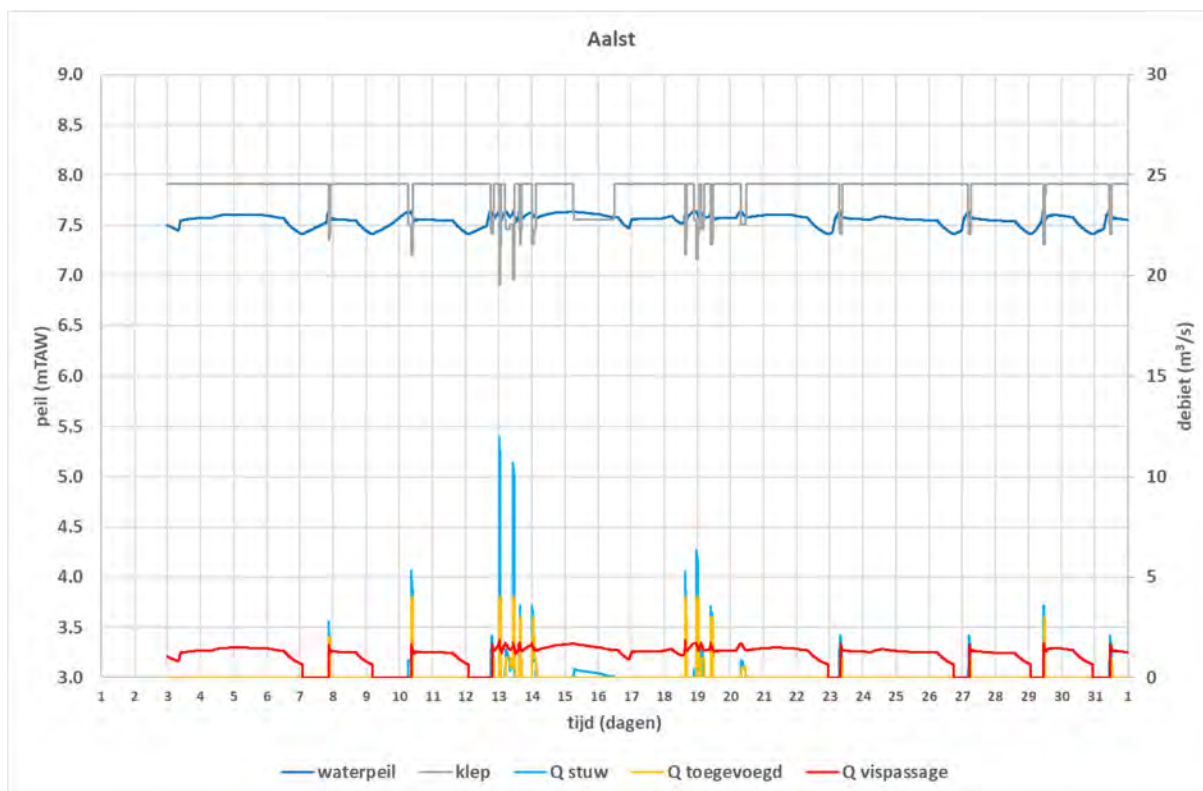
Figuur 174 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 1)



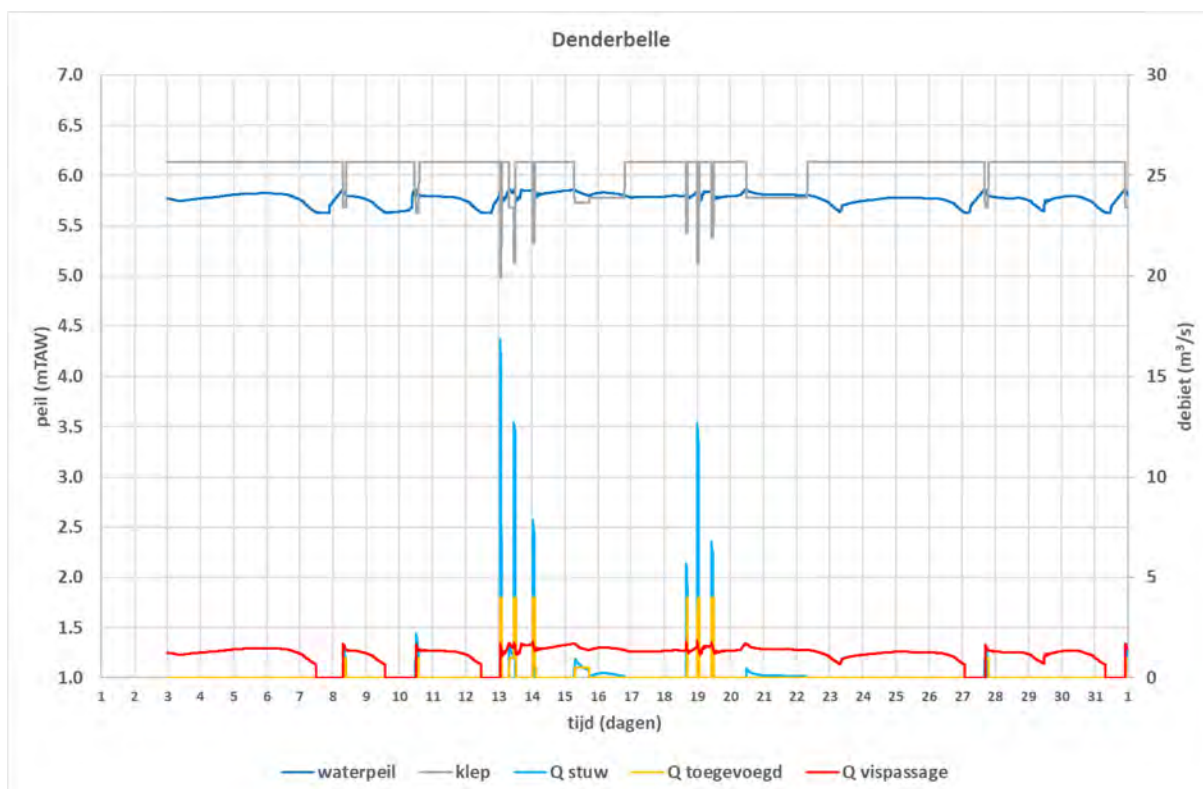
Figuur 175 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 1)



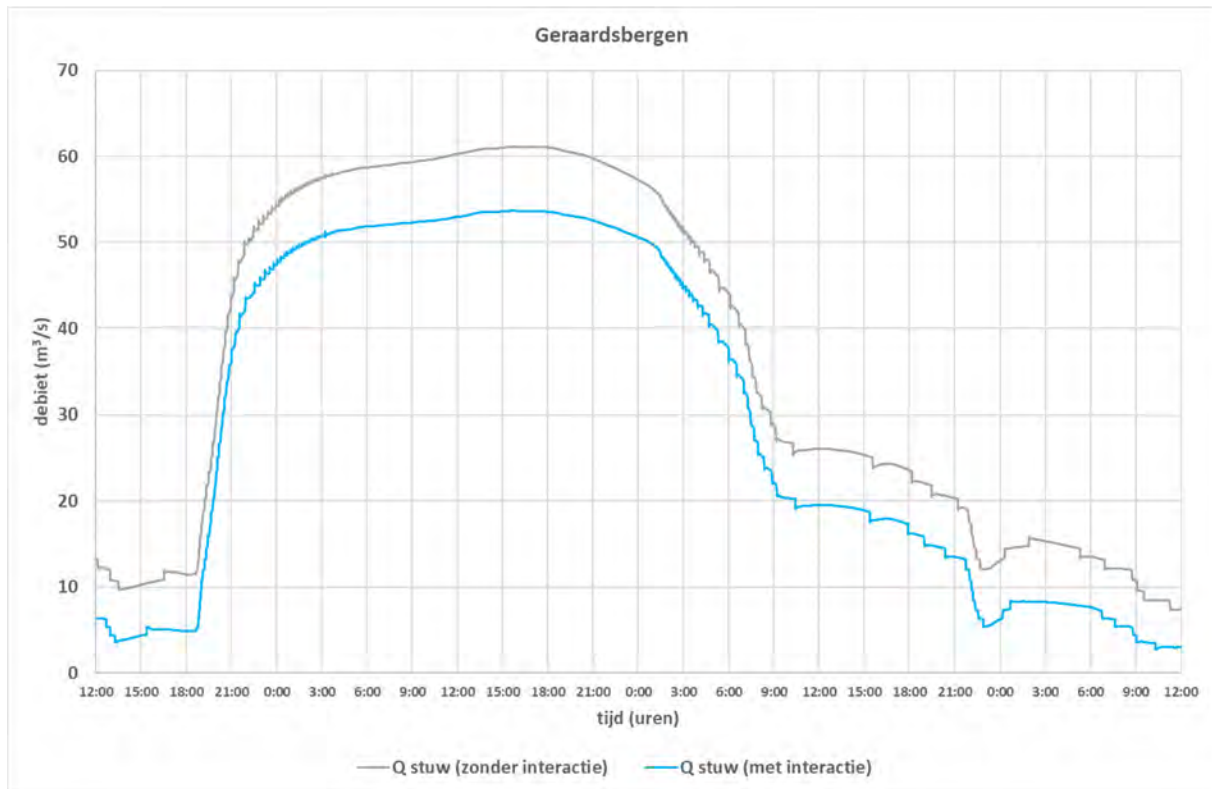
Figuur 176 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



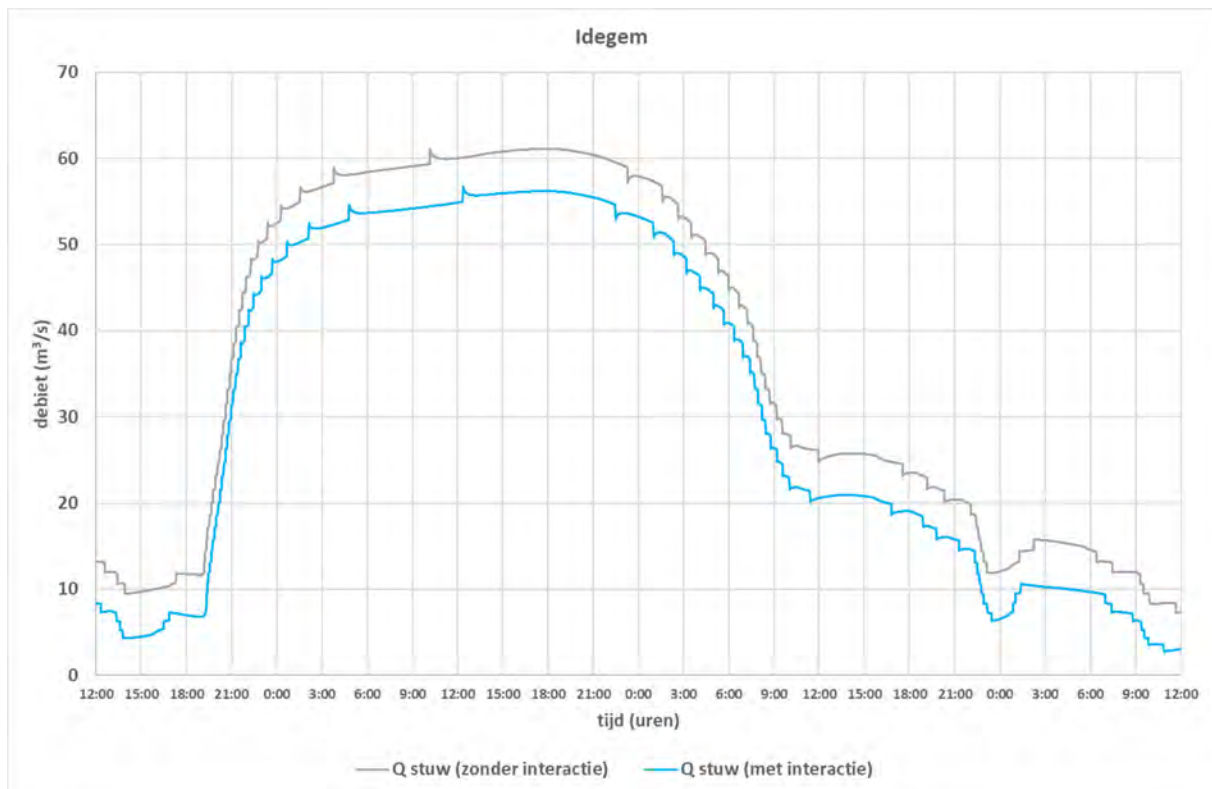
Figuur 177 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 1)



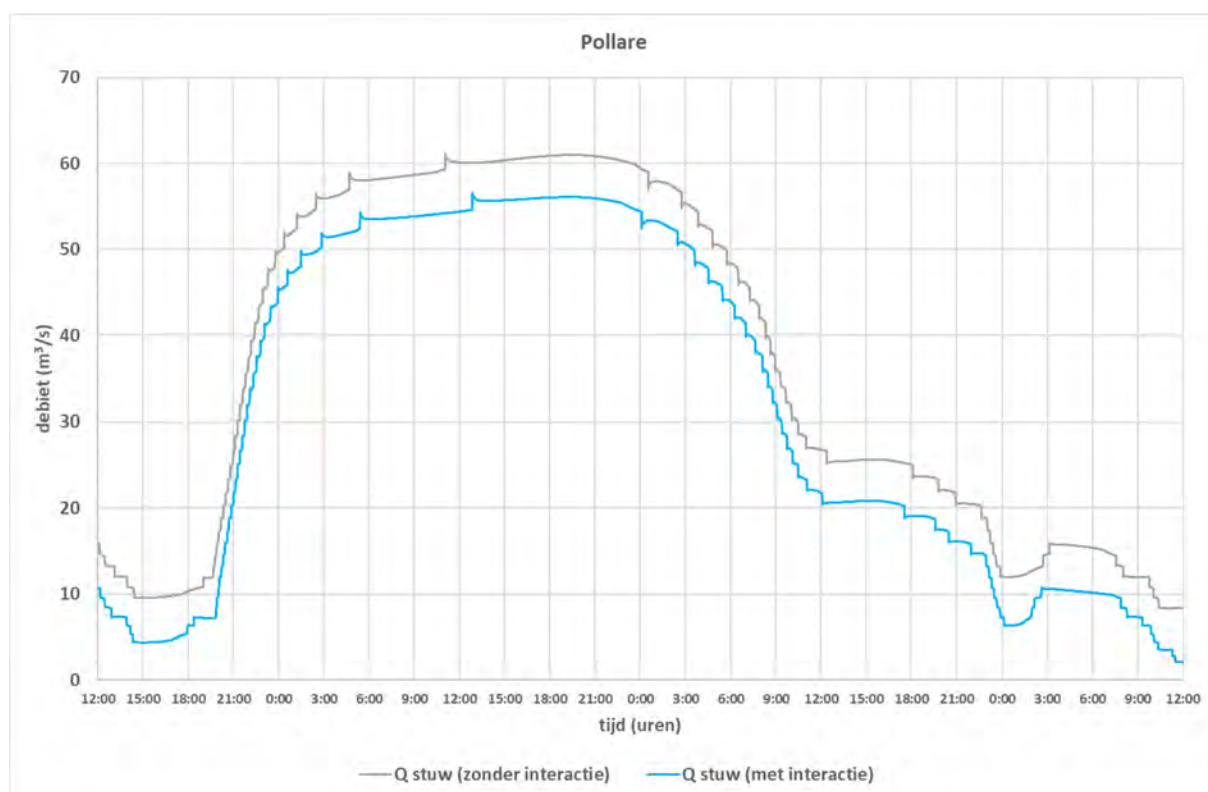
Figuur 178 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 1)



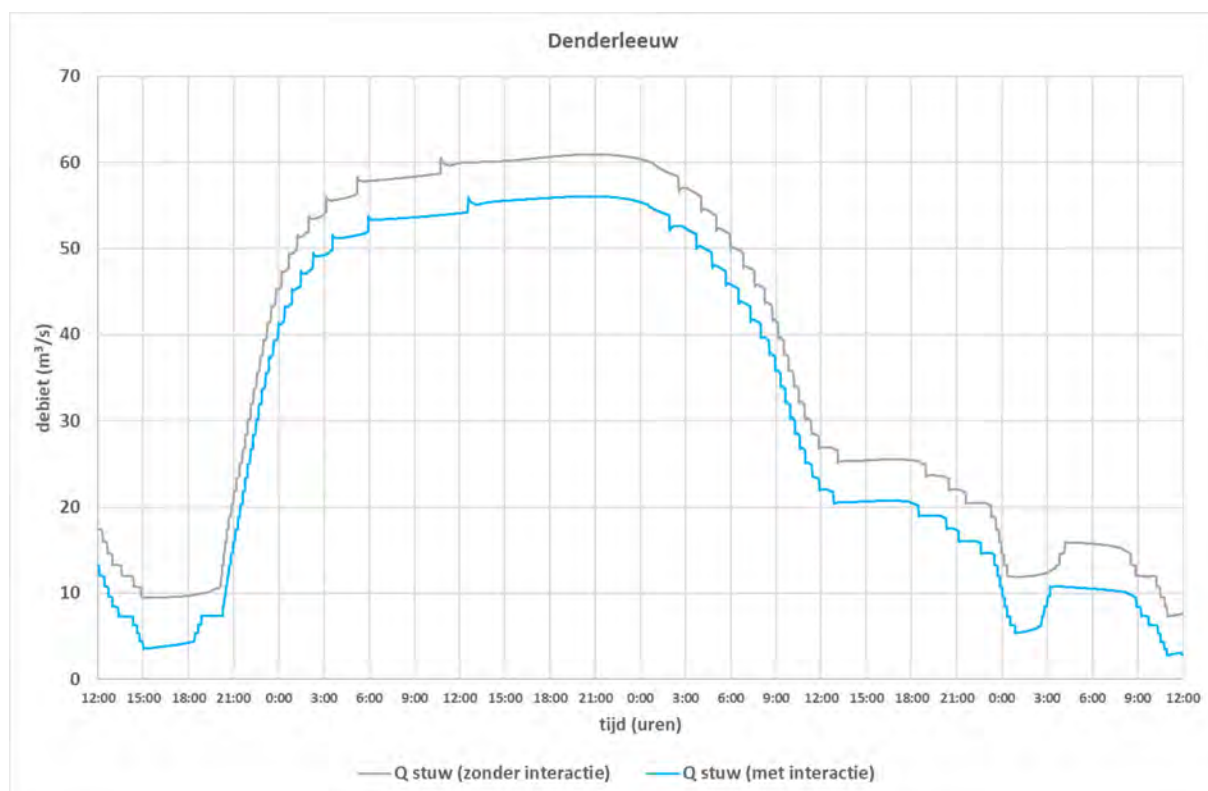
Figuur 179 – Juni 2016 - Geraardsbergen (reeks 2)



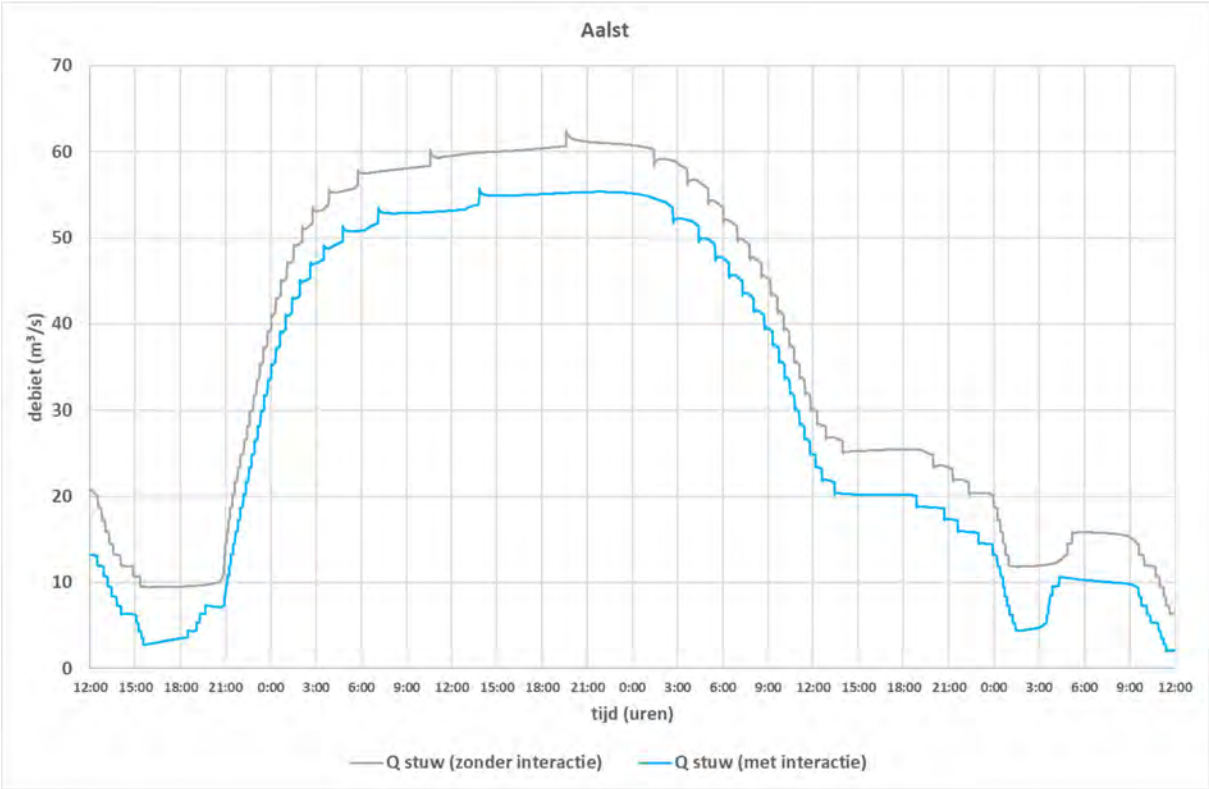
Figuur 180 – Juni 2016 - Idegem (reeks 2)



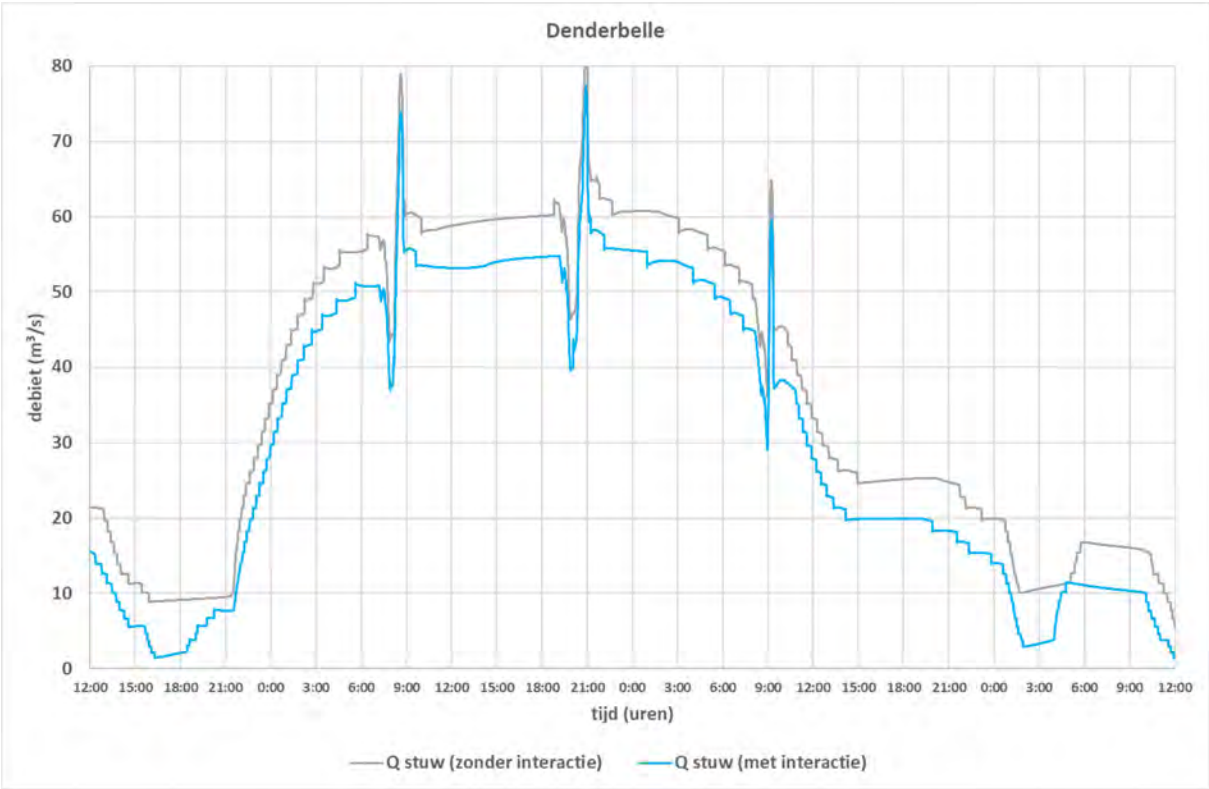
Figuur 181 – Juni 2016 - Pollare (reeks 2)



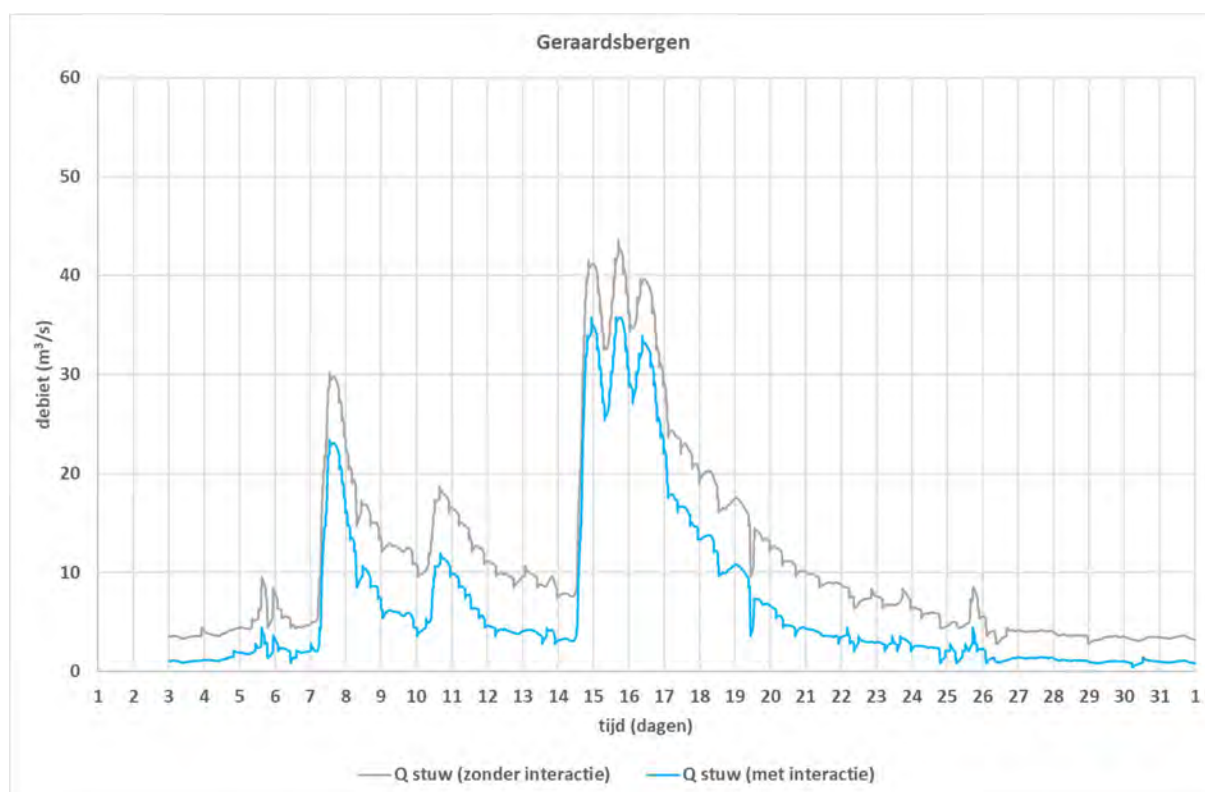
Figuur 182 – Juni 2016 - Denderleeuw (reeks 2)



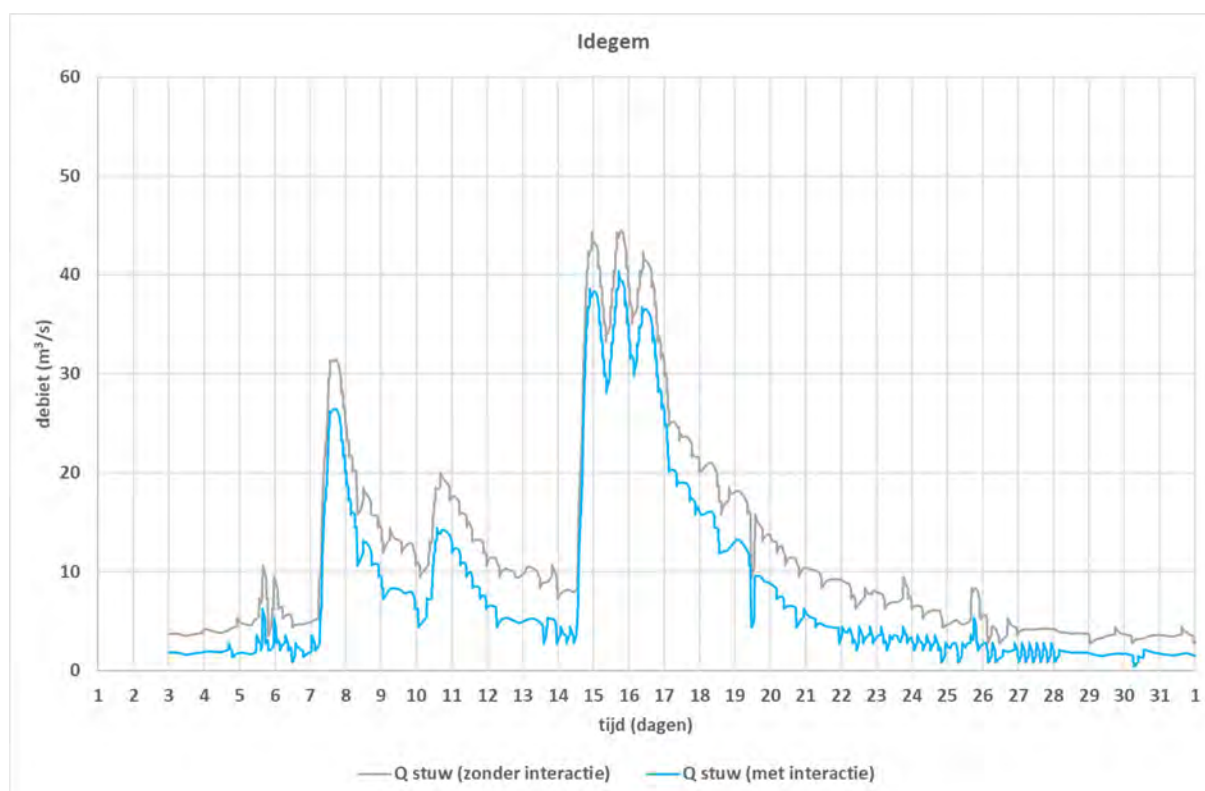
Figuur 183 – Juni 2016 - Aalst (reeks 2)



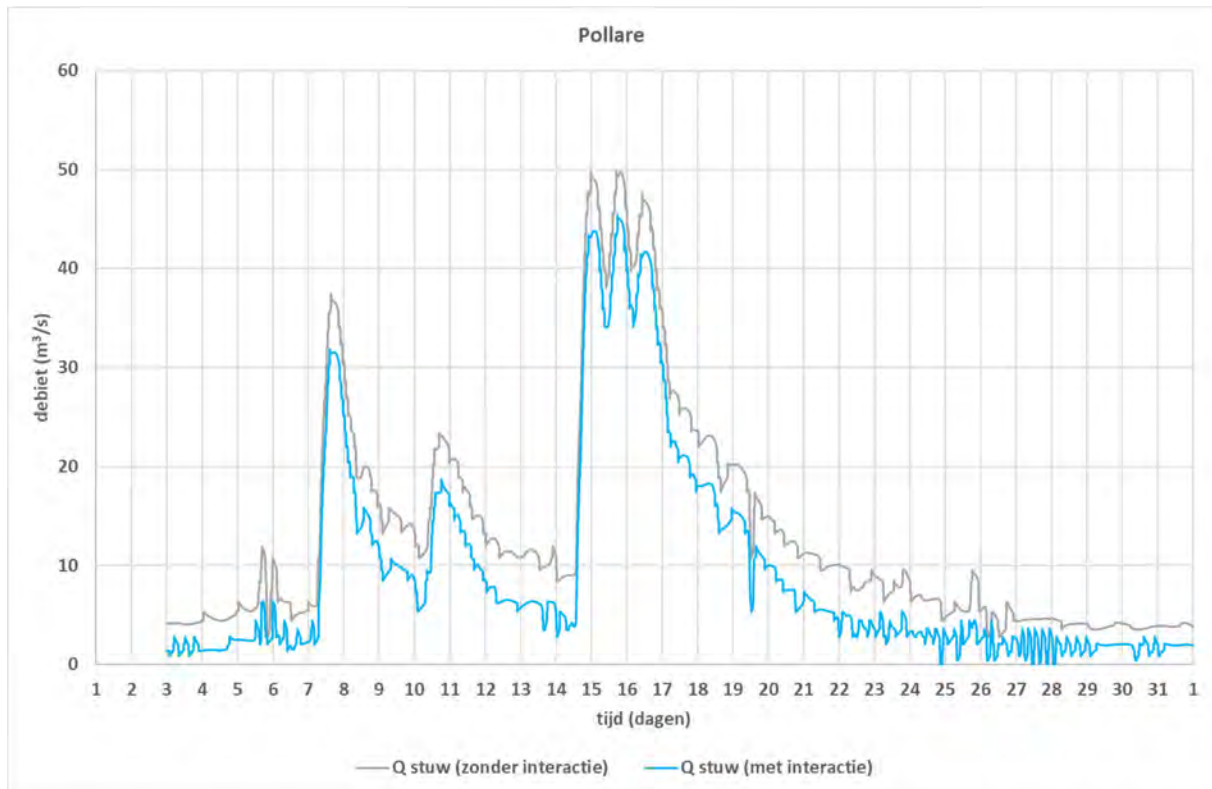
Figuur 184 – Juni 2016 - Denderbelle (reeks 2)



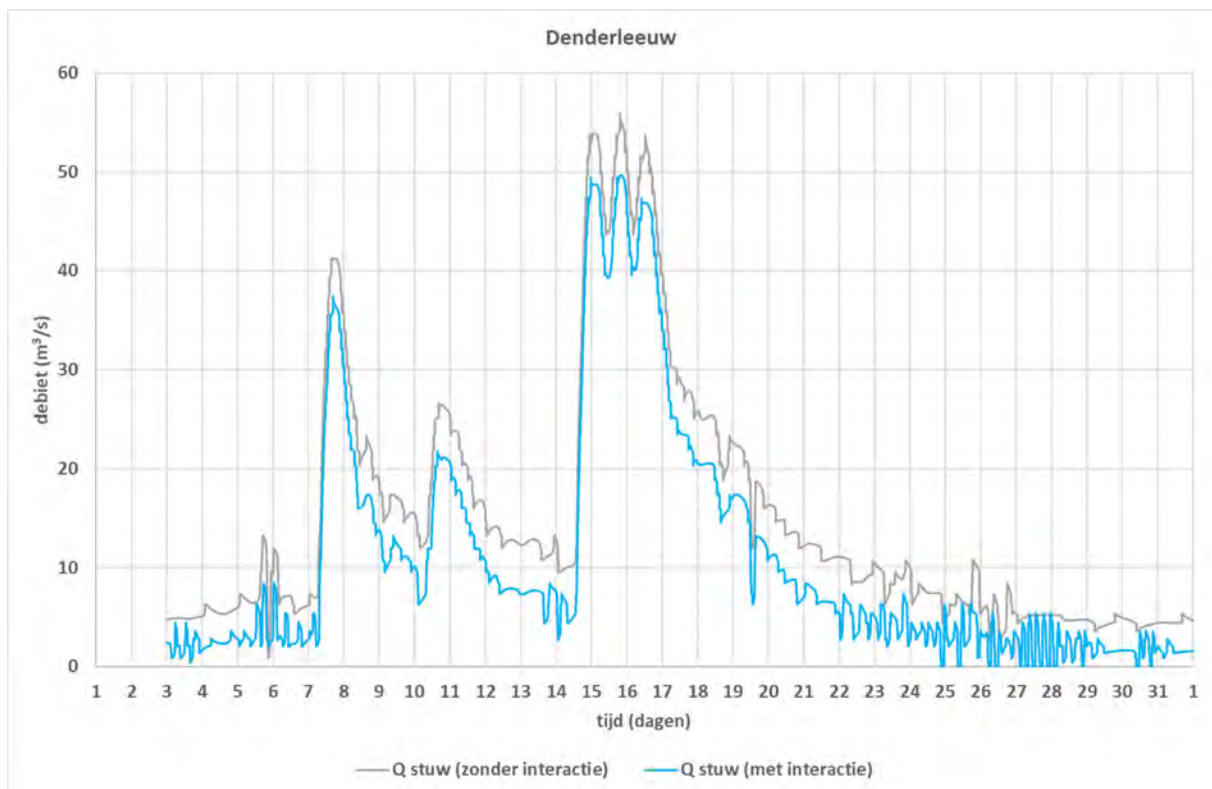
Figuur 185 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



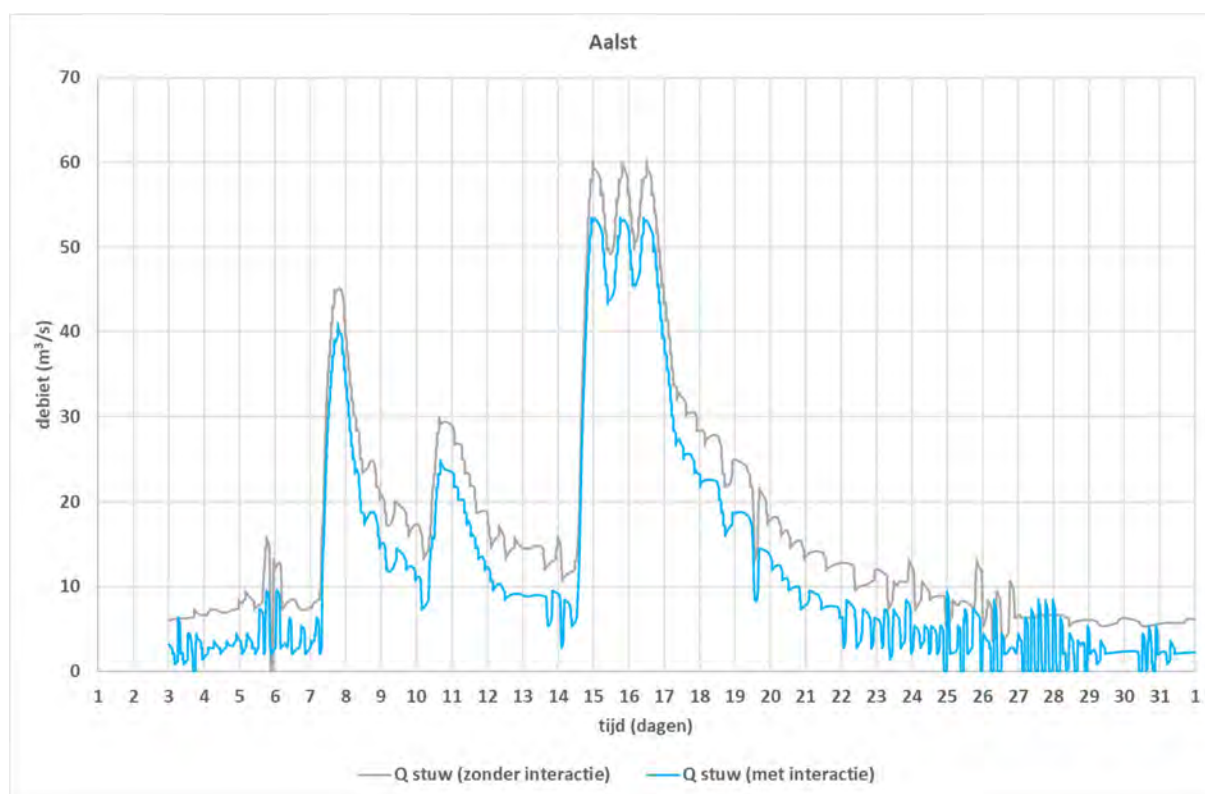
Figuur 186 – Maart 2019 - Idegem (reeks 2)



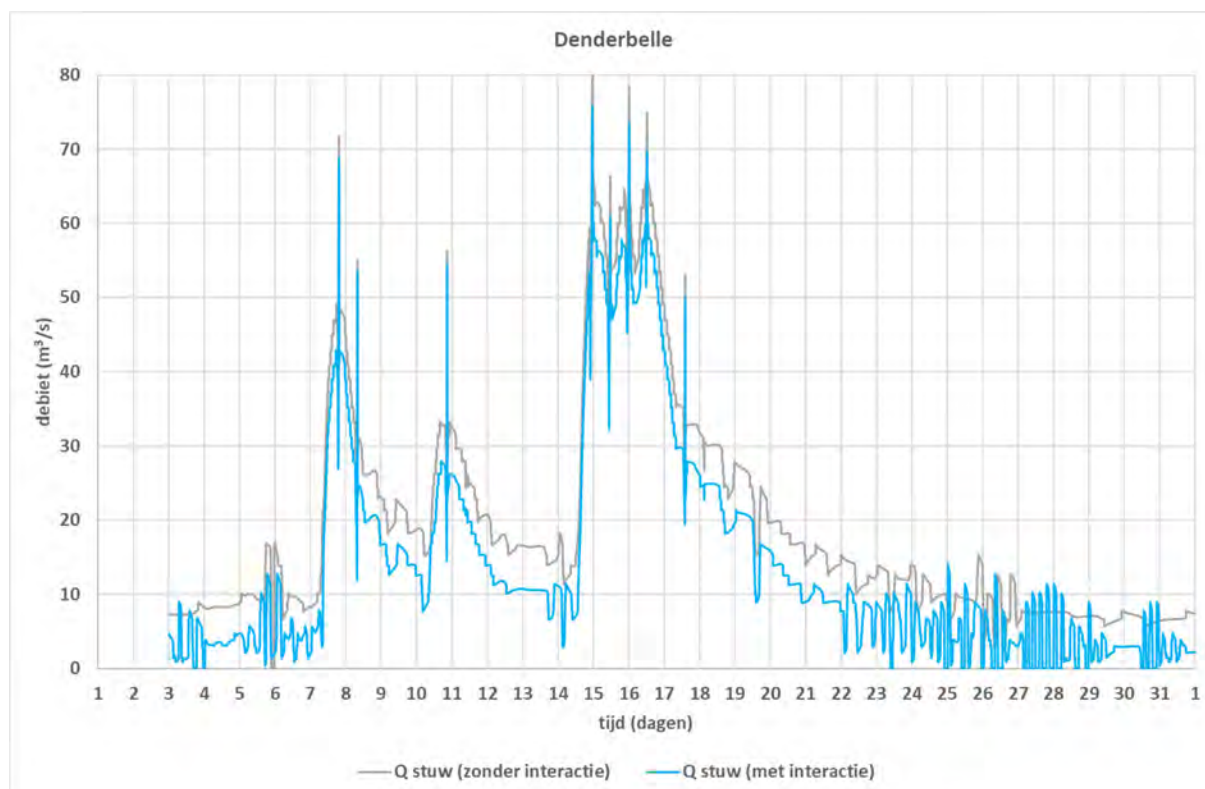
Figuur 187 – Maart 2019 - Pollare (reeks 2)



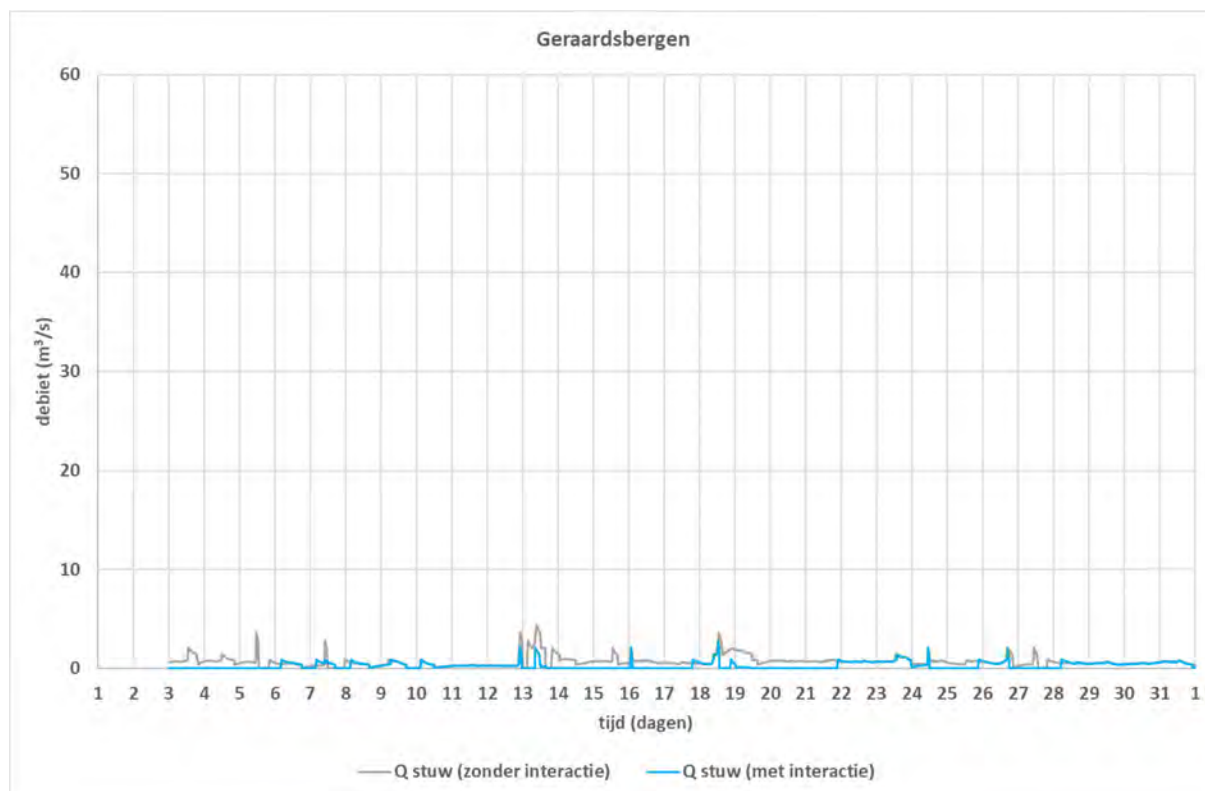
Figuur 188 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



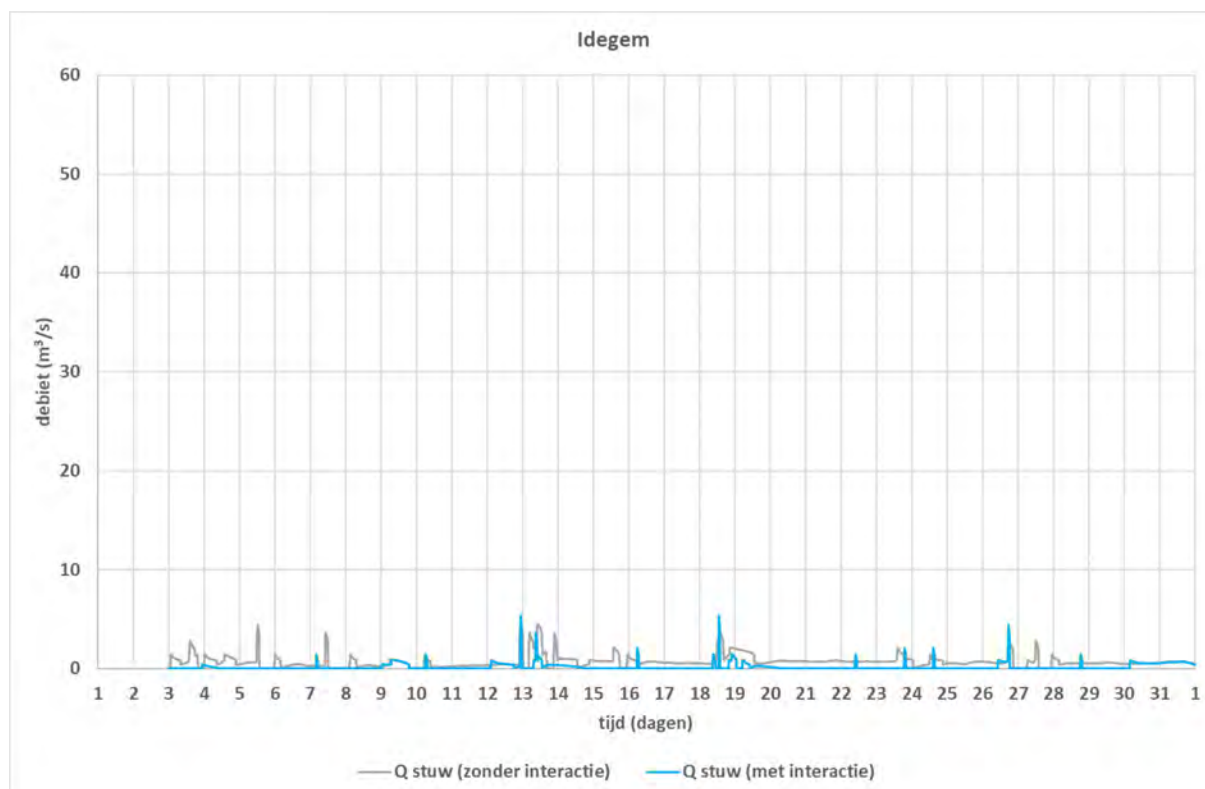
Figuur 189 – Maart 2019 - Aalst (reeks 2)



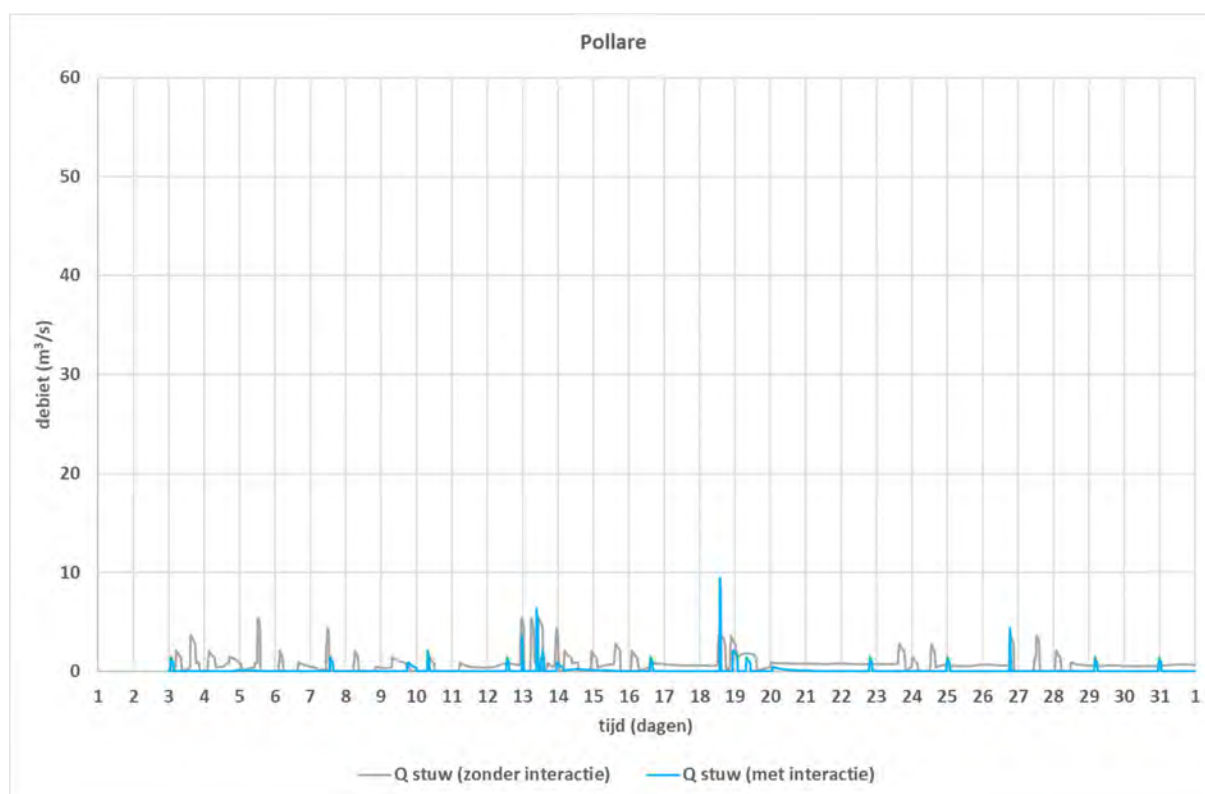
Figuur 190 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 2)



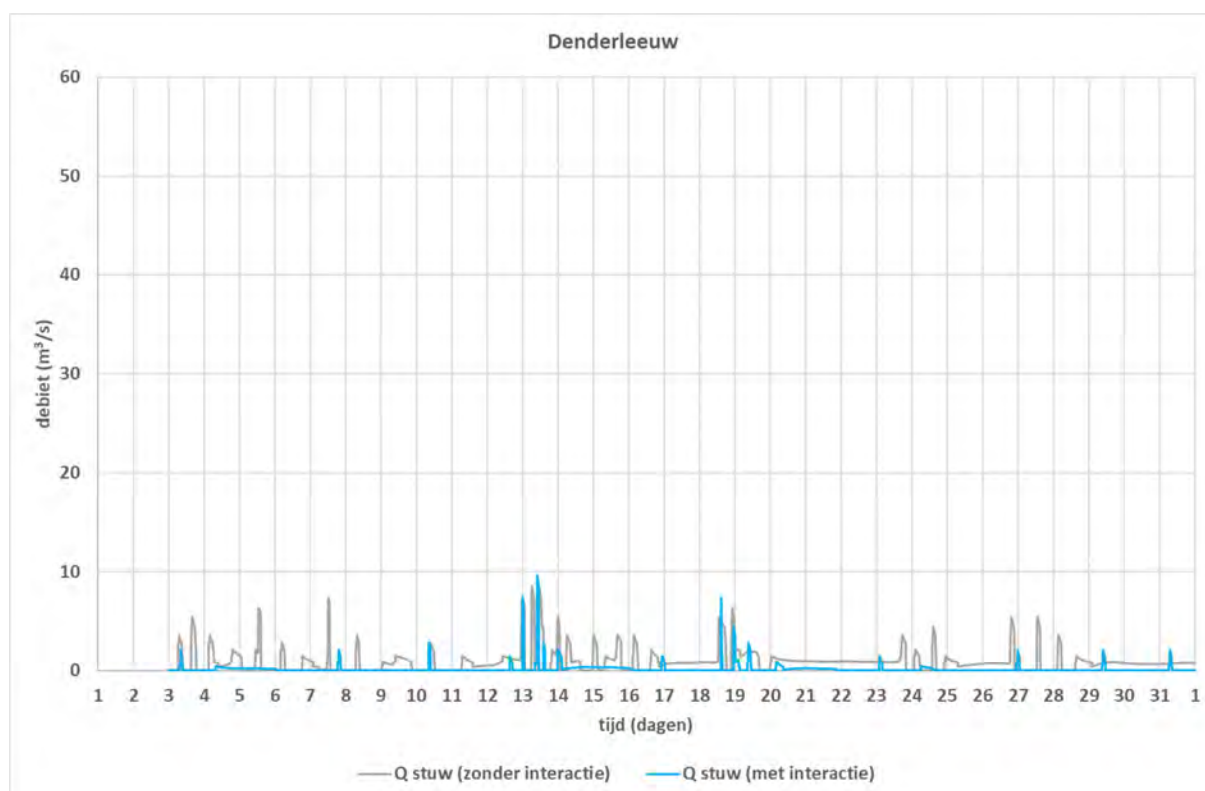
Figuur 191 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



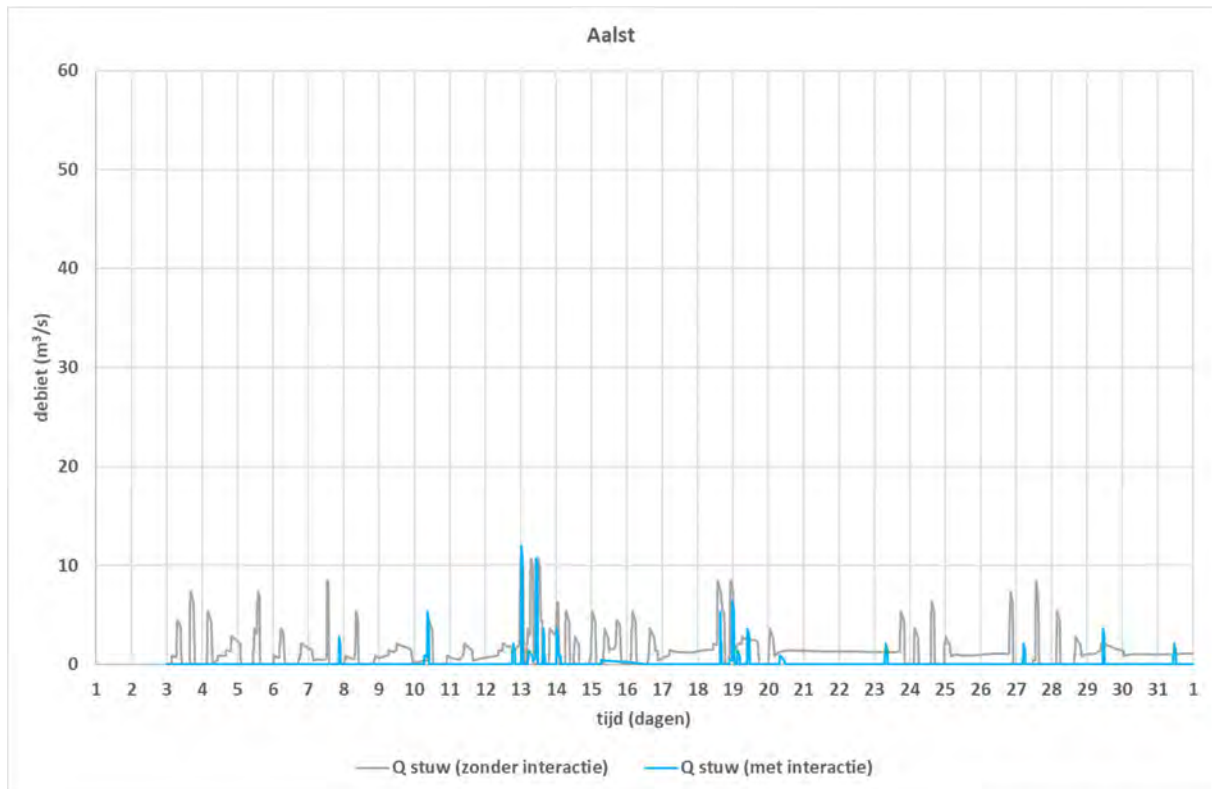
Figuur 192 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 2)



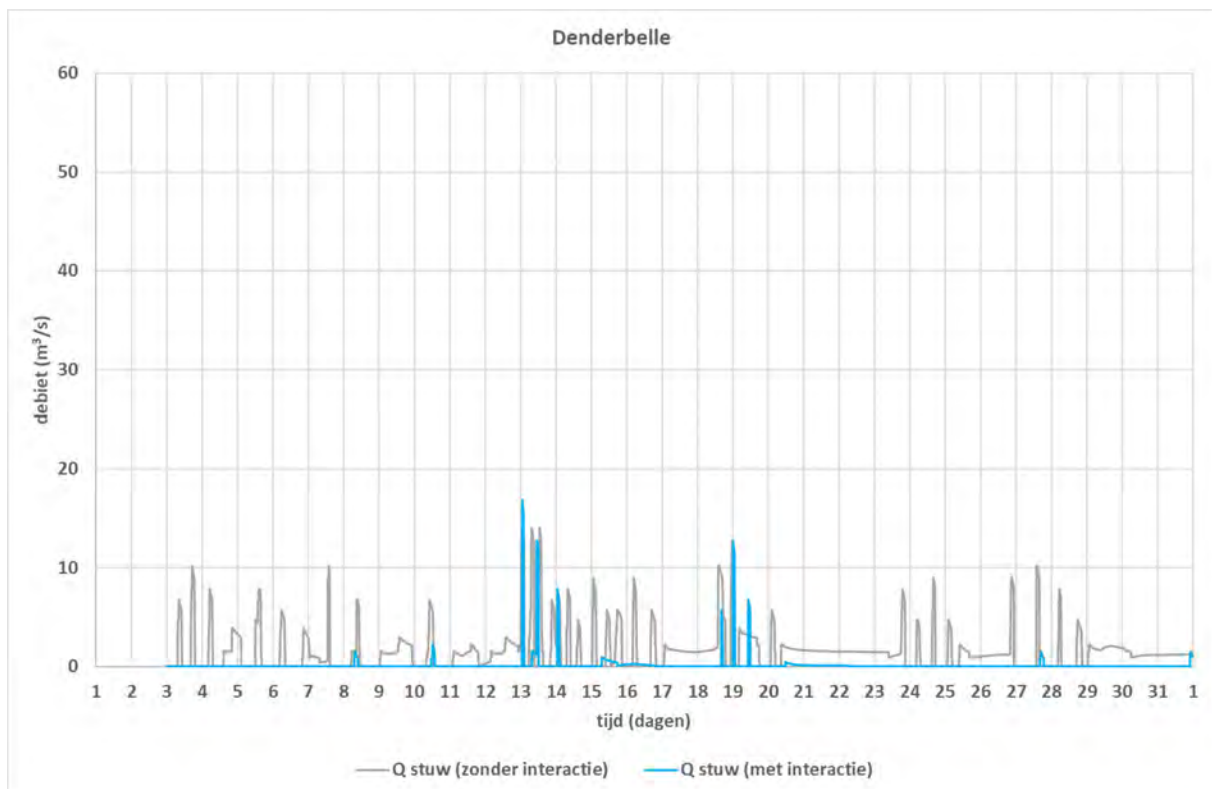
Figuur 193 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 2)



Figuur 194 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



Figuur 195 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 2)



Figuur 196 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 2)

7.3 Conclusies en aanbevelingen

Tijdens de analyse van de stuwwerking is gebleken dat een lokale sturing op waterpeil aanleiding kan geven tot versterking van kleine debietschommelingen. De studie van de interactie tussen de stuwen en de vispassages toont aan dat deze debietschommelingen geen negatieve invloed hebben op de werking van de vispassages. Het toegevoegd debiet van de vispassages volgt de debietschommelingen uiteraard wel aangezien het rechtstreeks gekoppeld is aan het debiet over de stuwen.

De aanwezigheid van vispassages met een bijhorend toegevoegd debiet leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen bij lage en middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het volledig optrekken van de kleppen van de stuwen (m.a.w. geen overstortdebiet) tijdens debietschommelingen en tijdens droogweerperioden toe. Dit hoeft echter niet tot operationele problemen te leiden. Het beschikbare debiet wordt in deze situaties juist optimaal ingezet voor vismigratie.

Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langsheen de Dender wordt dus niet in rekening gebracht.

Aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden van een centrale, anticipatieve sturing (zoals voorzien voor fase 4) blijft nuttig met het oog op het beperken van de schommelingen van het debiet over de stuwen en het daaraan gekoppelde frequent op- en afschakelen van het toegevoegd debiet. Voor het verzekeren van de goede werking van de vispassages lijkt een dergelijke sturing echter niet noodzakelijk.

8 Samenvatting conclusies en aanbevelingen

In de volgende paragrafen worden de conclusies en aanbevelingen van de verschillende deelstudies (eerder beschreven in paragrafen 5.3, 6.3 en 7.3) nog eens samengevat.

8.1 Vispassages

Op de meeste sites is de openingsgraad van de vispassage goed tot zeer goed. Het gebruik van kleine bekkentrappen met een toegevoegd debiet in Geraardsbergen, Aalst en Denderbelle laat toe de vispassages langer open te houden in perioden met waterschaarste. Dit effect lijkt het grootst in Geraardsbergen. De locaties met een vertical slotvispassage kunnen relatief langer open blijven in perioden van waterschaarste door een lager basisdebiet.

Het openen van de vispassages kan gebeuren op basis van het waterpeil in het opwaarts pand of op basis van het debiet over de stuwen. Om de vispassages zo lang mogelijk open te houden lijkt een opening op basis van het waterpeil in het opwaarts pand het meest geschikt. Om het waterpeil in het opwaarts pand zo dicht mogelijk bij het streefpeil te houden lijkt een opening op basis van het debiet over de stuwen het meest geschikt. De impact van het openingsmechanisme is het grootst voor grote bekkentrappen zonder toegevoegd debiet en tijdens droge jaren. Over het algemeen is opening op basis van debiet en sluiting op basis van waterpeil vermoedelijk de meest optimale regeling.

Om de impact van de keuze van het openingsmechanisme te minimaliseren kan men opteren voor een flexibel algoritme, waarbij de vispassage geopend wordt op basis van een combinatie van waterpeil en debiet. De beheerder kan dan zelf beslissen om de vispassage te openen op basis van waterpeil en/of debiet. Op basis van ervaring, weersomstandigheden en beheerprioriteiten, kan hij dan steeds het meest geschikte mechanisme instellen.

Door het gebruik van lage drempelwaarden voor het stuwdebiet waarbij het toegevoegd debiet ingeschakeld wordt, kan het toegevoegd debiet snel en lang geactiveerd worden. Dit heeft een groot positief effect op de attractiviteit (vindbaarheid) van de vispassage. Door het gebruik van hysteresis in de drempelwaarden van het stuwdebiet voor het op- en afschakelen van het toegevoegd debiet kan de schakelfrequentie van het toegevoegd debiet sterk beperkt worden.

Indien het toegevoegd debiet gebruikt zou worden voor het regelen van het waterpeil bij lage afvoeren, dan zullen deze lage afvoeren verplaatst worden van de stuwen naar de vispassages. Verwacht wordt dat dit de attractiviteit en daarmee de werking van de vispassage verder zal versterken aangezien de vispassage hierdoor een groot deel van de tijd de hoofdloop zal worden. Om een goede regeling van het waterpeil te verzekeren, dient het toegevoegd debiet dan echter continu te kunnen variëren. Om dit te kunnen realiseren, moeten de schuiven van het toegevoegd debiet dan ook flexibeler en robuuster uitgevoerd worden. Bovendien zou het sturingsalgoritme voldoende flexibel moeten zijn opdat de peilregeling door het toegevoegd debiet uitgeschakeld zou kunnen worden indien nodig (bv. tijdens onderhoudswerken aan de vispassage). Tenslotte moeten de nodige veiligheidsmaatregelen ingebouwd worden opdat de stuwen het peilbeheer automatisch zouden overnemen, zodra het toegevoegd debiet een storing vertoont.

8.2 Stuwen

Theoretische beschouwingen op basis van de fysische kenmerken van de verschillende panden van de gekanaliseerde Dender doen vermoeden dat een automatische lokale sturing op waterpeil aanleiding zou kunnen geven tot versterkingen van debietschommelingen bij afvoeren minder dan 10 à 20 m³/s. Controleberekeningen met synthetische en historische gebeurtenissen bevestigen dit vermoeden.

De versterking van de debietsafname op het einde van een was, kan ertoe leiden dat de meest afwaarts gelegen stuwen tijdelijk sluiten. Deze sluiting zou een negatieve impact kunnen hebben op de werking van de geplande vispassages.

Kleine verstoringen in de afvoer ter hoogte van de gewestgrens, vergelijkbaar met die in de meetreeks voor de Dender te Overboelare in het jaar 2019, zouden aanleiding kunnen geven tot het tijdelijk sluiten van een aantal vernieuwde stuwen in Vlaanderen. De laterale instroming vanuit de zijlopen van de Dender volstaat niet om dit te voorkomen.

De precieze oorzaak van de kleine verstoringen in de debietreeks van Overboelare is niet bekend. Indien er logboeken bestaan met een overzicht van de manuele interventies aan de stuwen van Geraardsbergen, dan zou het nuttig zijn om te onderzoeken of deze verstoringen eventueel gelinkt kunnen zijn aan bewegingen van de stuwen in Geraardsbergen.

De parameters van het onderzochte sturingsalgoritme blijken slechts een beperkte invloed te hebben op de werking van de volledige stuwenketen. De ongewenste versterking van een toename of afname van het debiet bij lage afvoeren blijft optreden bij verschillende combinaties van sturingsparameters.

In een laatste stap dient de interactie tussen de stuwen en de vispassages onderzocht te worden. Daarbij dient gecontroleerd te worden welk effect de versterking van debietschommelingen heeft op de werking van vispassages uitgerust met een toegevoegd debiet. Indien zou blijken dat het voorgestelde sturingsalgoritme een ongewenste impact heeft op de werking van de vispassages, dan moeten alternatieve sturingsalgoritmen onderzocht worden.

8.3 Interactie

Tijdens de analyse van de stuwwerking was gebleken dat een lokale sturing op waterpeil aanleiding kan geven tot versterking van kleine debietschommelingen. De studie van de interactie tussen de stuwen en de vispassages toont aan dat deze debietschommelingen geen negatieve invloed hebben op de werking van de vispassages. Het toegevoegd debiet van de vispassages volgt de debietschommelingen uiteraard wel aangezien het rechtstreeks gekoppeld is aan het debiet over de stuwen.

De aanwezigheid van vispassages met een bijhorend toegevoegd debiet leidt logischerwijze tot een afname van het debiet over de stuwen bij lage en middelhoge afvoeren. Hierdoor neemt de kans op het volledig optrekken van de kleppen van de stuwen (m.a.w. geen overstortebiet) tijdens debietschommelingen en tijdens droogweeperperioden toe. Dit hoeft echter niet tot operationele problemen te leiden. Het beschikbare debiet wordt in deze situaties juist optimaal ingezet voor vismigratie.

Het toegepaste model maakt gebruik van daggemiddelde schutverliezen. De mogelijke impact van schutgolven op de werking van de kunstwerken langsheen de Dender wordt dus niet in rekening gebracht.

Aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden van een centrale, anticipatieve sturing (zoals voorzien voor fase 4) blijft nuttig met het oog op het beperken van de schommelingen van het debiet over de stuwen en het daaraan gekoppelde frequent op- en afschakelen van het toegevoegd debiet. Voor het verzekeren van de goede werking van de vispassages lijkt een dergelijke sturing echter niet noodzakelijk.

8.4 Actualisatie

De analyses beschreven in dit rapport zijn gebaseerd op de informatie die beschikbaar was bij de aanvang van de studie. Inmiddels zijn de ontwerpen voor de vispassages op een aantal sites reeds gewijzigd. Bovendien wordt de haalbaarheid van het plaatsen van kleine waterkrachtcentrales momenteel herbekeken. Alhoewel de algemene conclusies van de uitgevoerde analyses overeind blijven, zal de toekomstige situatie ongetwijfeld verschillen van de situatie beschreven in dit rapport. Voor een detailanalyse van het verwachte gedrag van een specifiek kunstwerk op een bepaalde site is een actualisatie op basis van de definitieve ontwerpen noodzakelijk.

9 Referenties

Cofely Fabricom (2015). Leie te Harelbeke - Bouw van een stuwsluis, Functionele analyse tijdelijke stuw (B.1220-ASB-DOC-04450-TST)

Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1969): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken; Wasserwirtschaft 10 (1969); S. 297ff

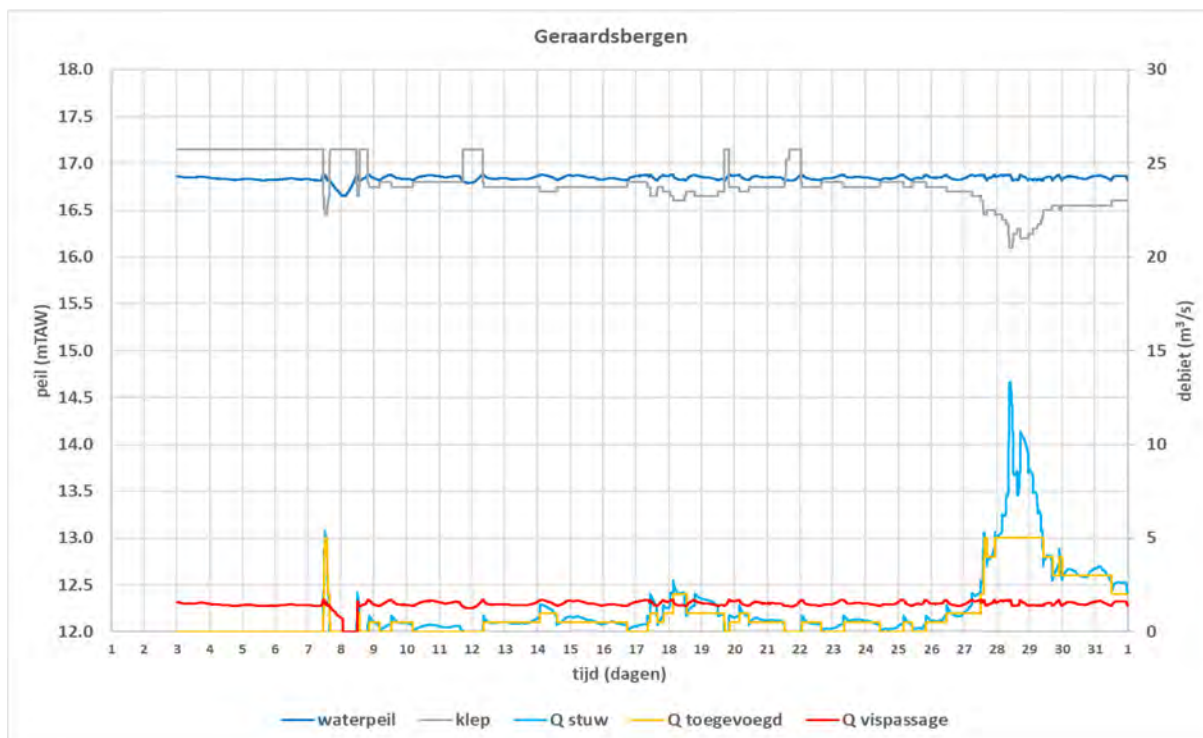
Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1976): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken mit automatischen Verfahren; Wasserwirtschaft 66 (1976) 6, S. 253ff

IMDC (2018). Actualisatie en verbetering van de hydrodynamische modellen van het beheersgebied van Waterwegen & Zeekanaal NV, afdeling Bovenschelde; Deelrapport 2: Hydrodynamisch model Dender, Actualisatie 2017; versie 2.0.

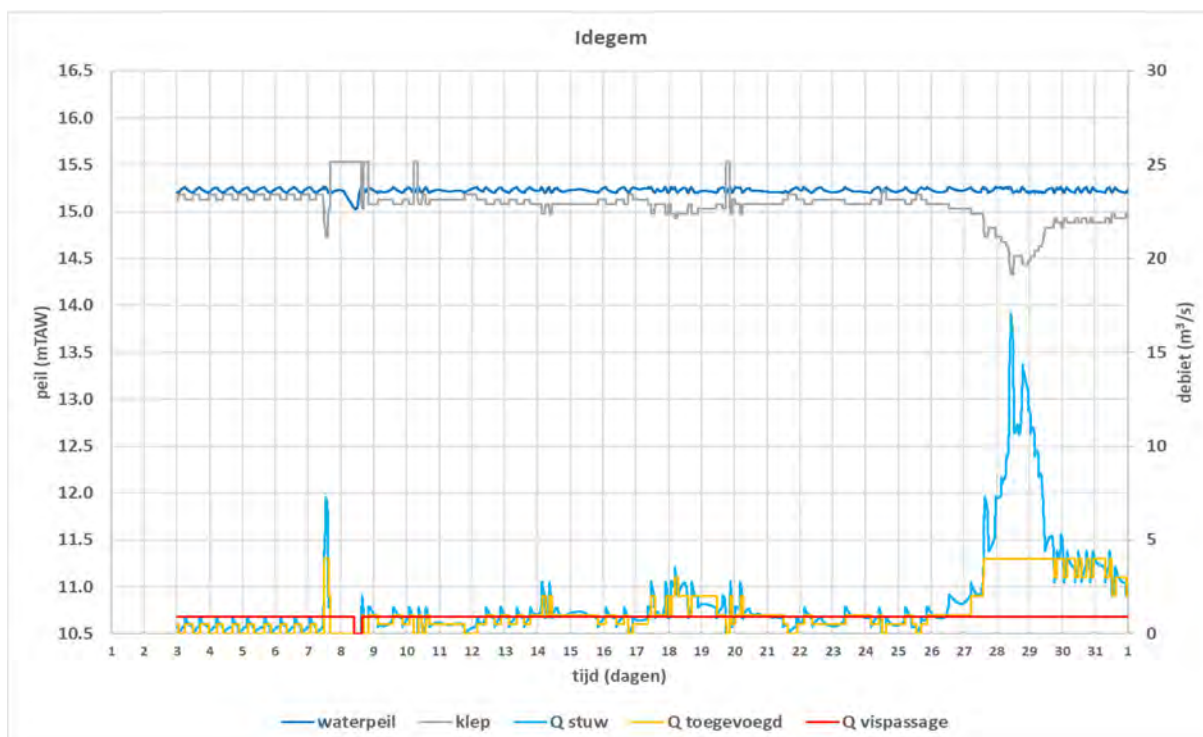
Vanderkimpen, P.; Visser, K. P.; Viaene, P. (2019). Voorstel sturing vispassage Kerkhove. Versie 3.0. WL Memo's, 16_045_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vanderkimpen, P.; Visser, K. P.; Viaene, P. (2020). Voorstel sturing vispassage Sint-Baafs-Vijve. Versie 3.0. WL Memo's, 15_036_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

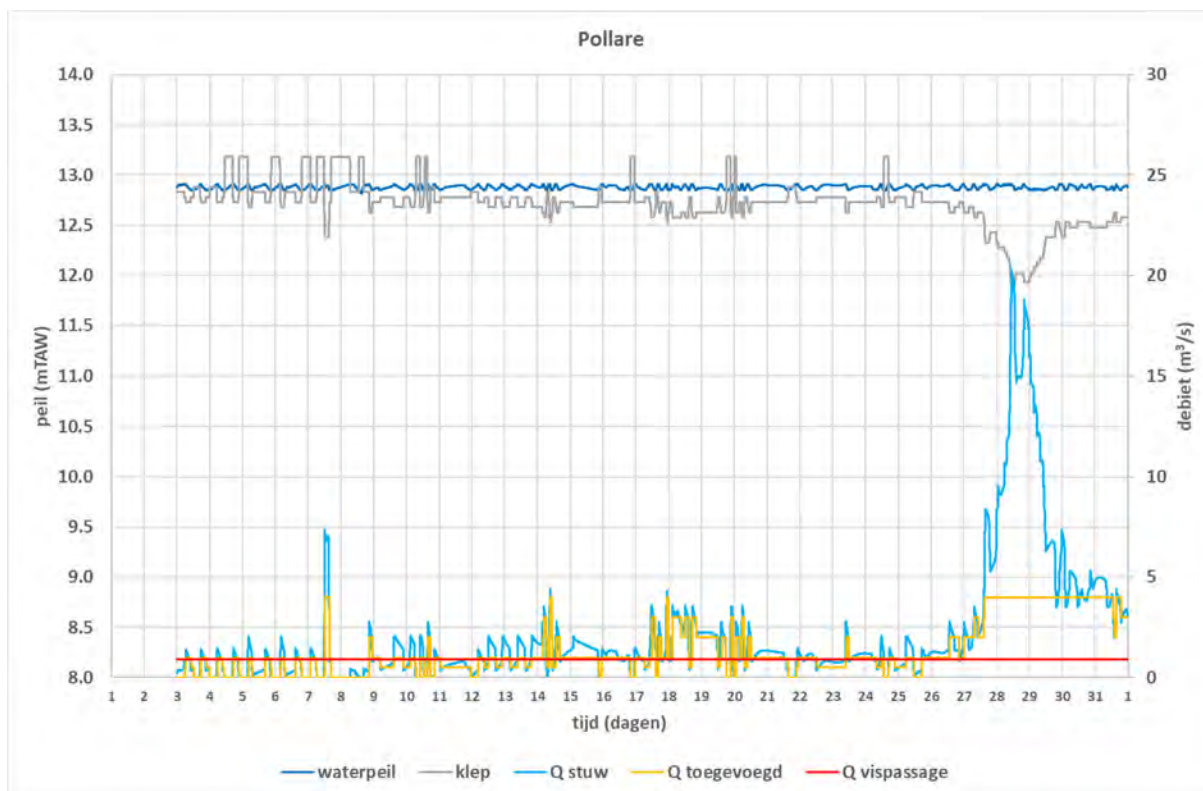
Bijlage 1 Interactie – figuren reeks 1



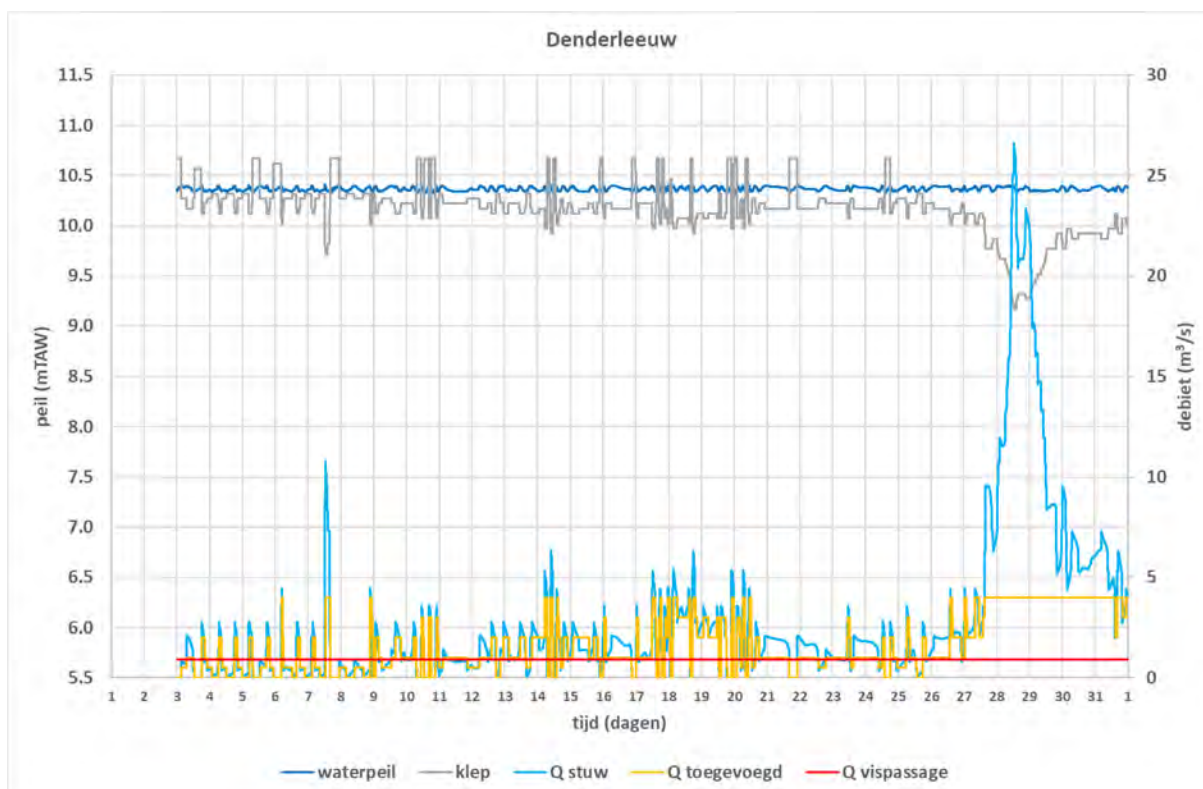
Figuur 1 – Januari 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



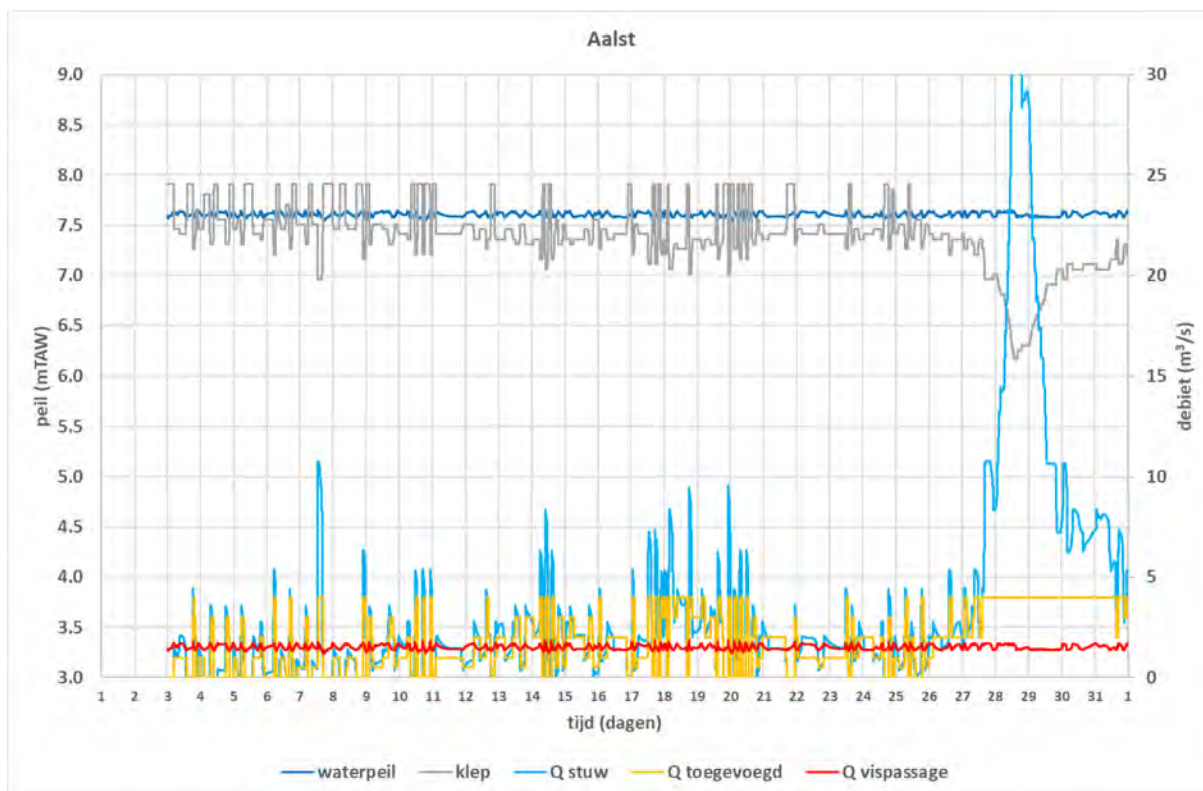
Figuur 2 – Januari 2019 - Idegem (reeks 1)



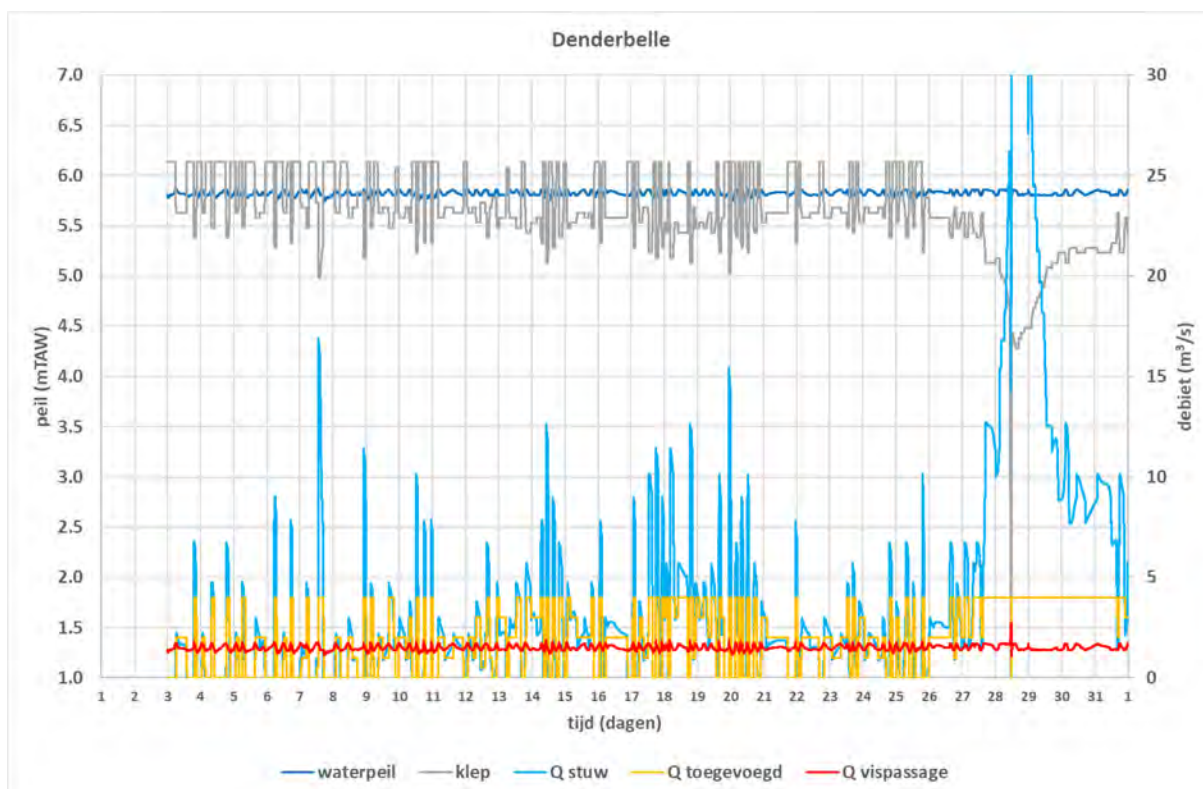
Figuur 3 – Januari 2019 - Pollare (reeks 1)



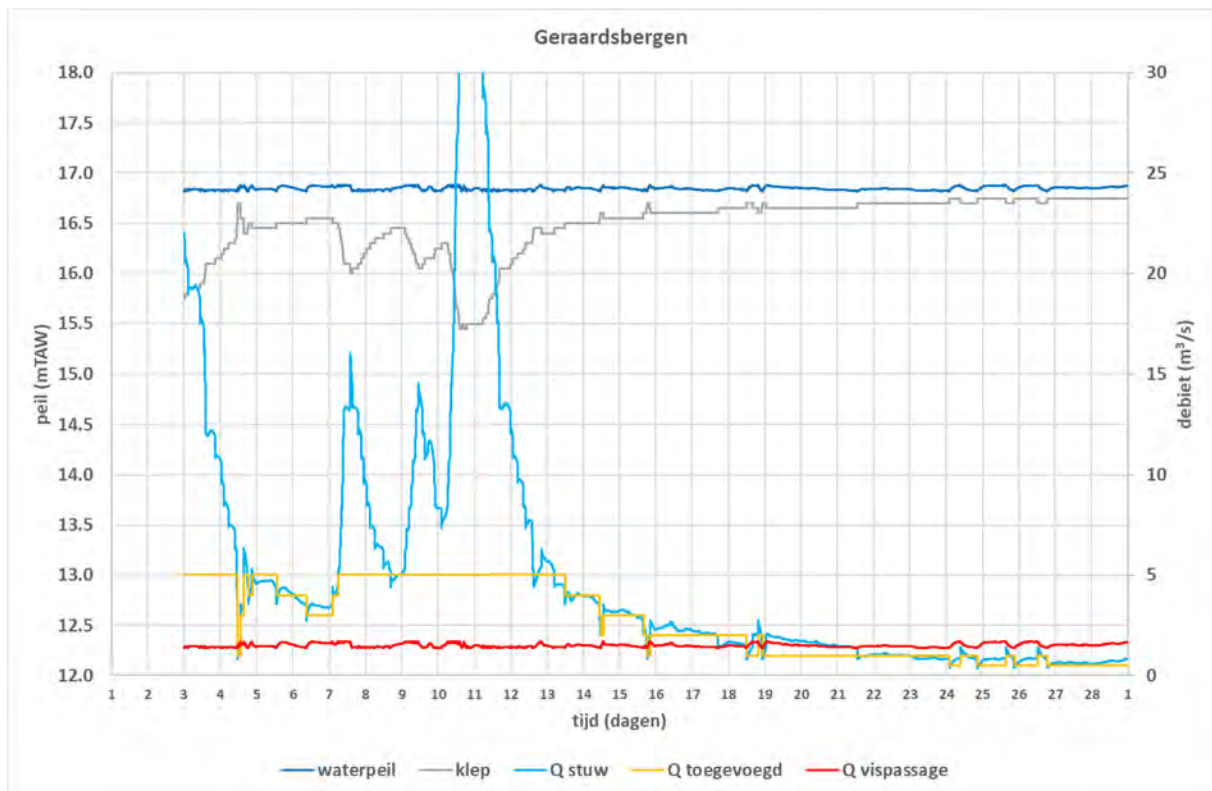
Figuur 4 – Januari 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



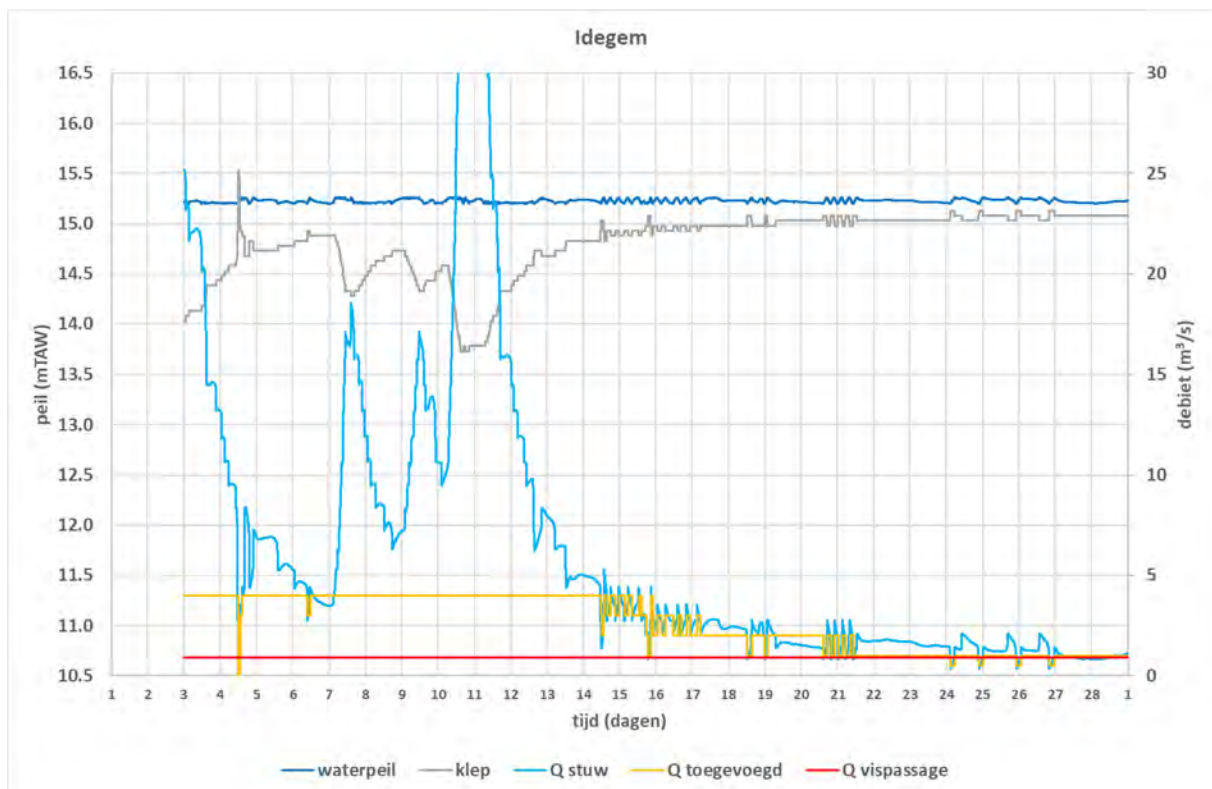
Figuur 5 – Januari 1919 - Aalst (reeks 1)



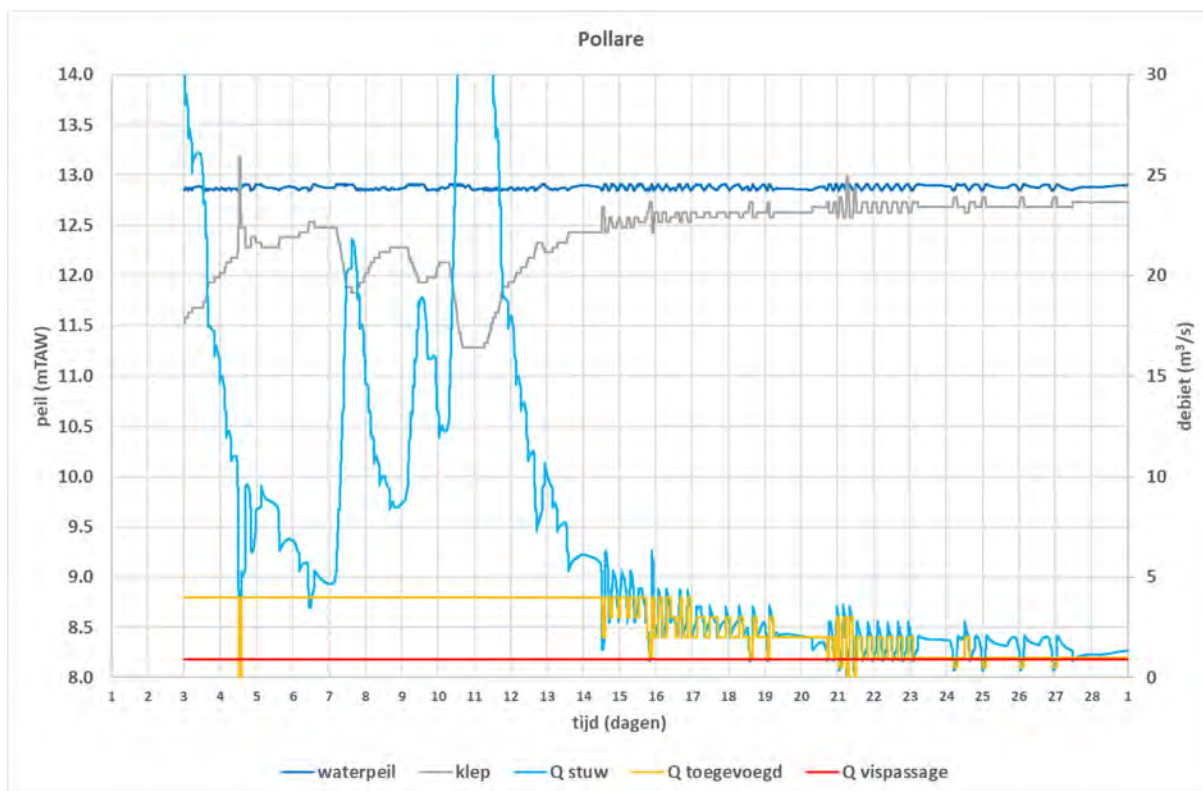
Figuur 6 – Januari 1919 - Denderbelle (reeks 1)



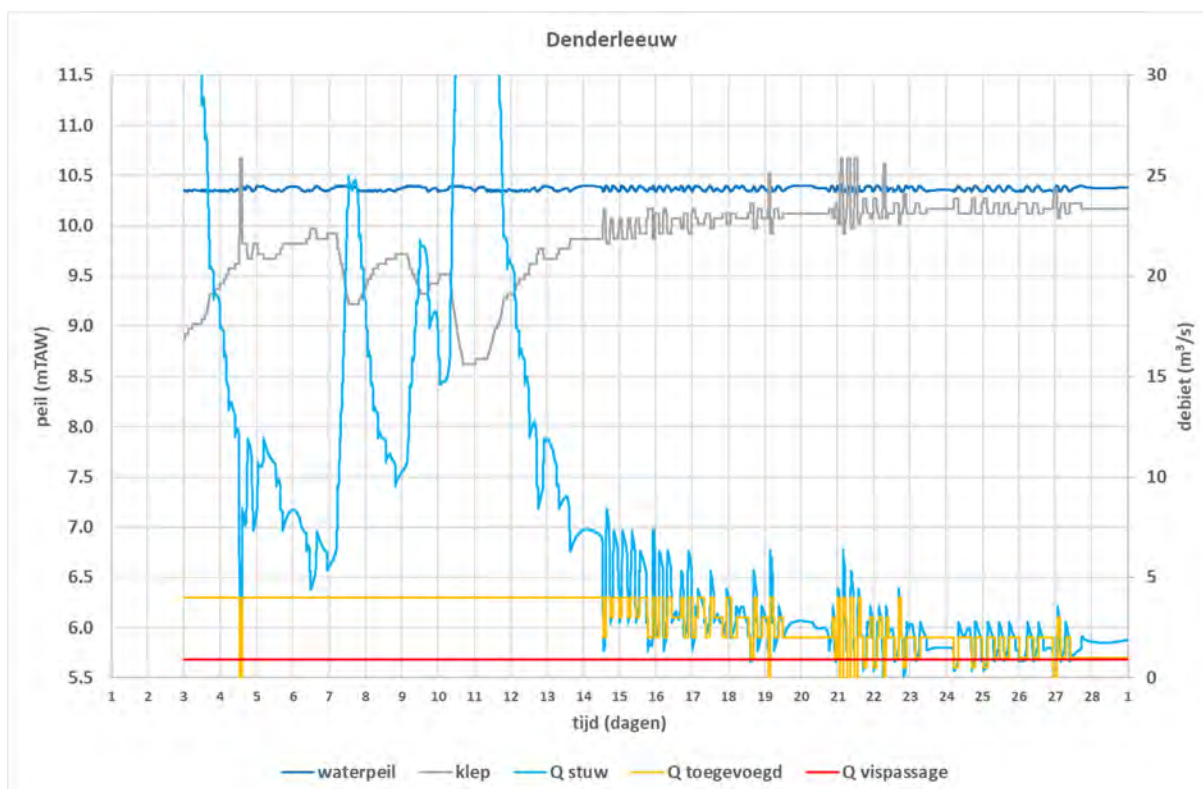
Figuur 7 – Februari 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



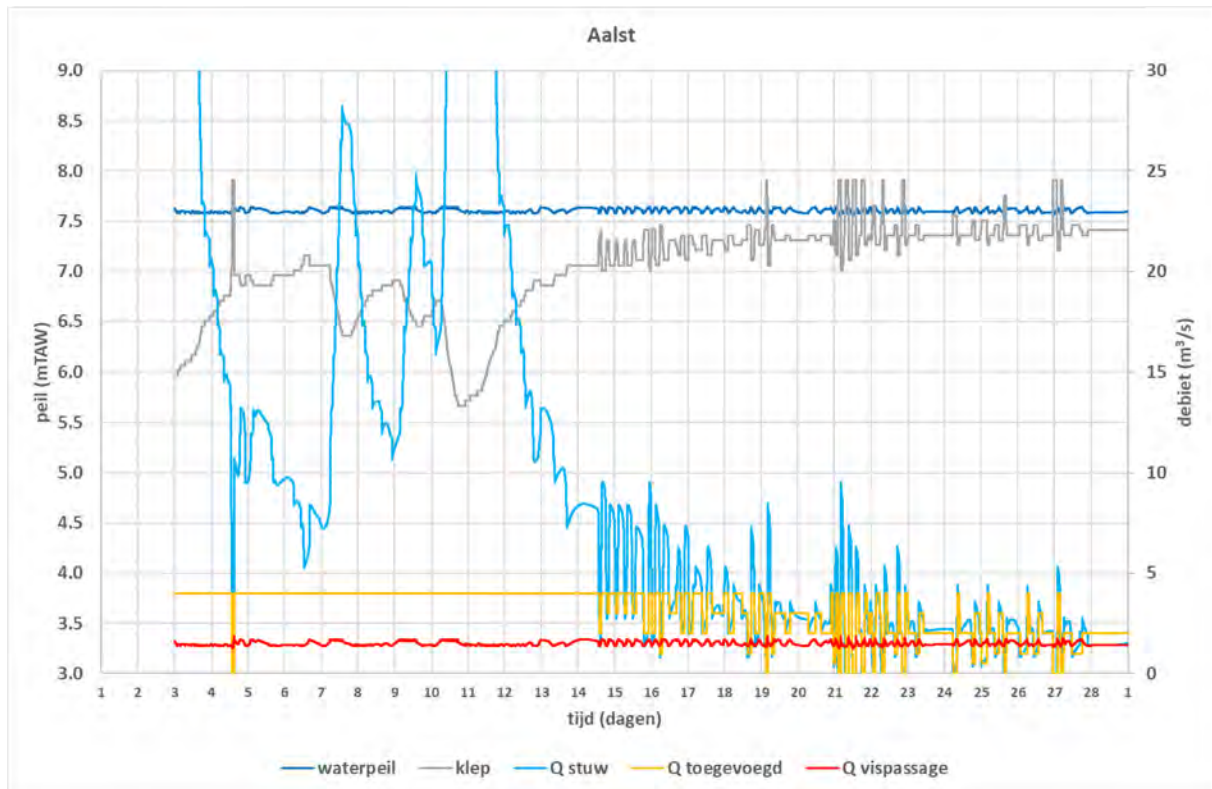
Figuur 8 – Februari 2019 - Idegem (reeks 1)



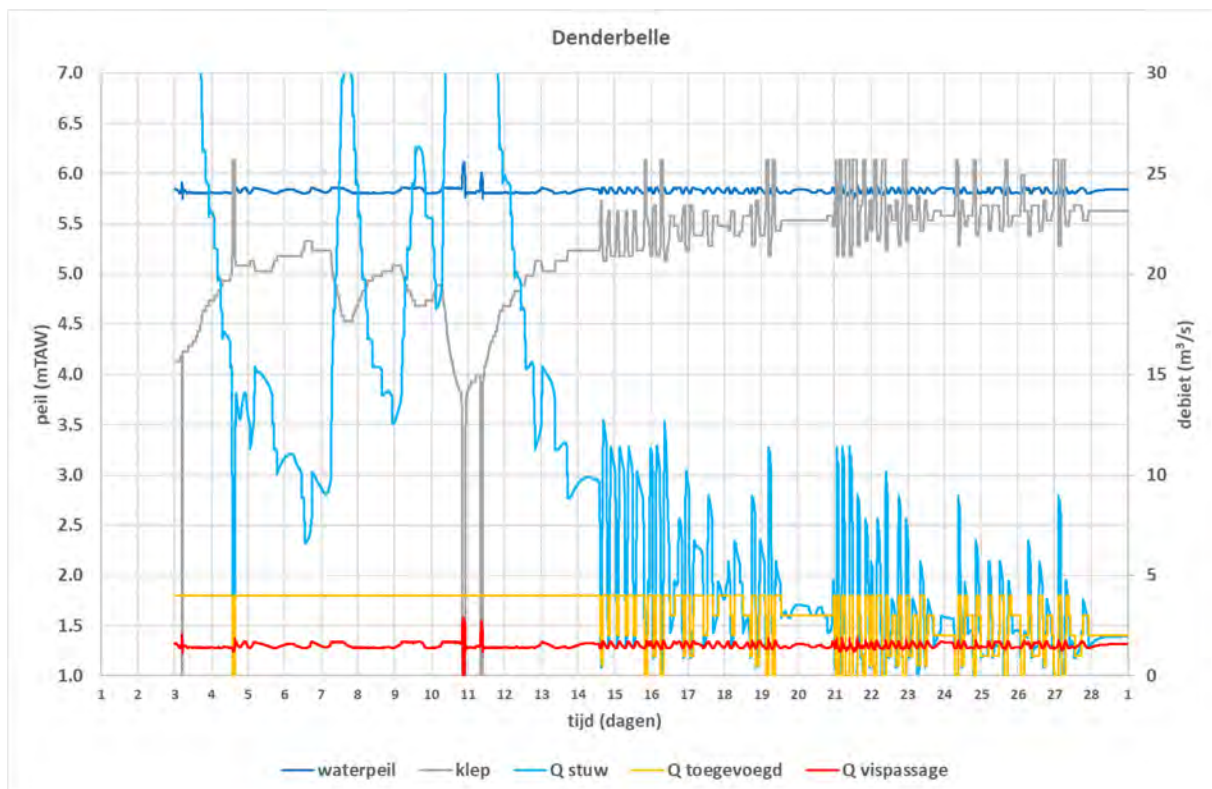
Figuur 9 – Februari 2019 - Pollare (reeks 1)



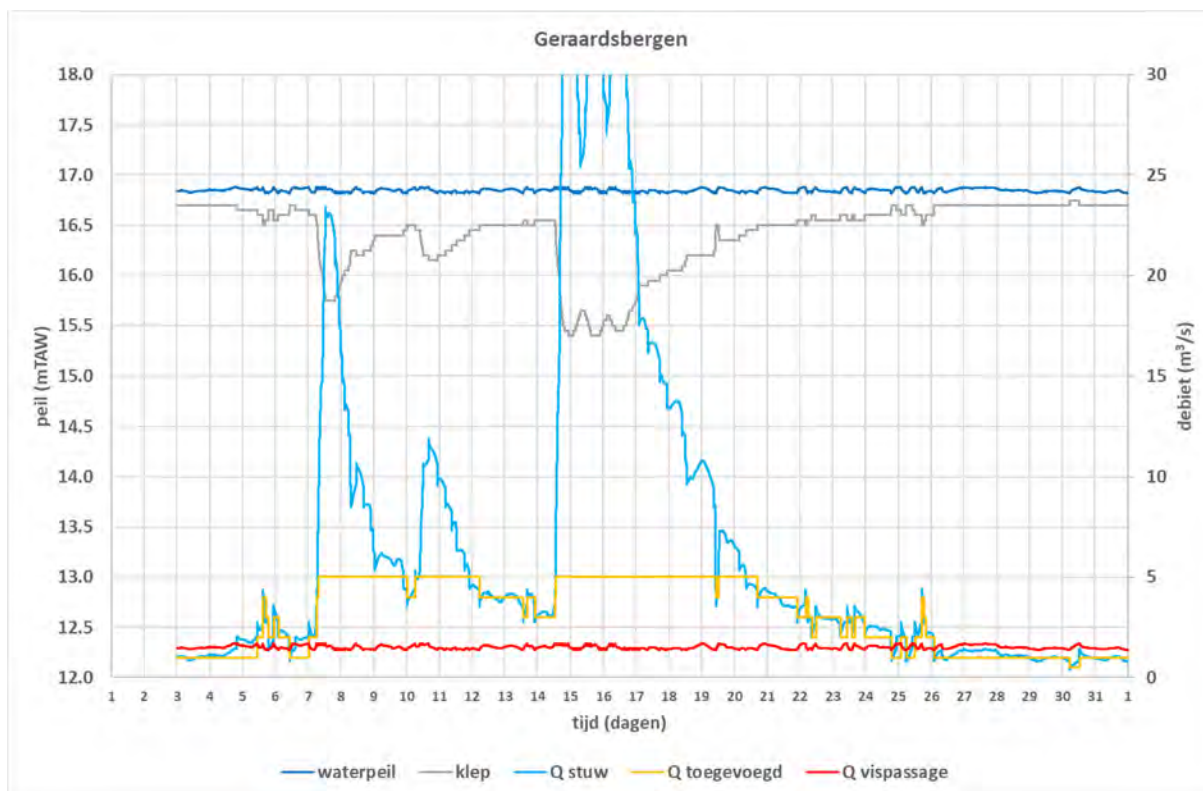
Figuur 10 – Februari 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



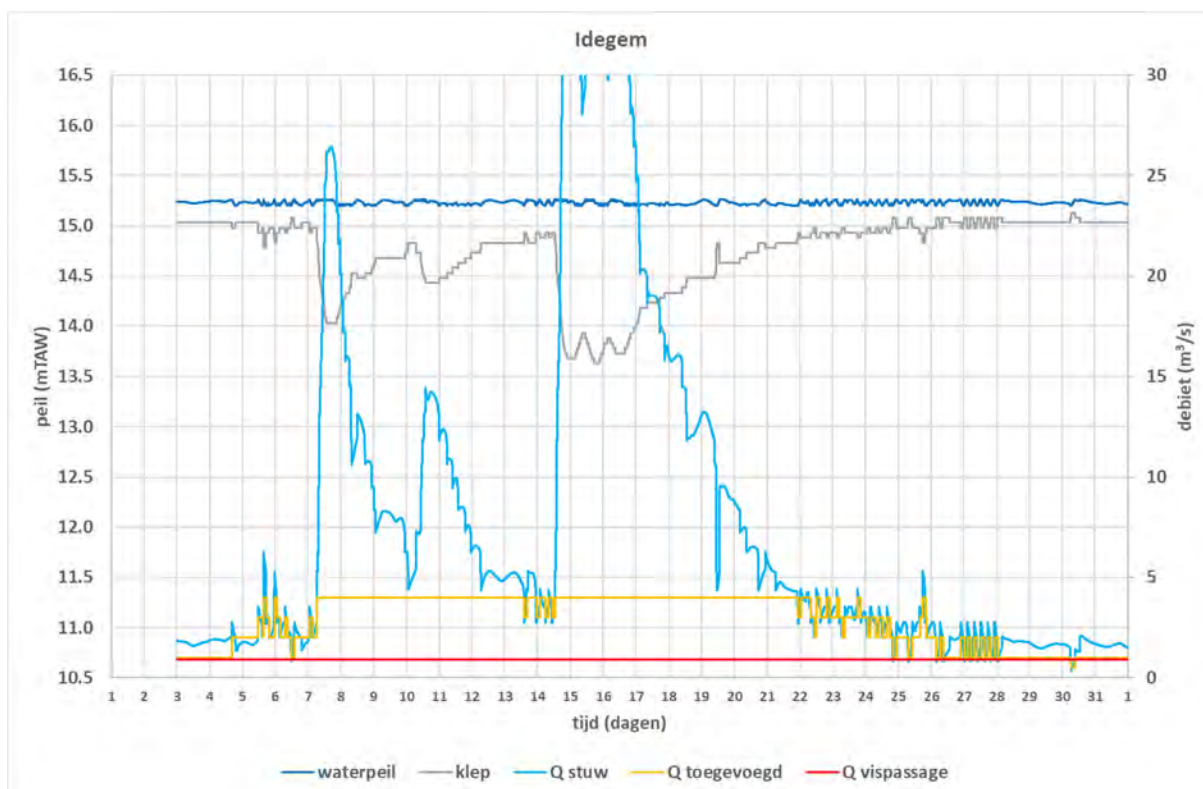
Figuur 11 – Februari 2019 - Aalst (reeks 1)



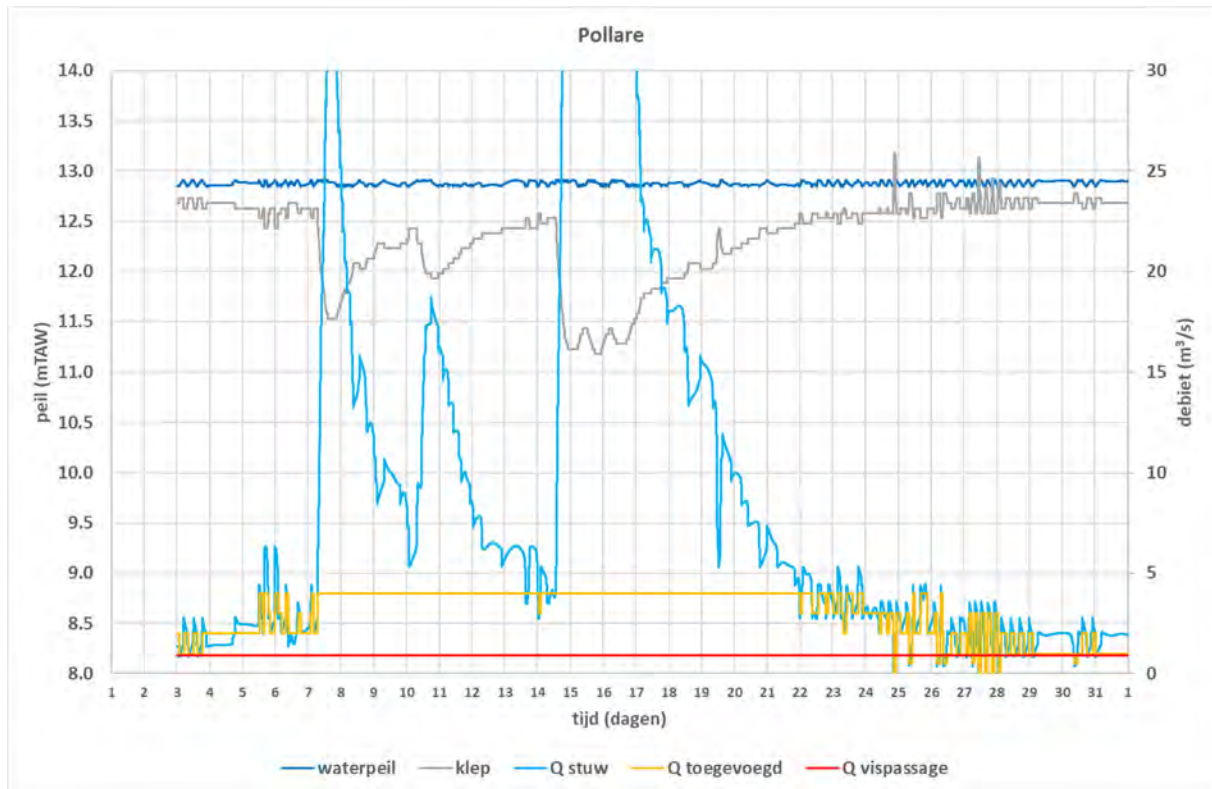
Figuur 12 – Februari 2019 - Denderbelle (reeks 1)



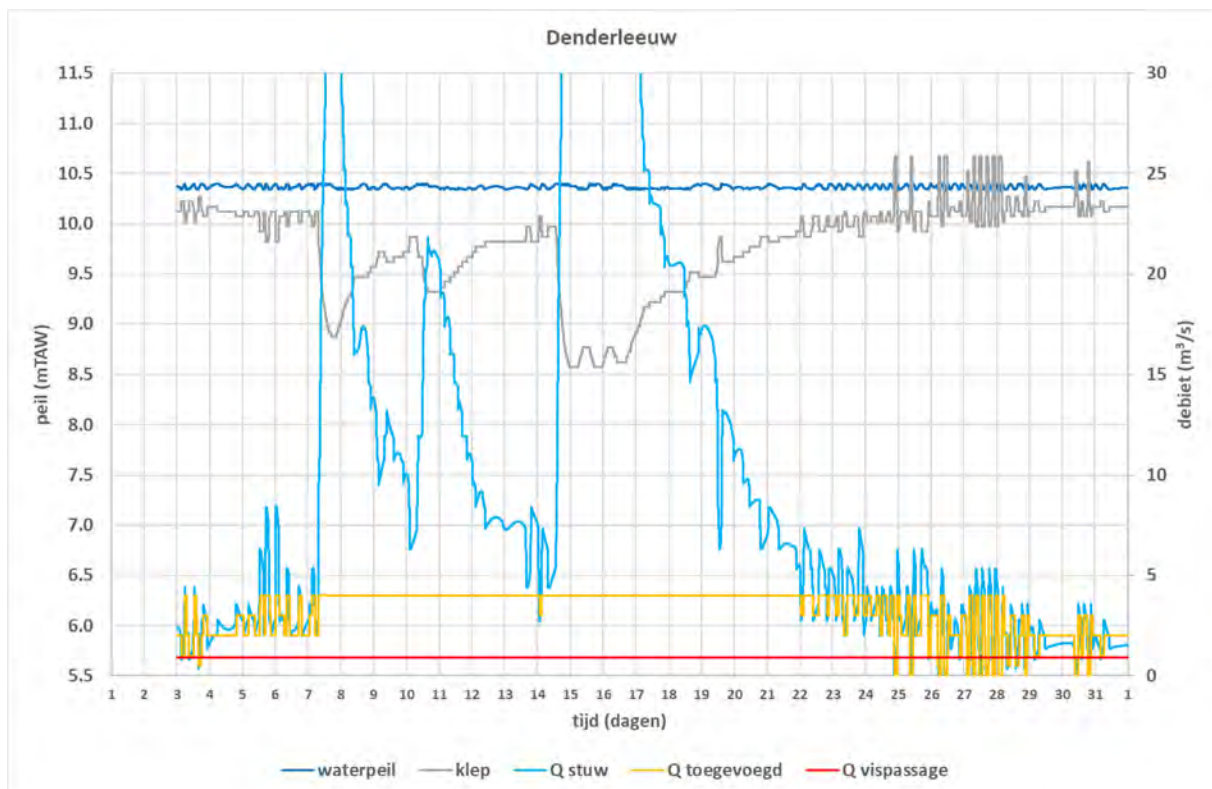
Figuur 13 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



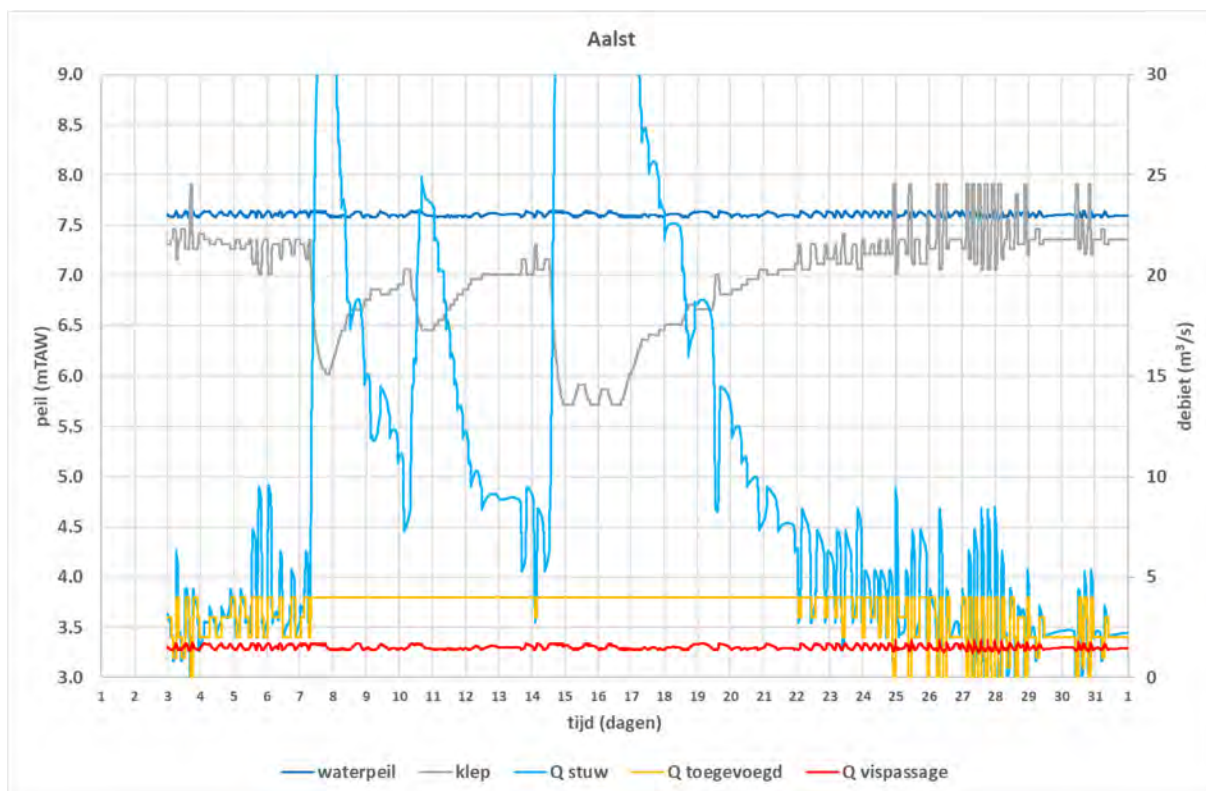
Figuur 14 – Maart 2019 - Idegem (reeks 1)



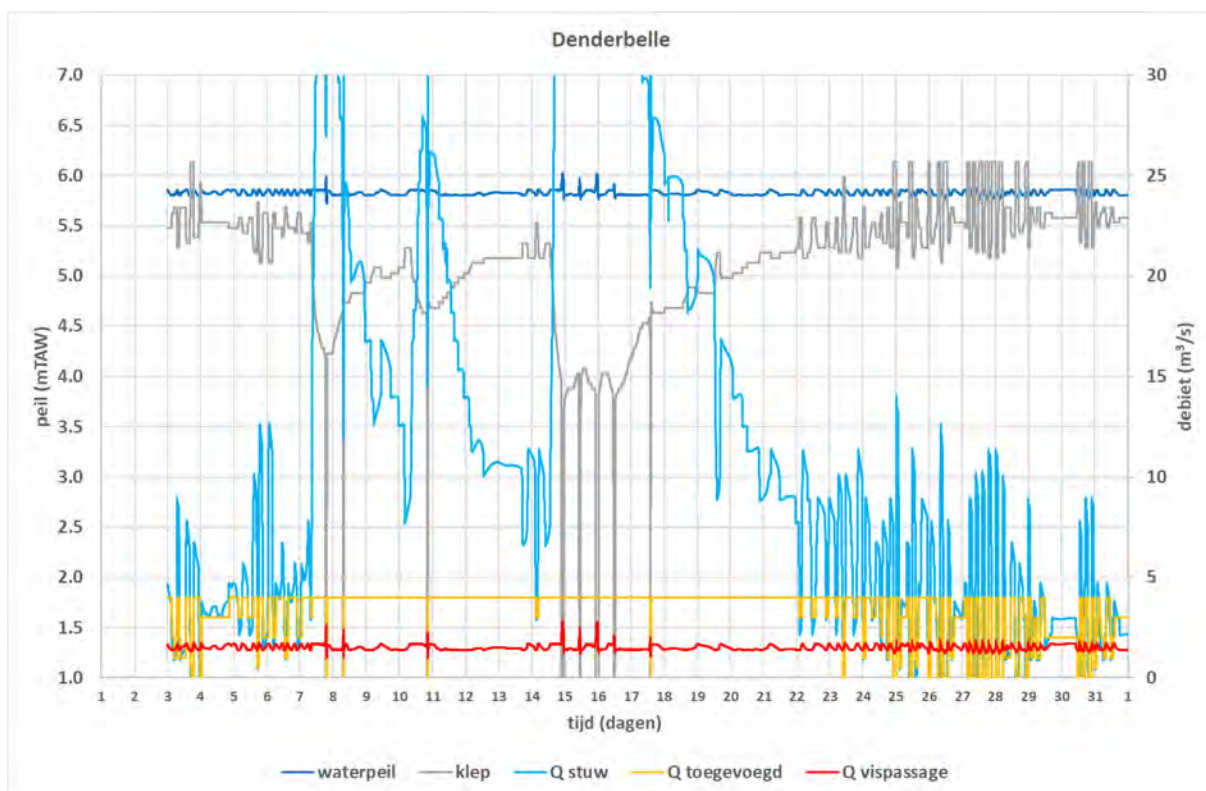
Figuur 15 – Maart 2019 - Pollare (reeks 1)



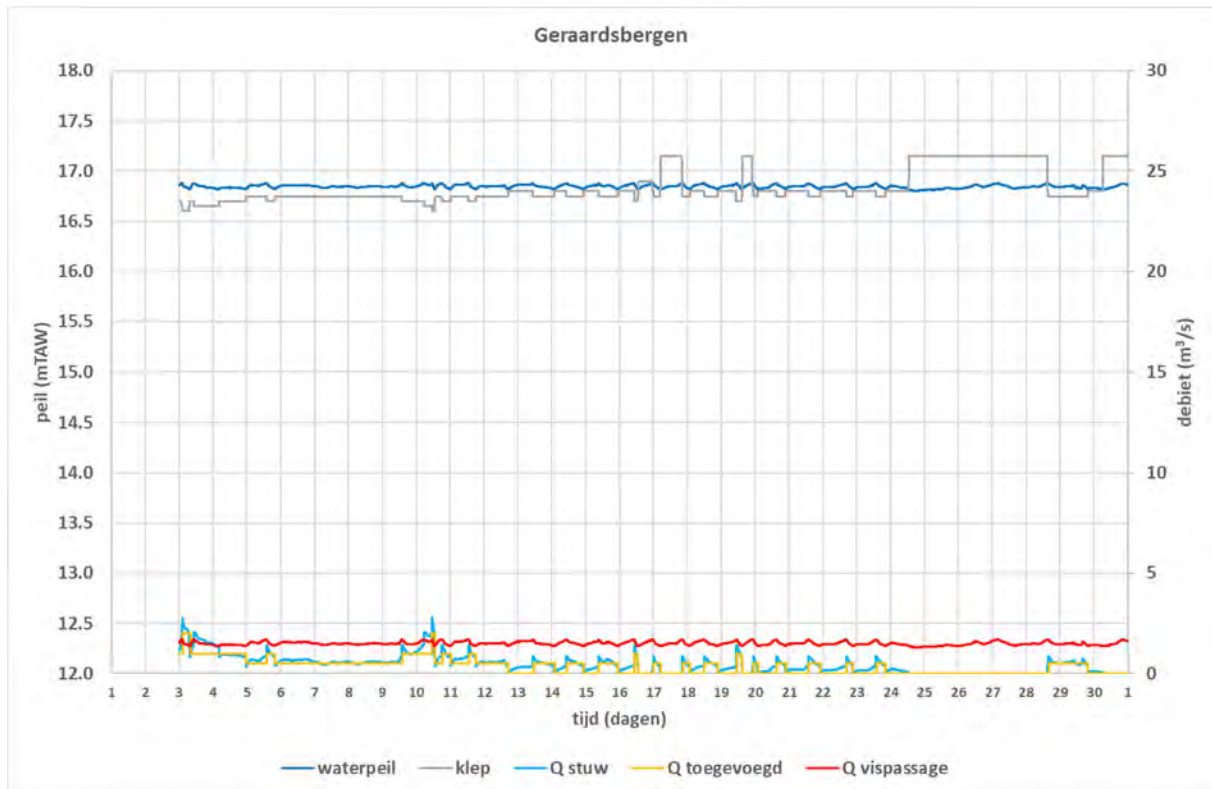
Figuur 16 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



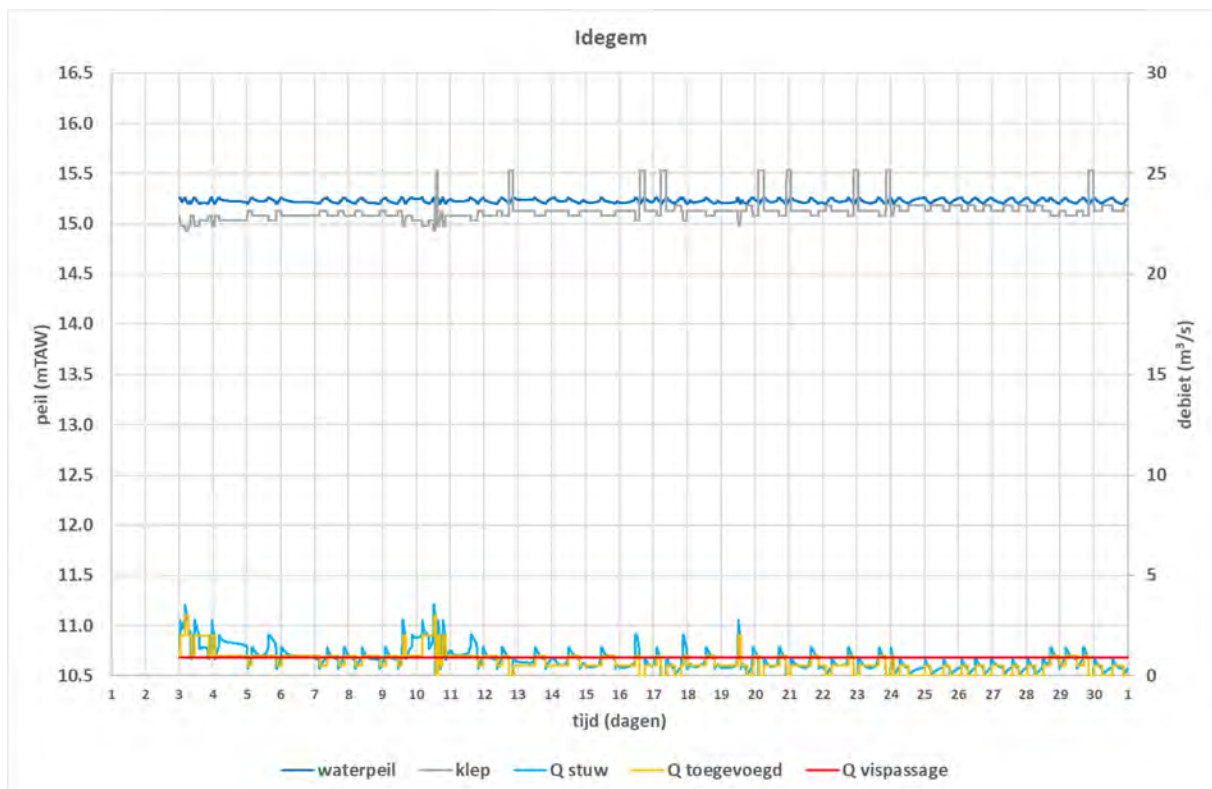
Figuur 17 – Maart 2019 - Aalst (reeks 1)



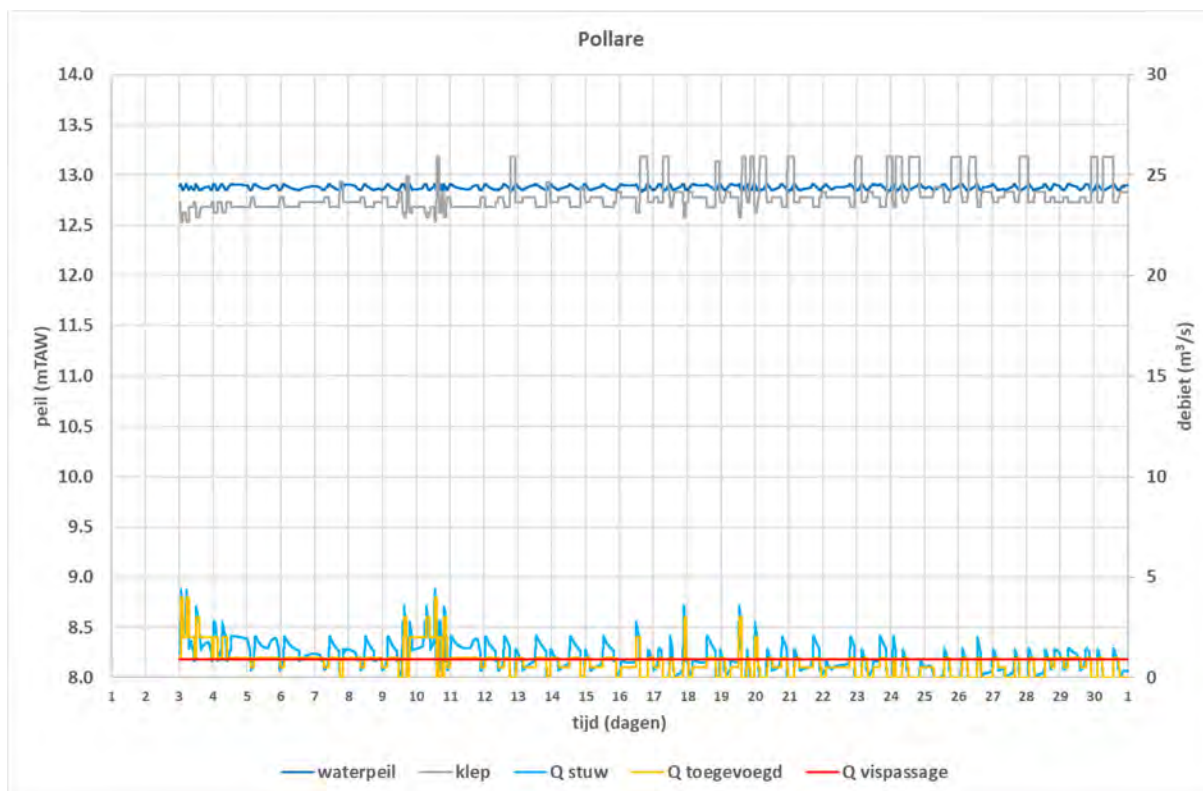
Figuur 18 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 1)



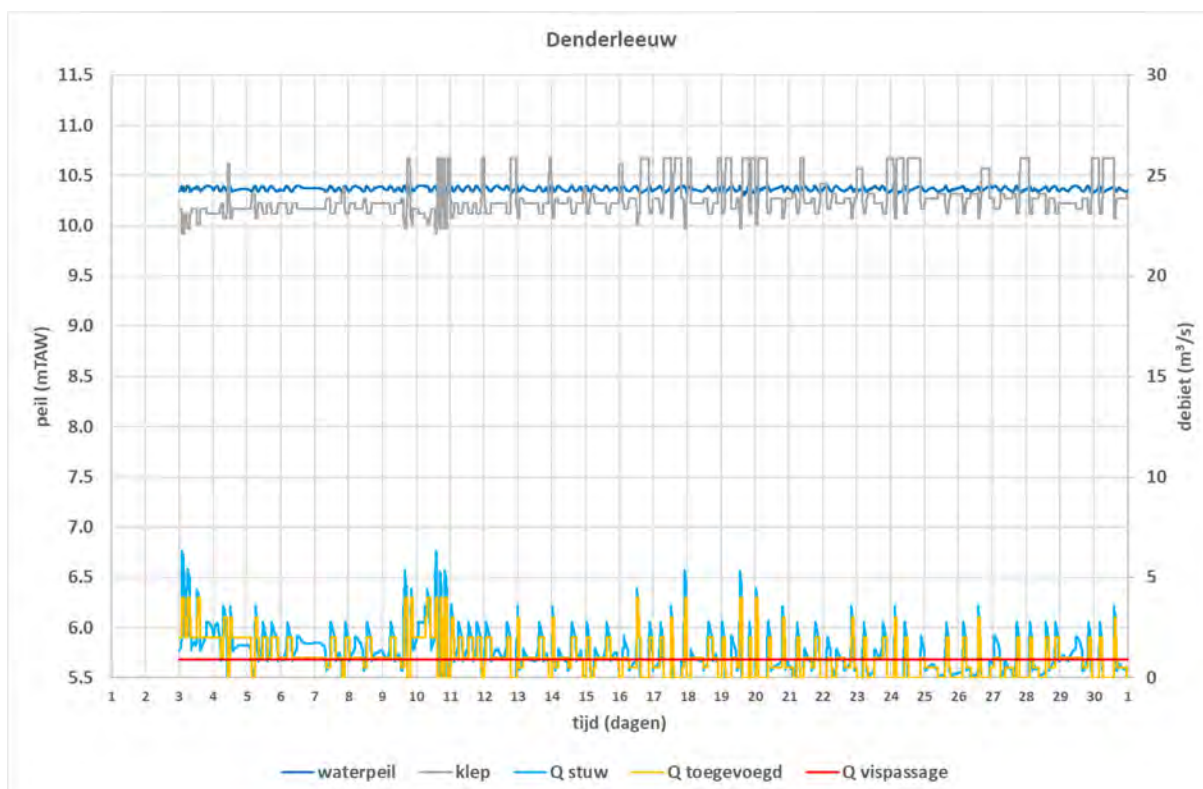
Figuur 19 – April 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



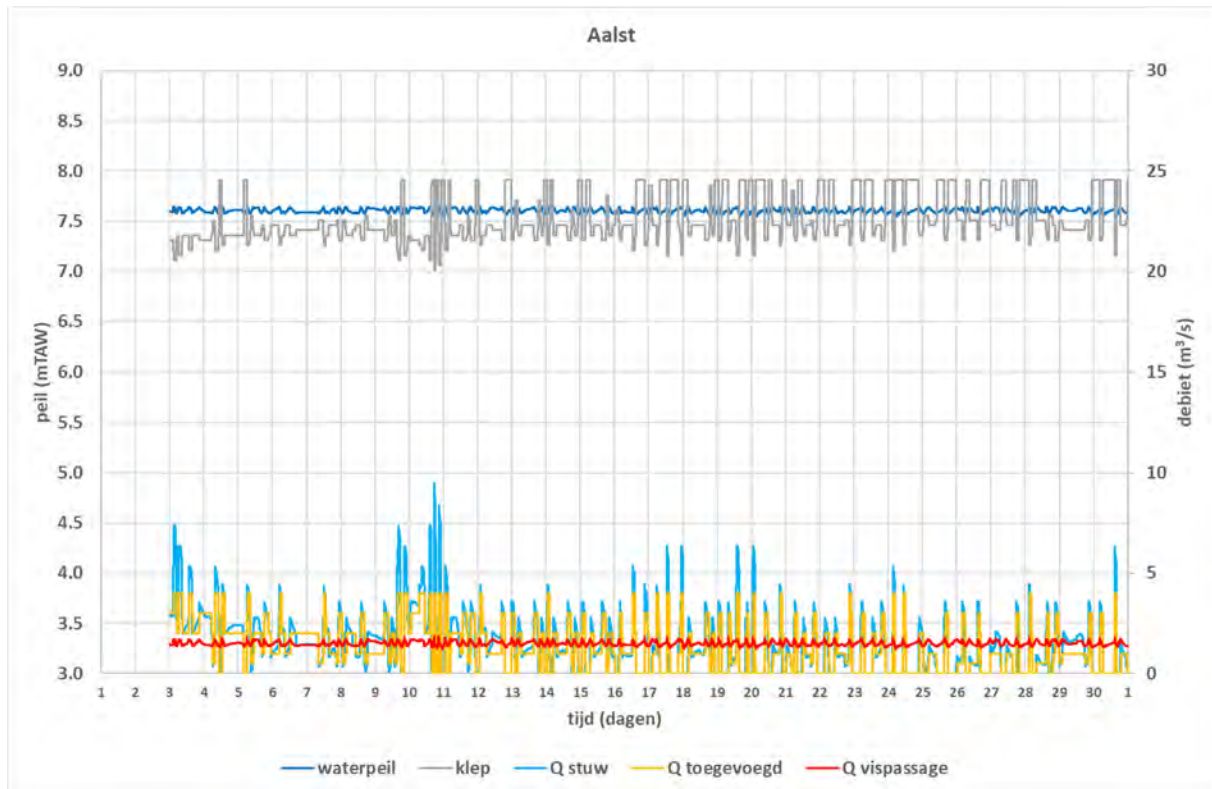
Figuur 20 – April 2019 - Idegem (reeks 1)



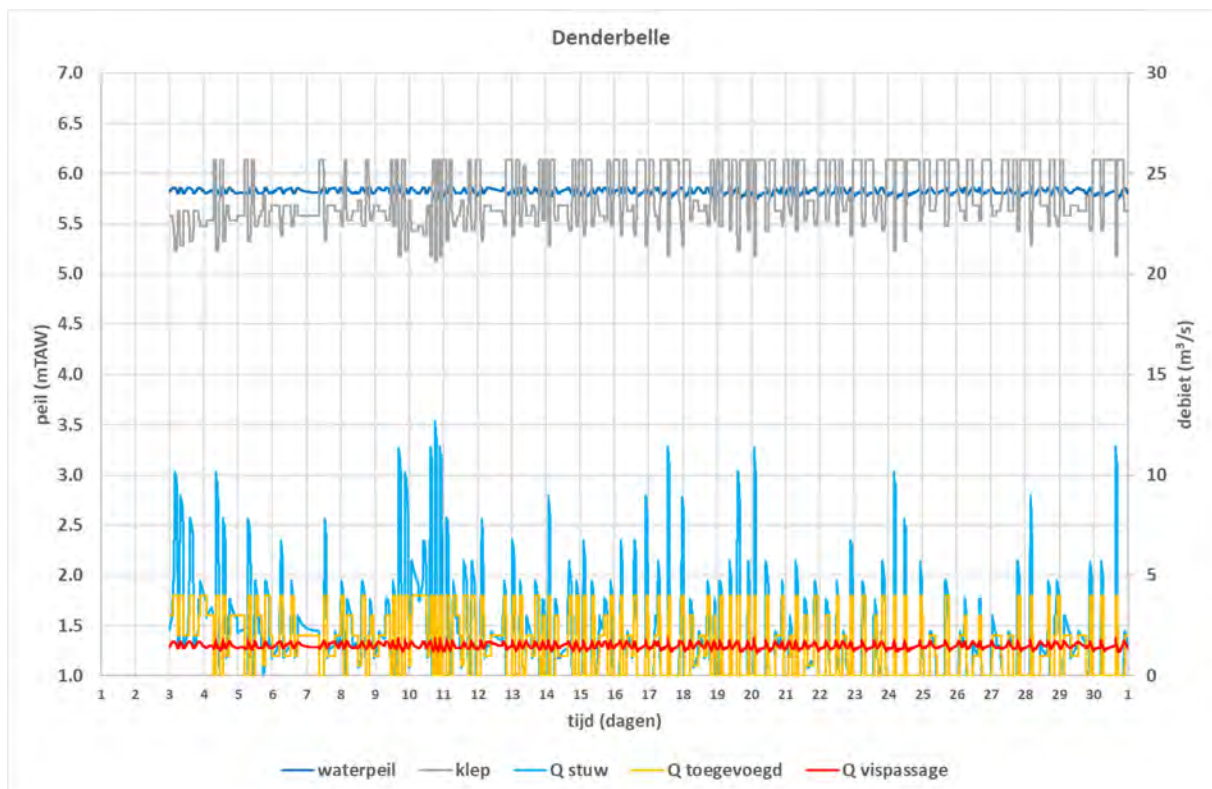
Figuur 21 – April 2019 - Pollare (reeks 1)



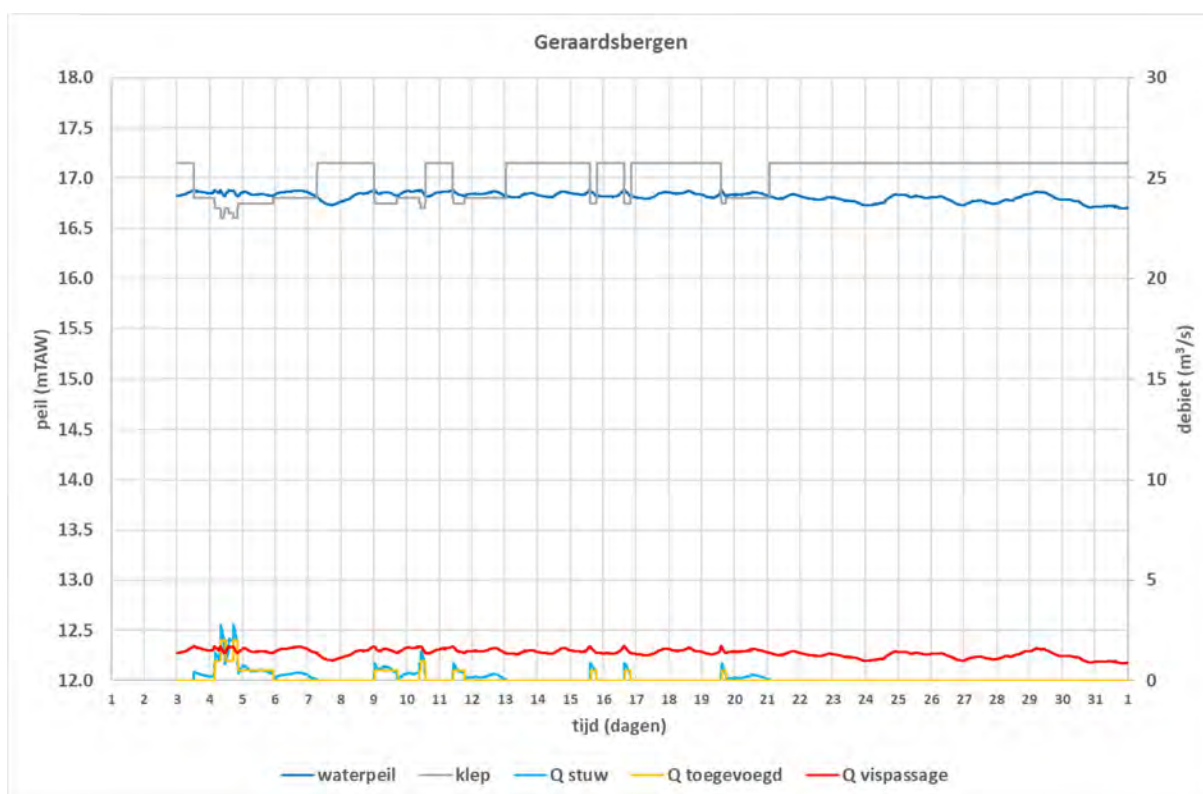
Figuur 22 – April 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



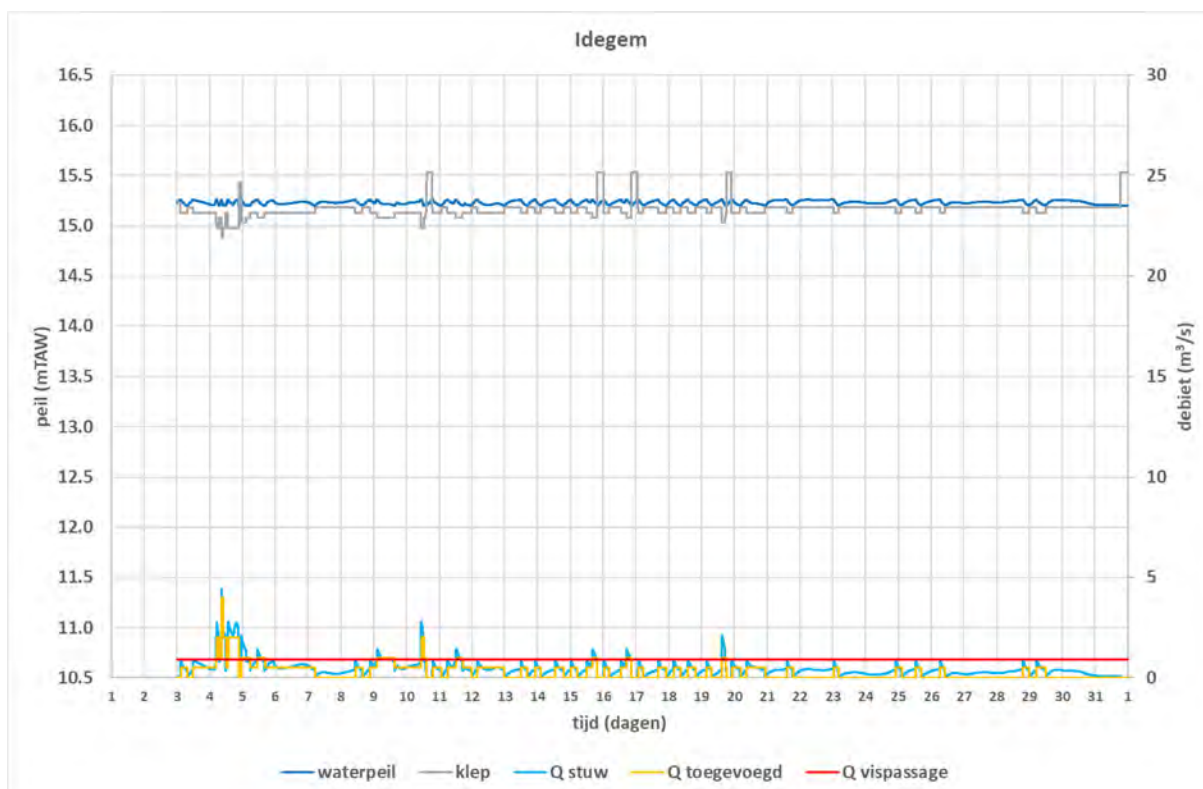
Figuur 23 – April 2019 - Aalst (reeks 1)



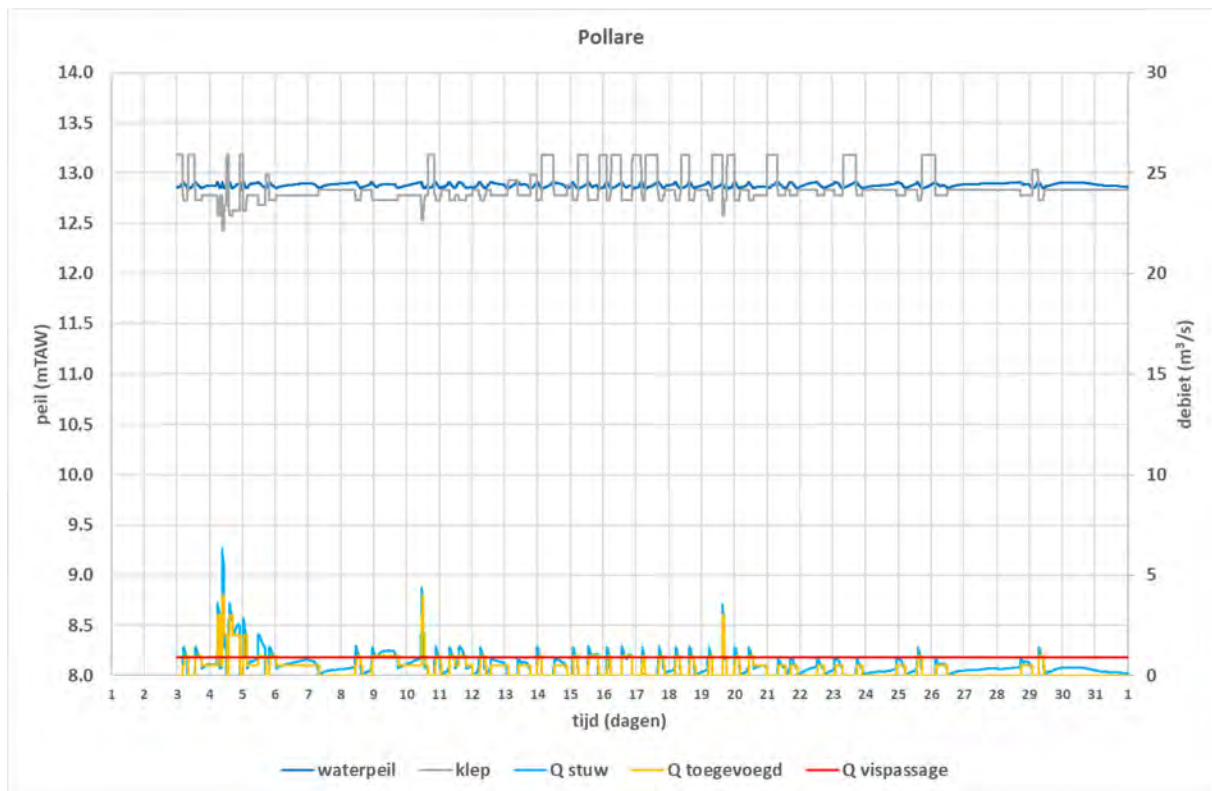
Figuur 24 – April 2019 - Denderbelle (reeks 1)



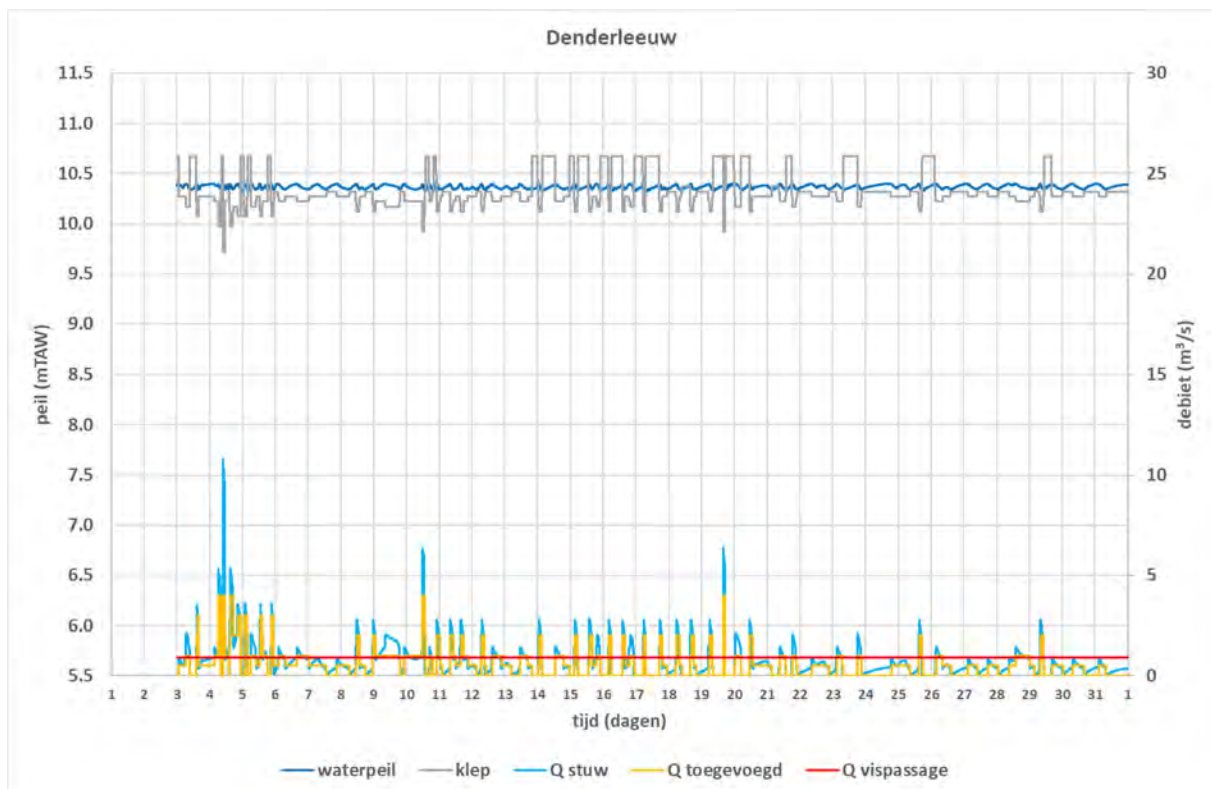
Figuur 25 – Mei 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



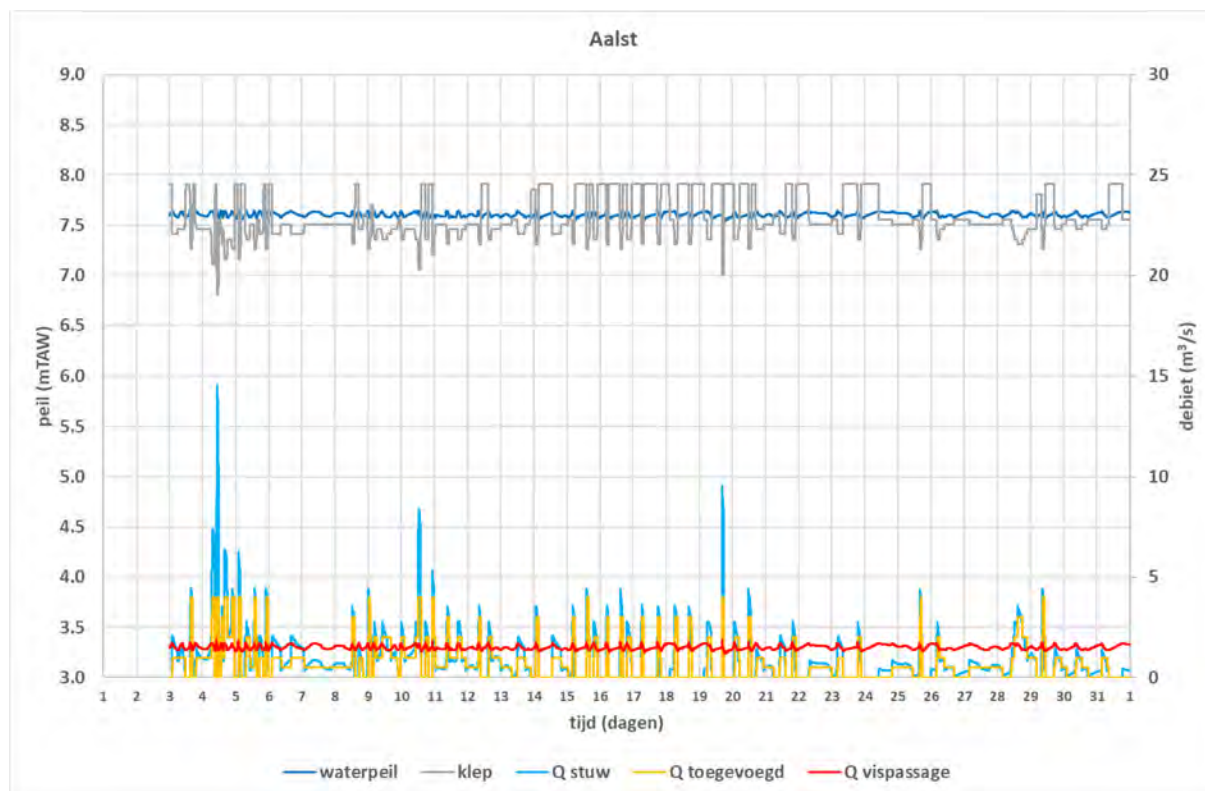
Figuur 26 – Mei 2019 - Idegem (reeks 1)



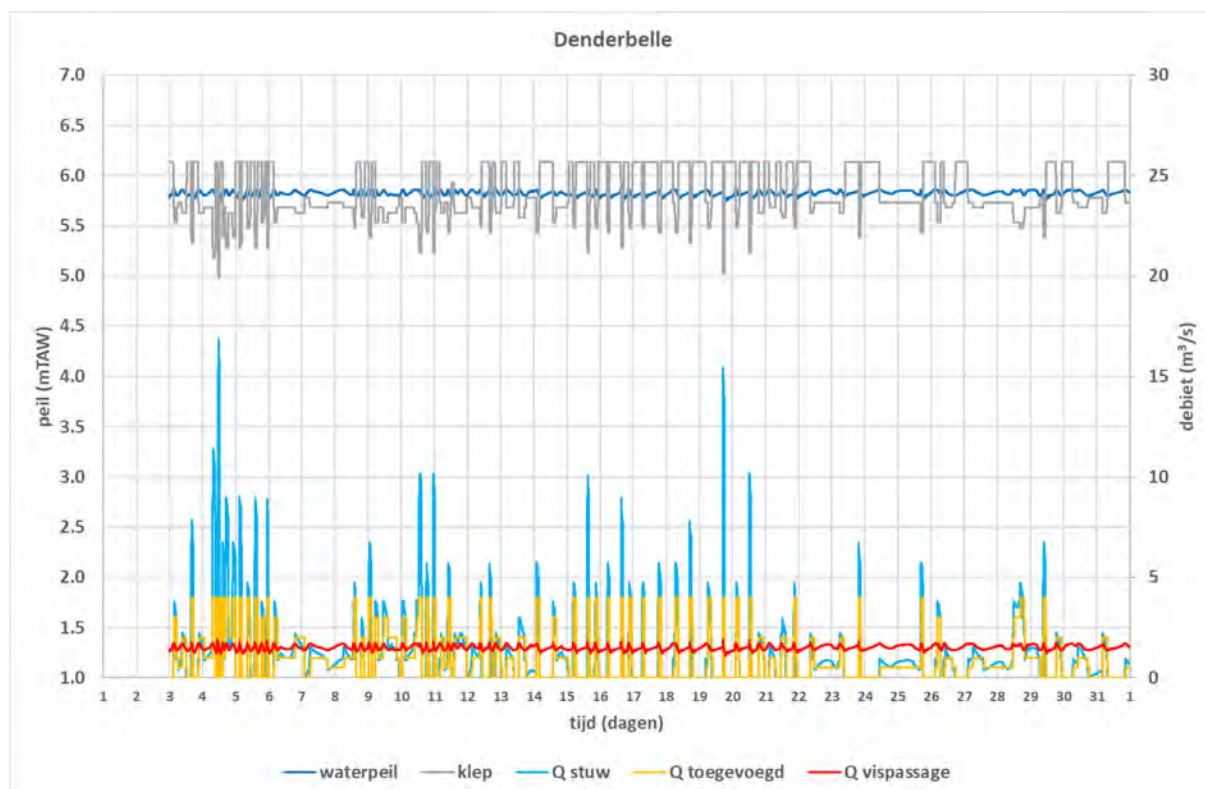
Figuur 27 – Mei 2019 - Pollare (reeks 1)



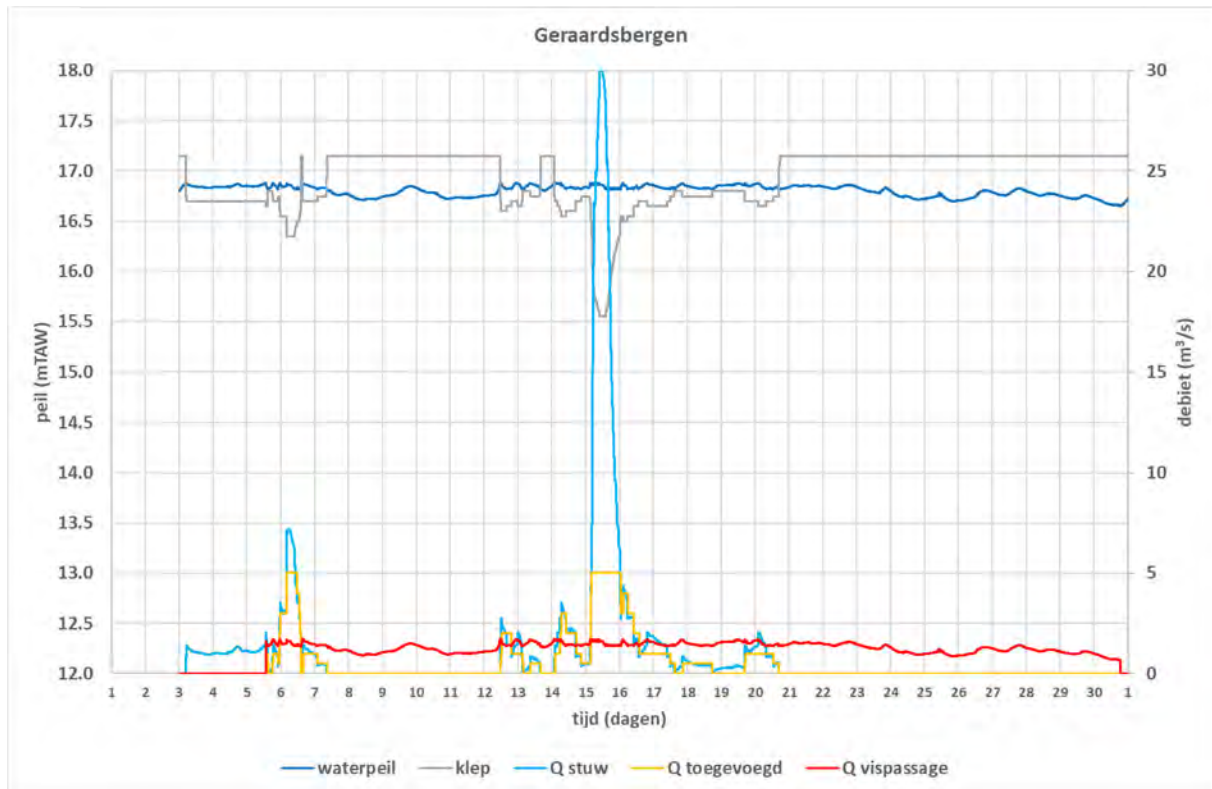
Figuur 28 – Mei 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



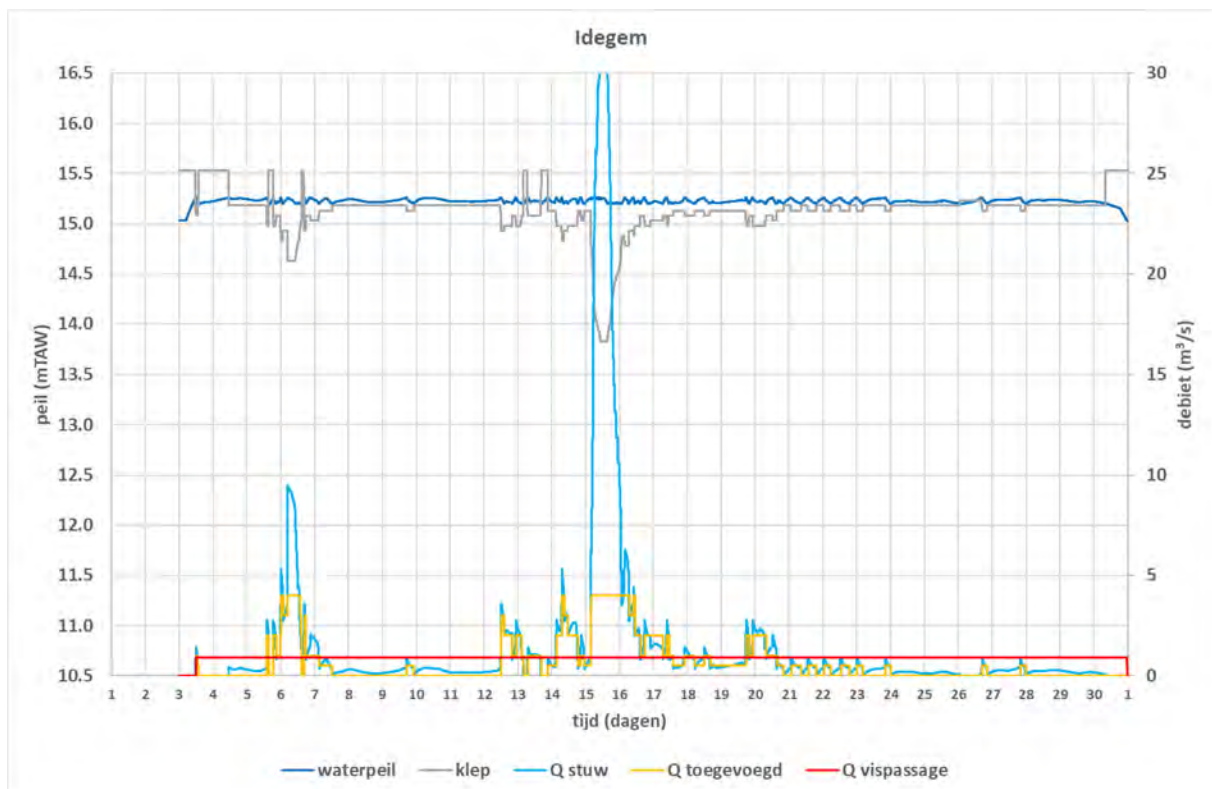
Figuur 29 – Mei 2019 - Aalst (reeks 1)



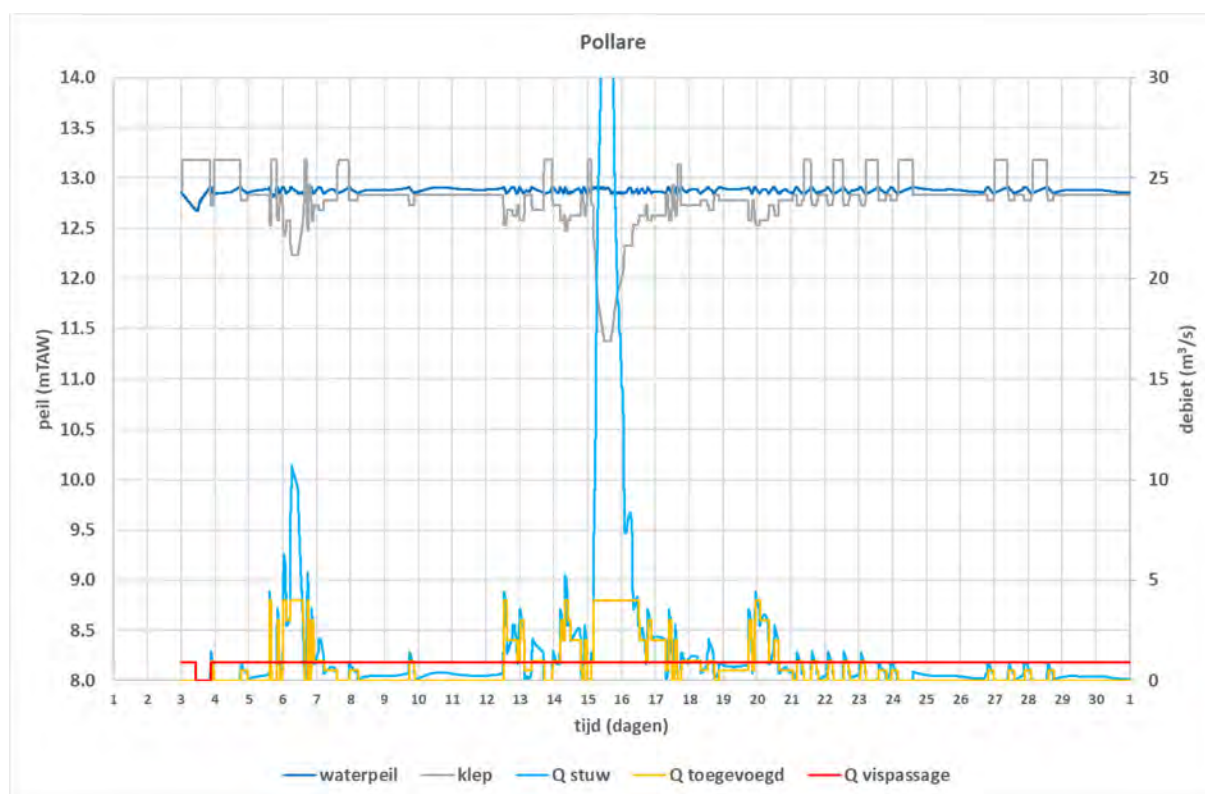
Figuur 30 – Mei 2019 - Denderbelle (reeks 1)



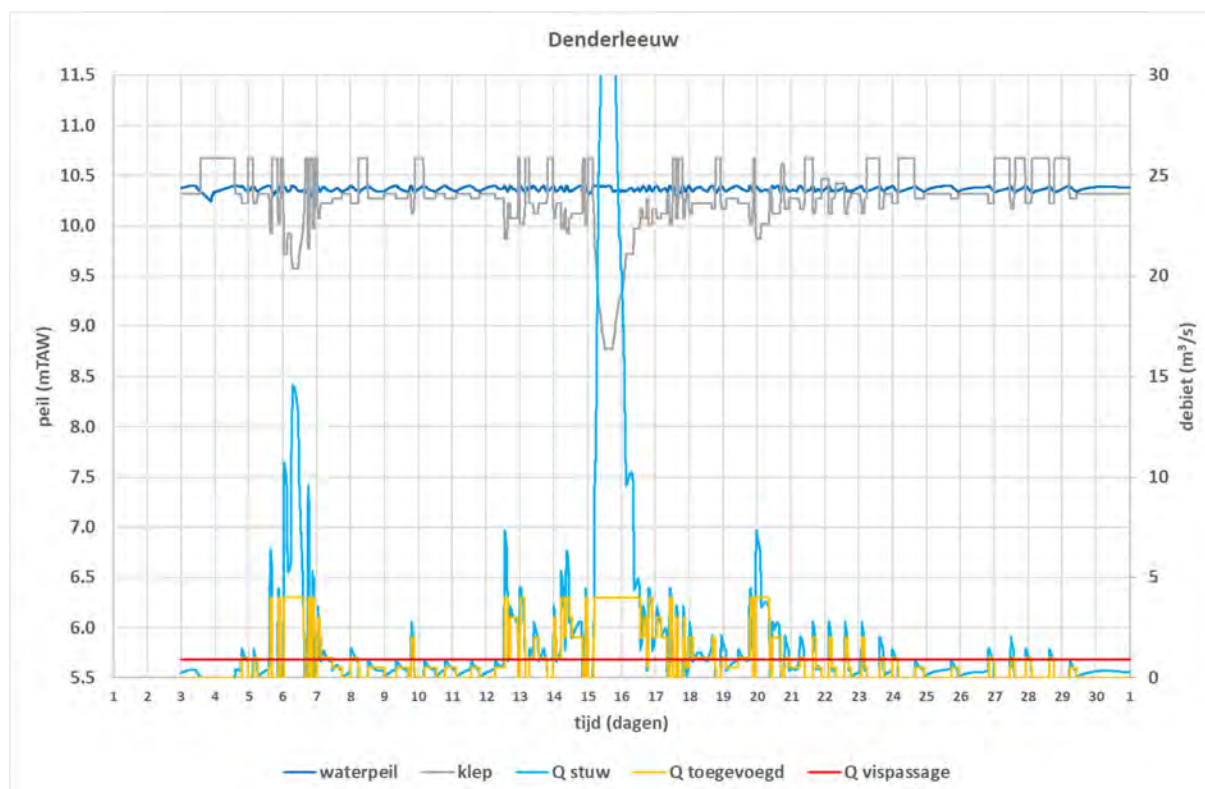
Figuur 31 – Juni 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



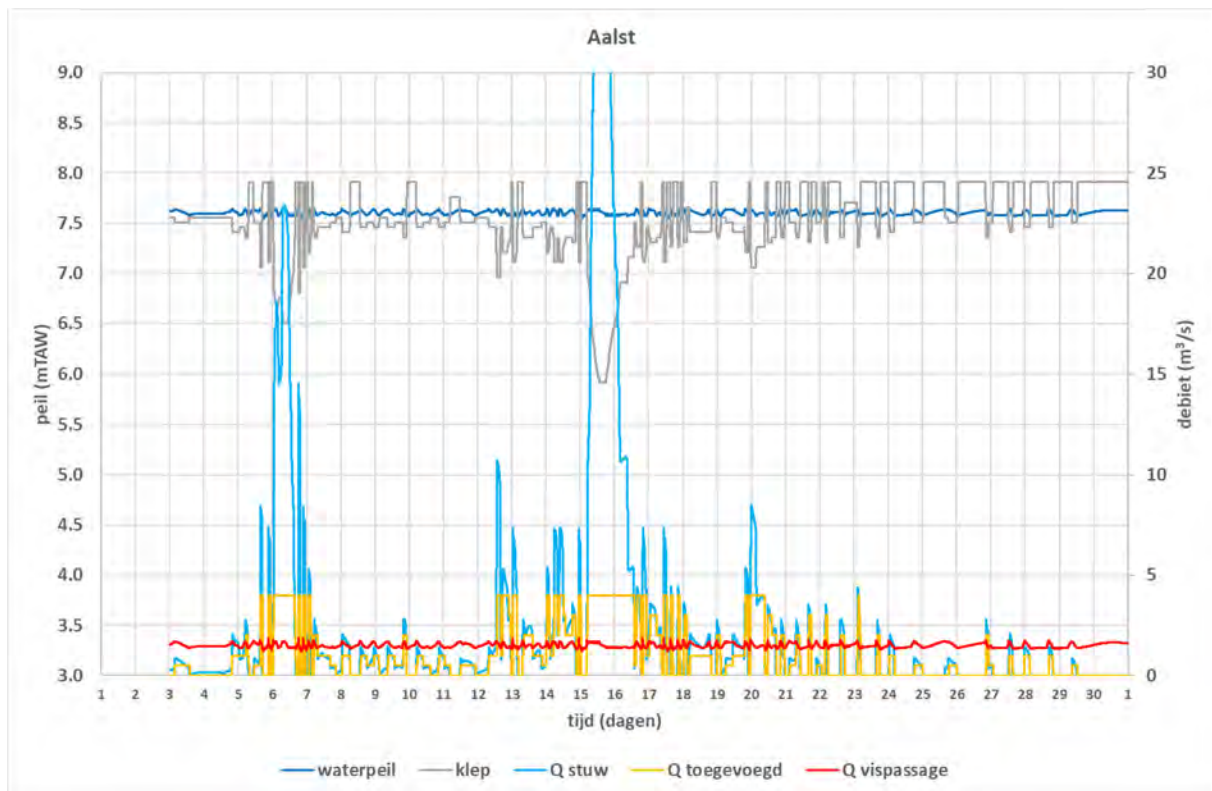
Figuur 32 – Juni 2019 - Idegem (reeks 1)



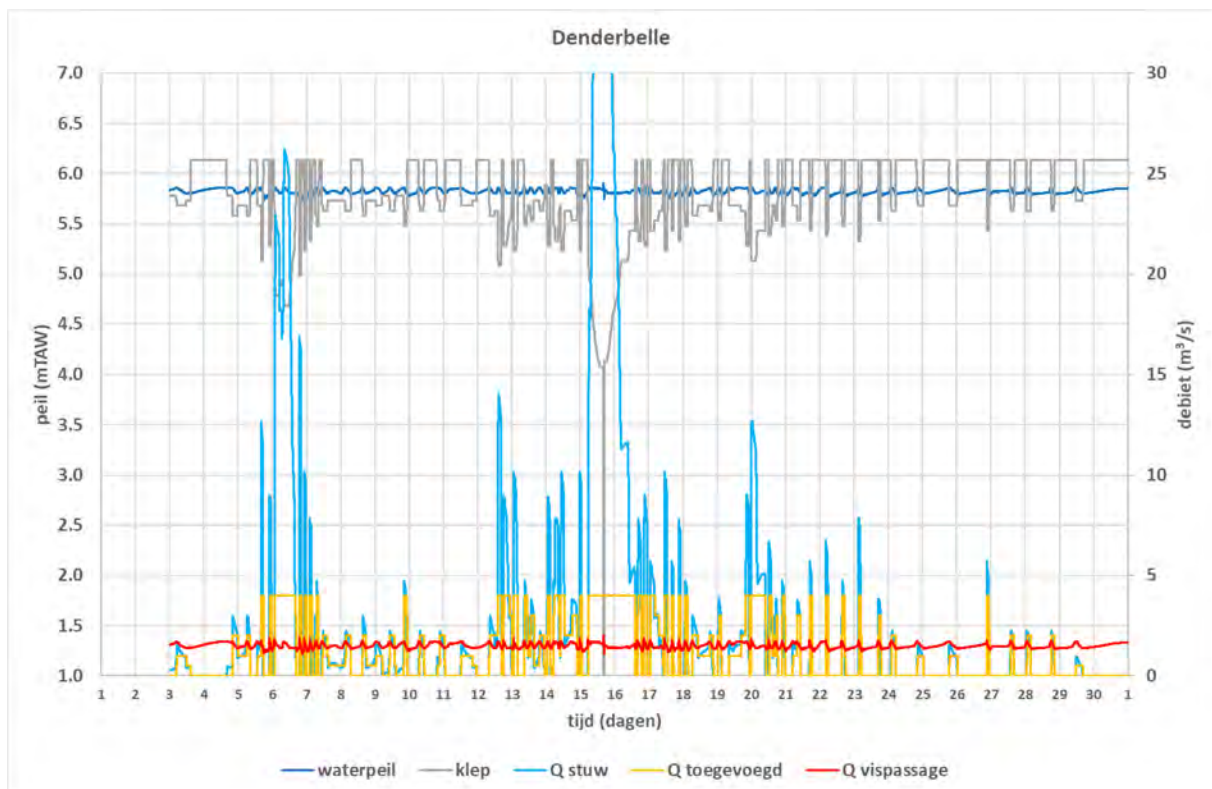
Figuur 33 – Juni 2019 - Pollare (reeks 1)



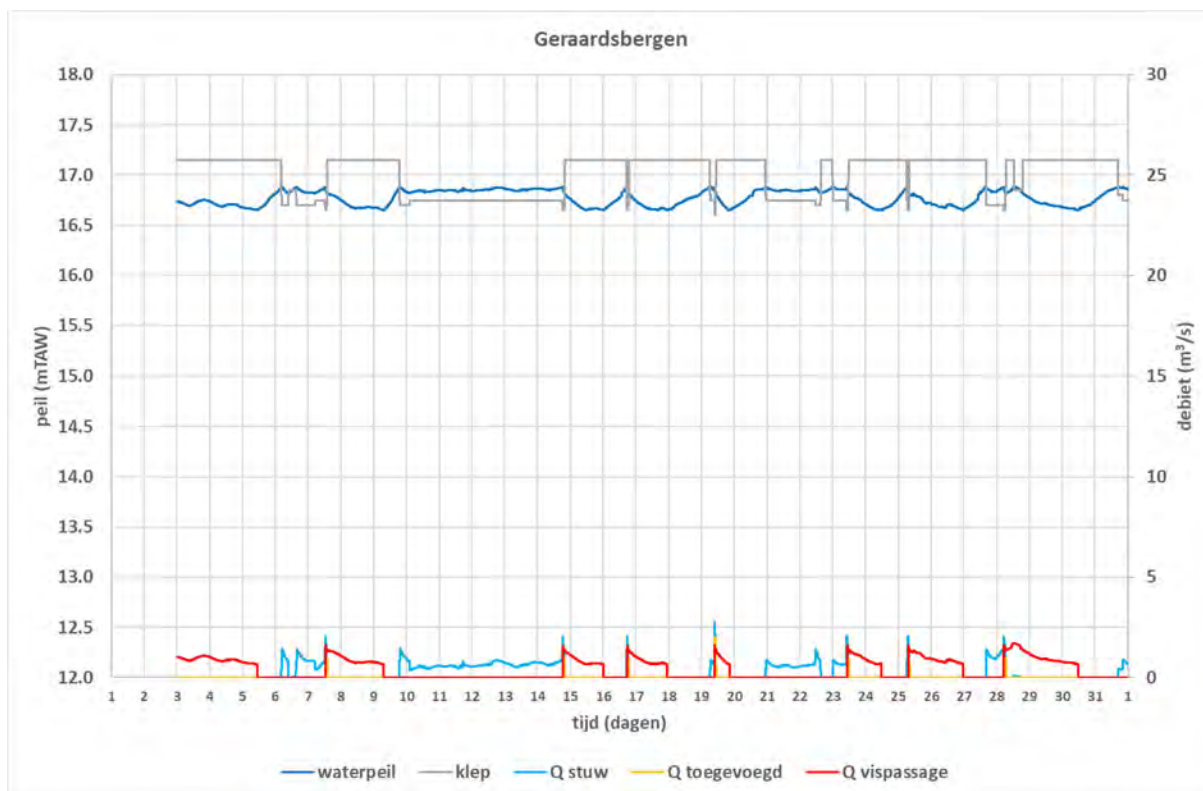
Figuur 34 – Juni 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



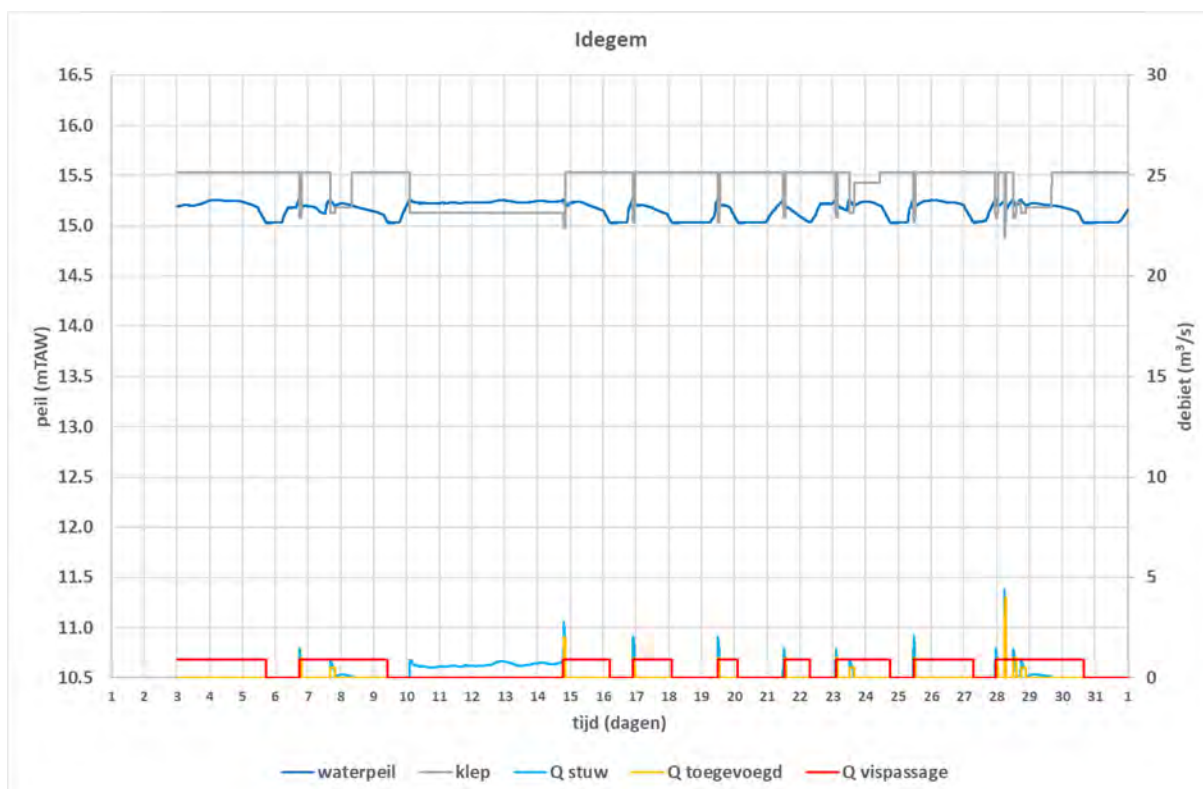
Figuur 35 – Juni 2019 - Aalst (reeks 1)



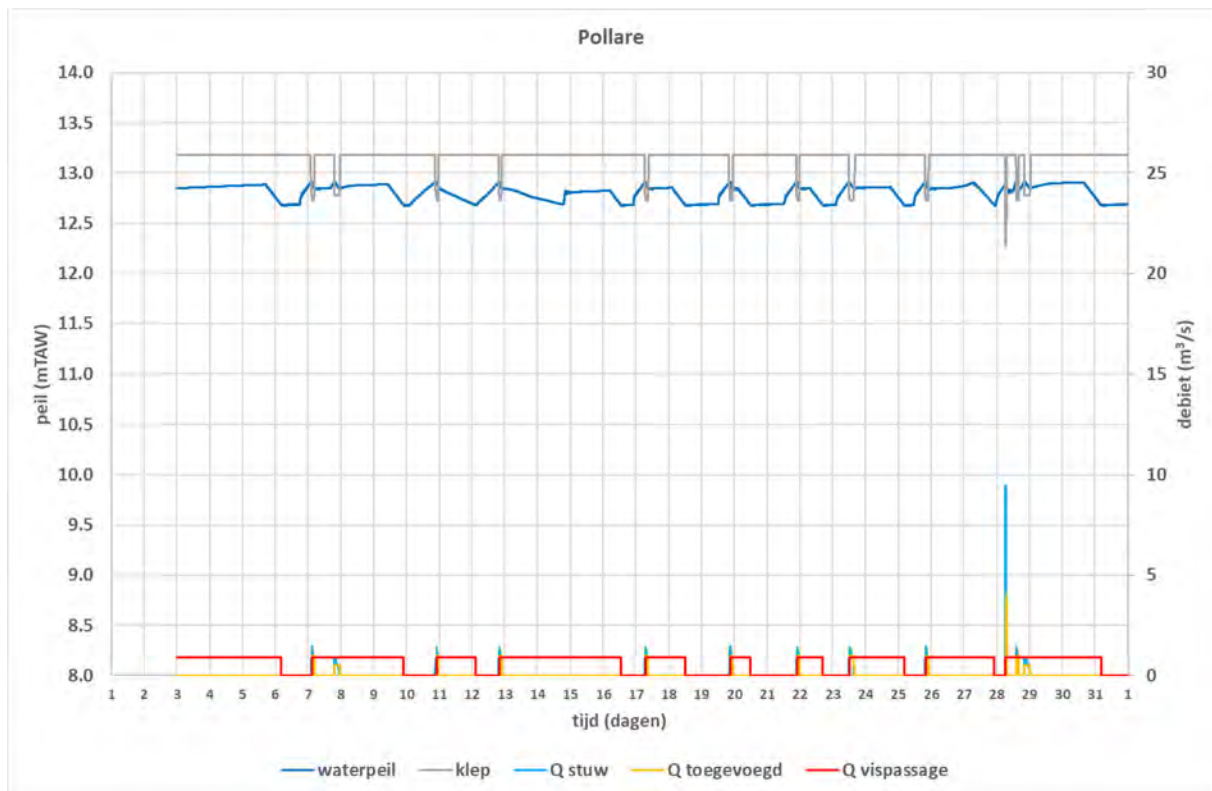
Figuur 36 – Juni 2019 - Denderbelle (reeks 1)



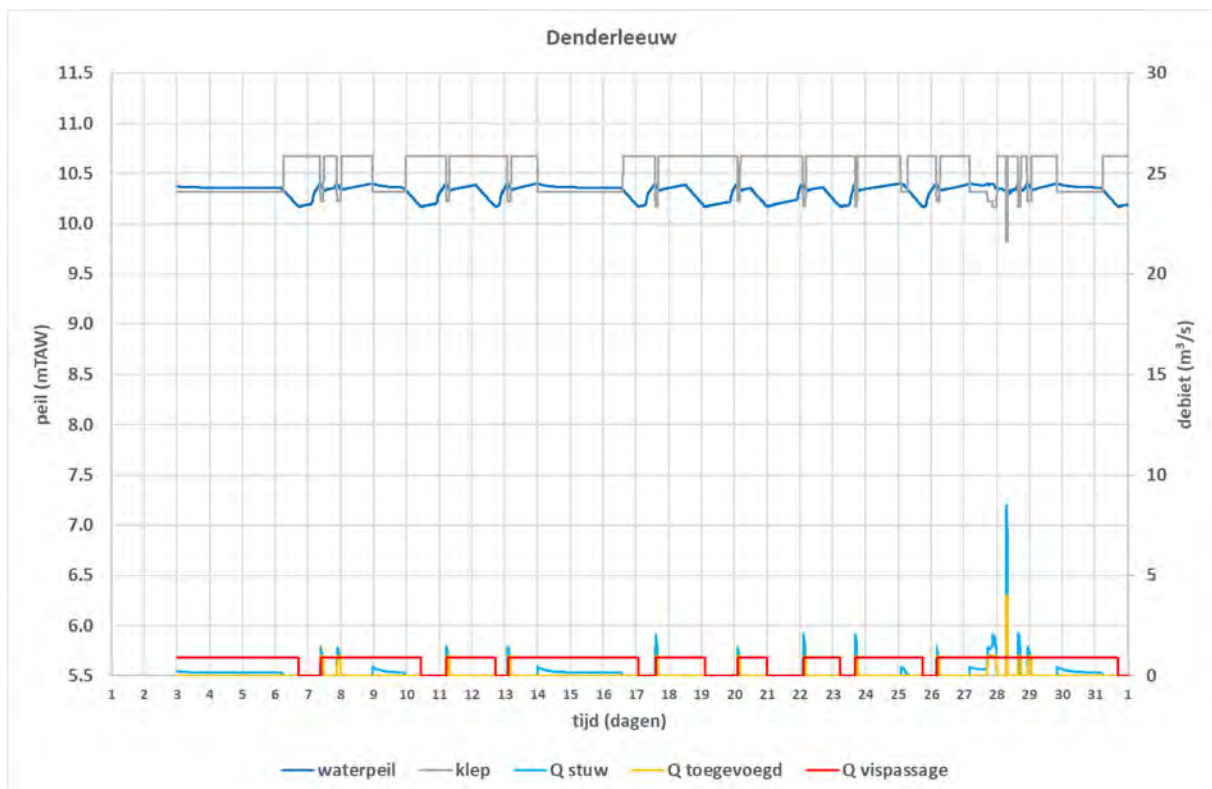
Figuur 37 – Juli 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



Figuur 38 – Juli 2019 - Idegem (reeks 1)



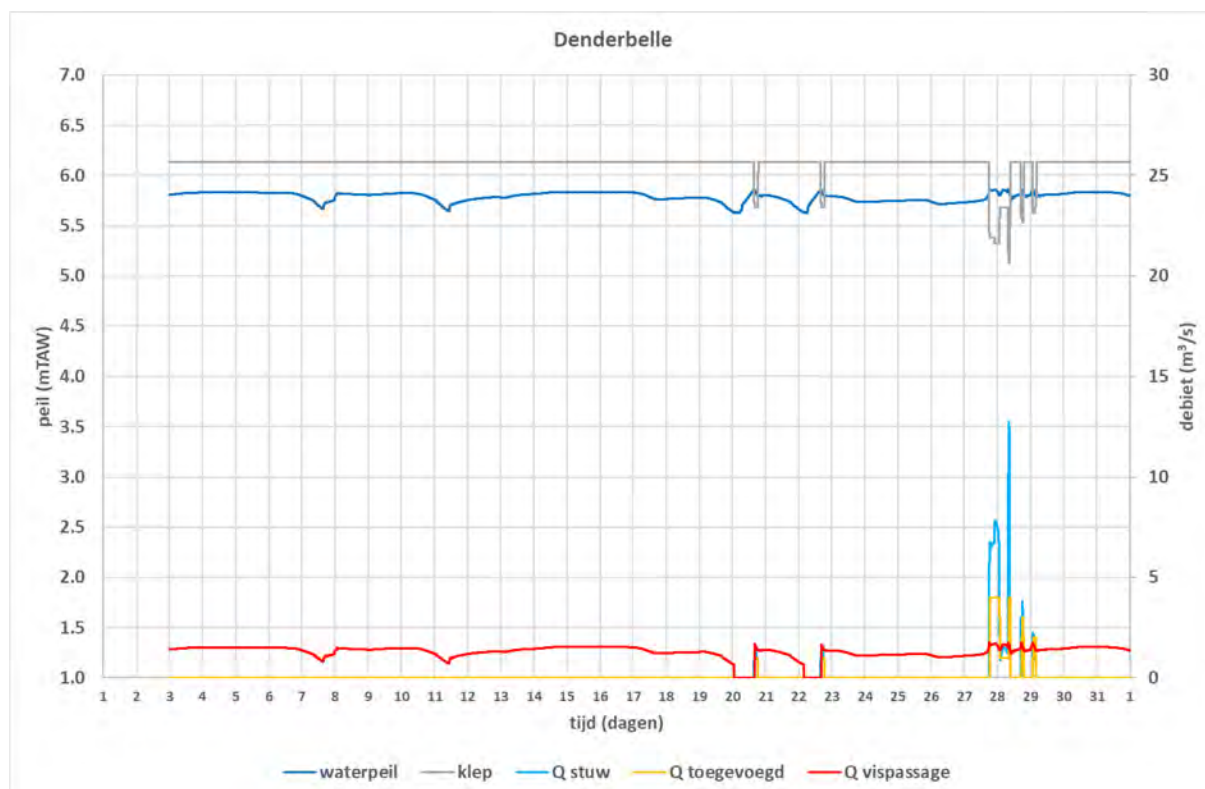
Figuur 39 – Juli 2019 - Pollare (reeks 1)



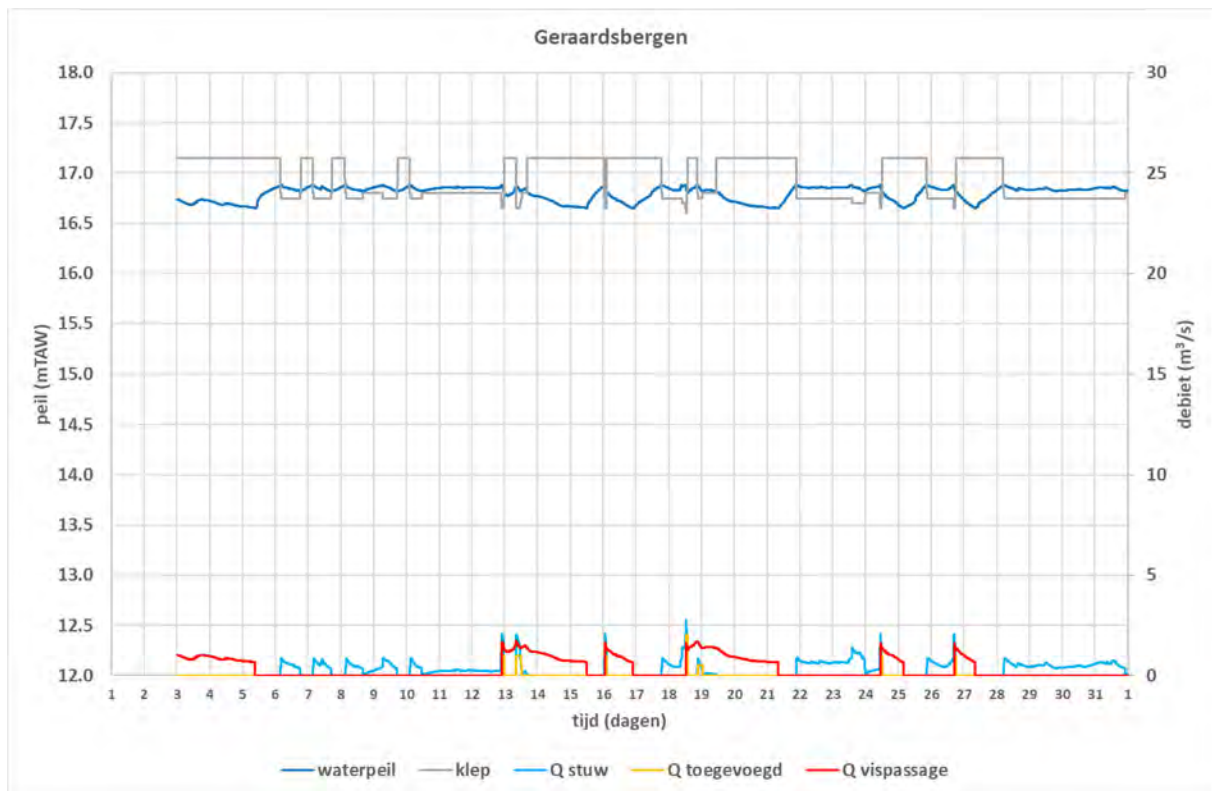
Figuur 40 – Juli 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



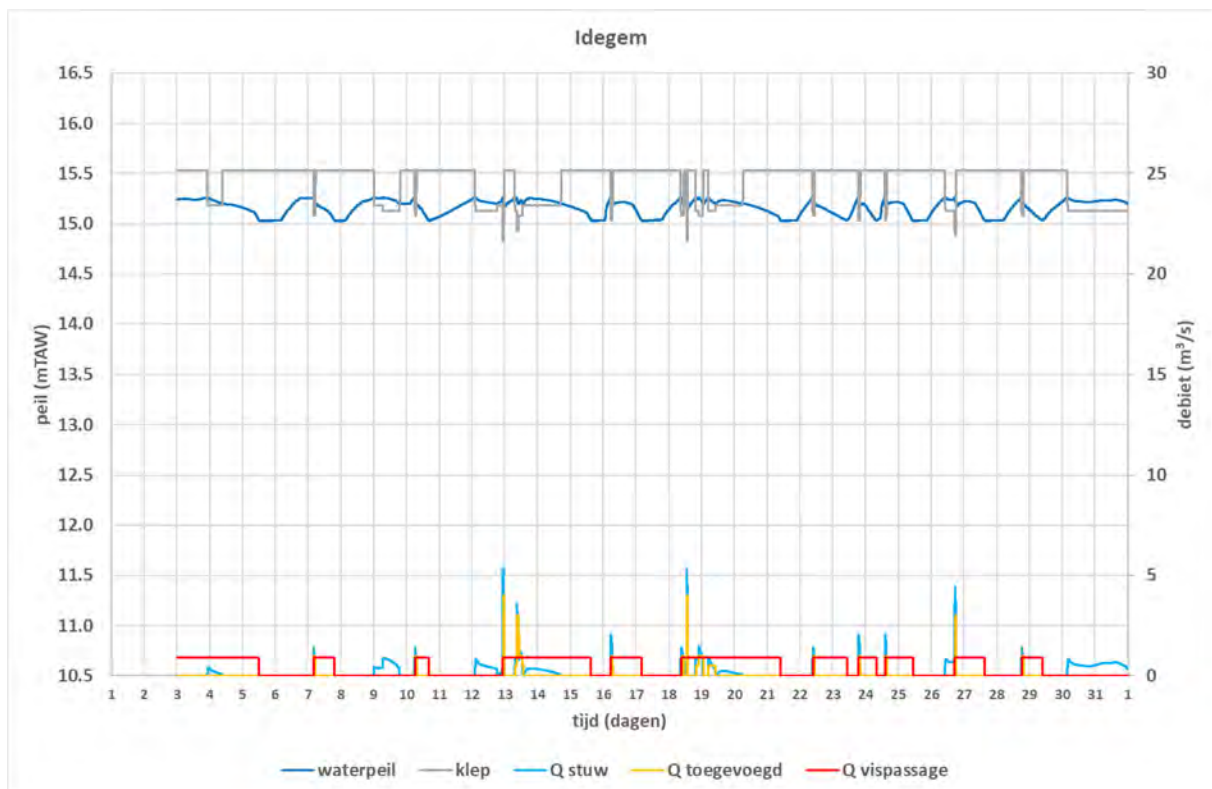
Figuur 41 – Juli 2019 - Aalst (reeks 1)



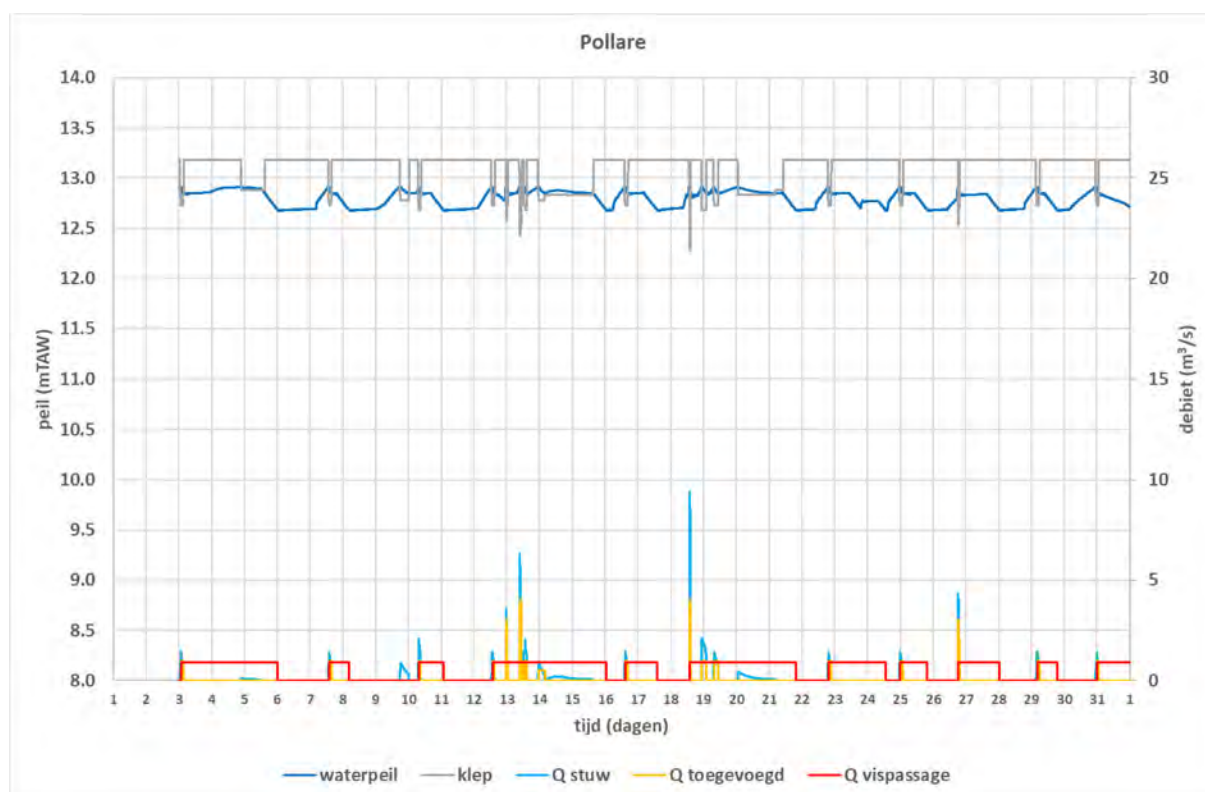
Figuur 42 – Juli 2019 - Denderbelle (reeks 1)



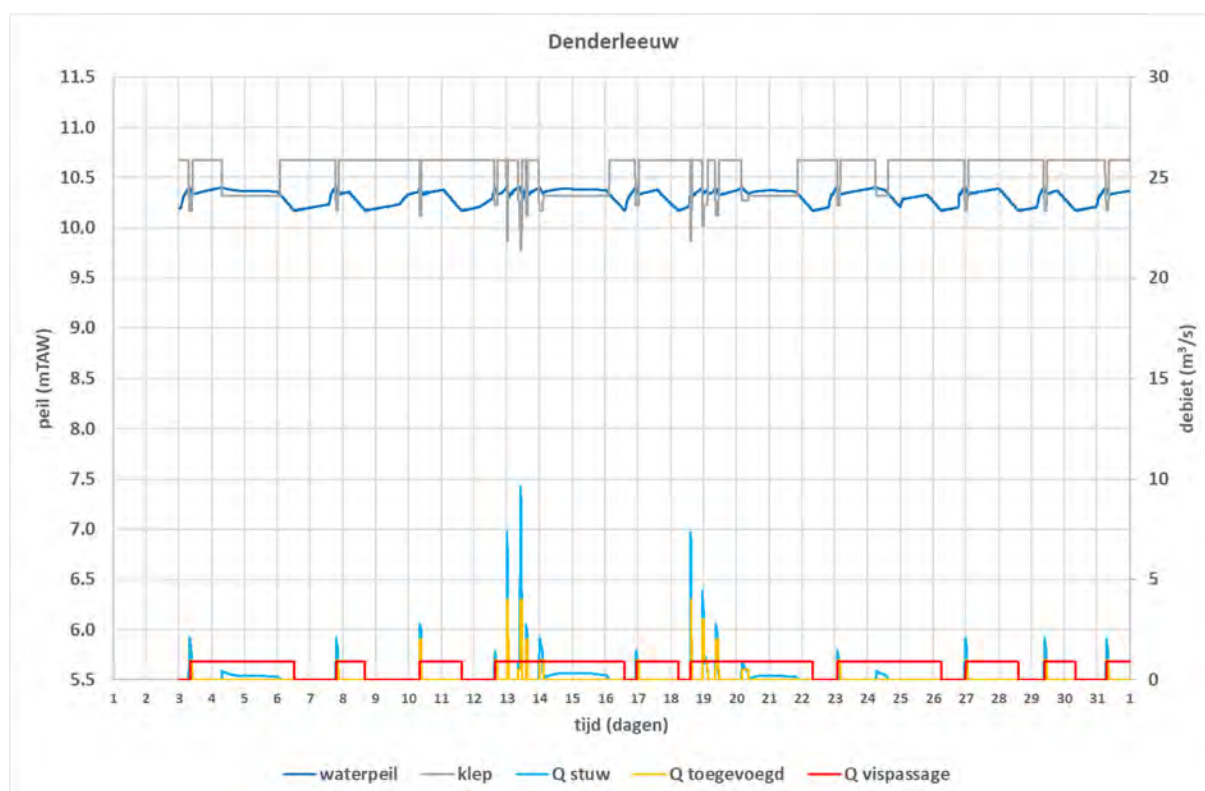
Figuur 43 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



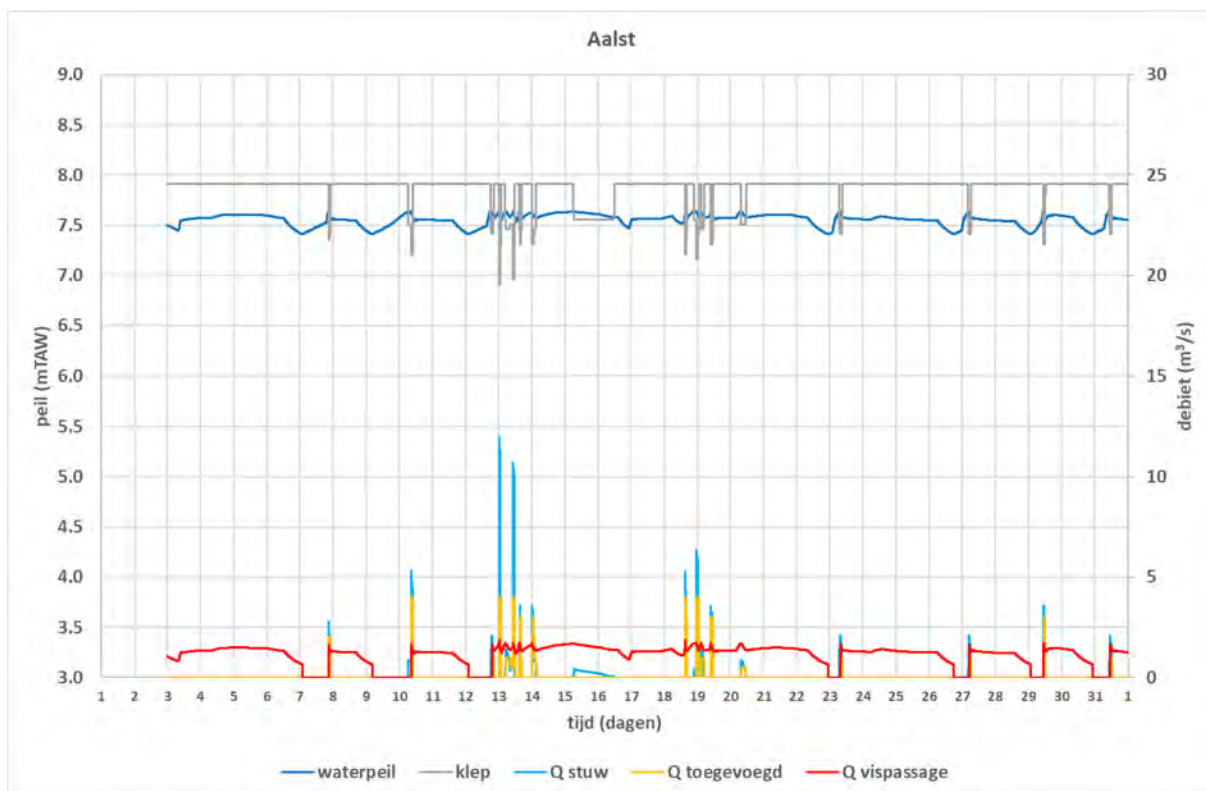
Figuur 44 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 1)



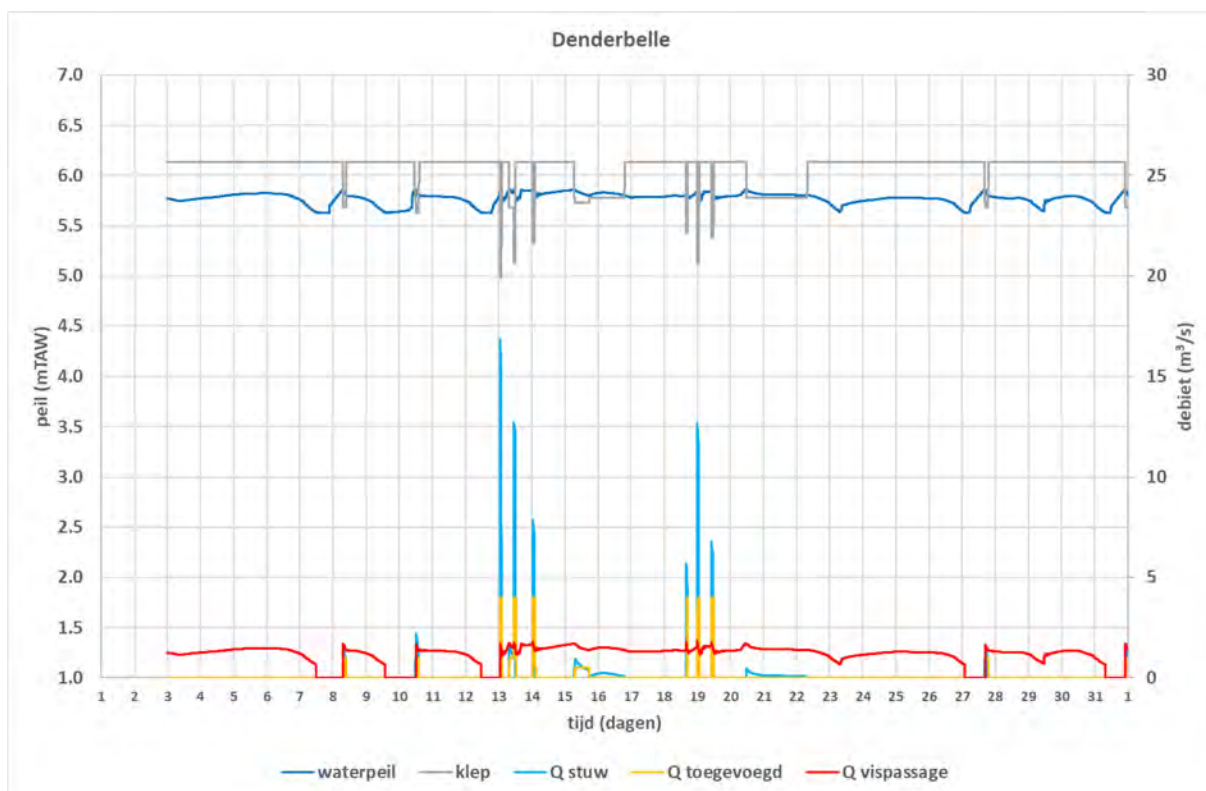
Figuur 45 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 1)



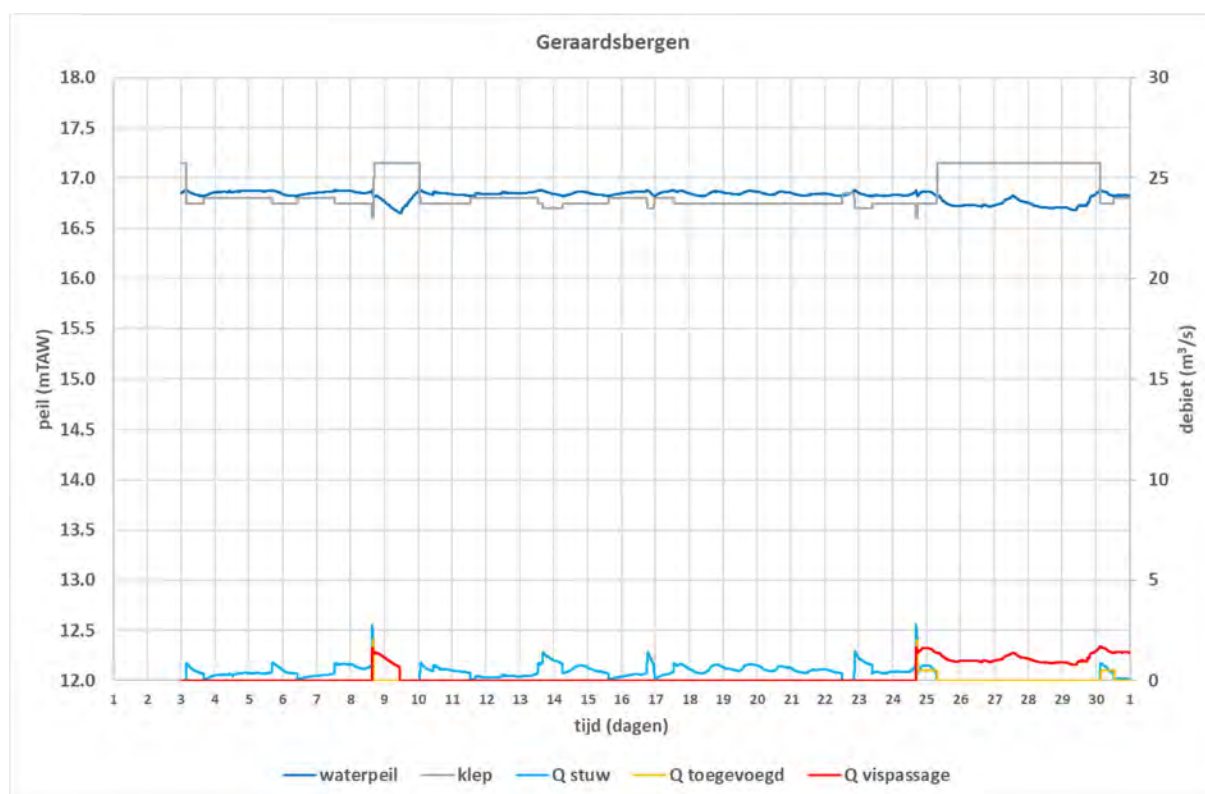
Figuur 46 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



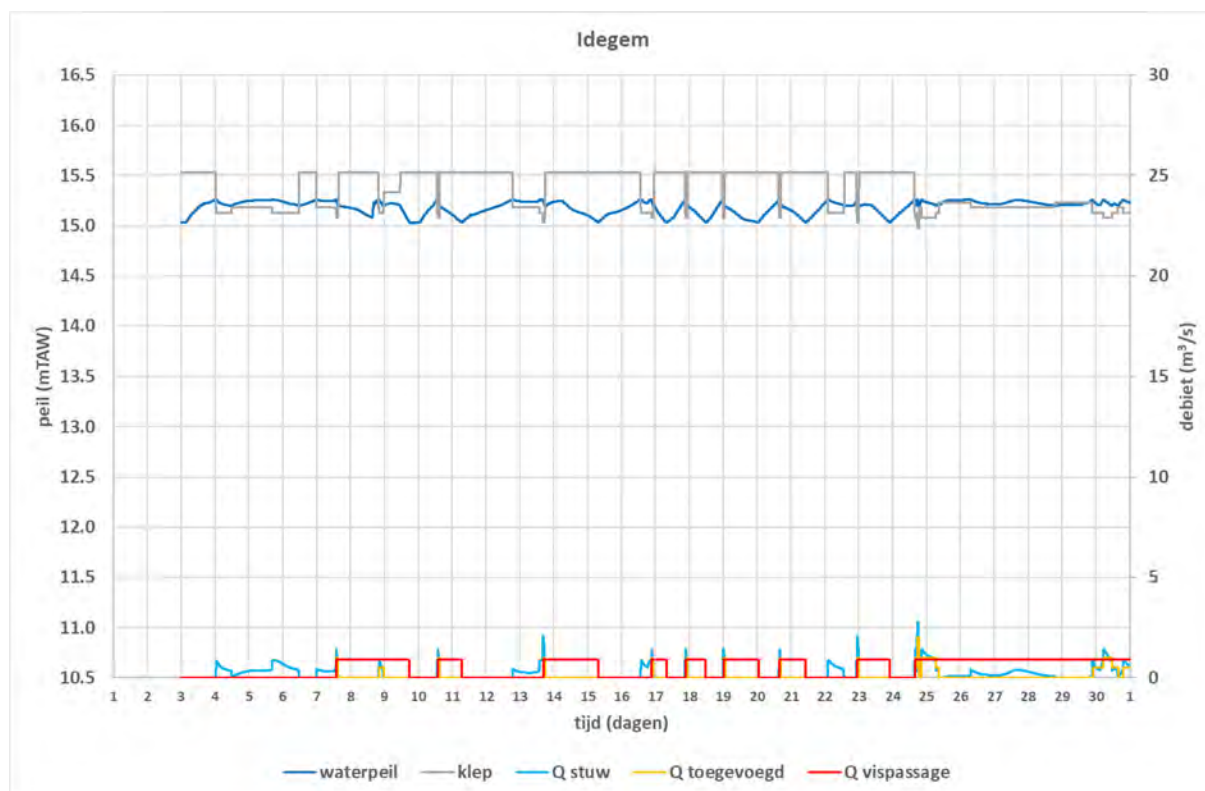
Figuur 47 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 1)



Figuur 48 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 1)



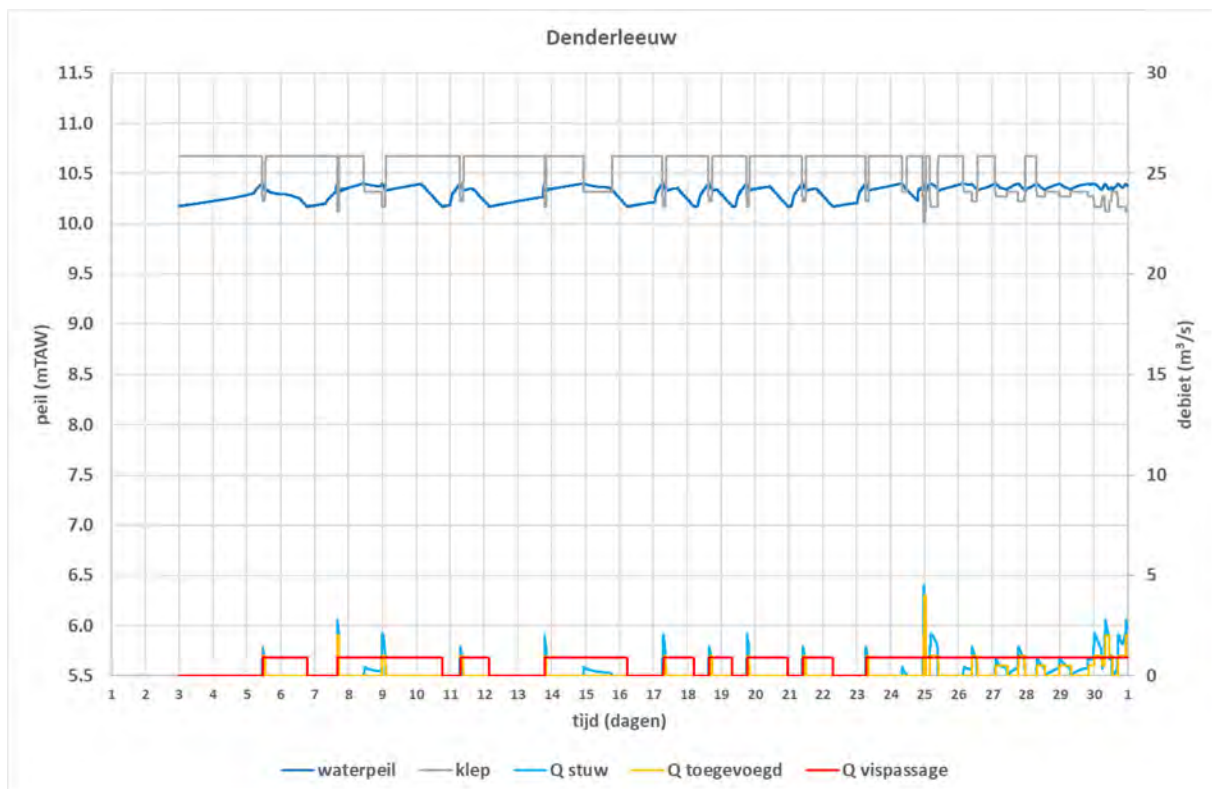
Figuur 49 – September 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



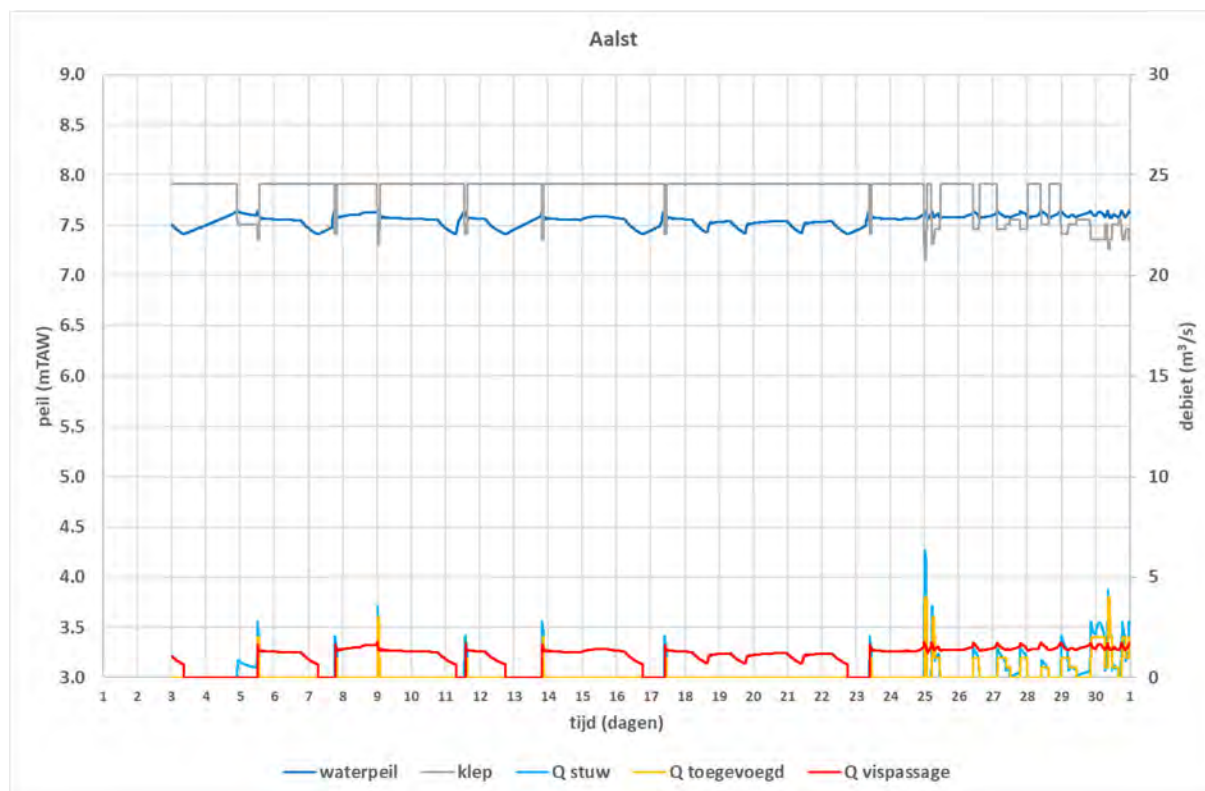
Figuur 50 – September 2019 - Idegem (reeks 1)



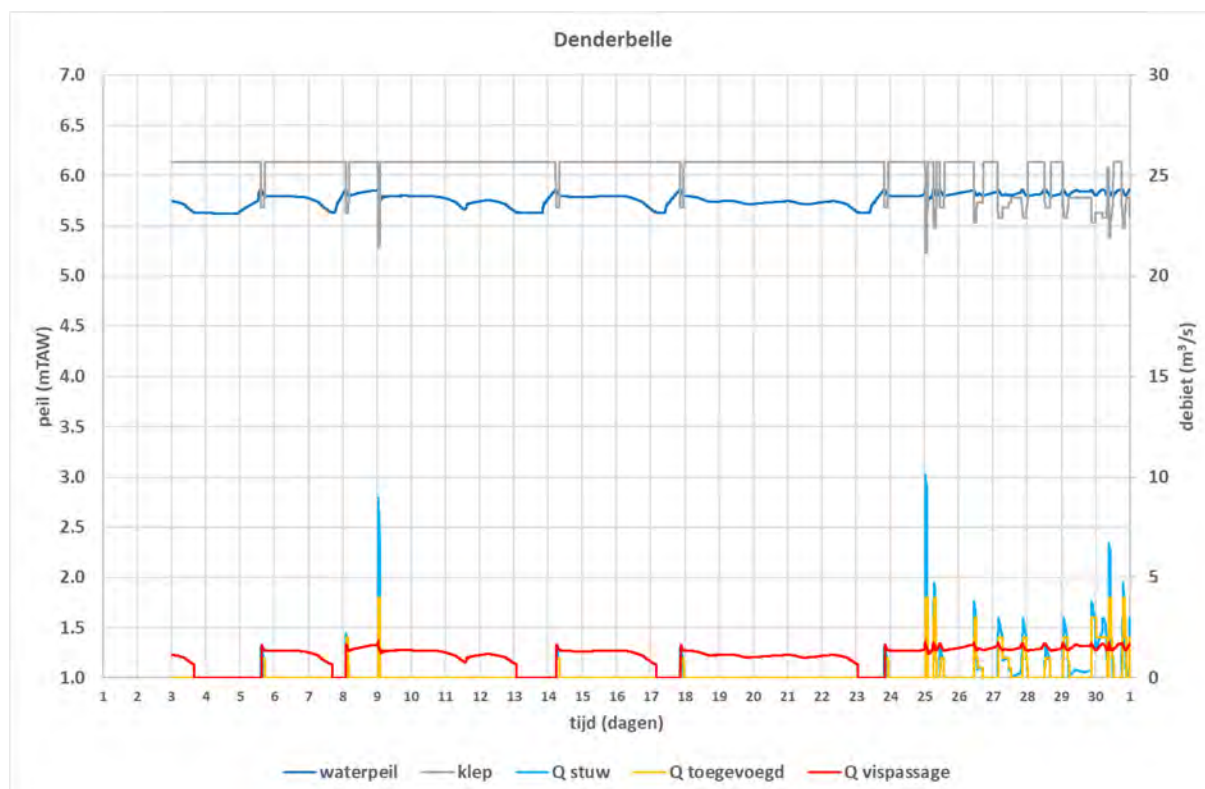
Figuur 51 – September 2019 - Pollare (reeks 1)



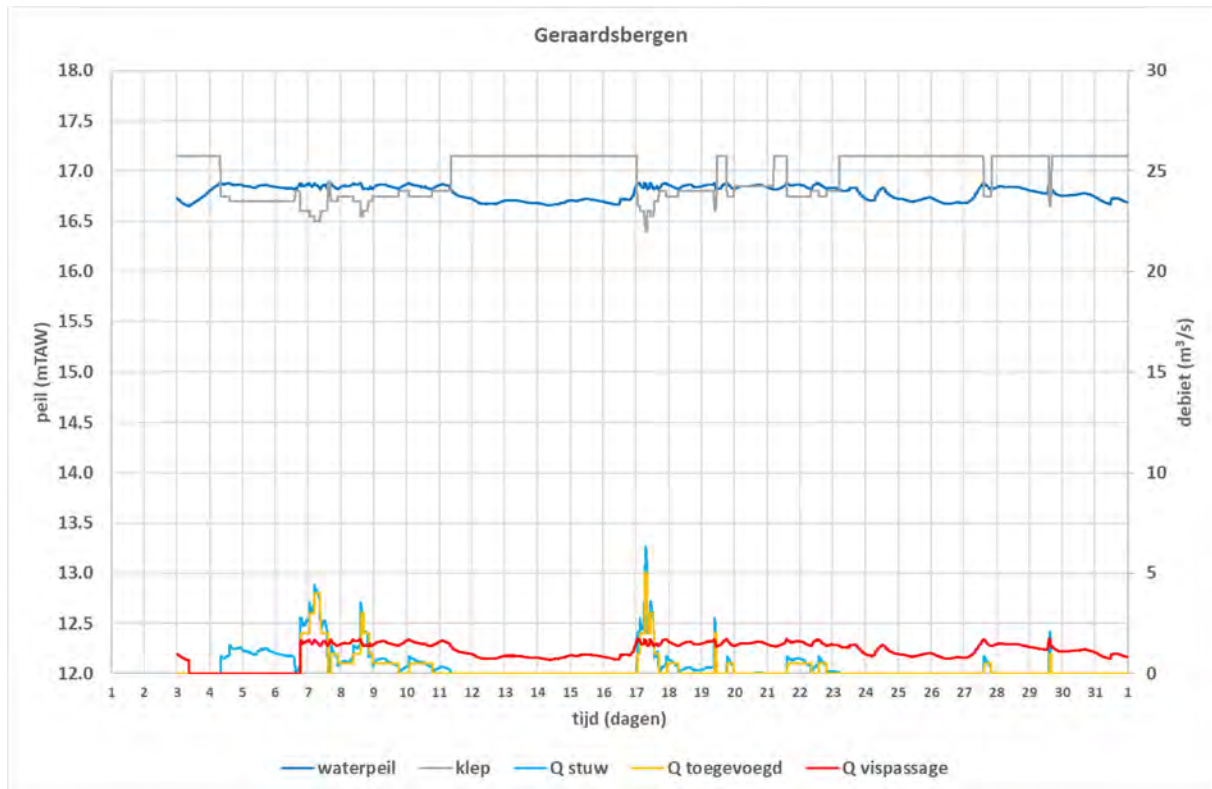
Figuur 52 – September 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



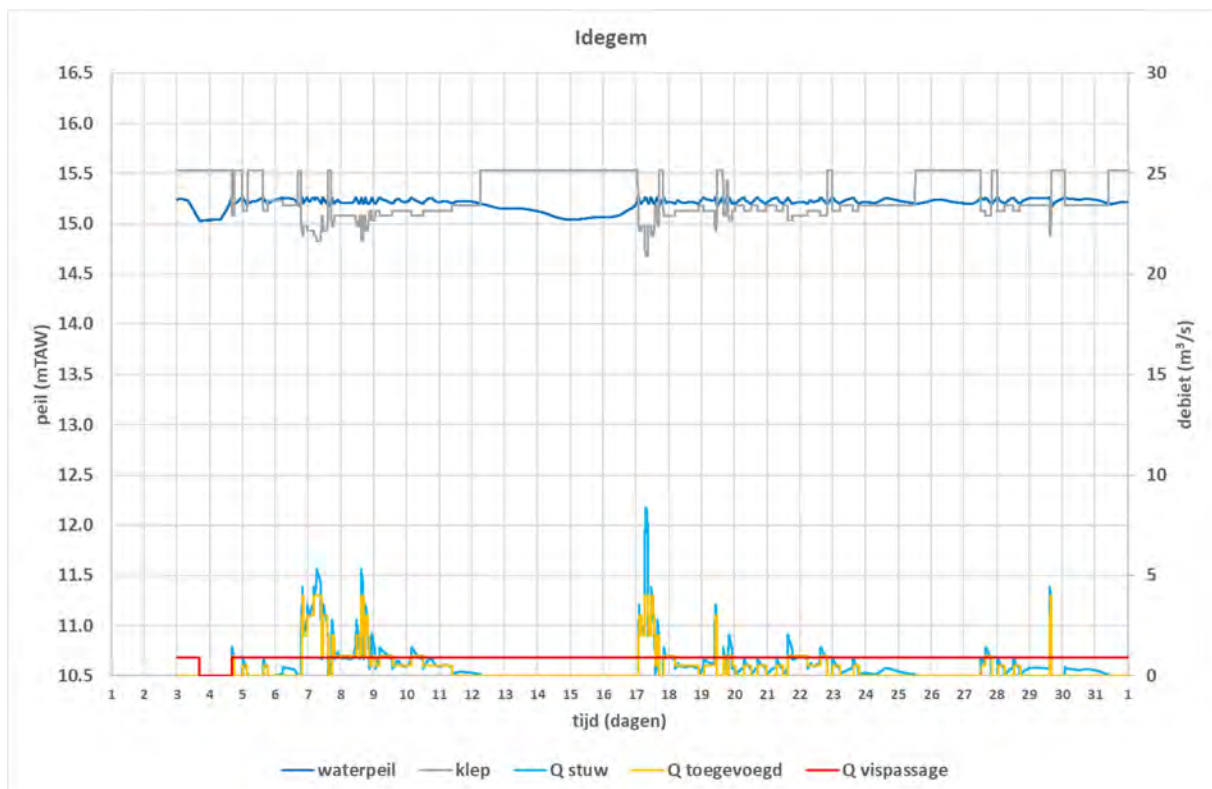
Figuur 53 – September 2019 - Aalst (reeks 1)



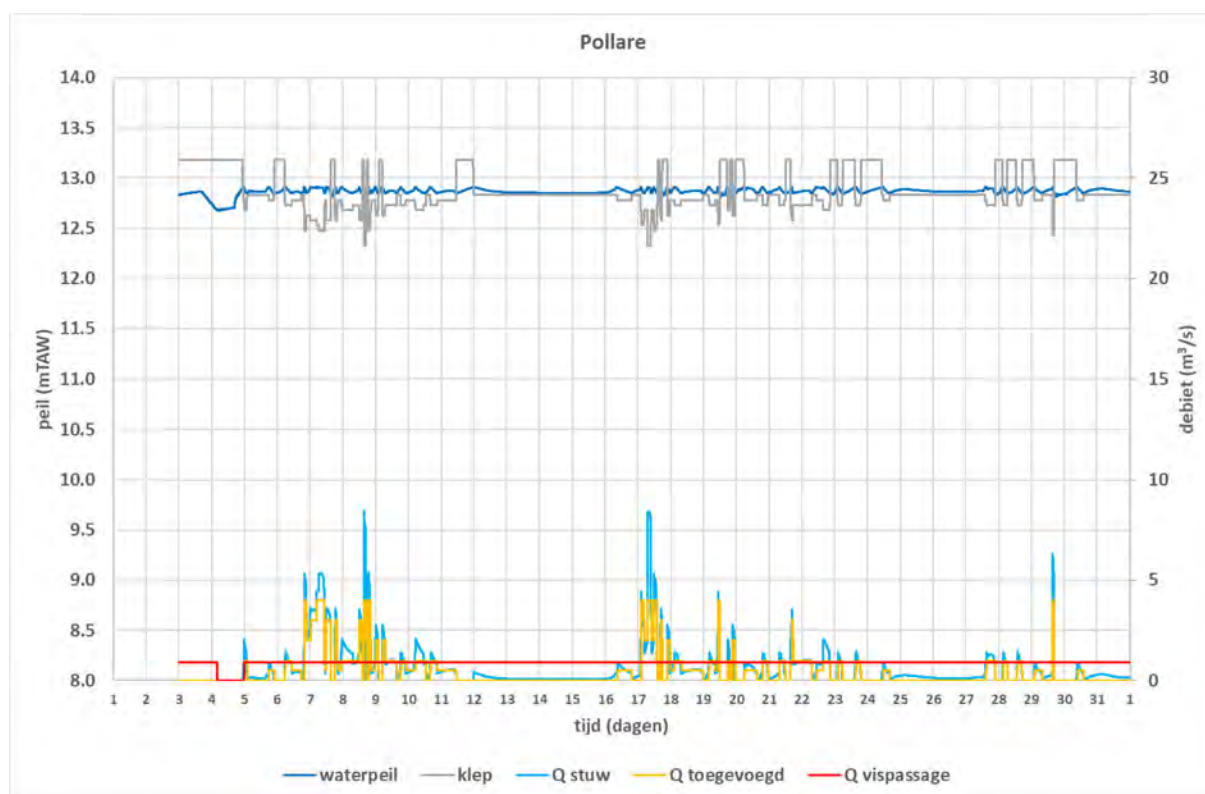
Figuur 54 – September 2019 - Denderbelle (reeks 1)



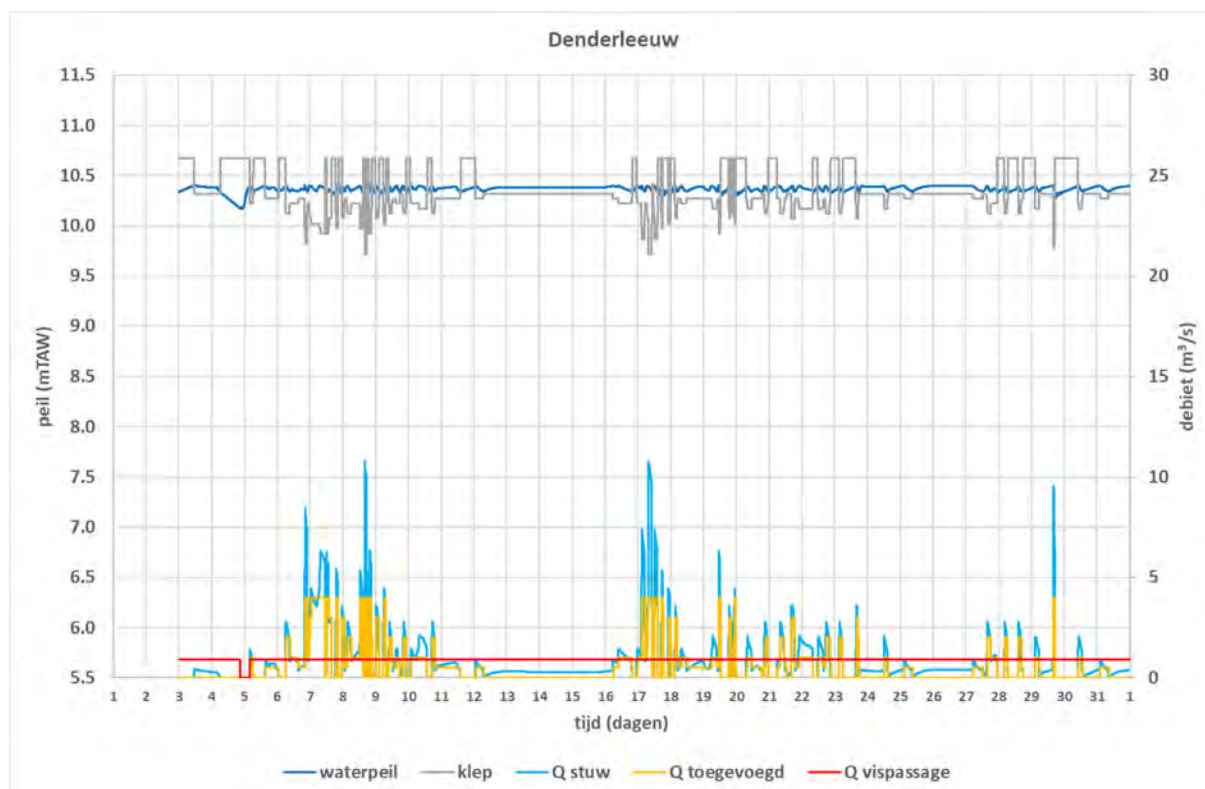
Figuur 55 – Oktober 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



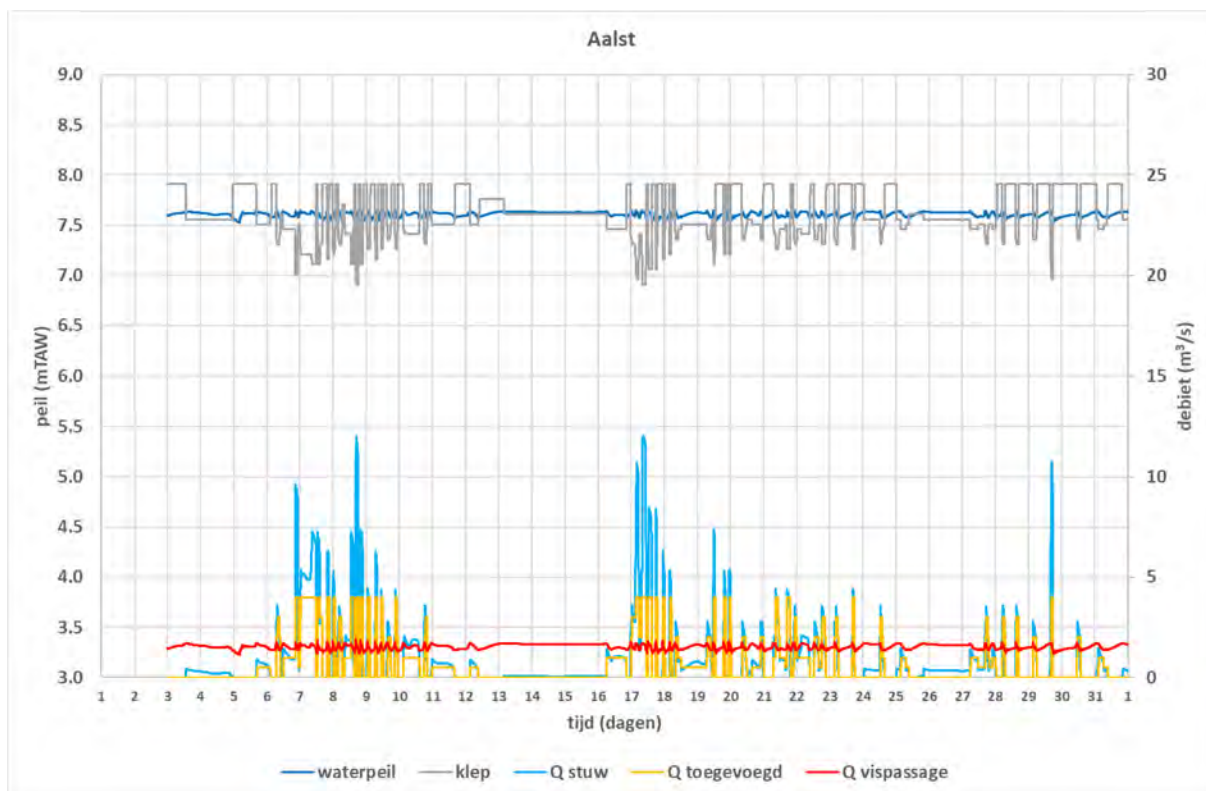
Figuur 56 – Oktober 2019 - Idegem (reeks 1)



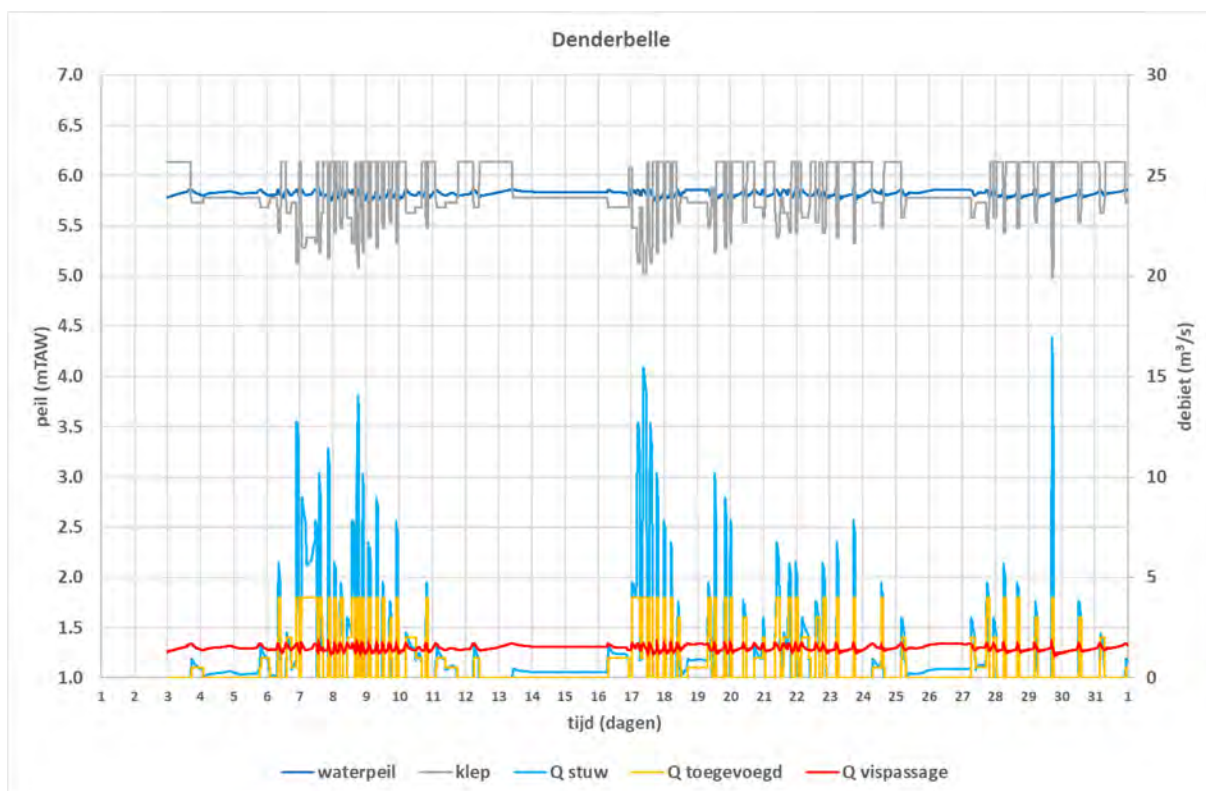
Figuur 57 – Oktober 2019 - Pollare (reeks 1)



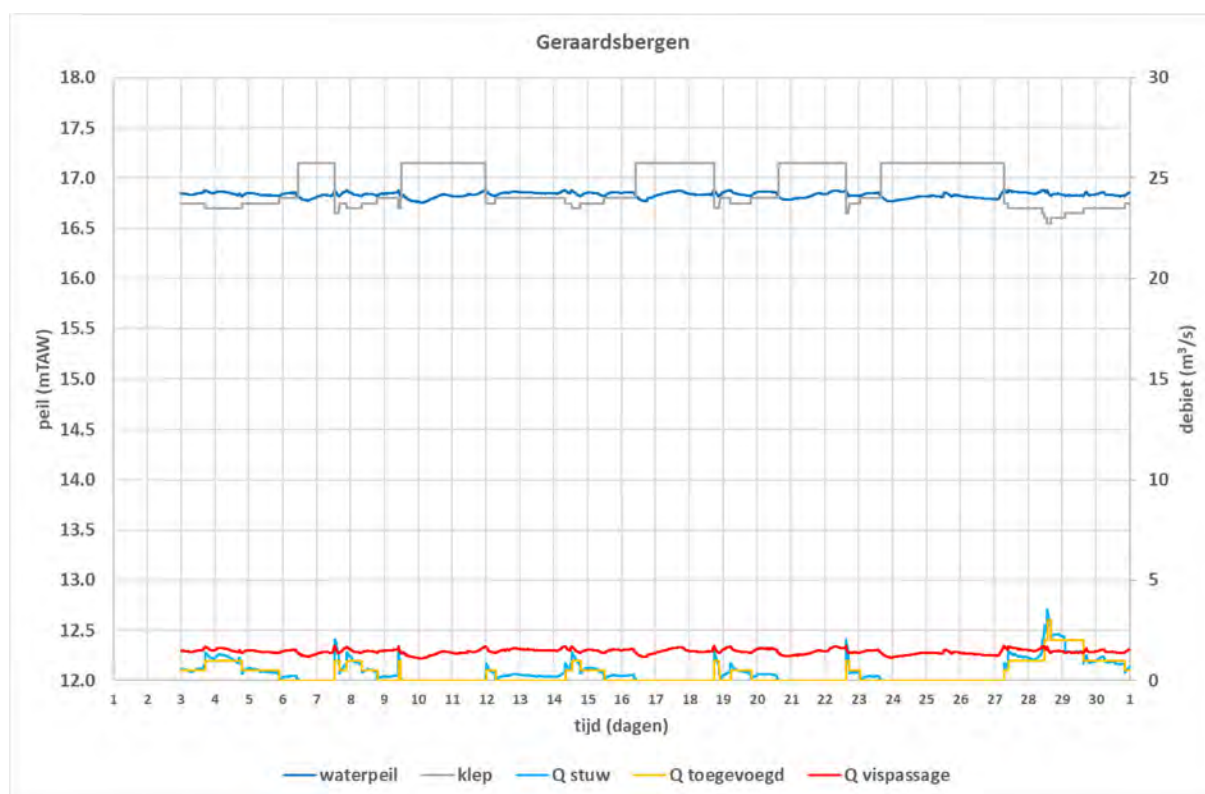
Figuur 58 – Oktober 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



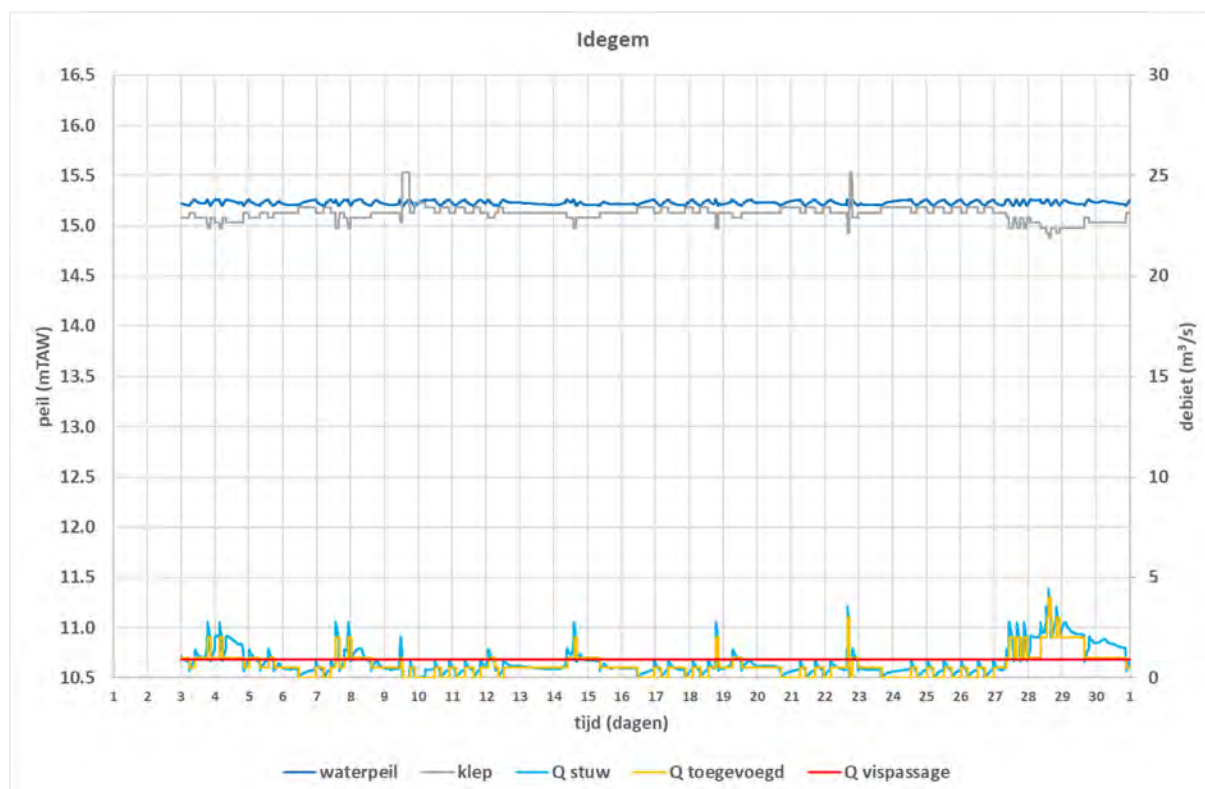
Figuur 59 – Oktober 2019 - Aalst (reeks 1)



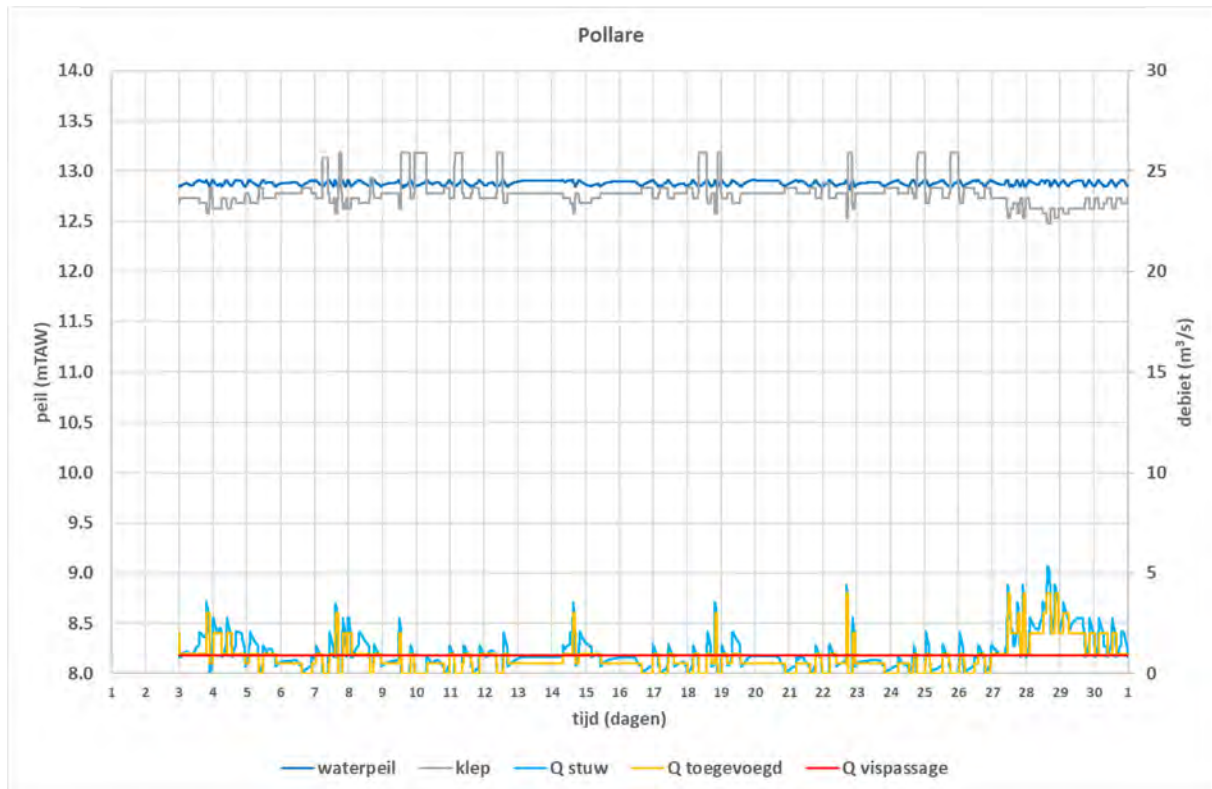
Figuur 60 – Oktober 2019 - Denderbelle (reeks 1)



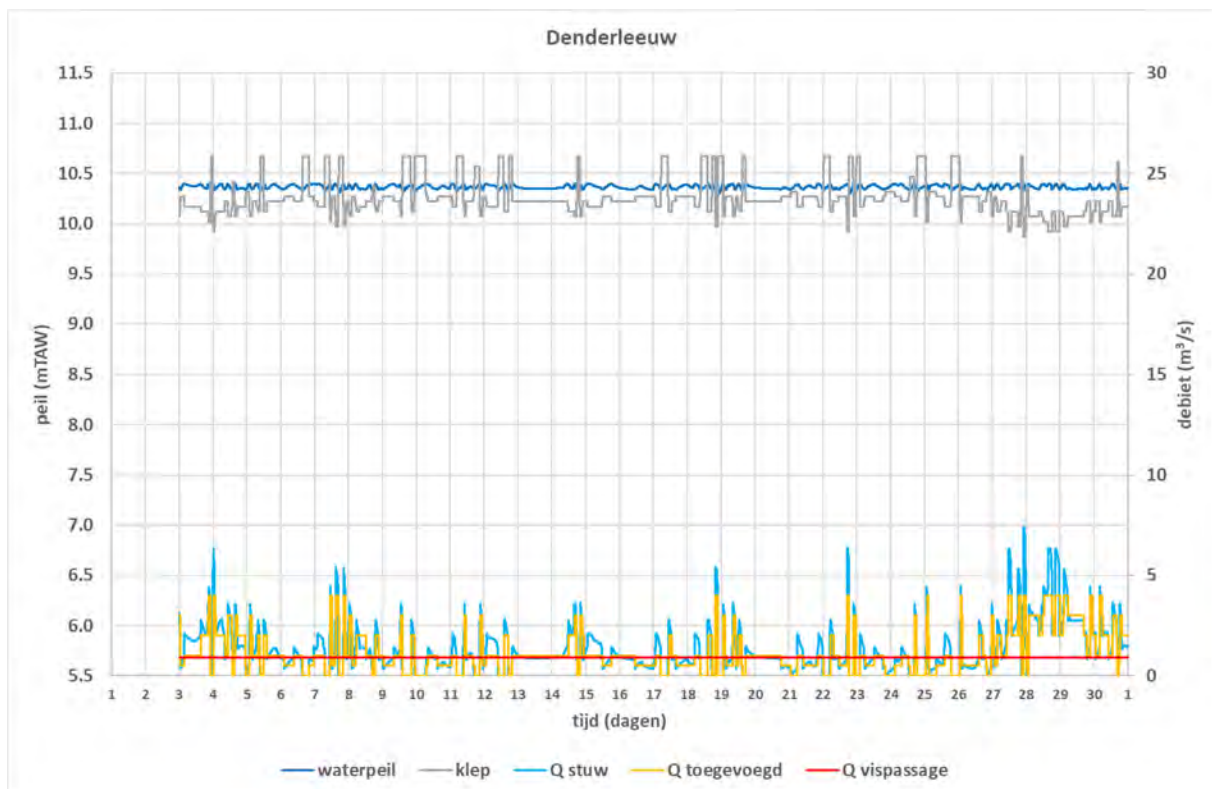
Figuur 61 – November 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



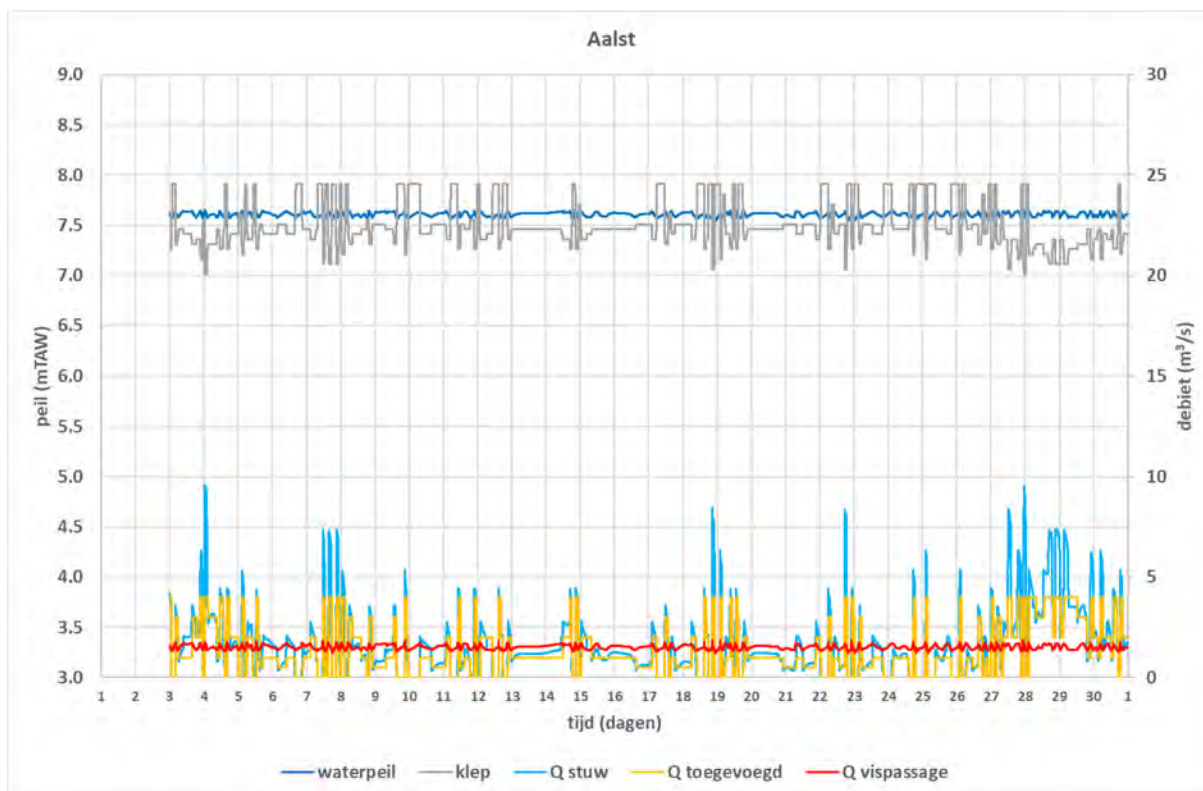
Figuur 62 – November 2019 - Idegem (reeks 1)



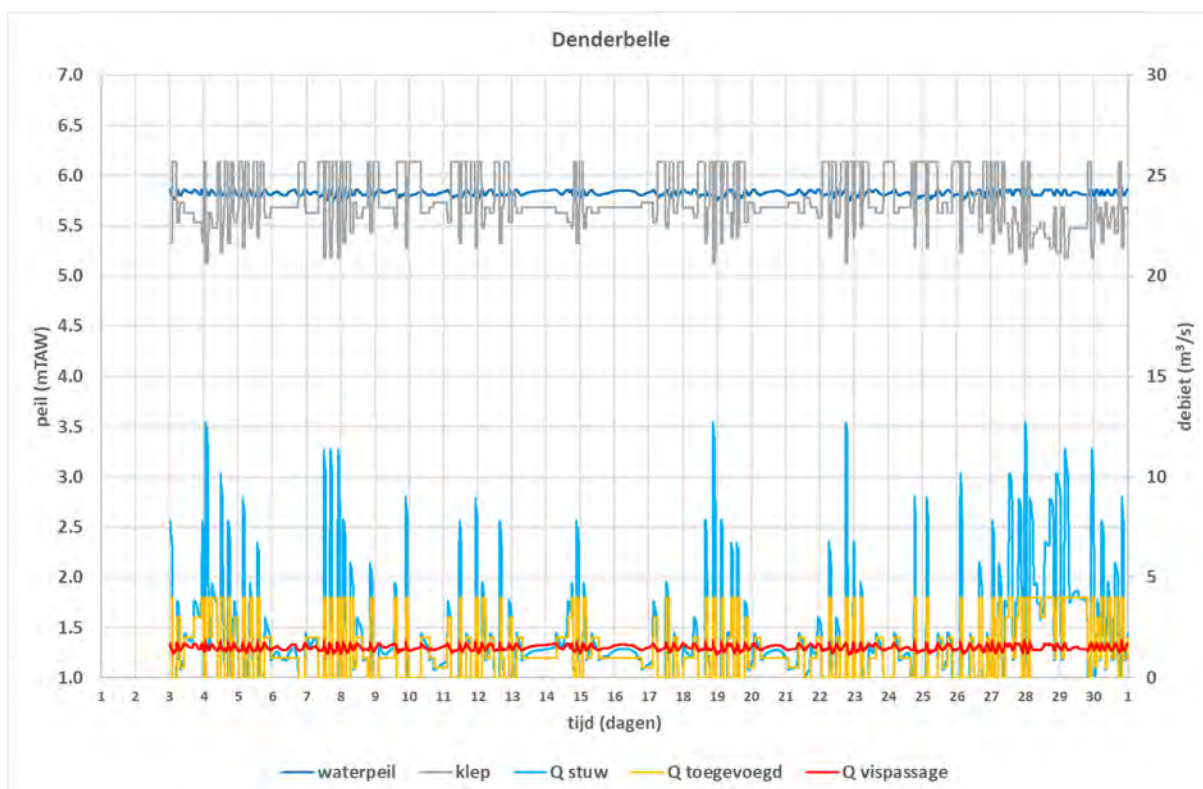
Figuur 63 – November 2019 - Pollare (reeks 1)



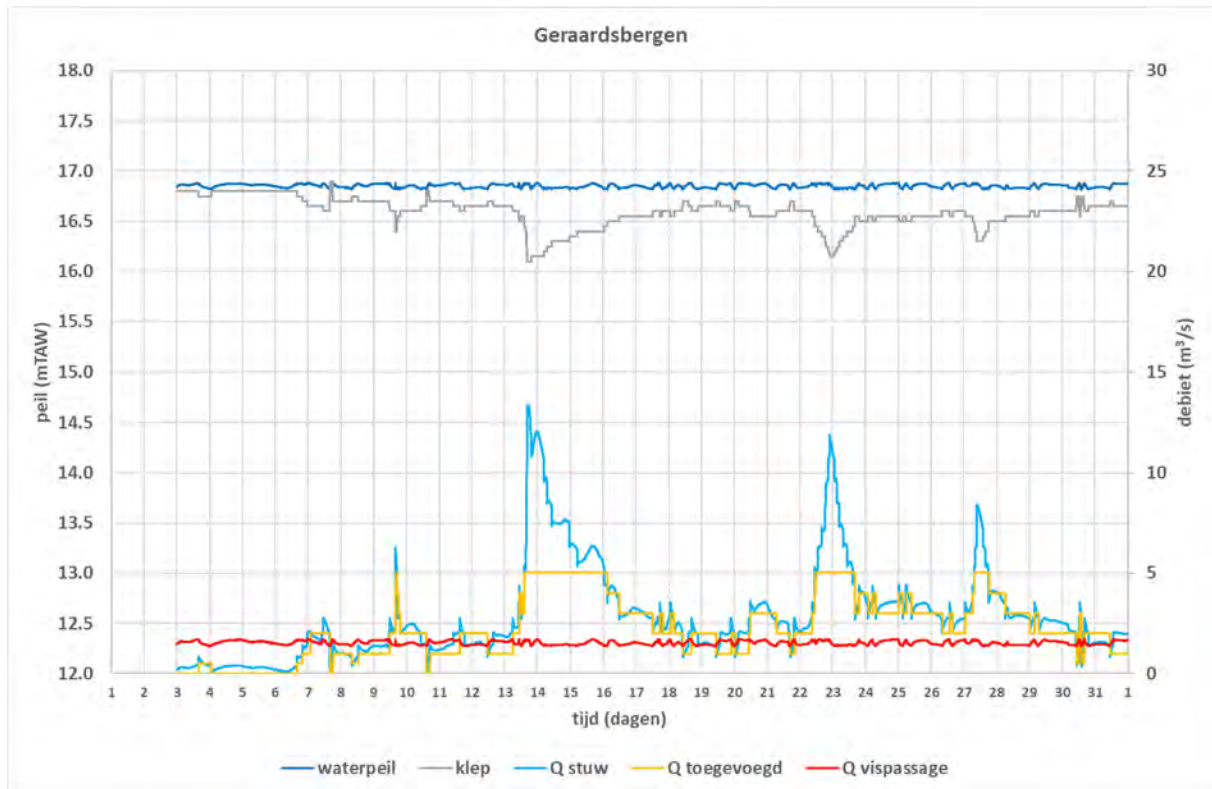
Figuur 64 – November 2019 - Denderleeuw (reeks 1)



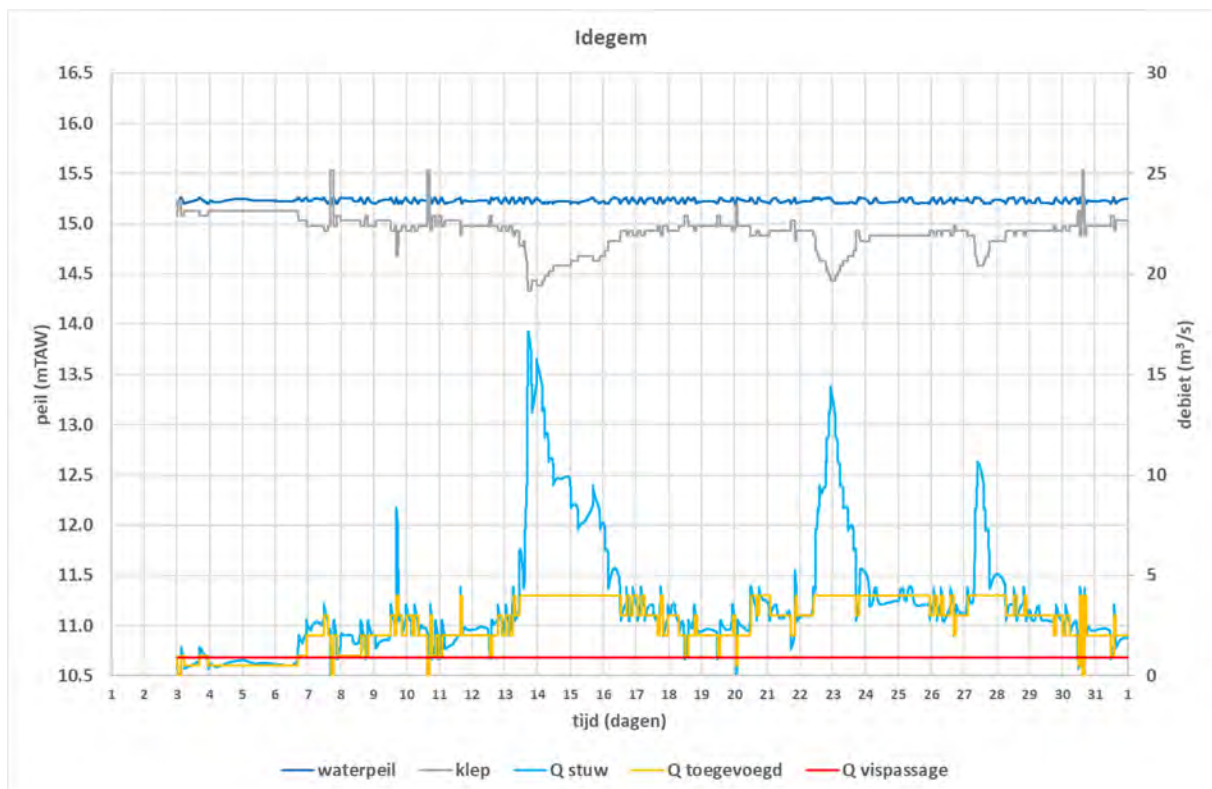
Figuur 65 – November 2019 - Aalst (reeks 1)



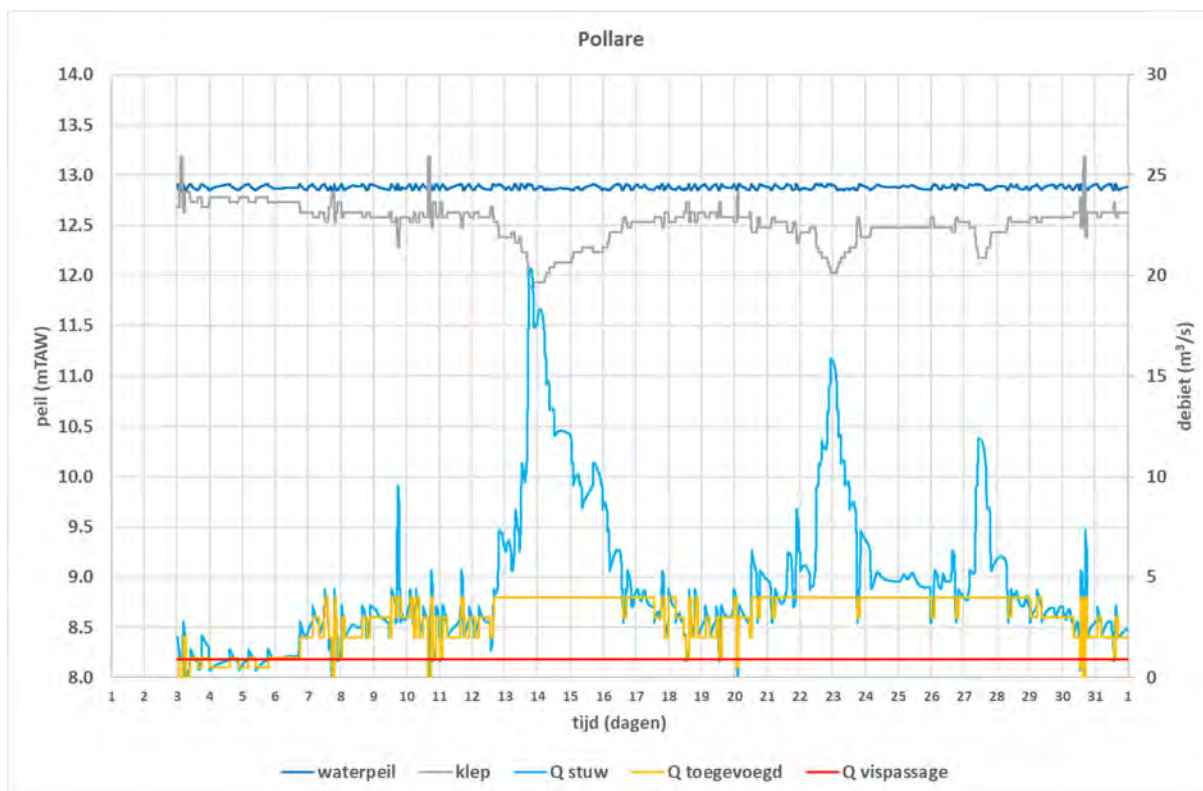
Figuur 66 – November 2019 - Denderbelle (reeks 1)



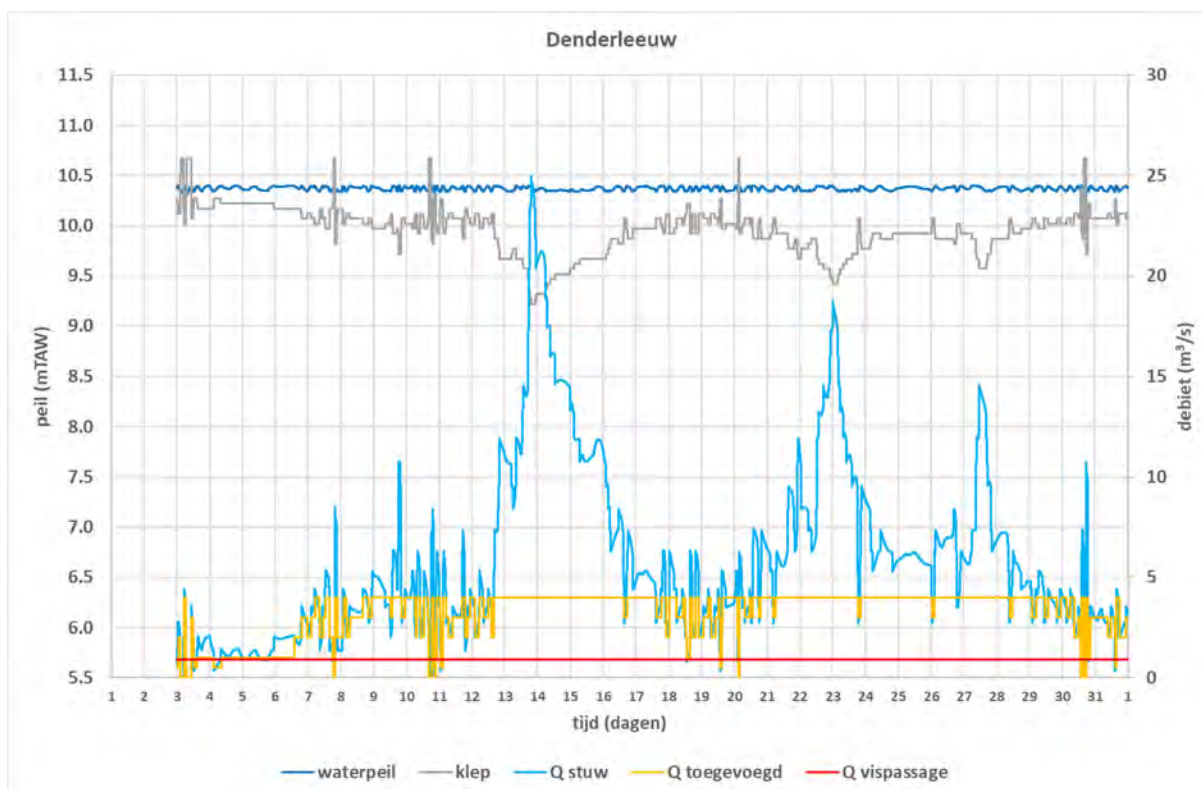
Figuur 67 – December 2019 - Geraardsbergen (reeks 1)



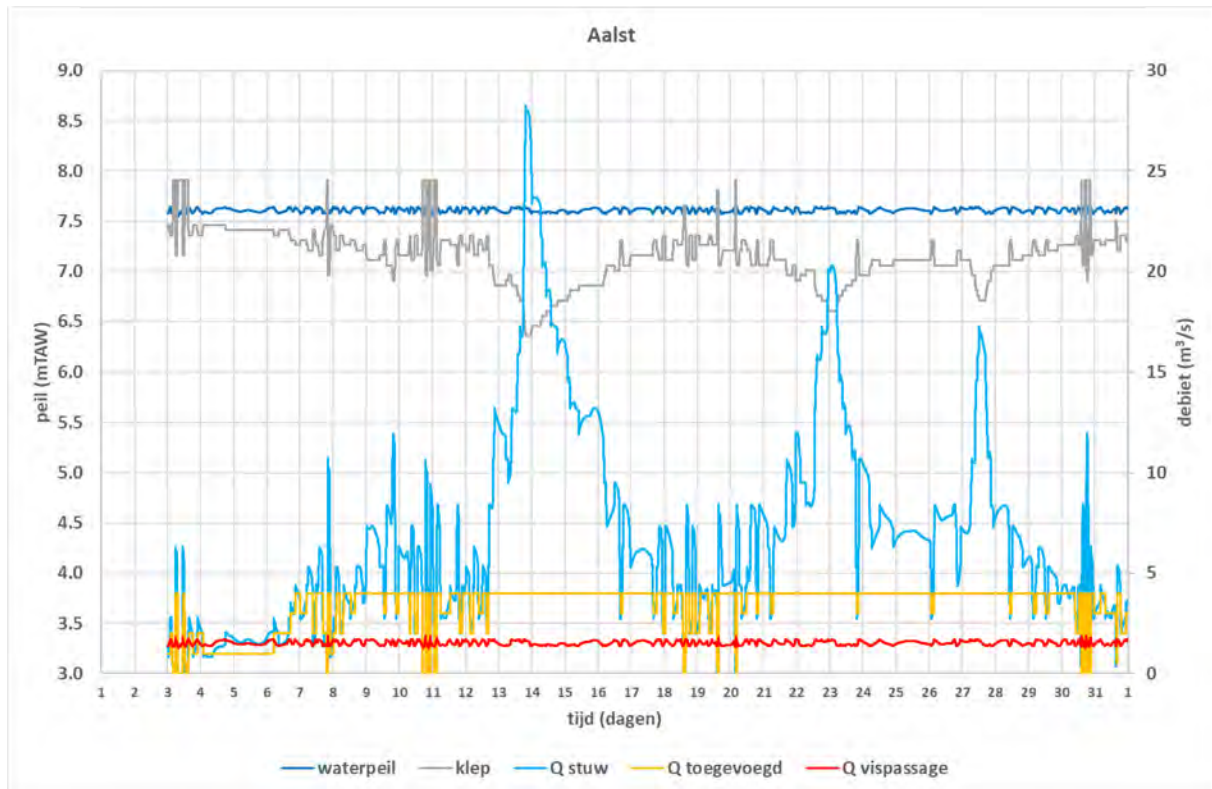
Figuur 68 – December 2019 - Idegem (reeks 1)



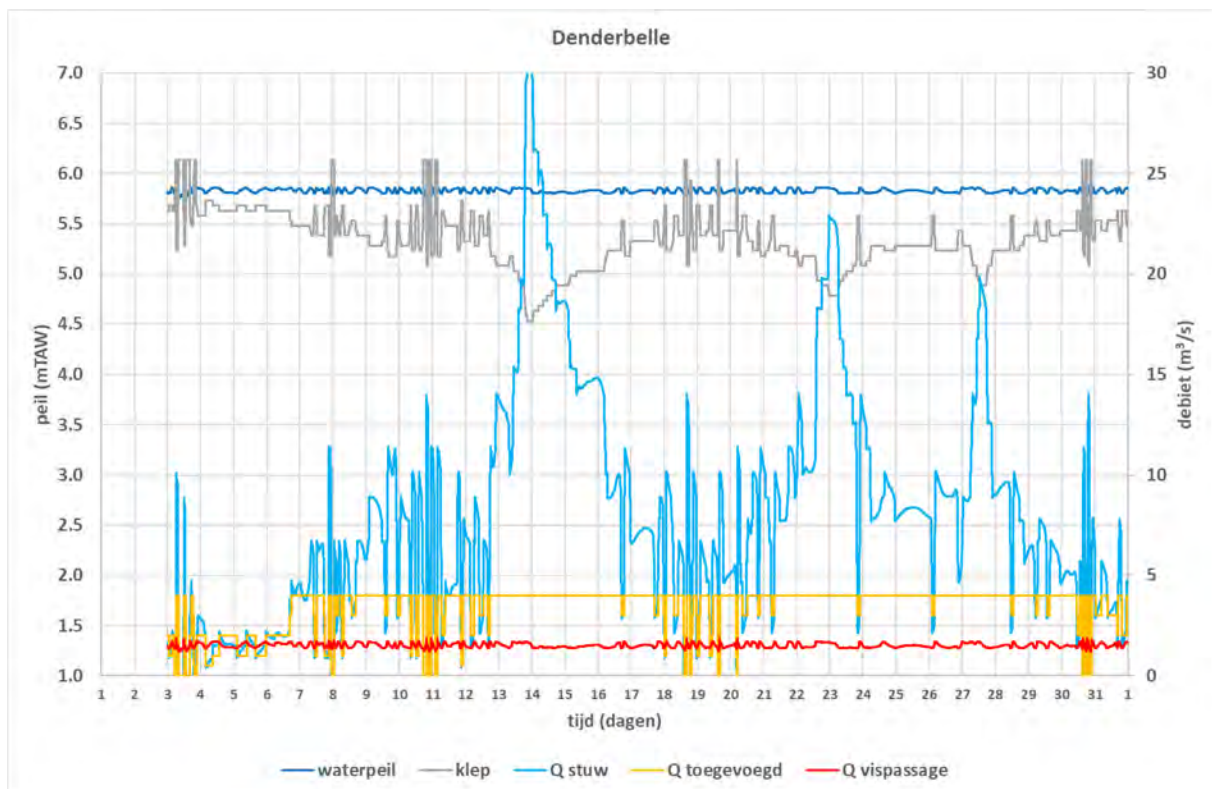
Figuur 69 – December 2019 - Pollare (reeks 1)



Figuur 70 – December 2019 - Denderleeuw (reeks 1)

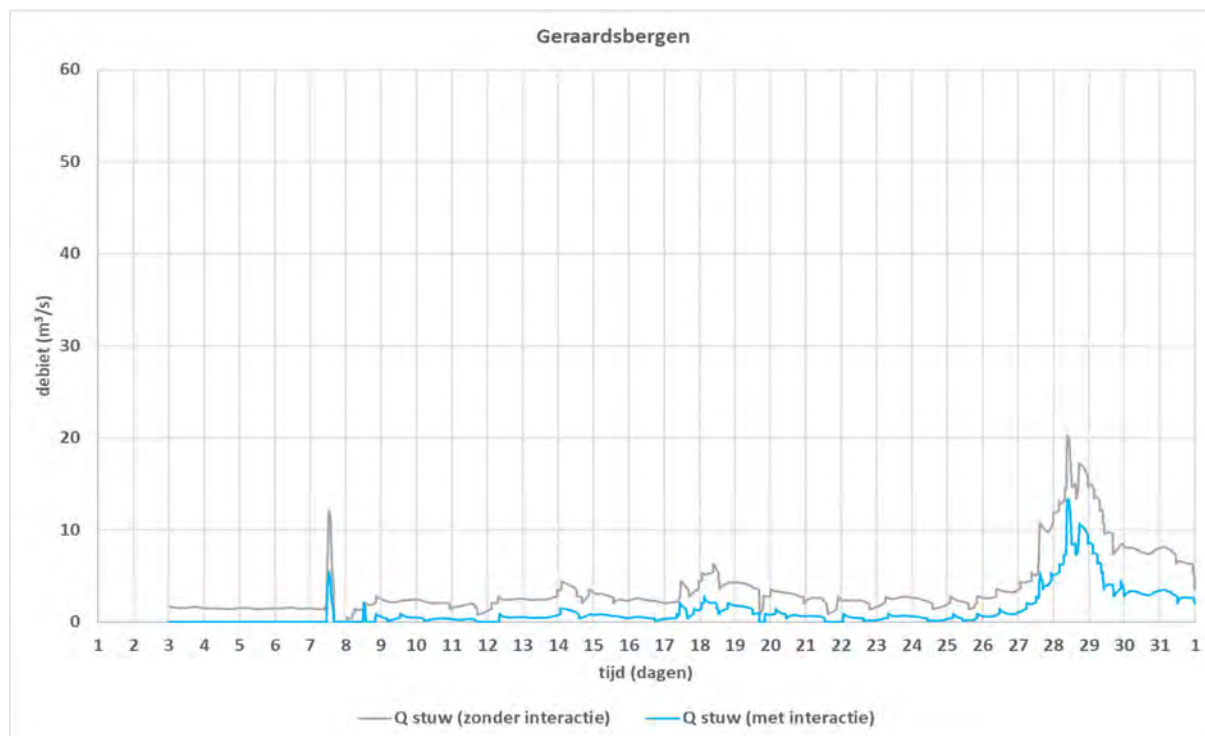


Figuur 71 – December 2019 - Aalst (reeks 1)

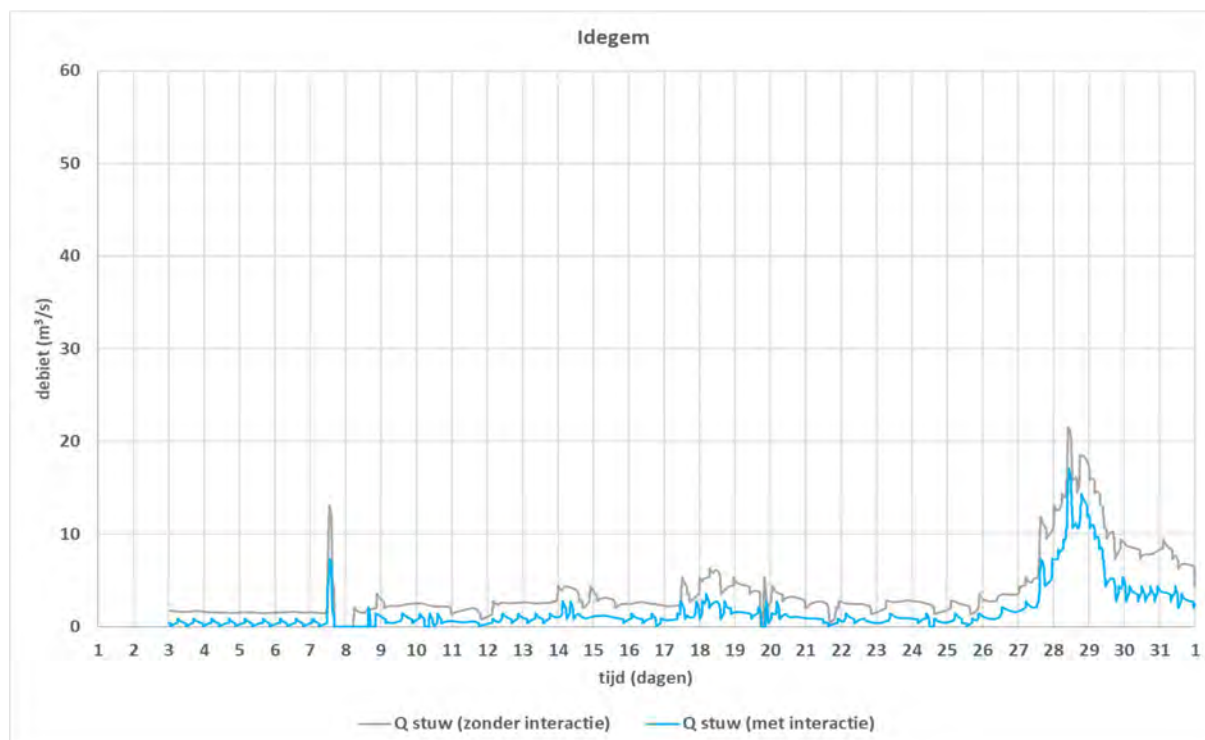


Figuur 72 – December 2019 - Denderbelle (reeks 1)

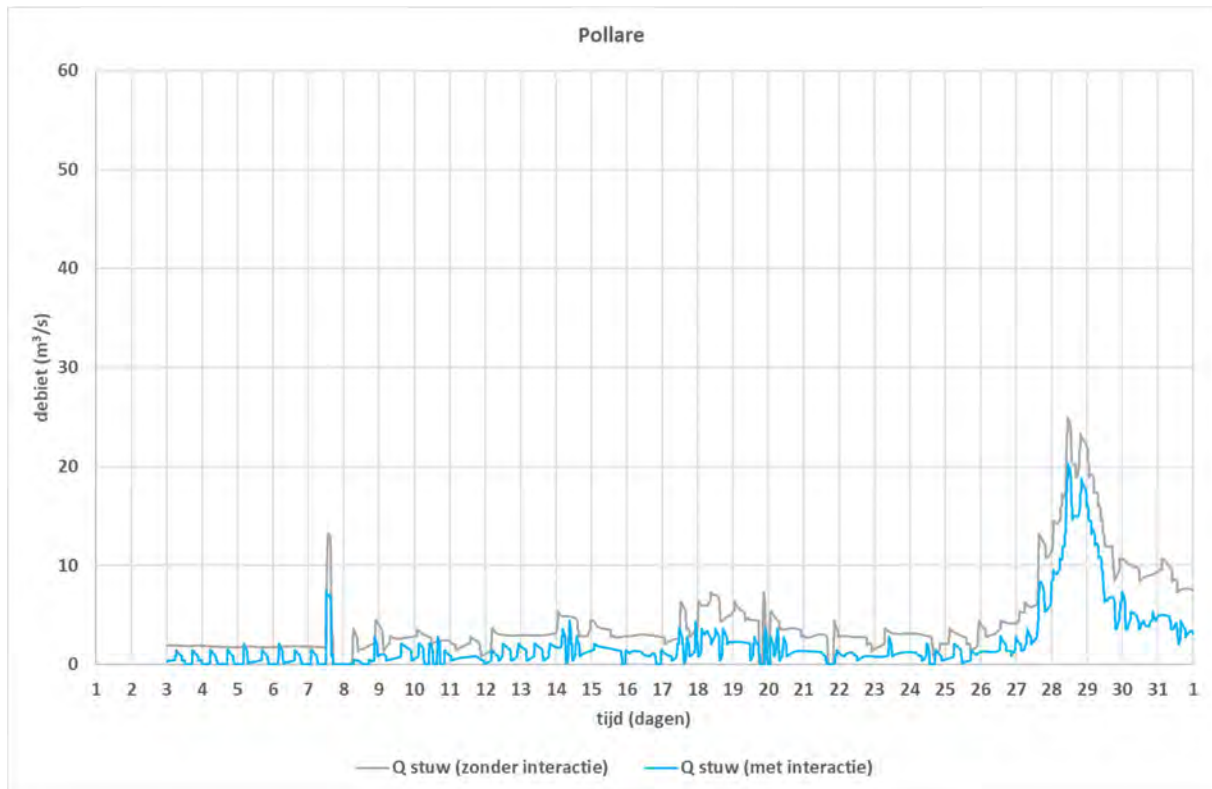
Bijlage 2 Interactie – figuren reeks 2



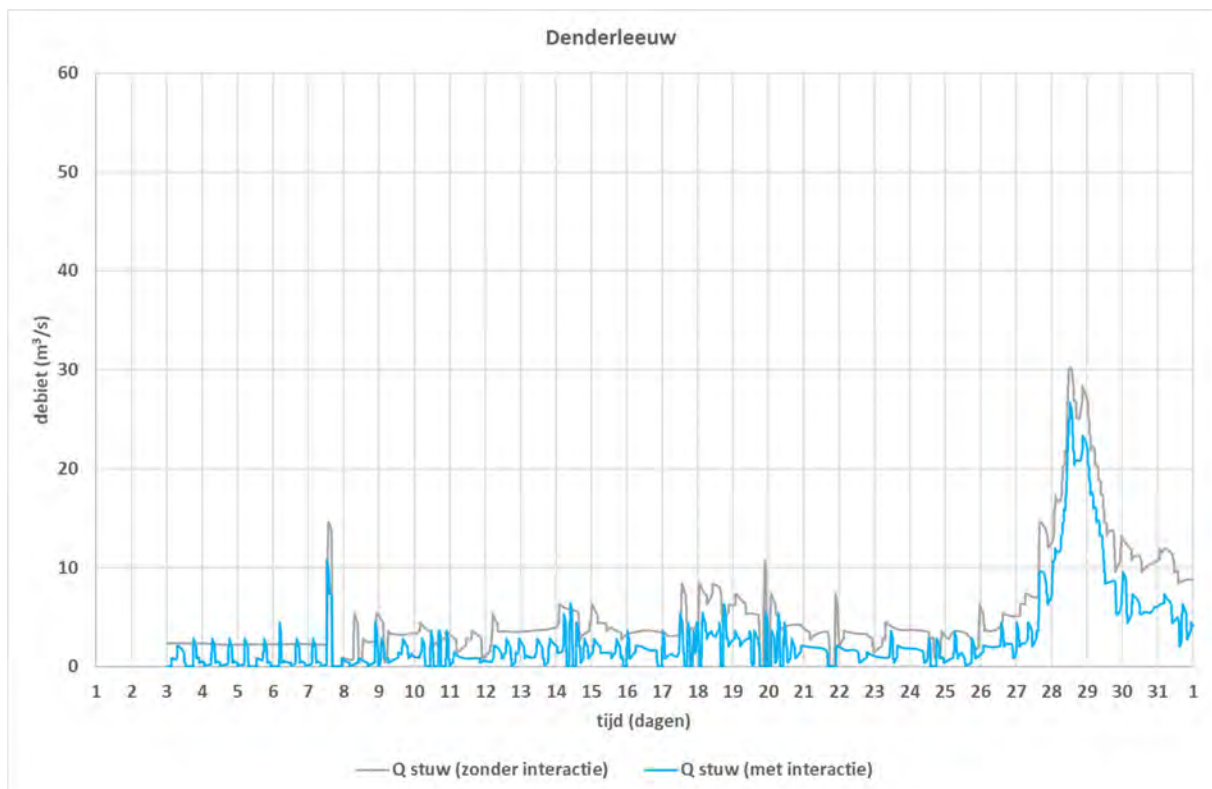
Figuur 1 – Januari 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



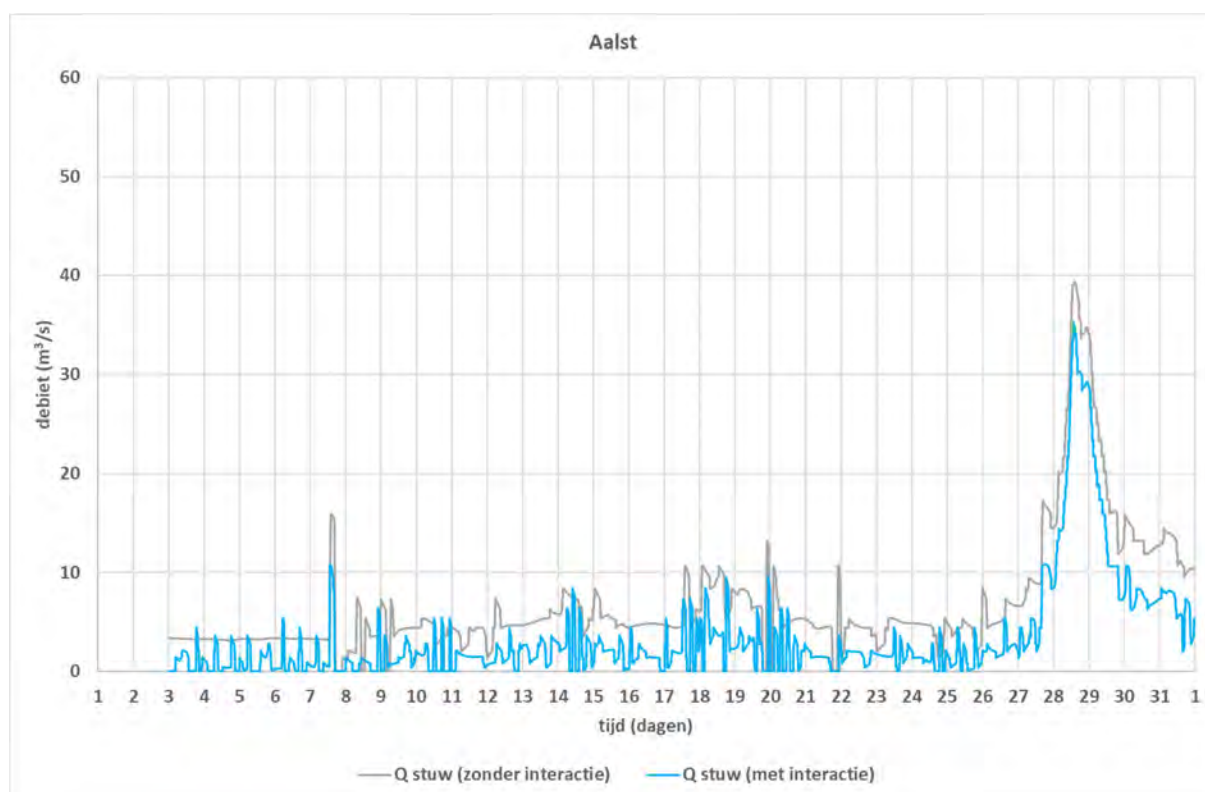
Figuur 2 – Januari 2019 - Idegem (reeks 2)



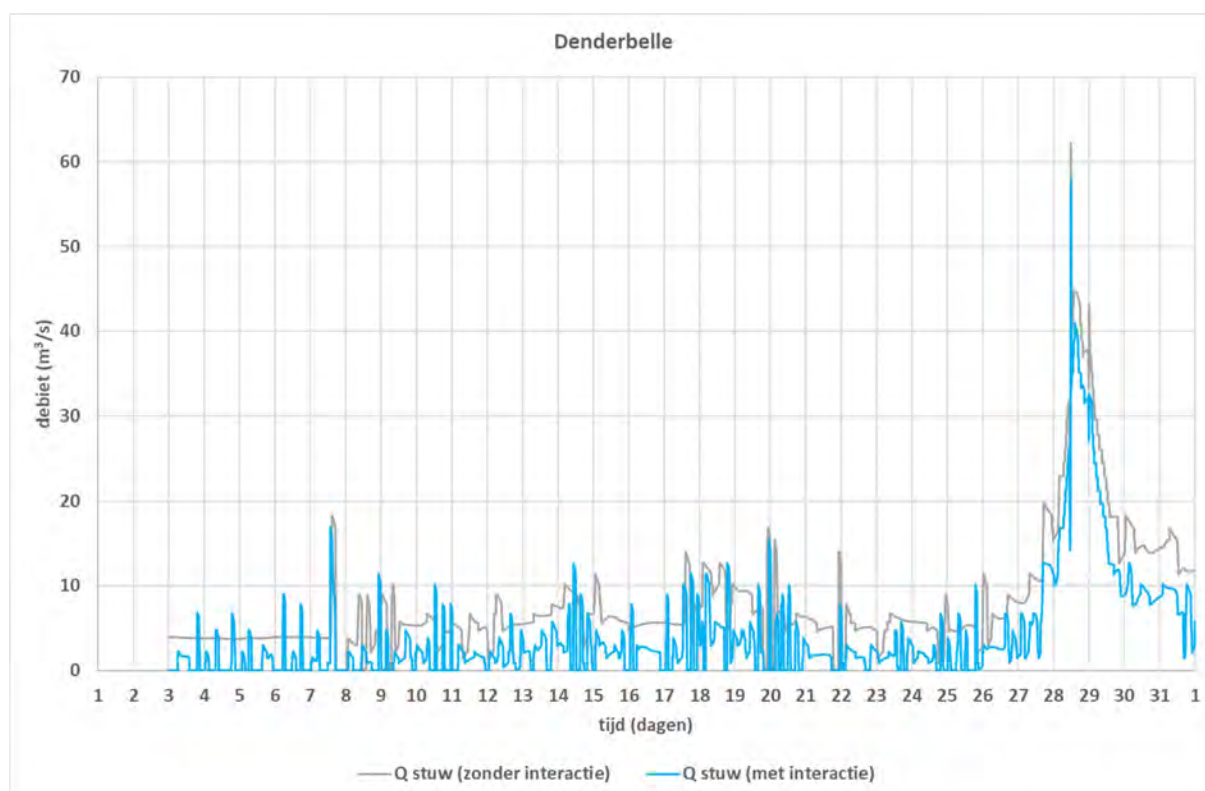
Figuur 3 – Januari 2019 - Pollare (reeks 2)



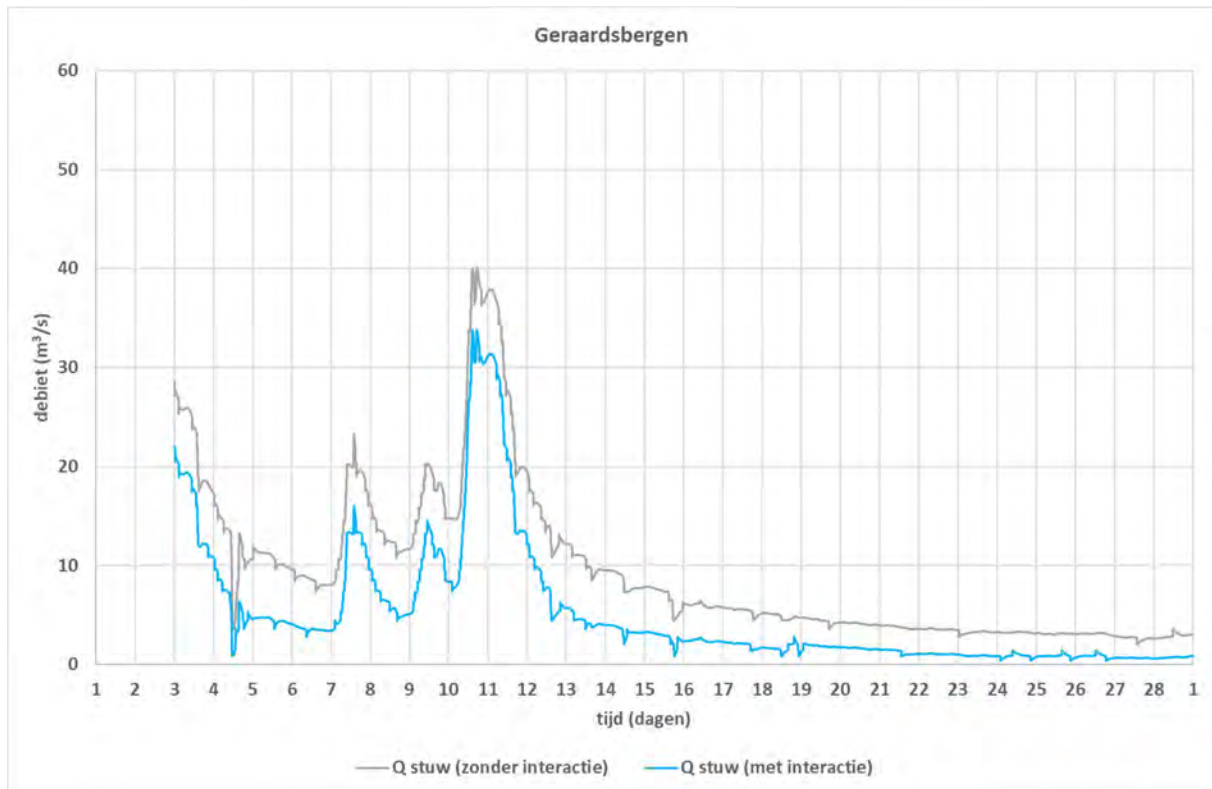
Figuur 4 – Januari 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



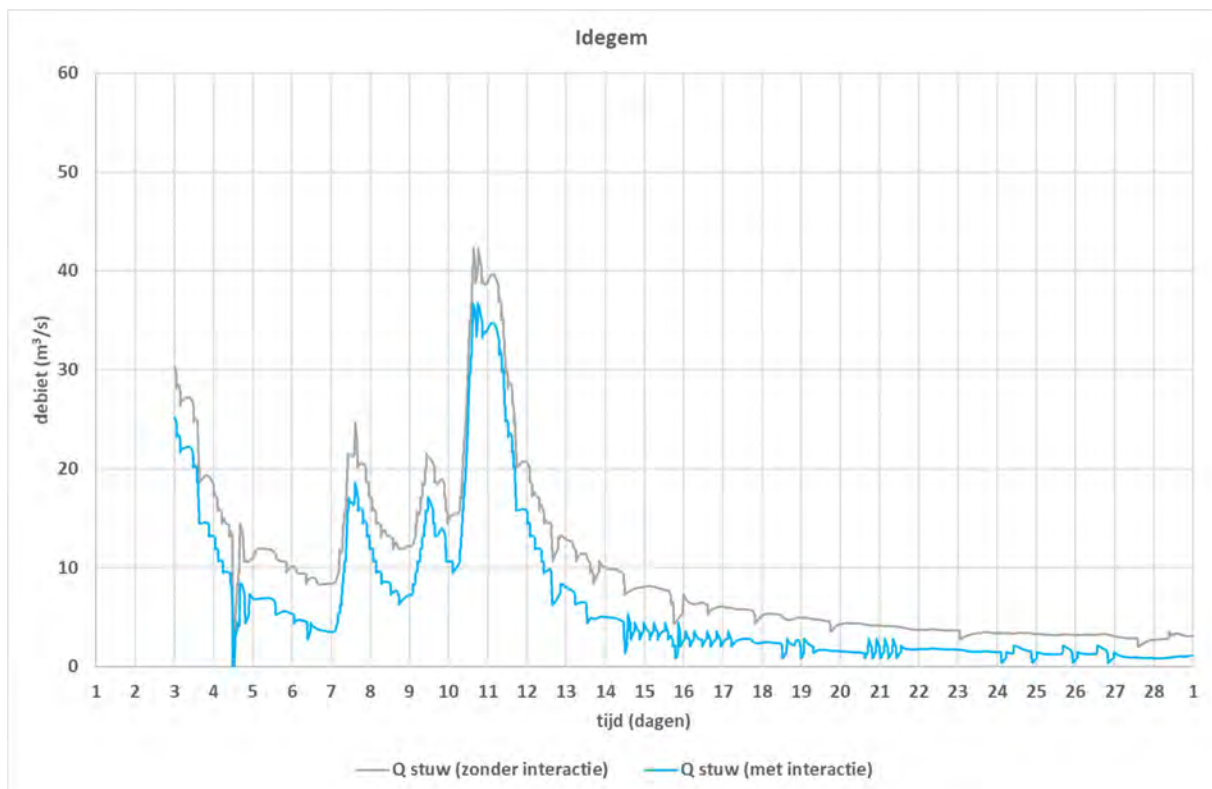
Figuur 5 – Januari 2019 - Aalst (reeks 2)



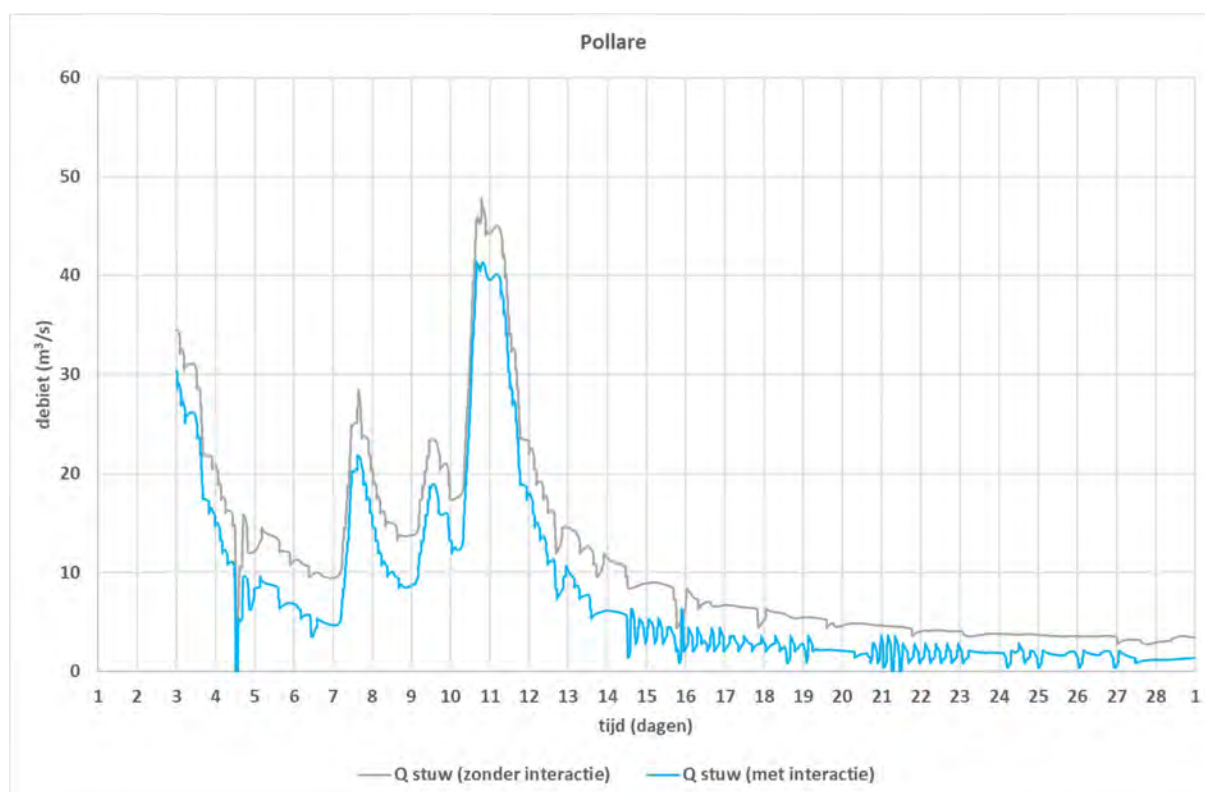
Figuur 6 – Januari 2019 - Denderbelle (reeks 2)



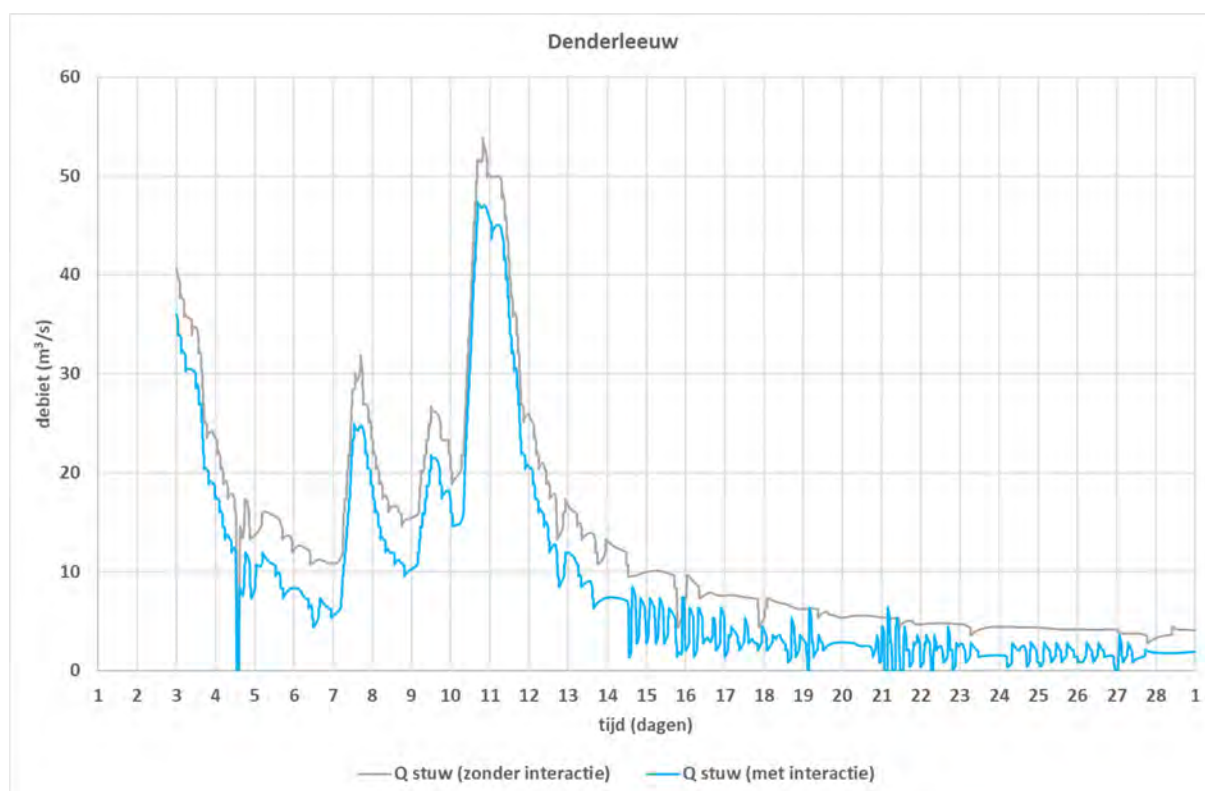
Figuur 7 – Februari 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



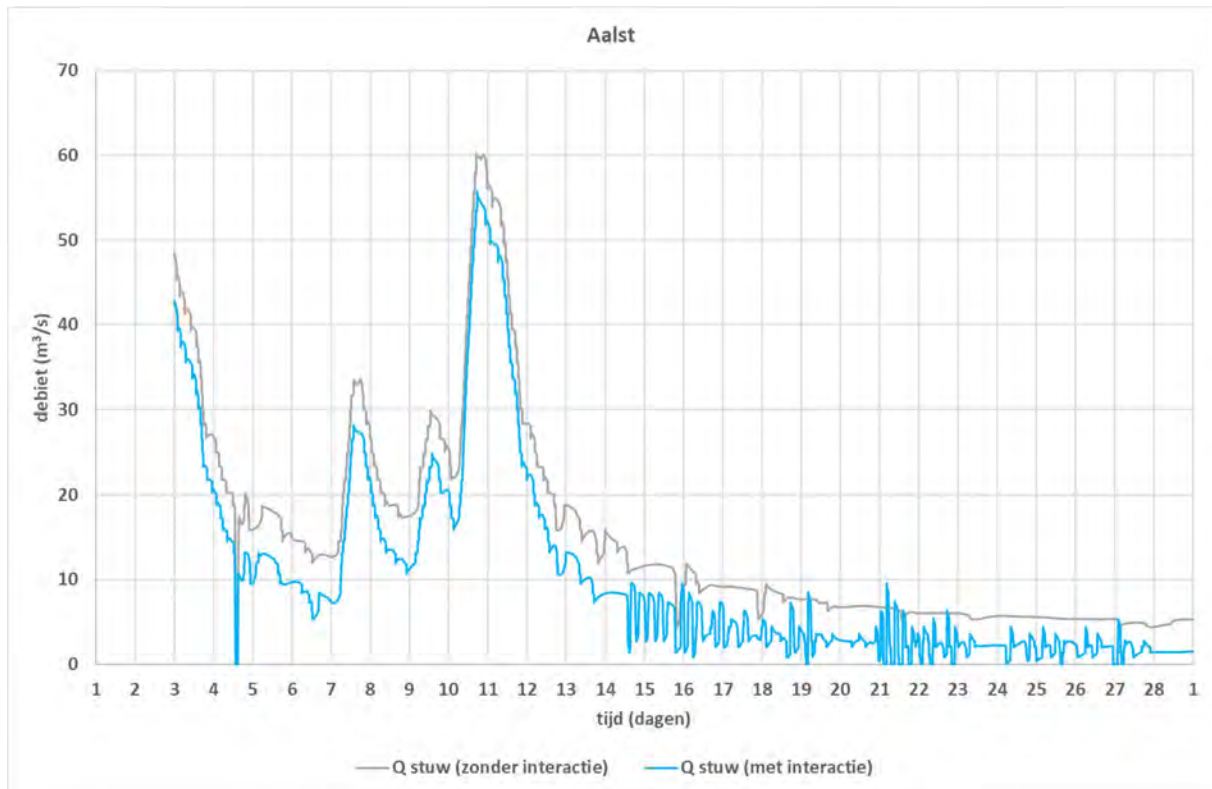
Figuur 8 – Februari 2019 - Idegem (reeks 2)



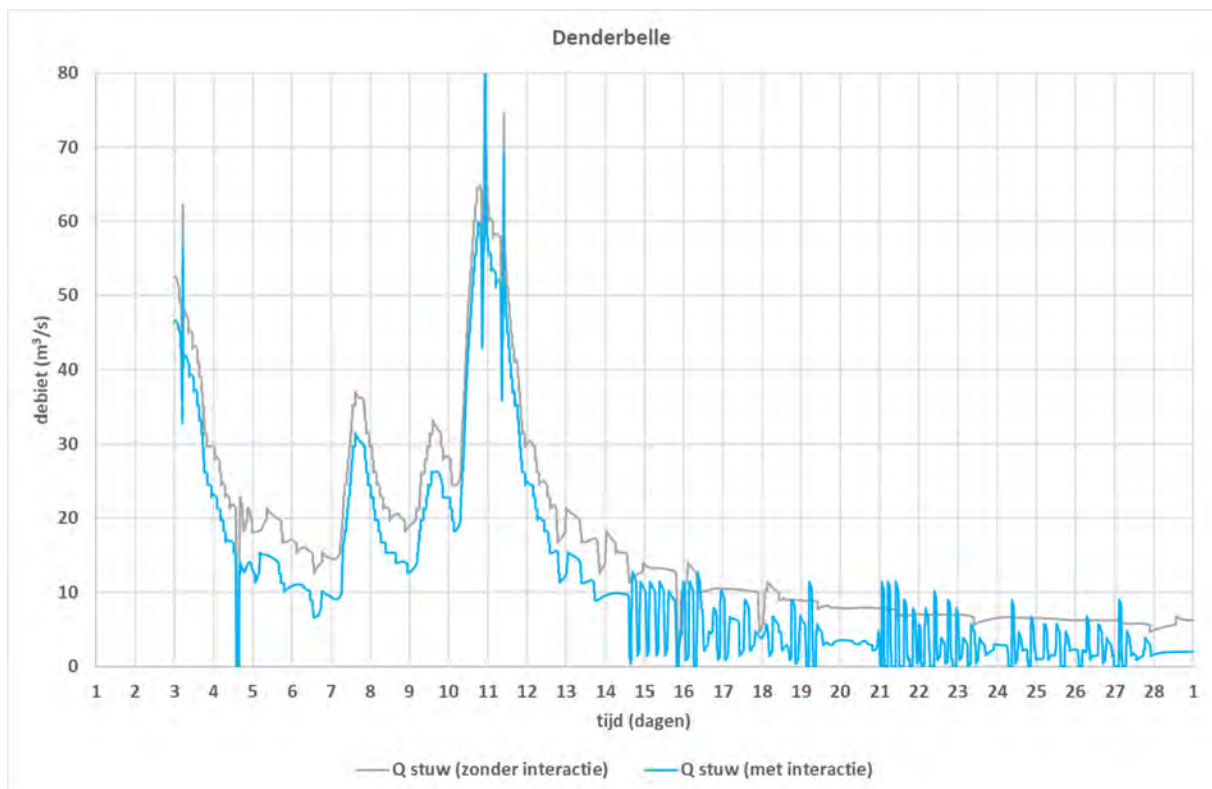
Figuur 9 – Februari 2019 - Pollare (reeks 2)



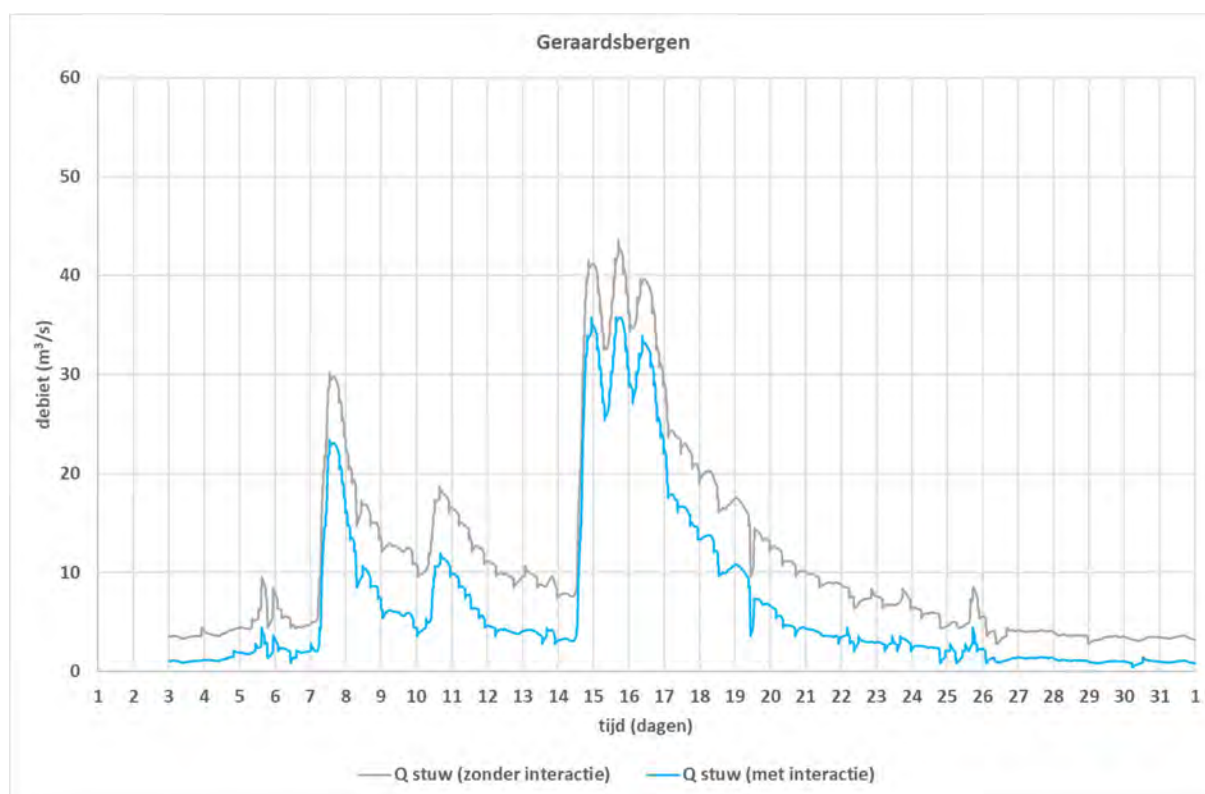
Figuur 10 – Februari 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



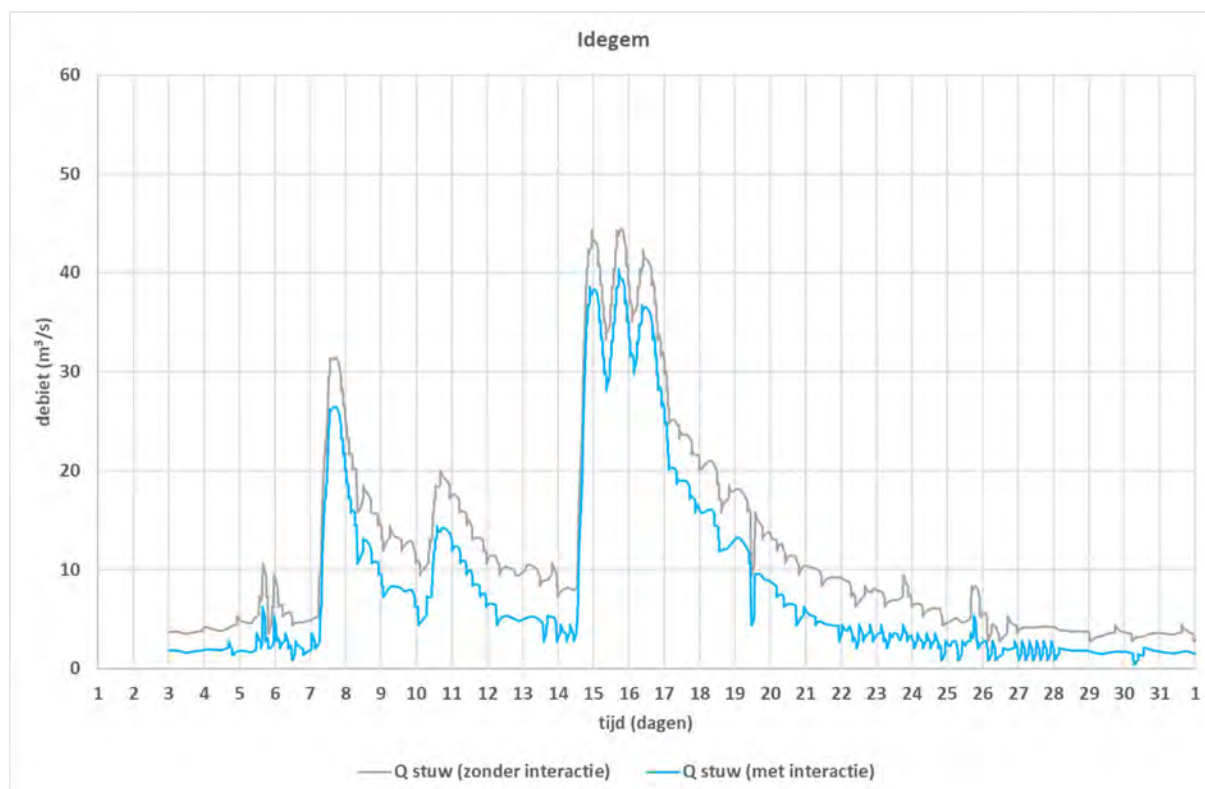
Figuur 11 – Februari 2019 - Aalst (reeks 2)



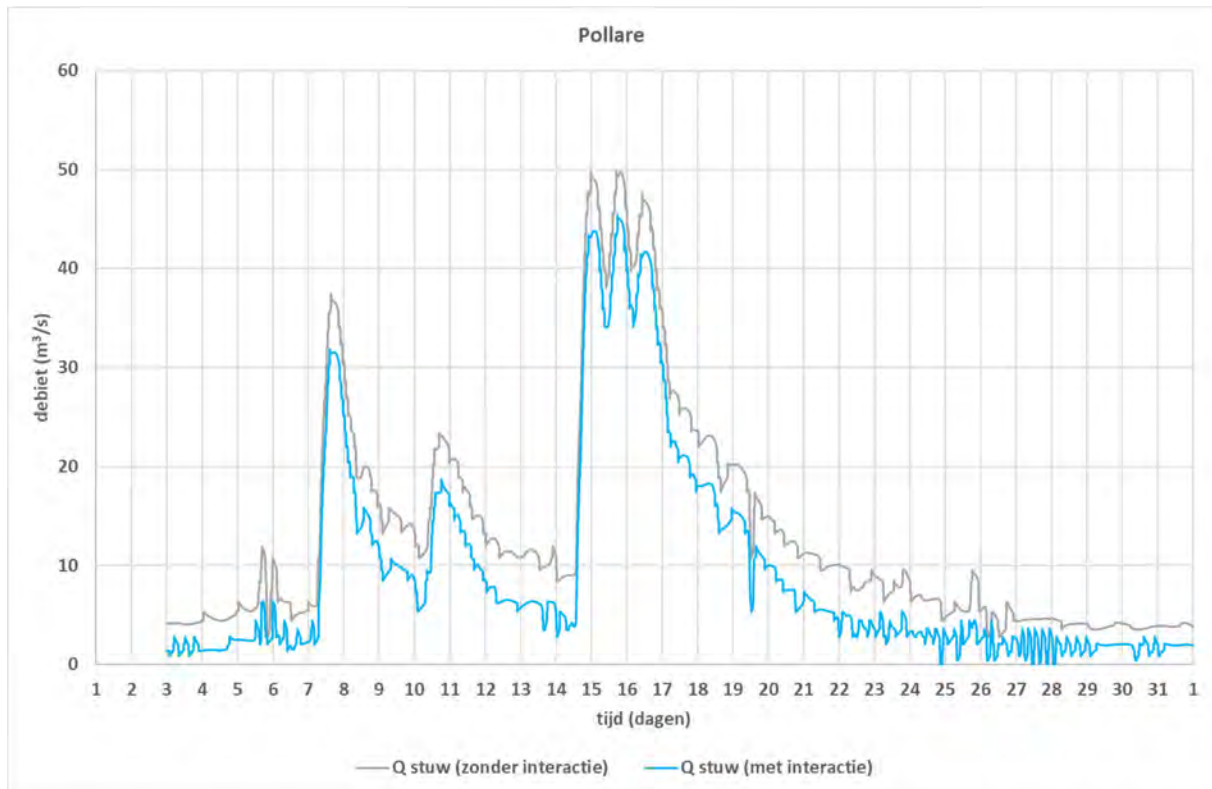
Figuur 12 – Februari 2019 - Denderbelle (reeks 2)



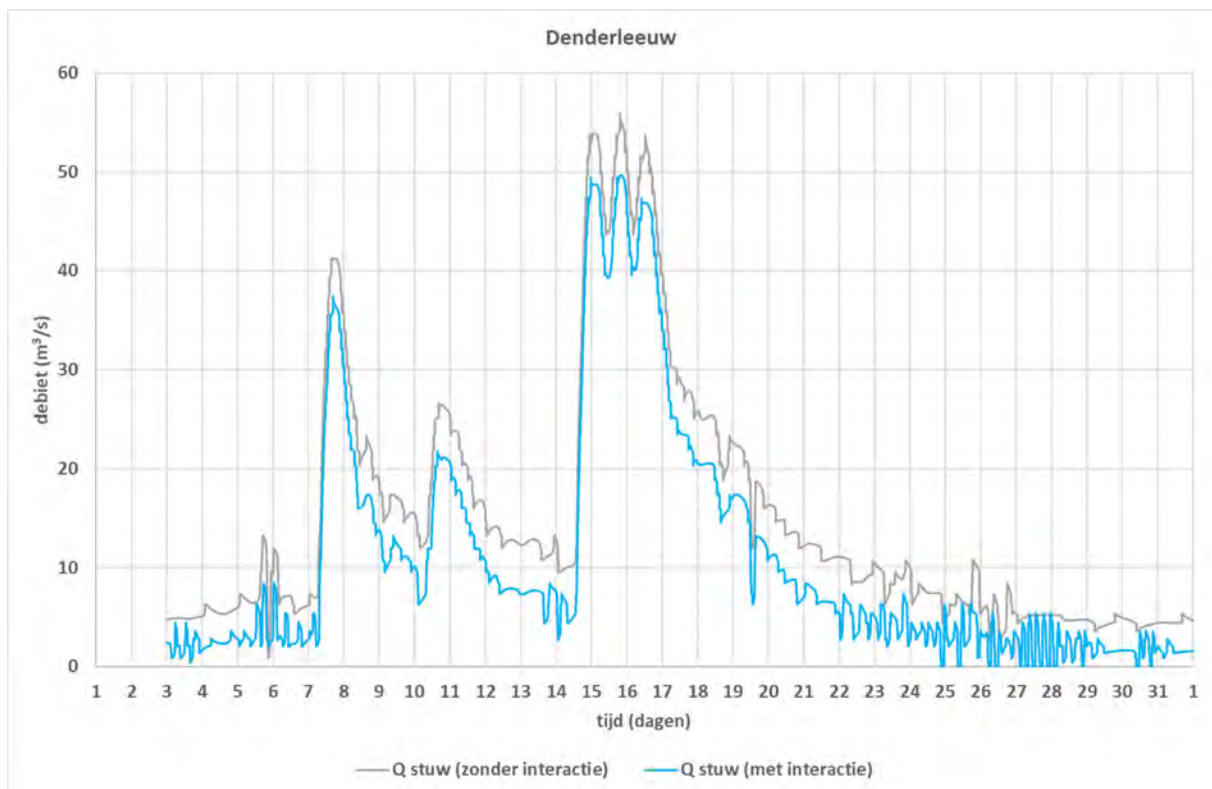
Figuur 13 – Maart 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



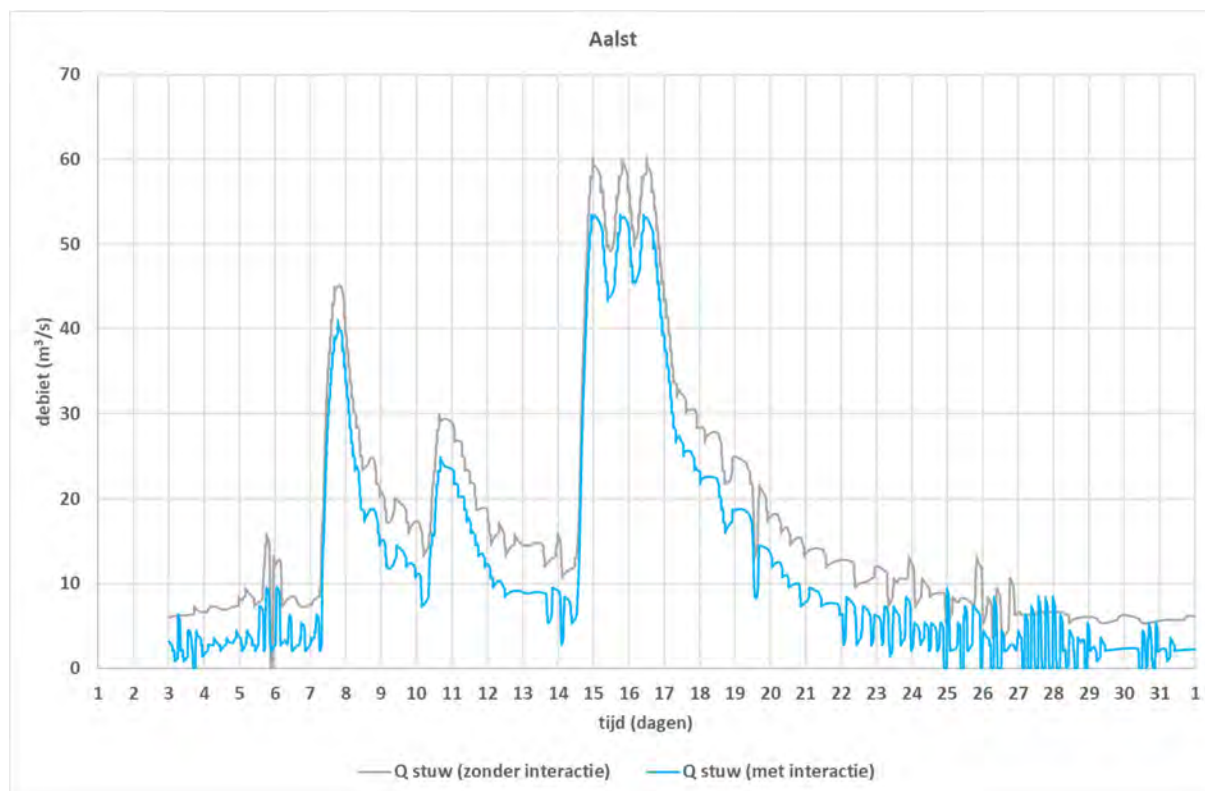
Figuur 14 – Maart 2019 - Idegem (reeks 2)



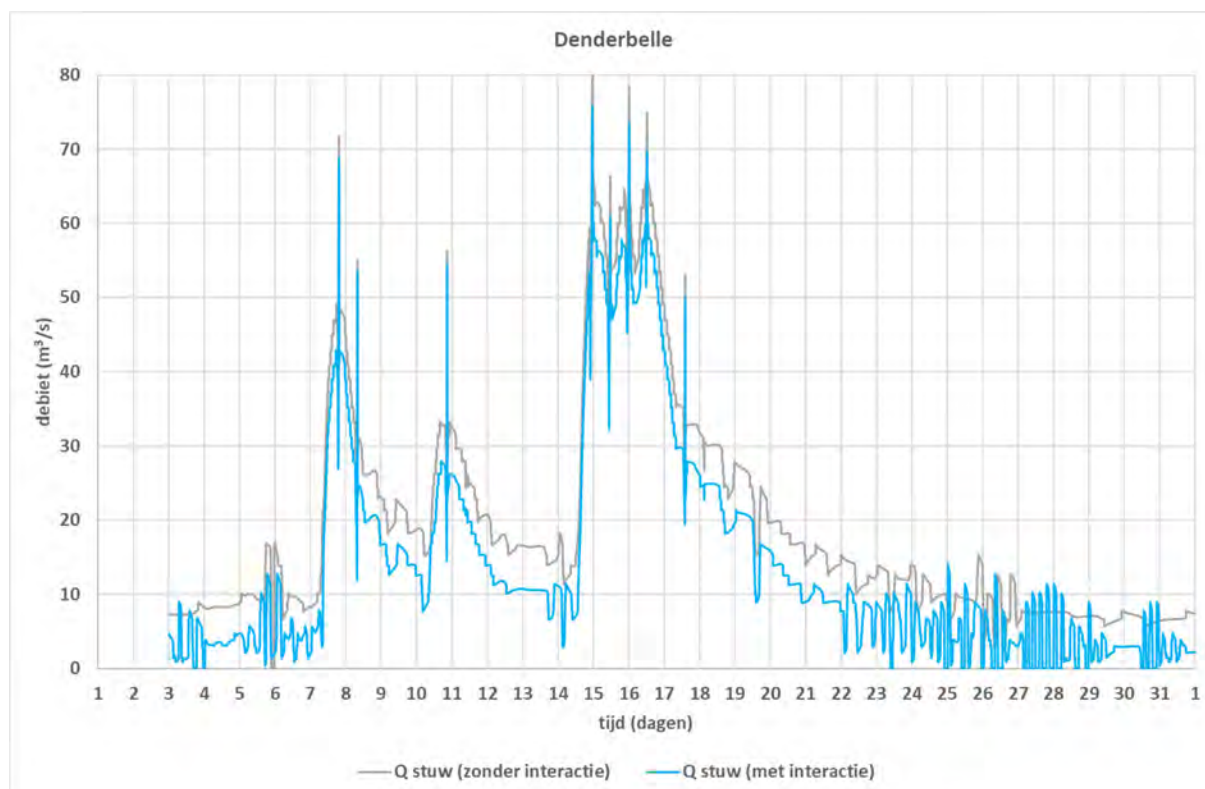
Figuur 15 – Maart 2019 - Pollare (reeks 2)



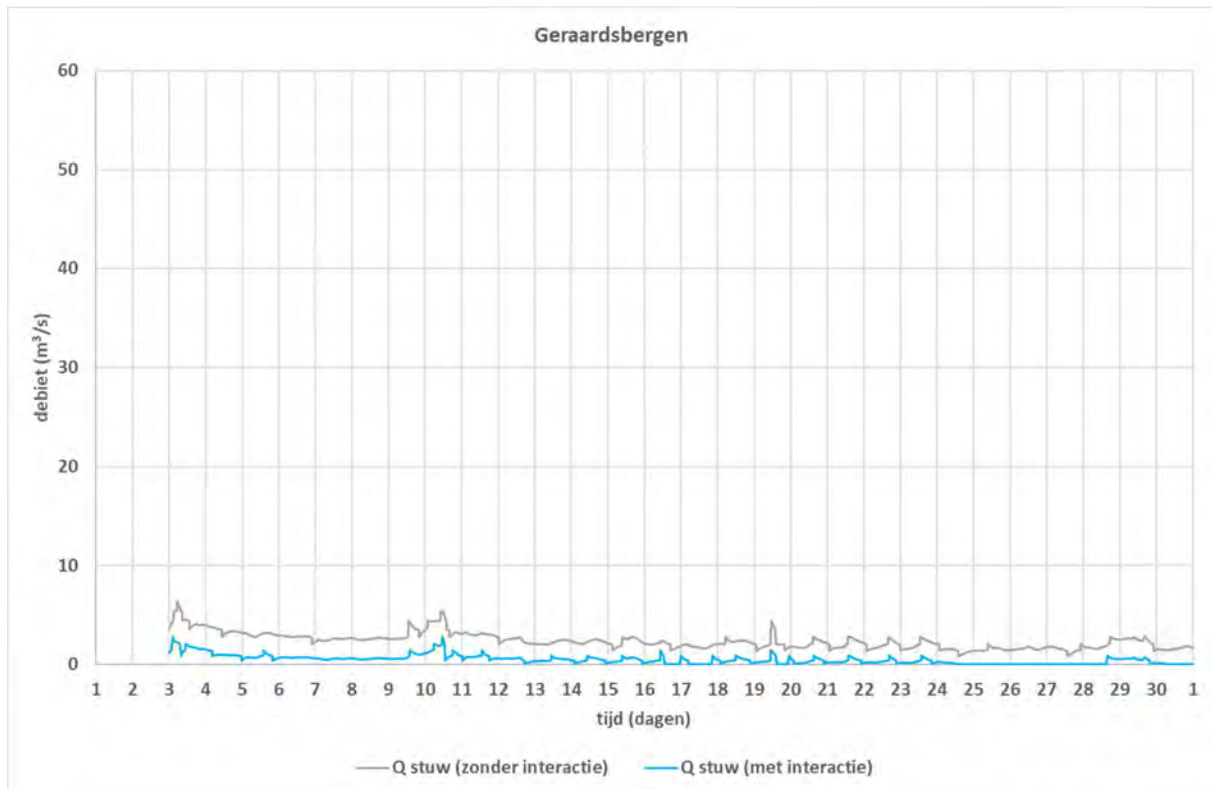
Figuur 16 – Maart 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



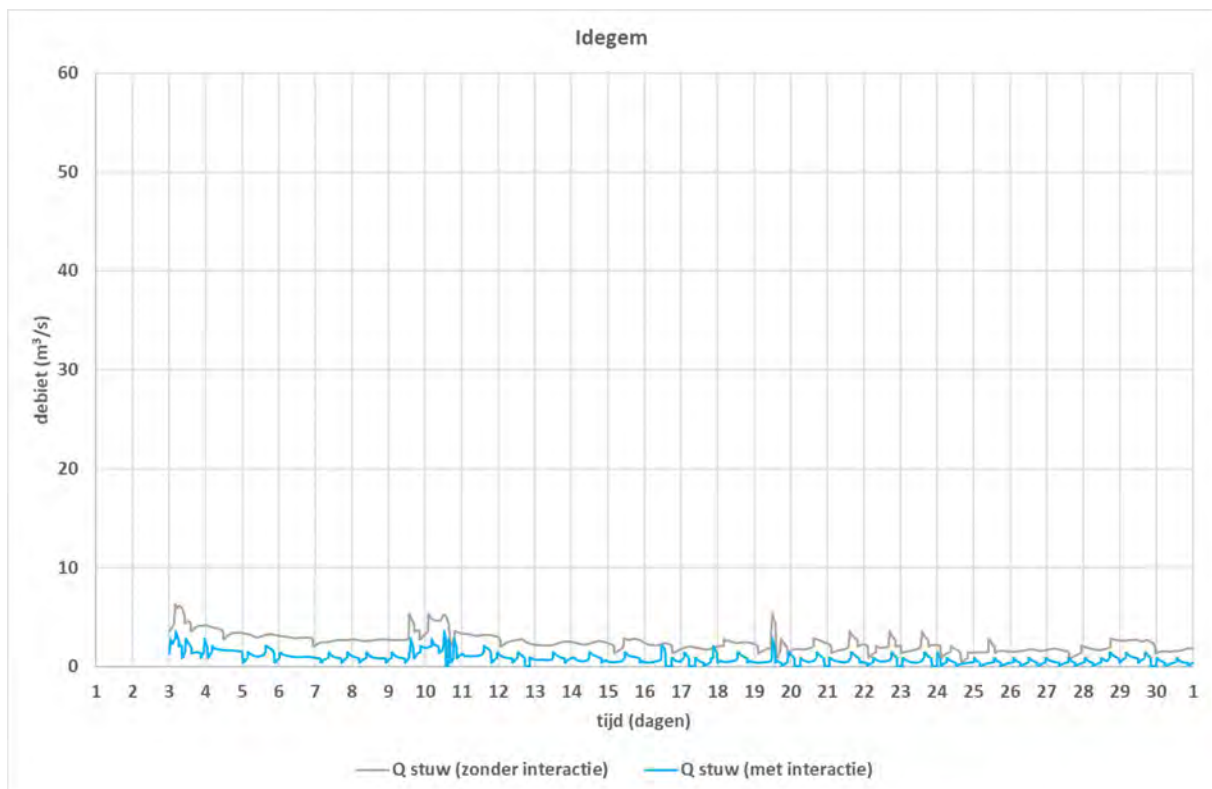
Figuur 17 – Maart 2019 - Aalst (reeks 2)



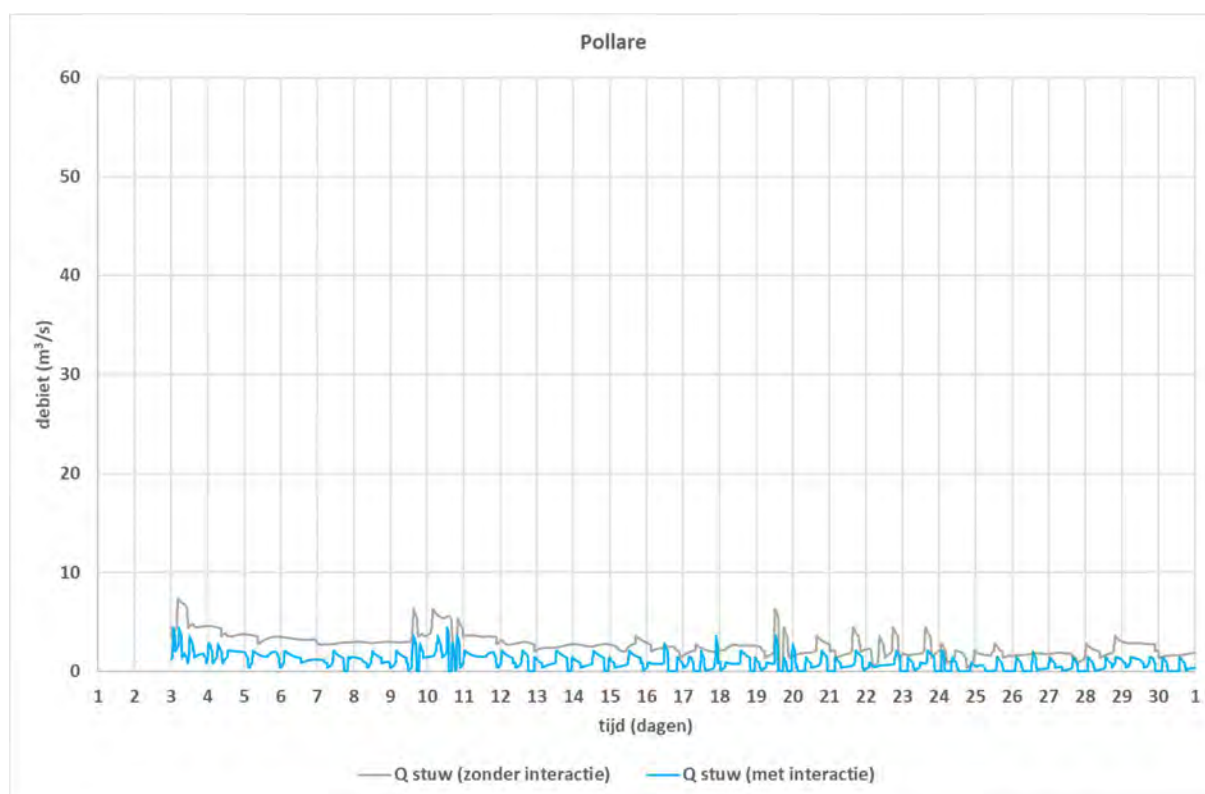
Figuur 18 – Maart 2019 - Denderbelle (reeks 2)



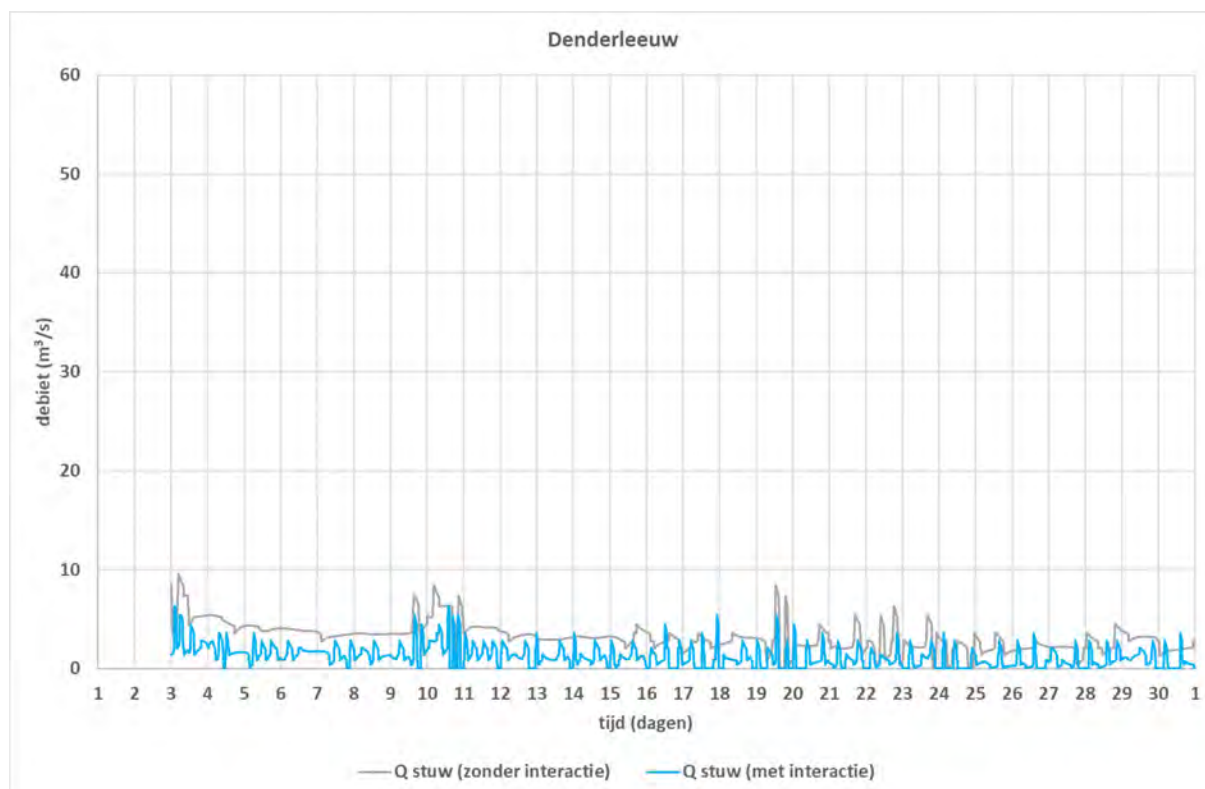
Figuur 19 – April 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



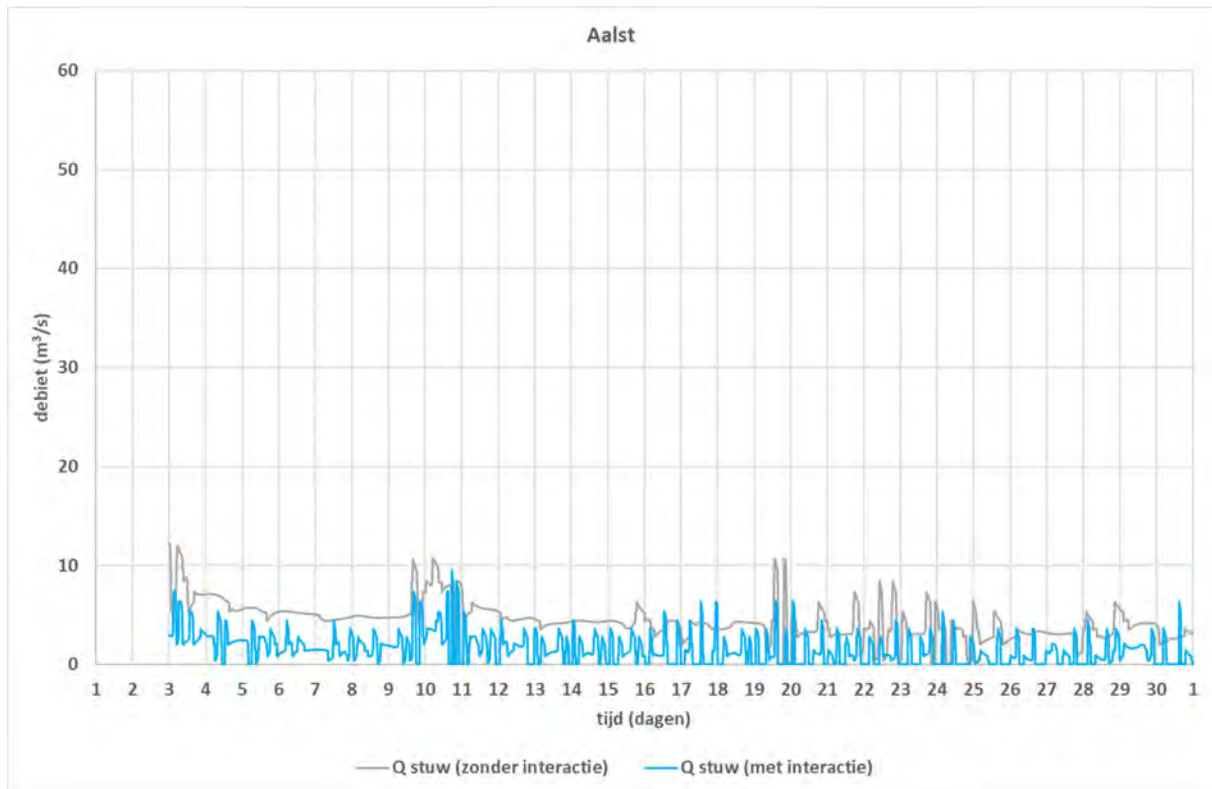
Figuur 20 – April 2019 - Idegem (reeks 2)



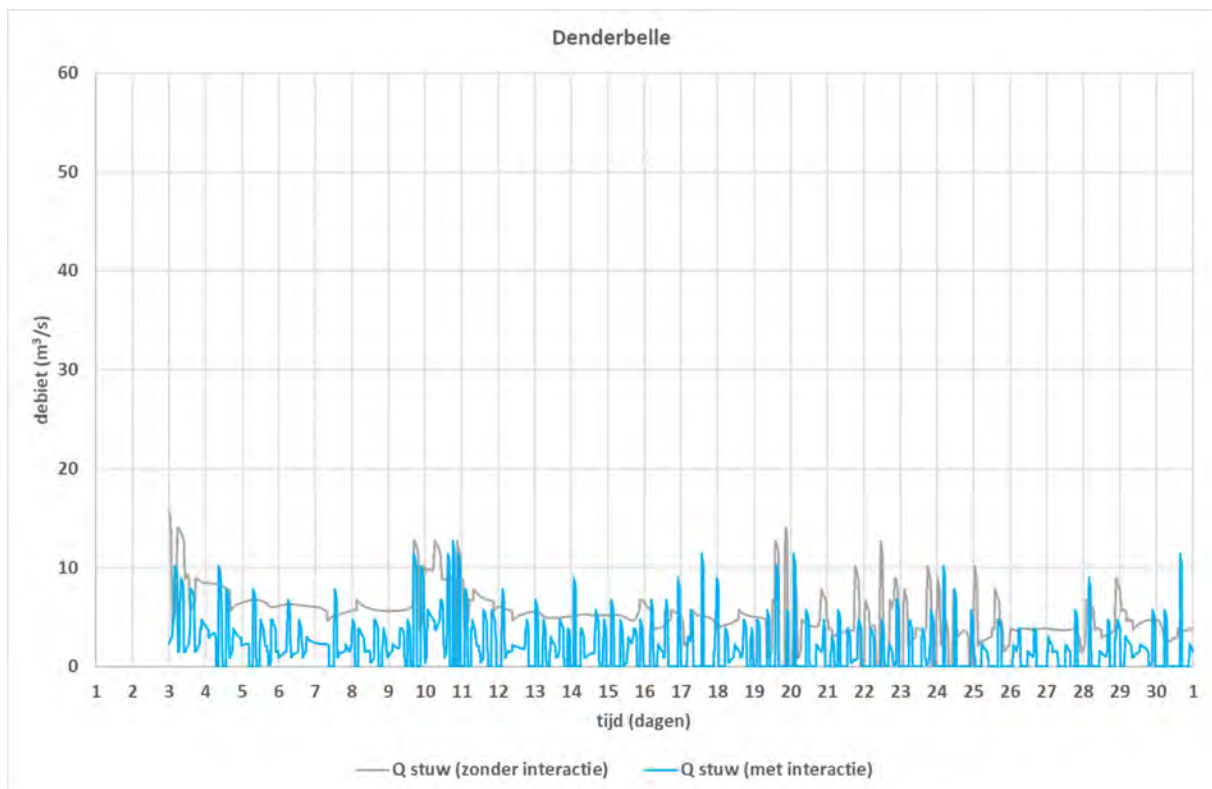
Figuur 21 – April 2019 - Pollare (reeks 2)



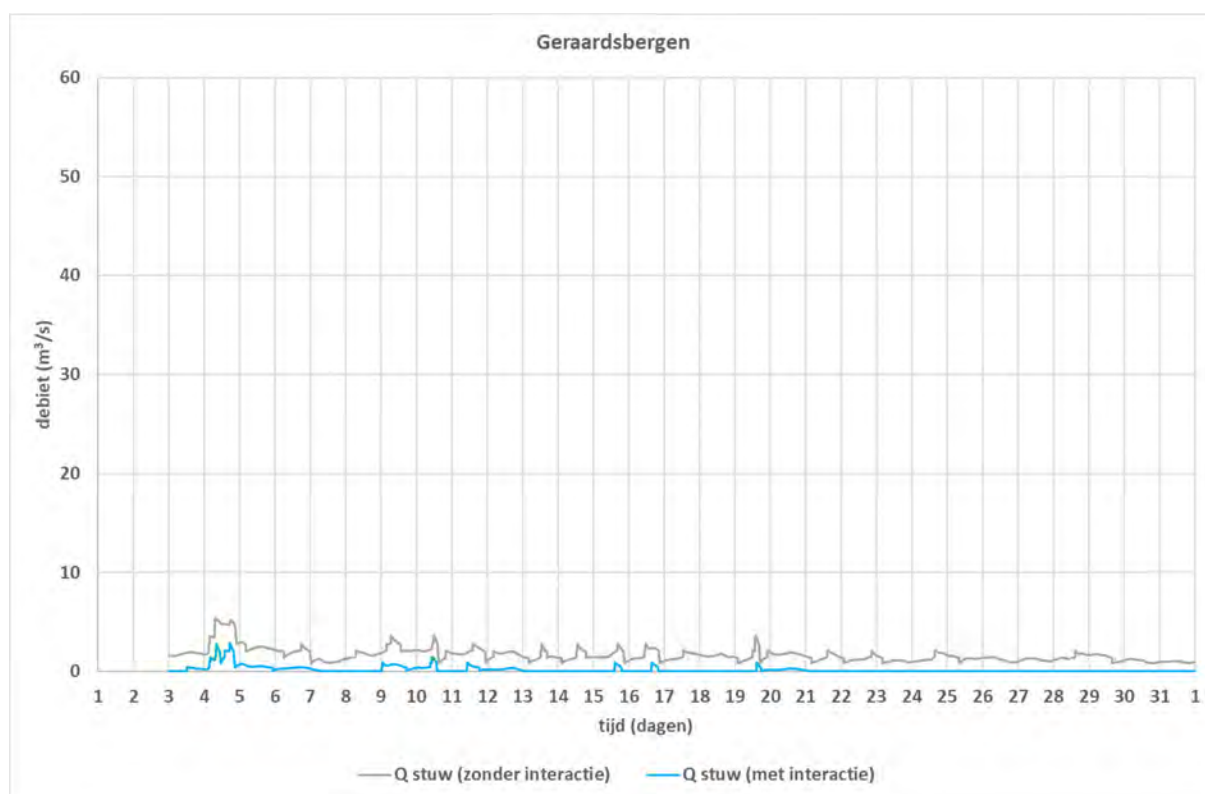
Figuur 22 – April 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



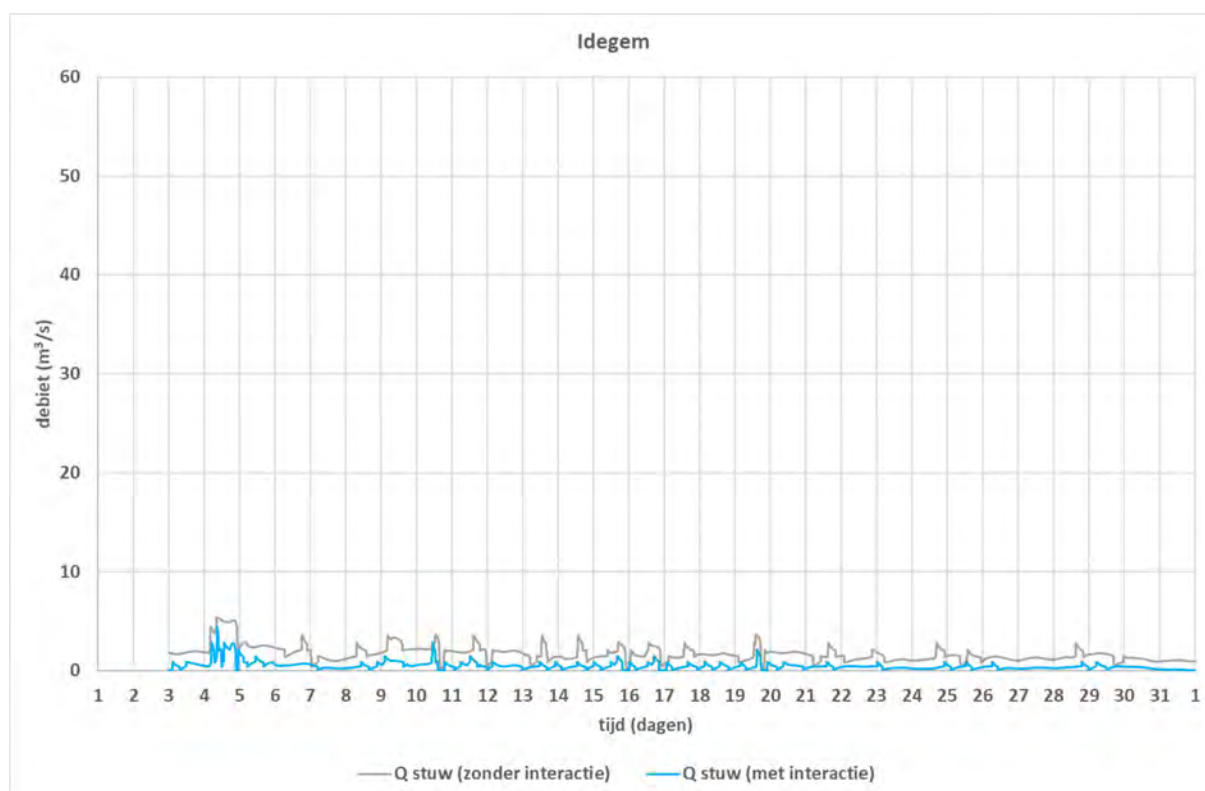
Figuur 23 – April 2019 - Aalst (reeks 2)



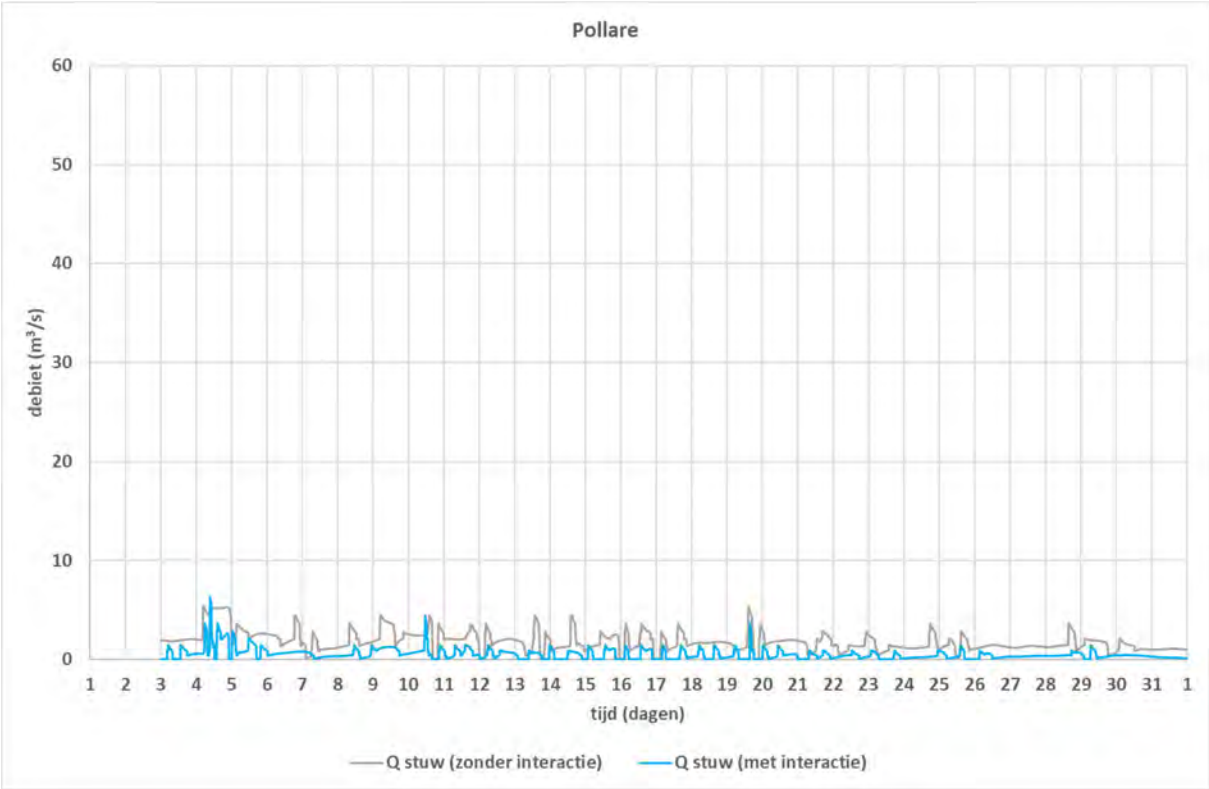
Figuur 24 – April 2019 - Denderbelle (reeks 2)



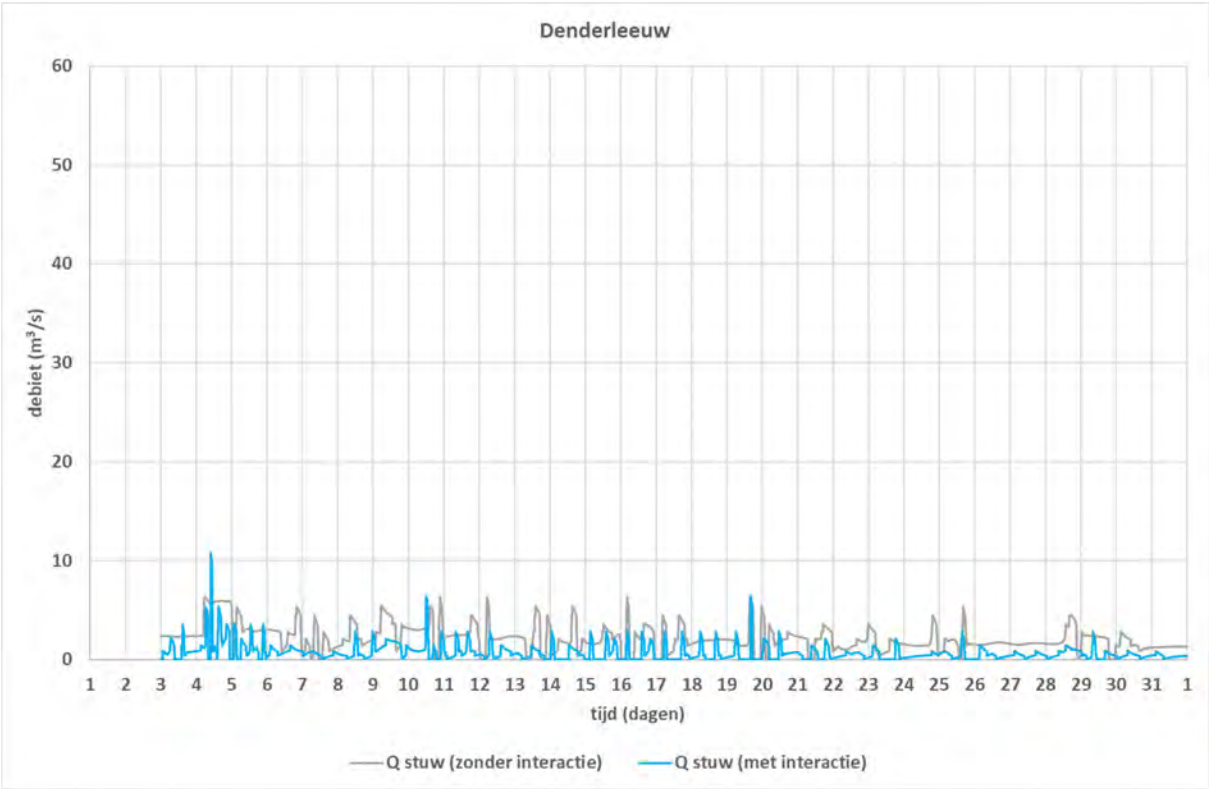
Figuur 25 – Mei 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



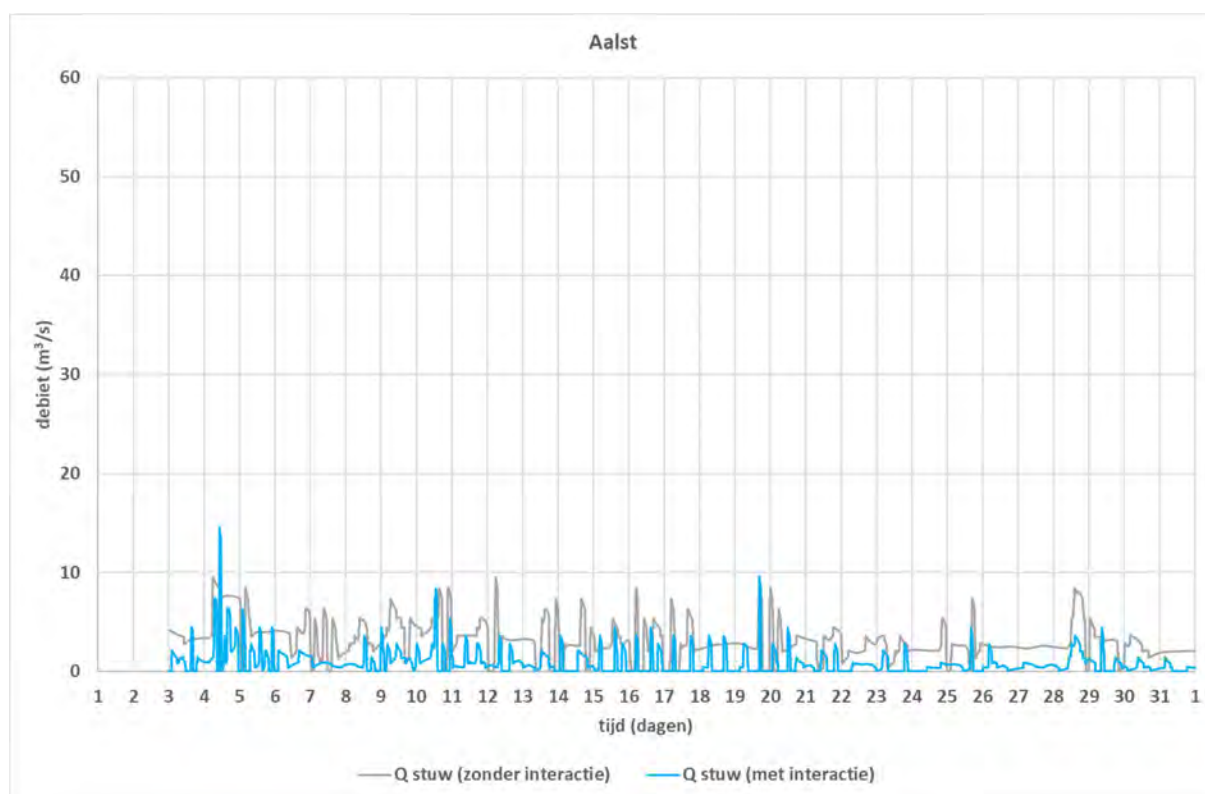
Figuur 26 – Mei 2019 - Idegem (reeks 2)



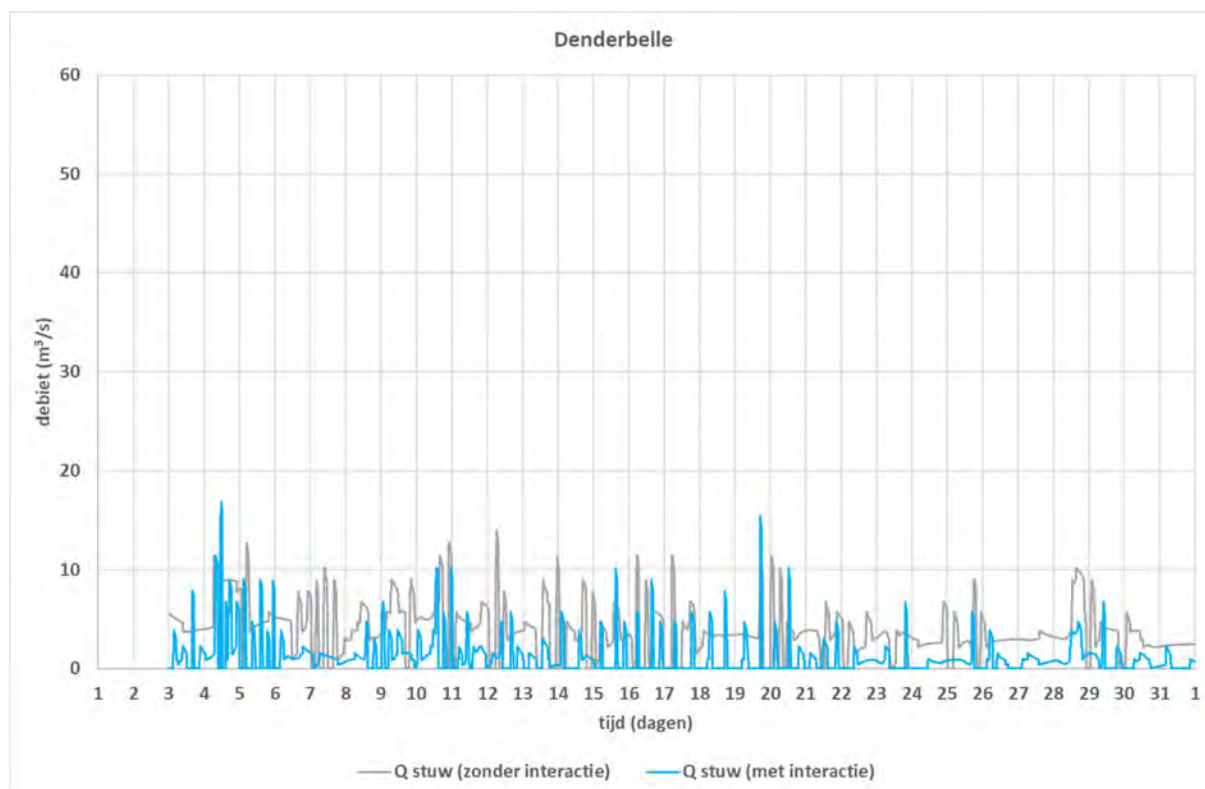
Figuur 27 – Mei 2019 - Pollare (reeks 2)



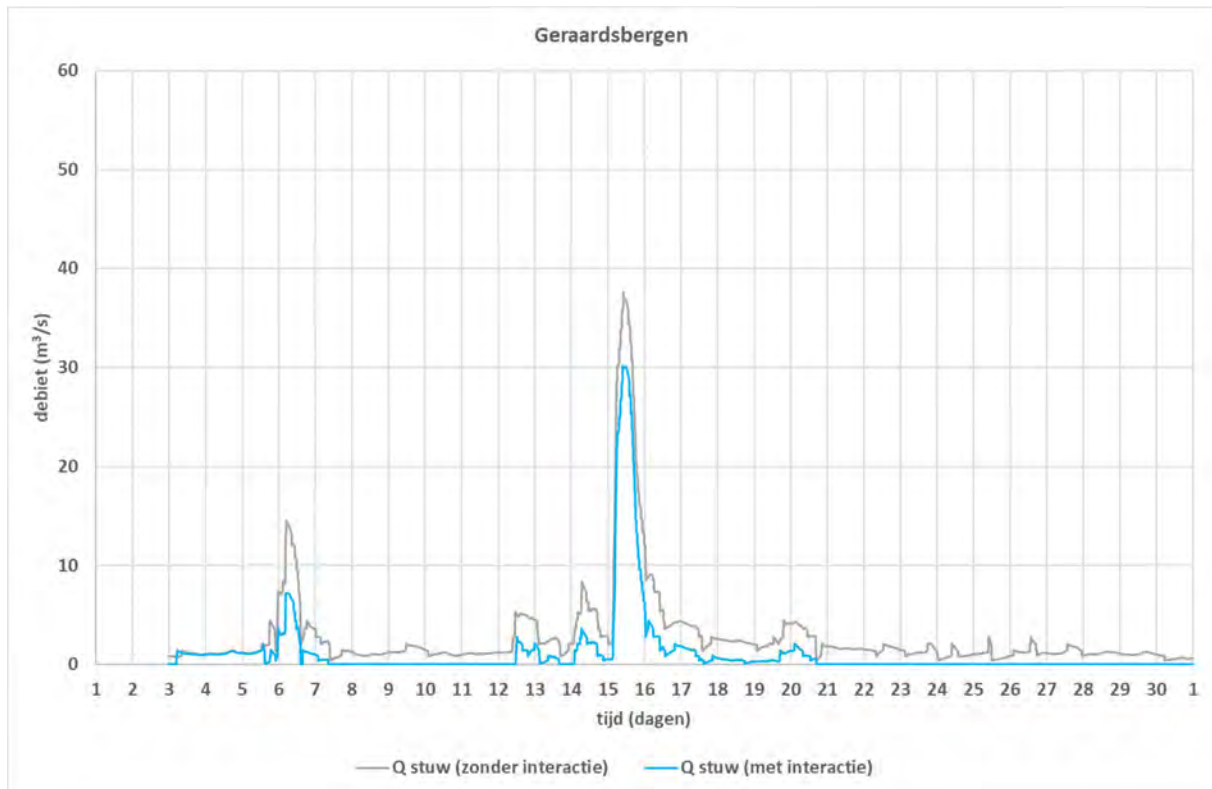
Figuur 28 – Mei 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



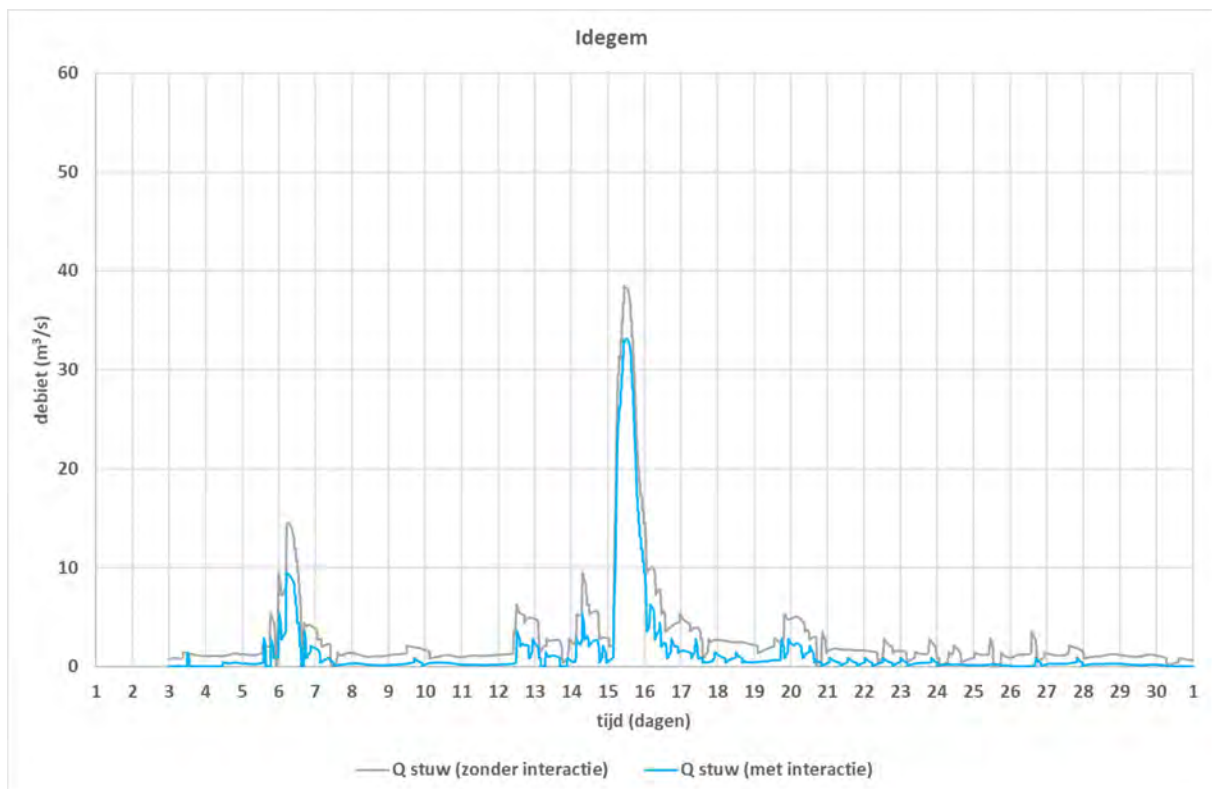
Figuur 29 – Mei 2019 - Aalst (reeks 2)



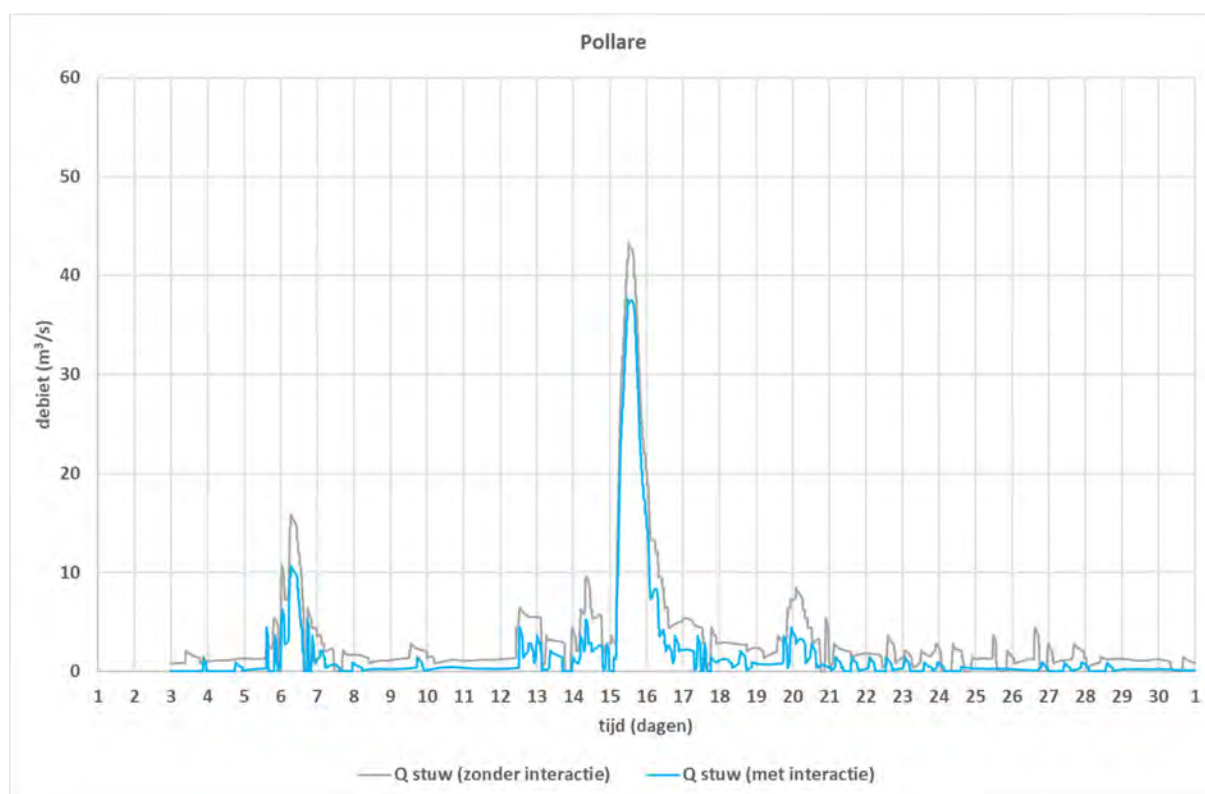
Figuur 30 – Mei 2019 - Denderbelle (reeks 2)



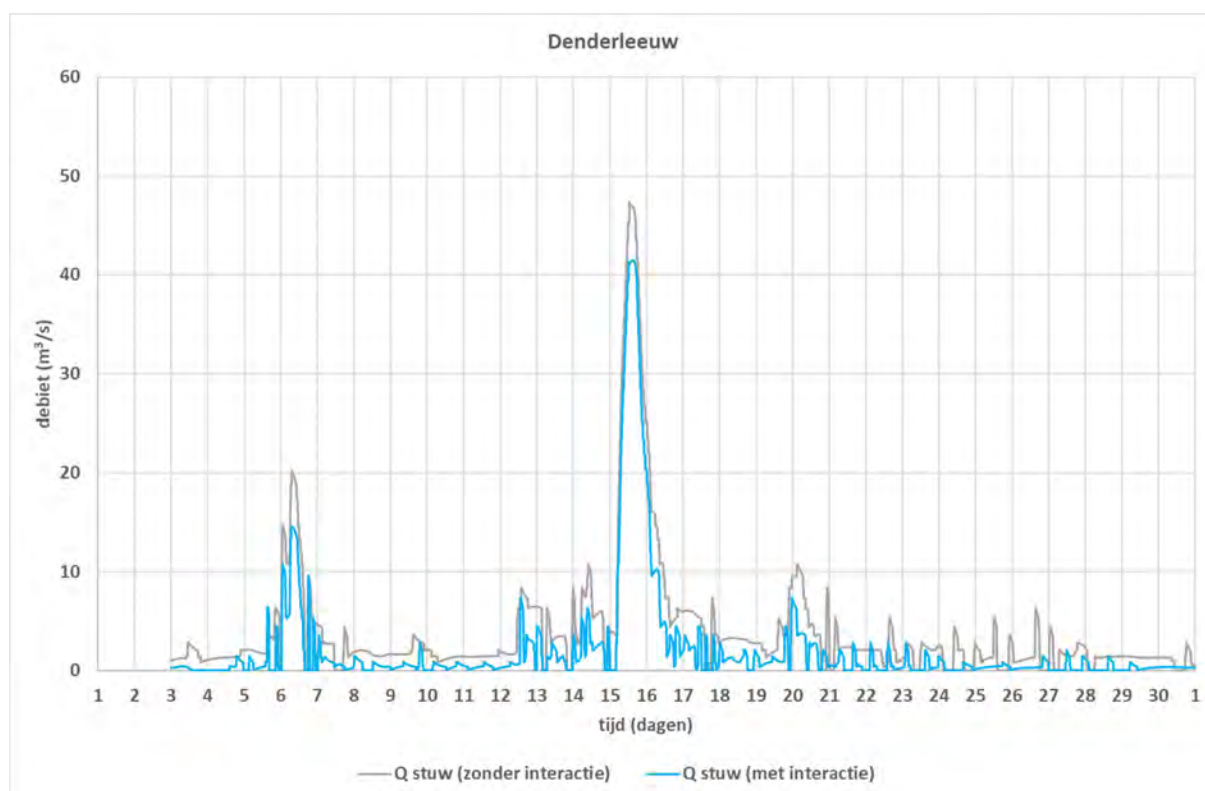
Figuur 31 – Juni 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



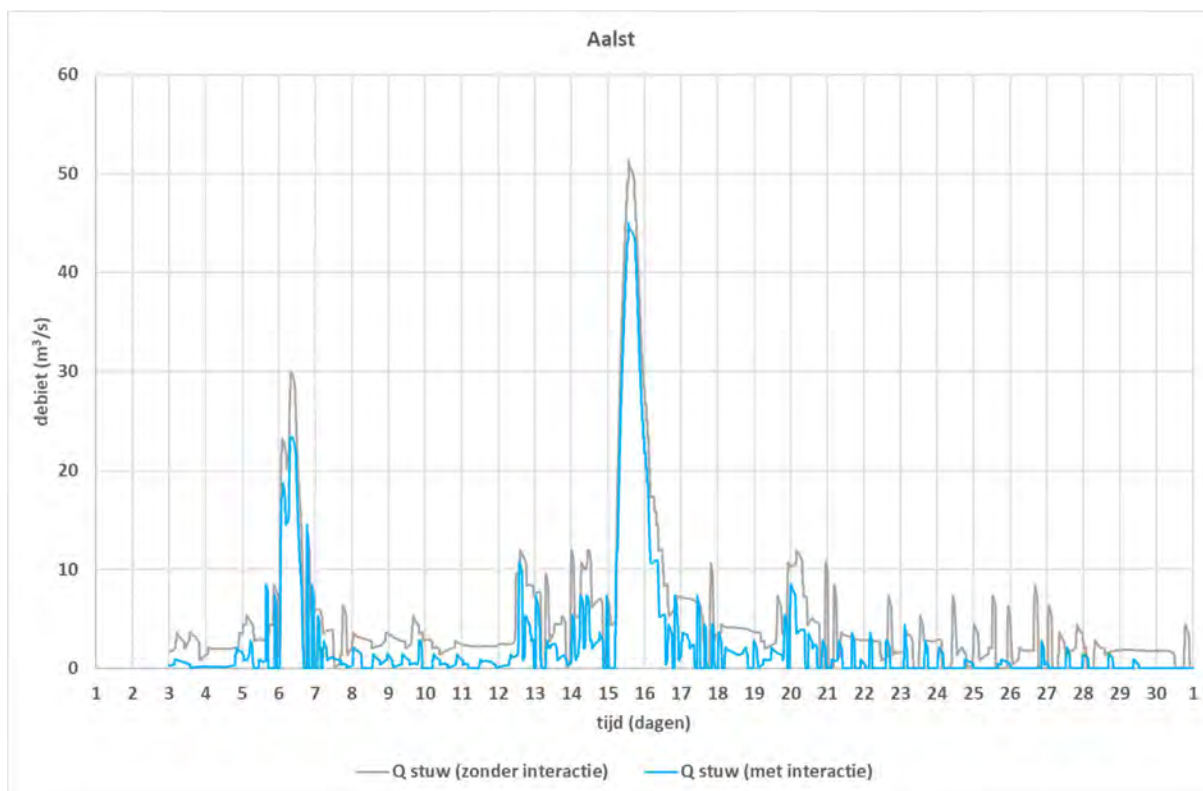
Figuur 32 – Juni 2019 - Idegem (reeks 2)



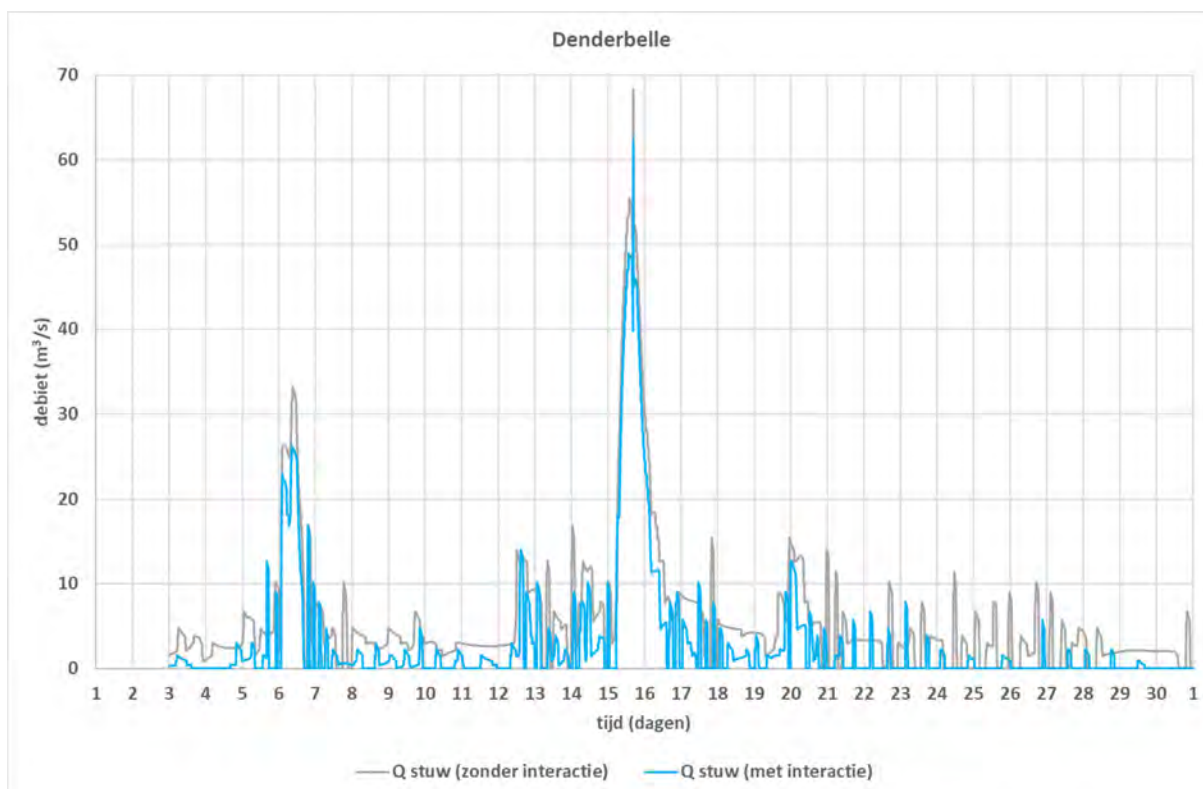
Figuur 33 – Juni 2019 - Pollare (reeks 2)



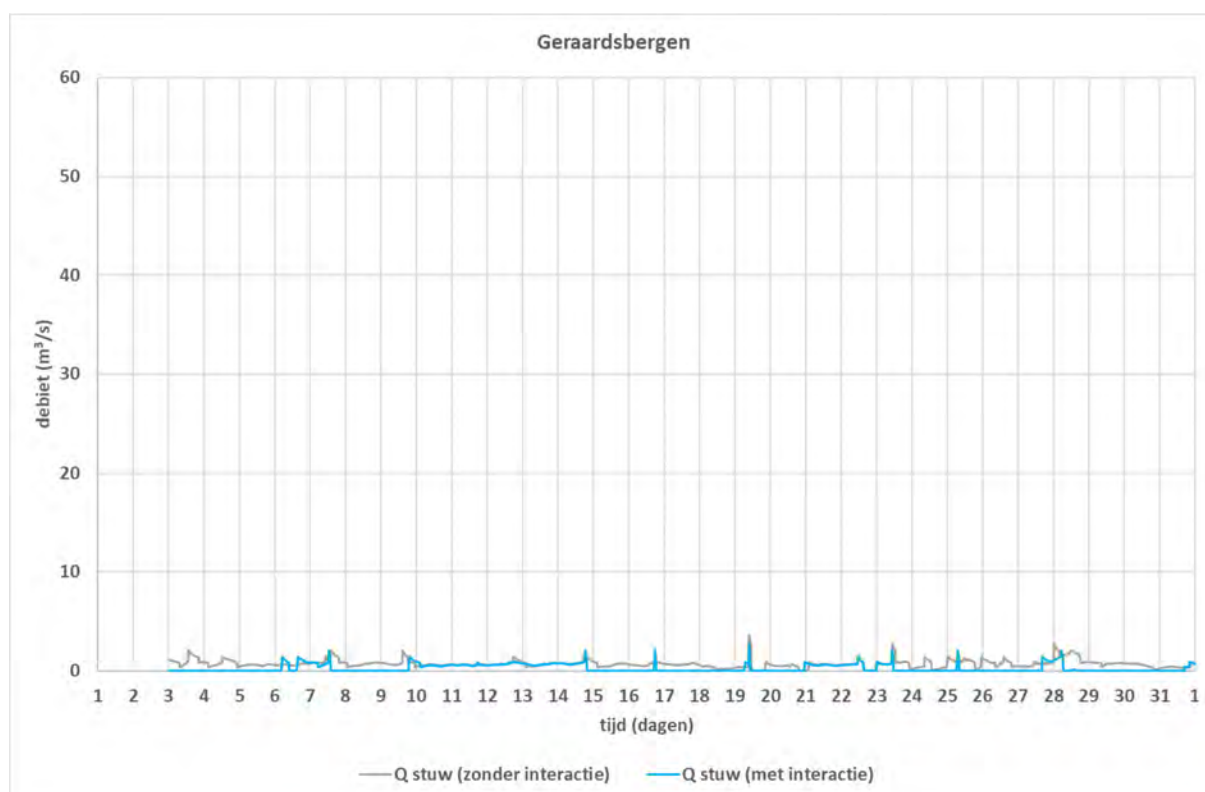
Figuur 34 – Juni 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



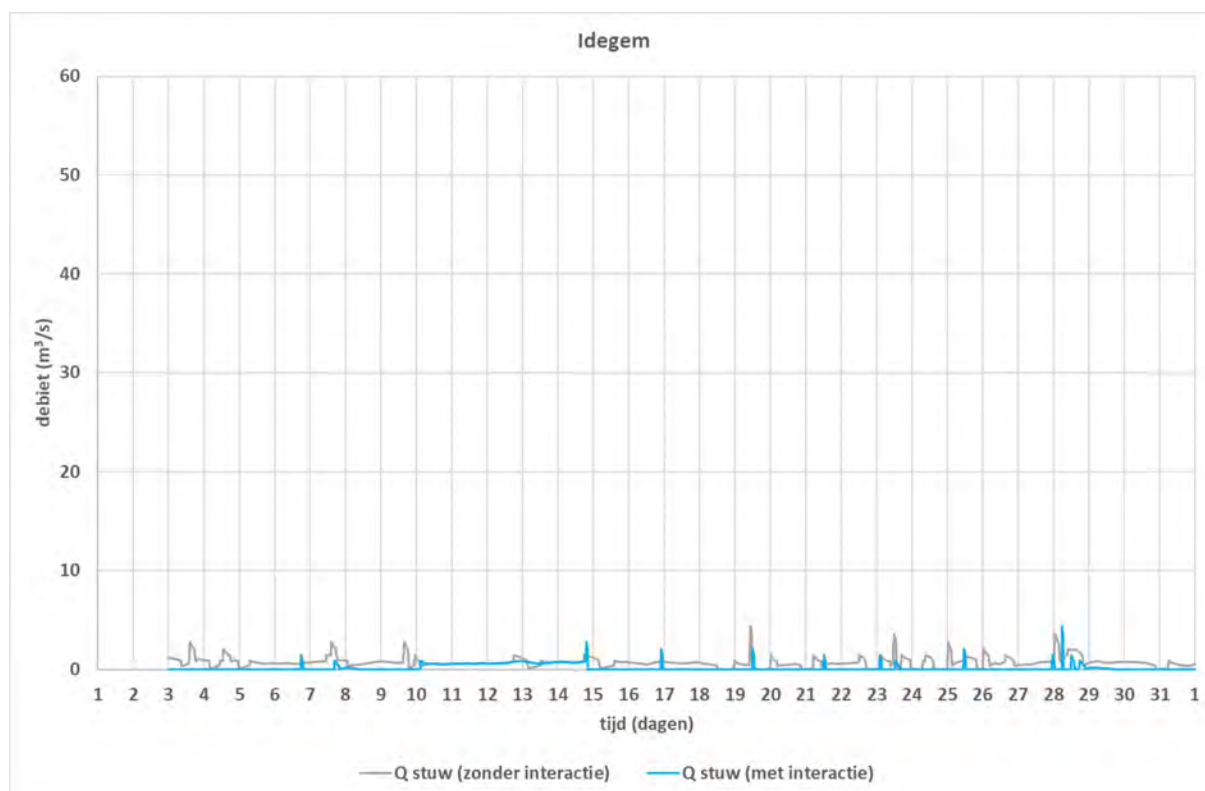
Figuur 35 – Juni 2019 - Aalst (reeks 2)



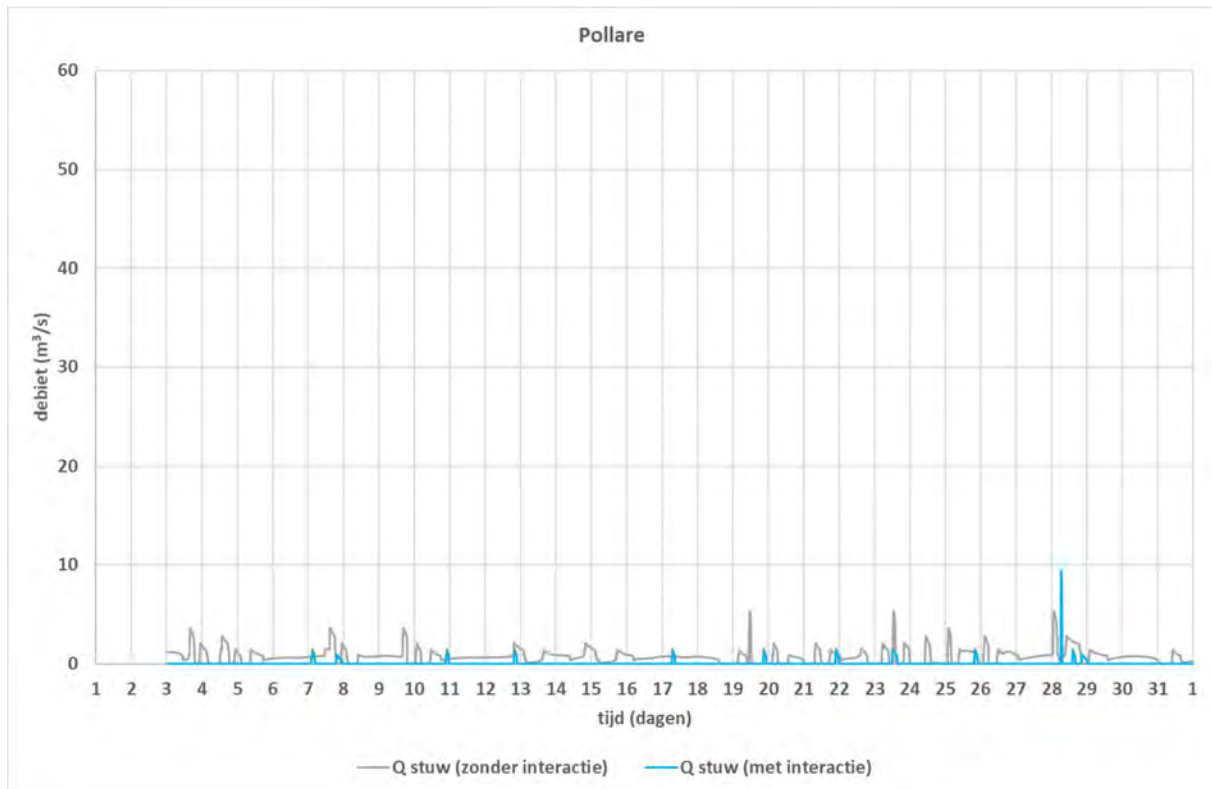
Figuur 36 – Juni 2019 - Denderbelle (reeks 2)



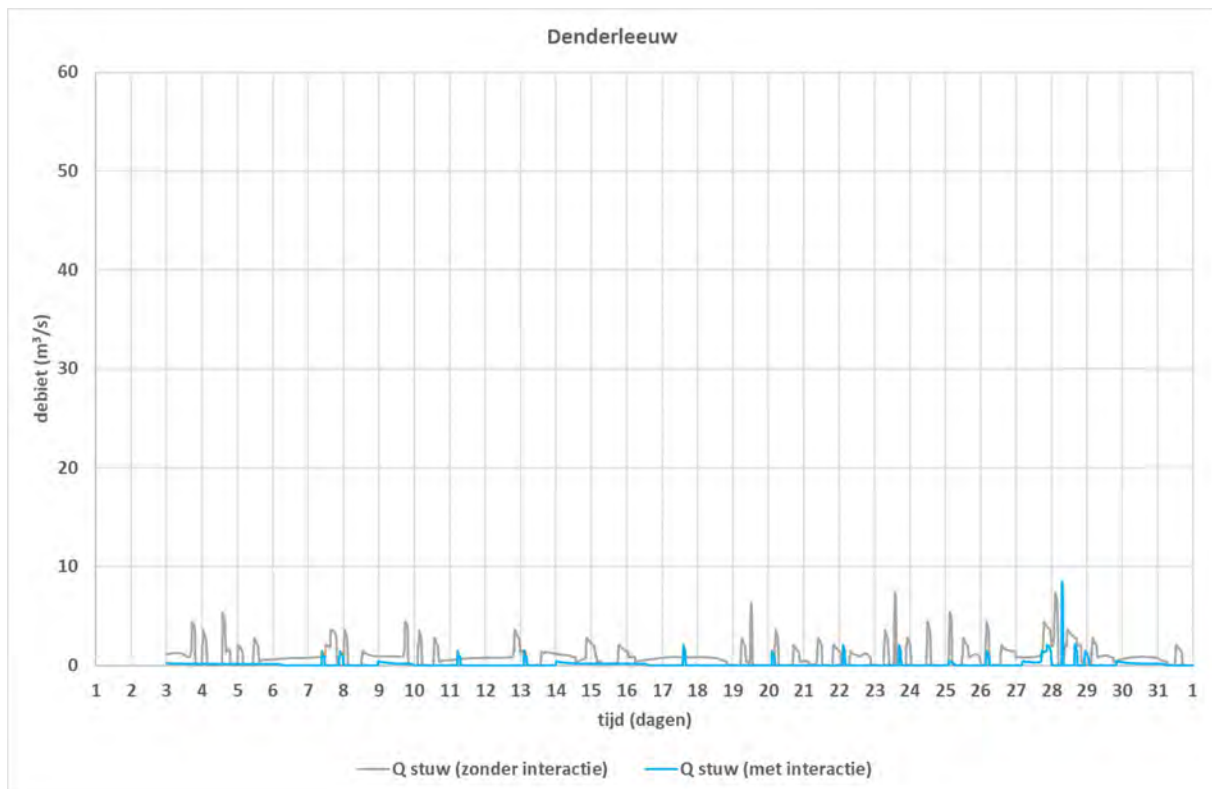
Figuur 37 – Juli 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



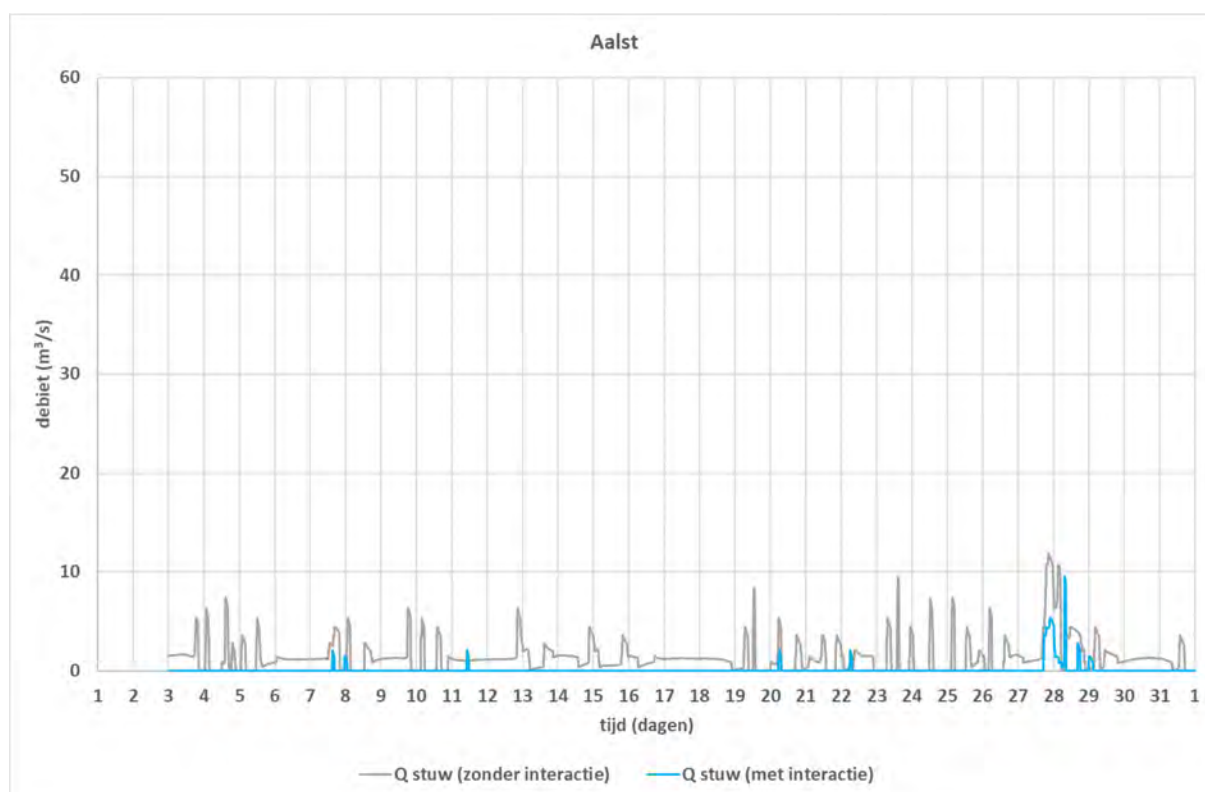
Figuur 38 – Juli 2019 - Idegem (reeks 2)



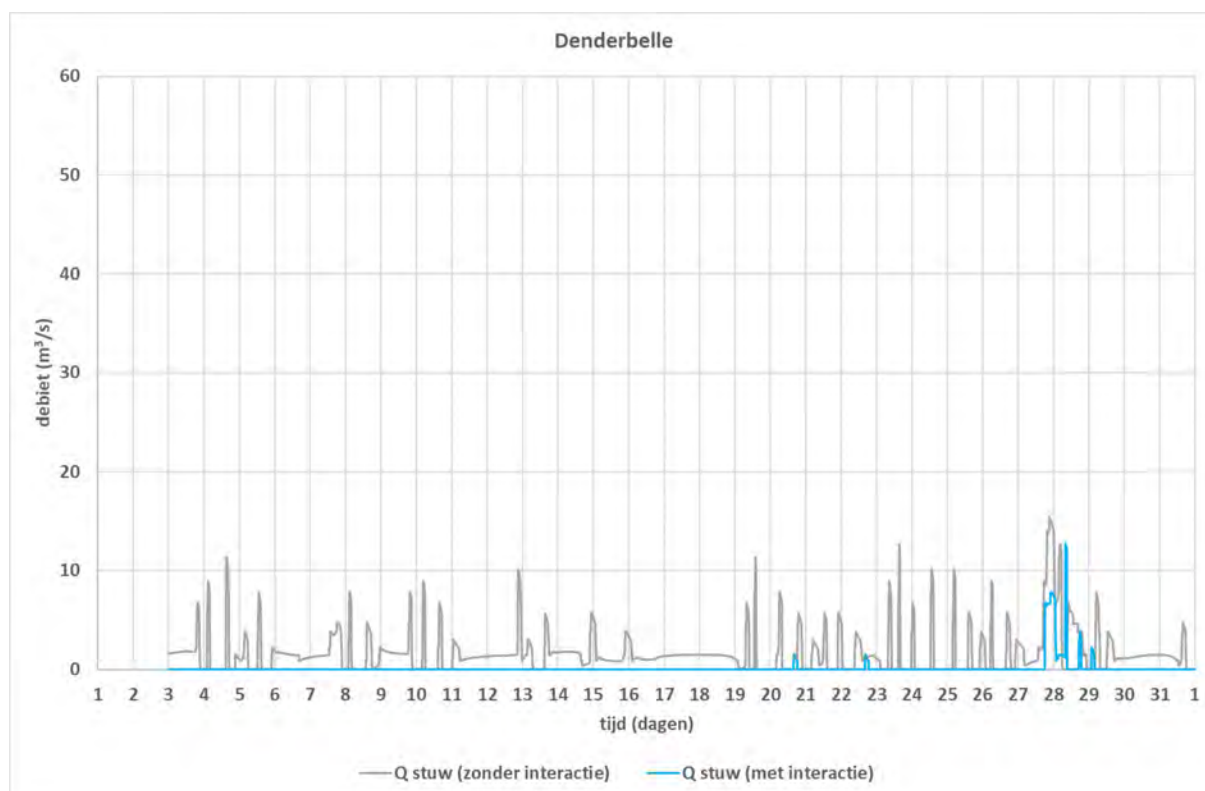
Figuur 39 – Juli 2019 - Pollare (reeks 2)



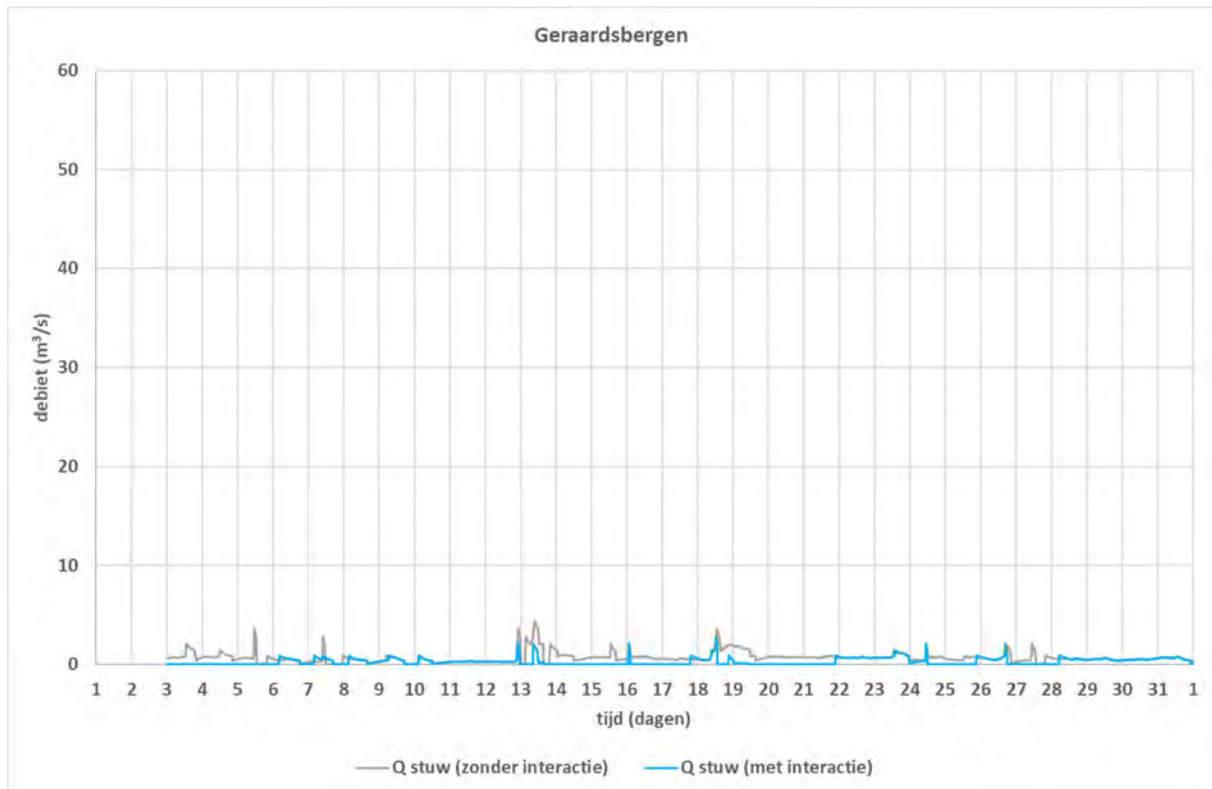
Figuur 40 – Juli 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



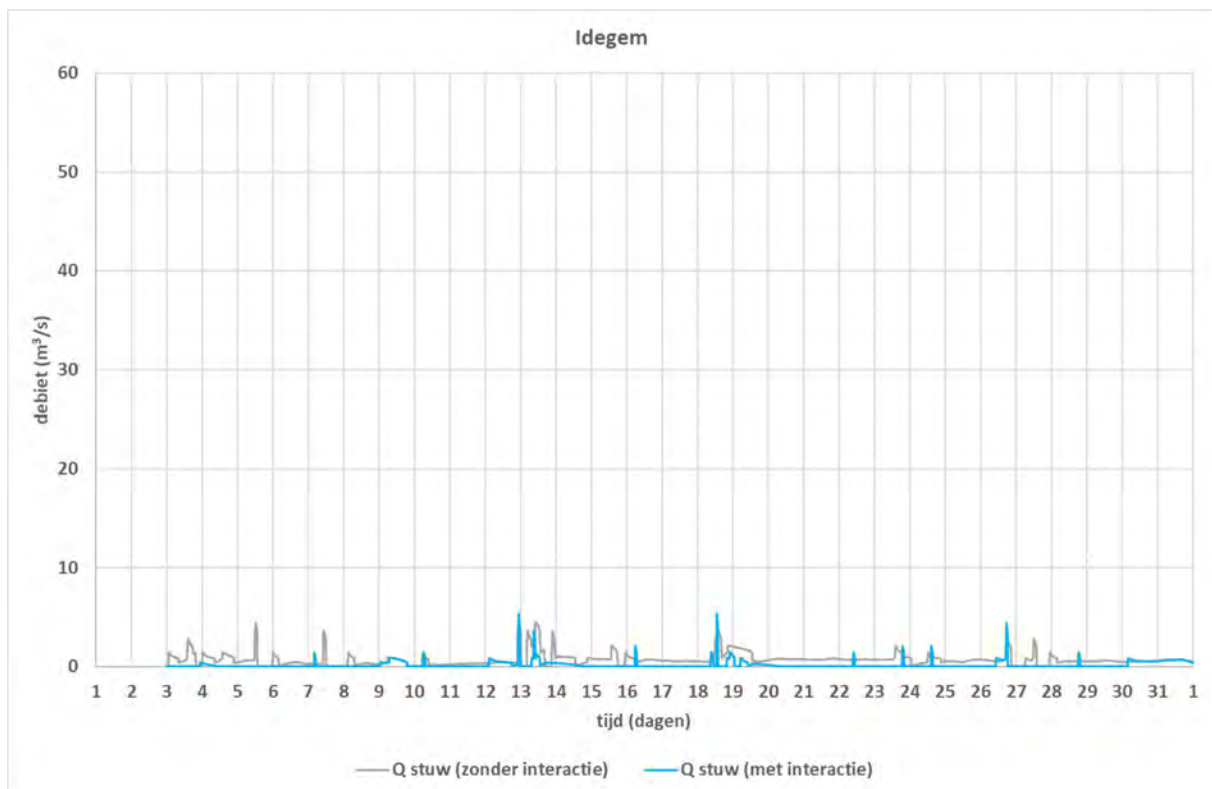
Figuur 41 – Juli 2019 - Aalst (reeks 2)



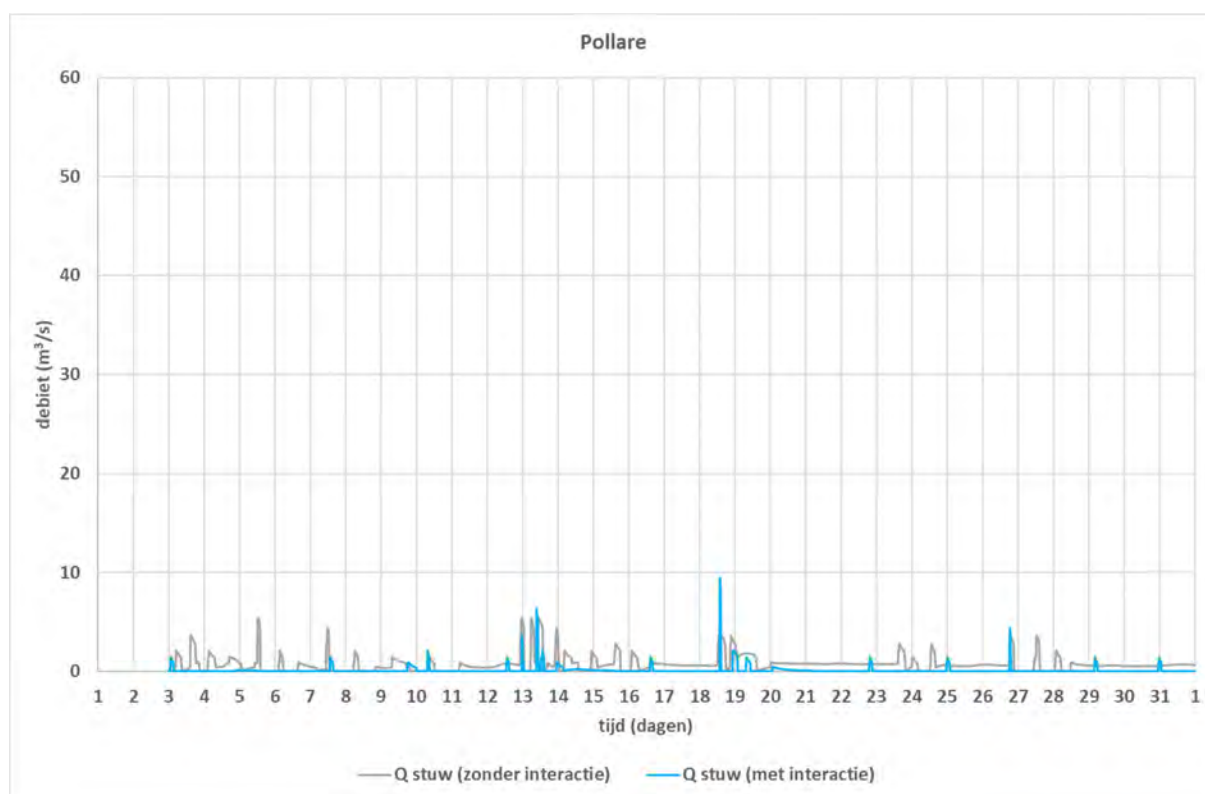
Figuur 42 – Juli 2019 - Denderbelle (reeks 2)



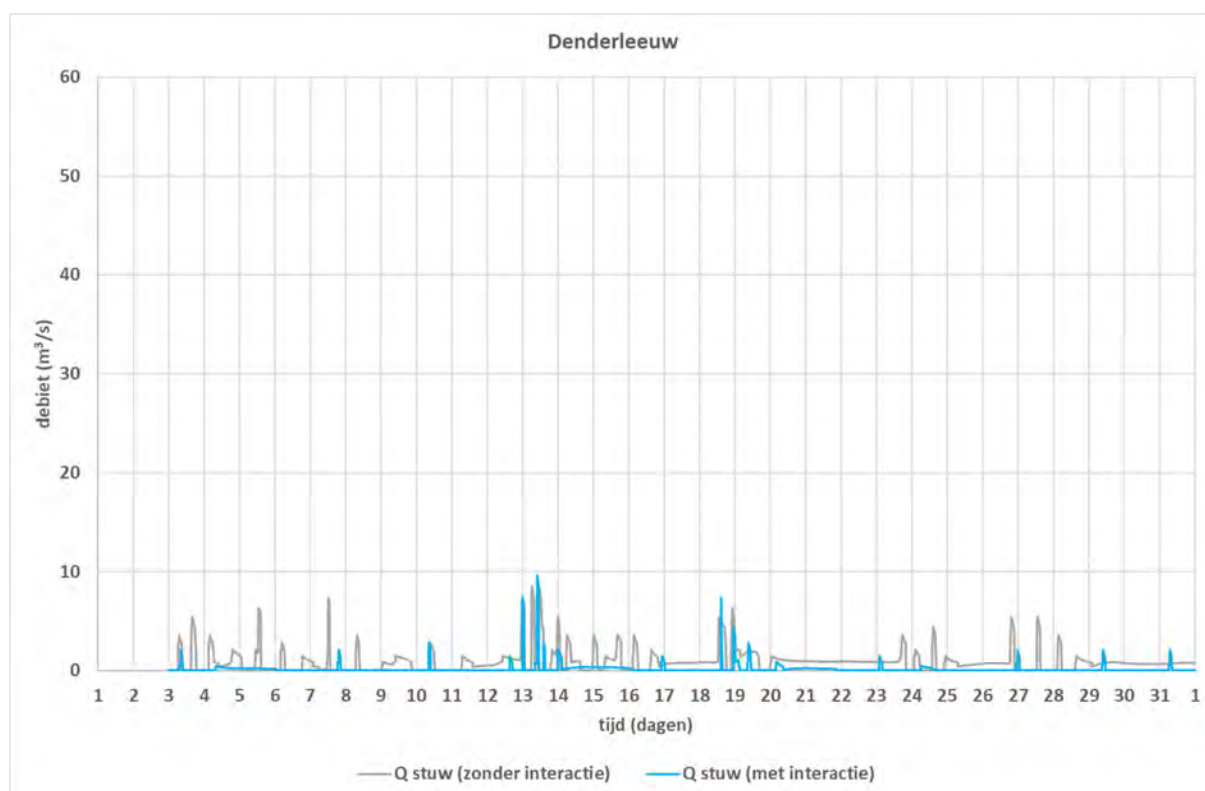
Figuur 43 – Augustus 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



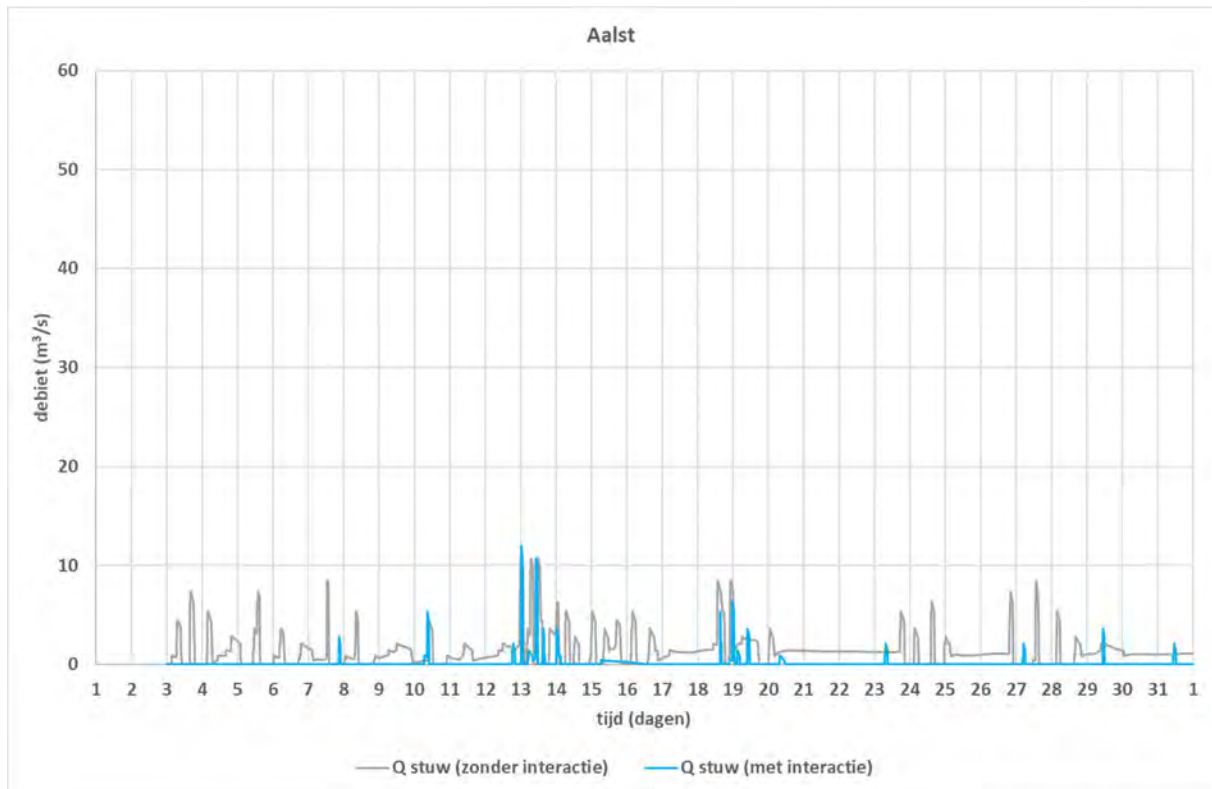
Figuur 44 – Augustus 2019 - Idegem (reeks 2)



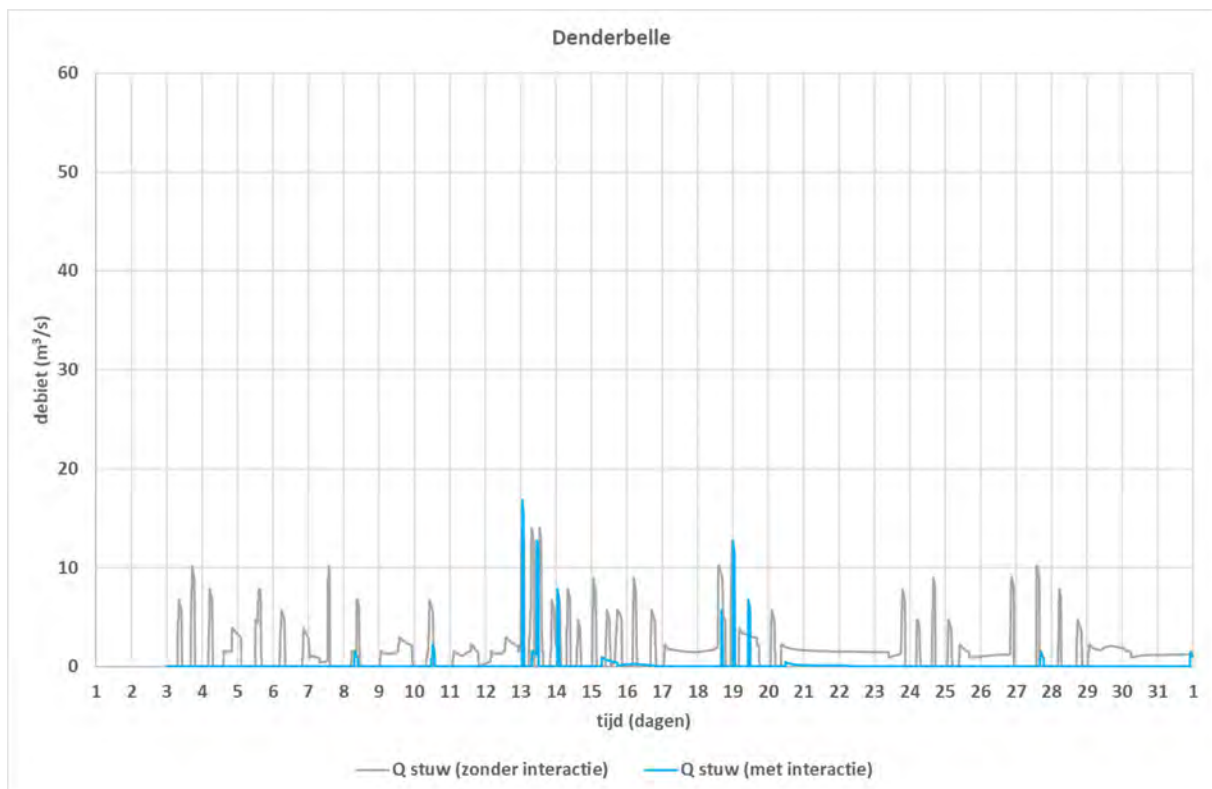
Figuur 45 – Augustus 2019 - Pollare (reeks 2)



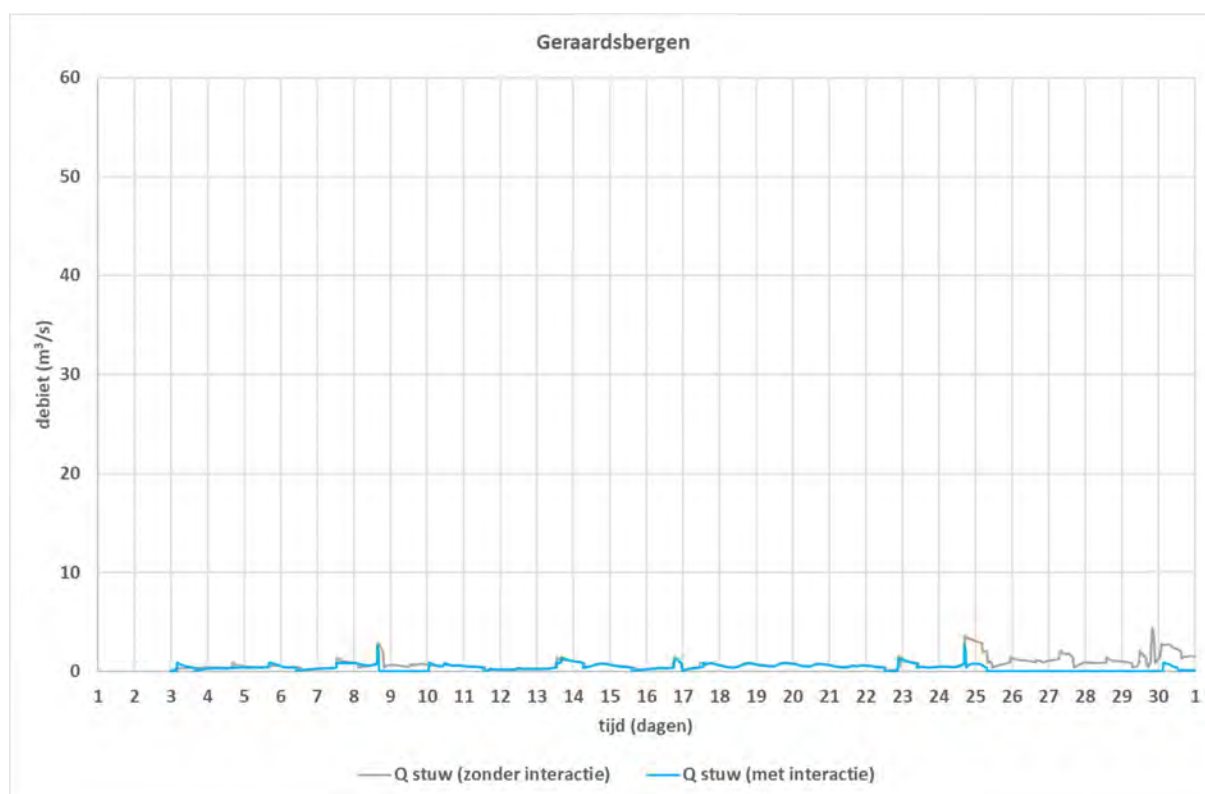
Figuur 46 – Augustus 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



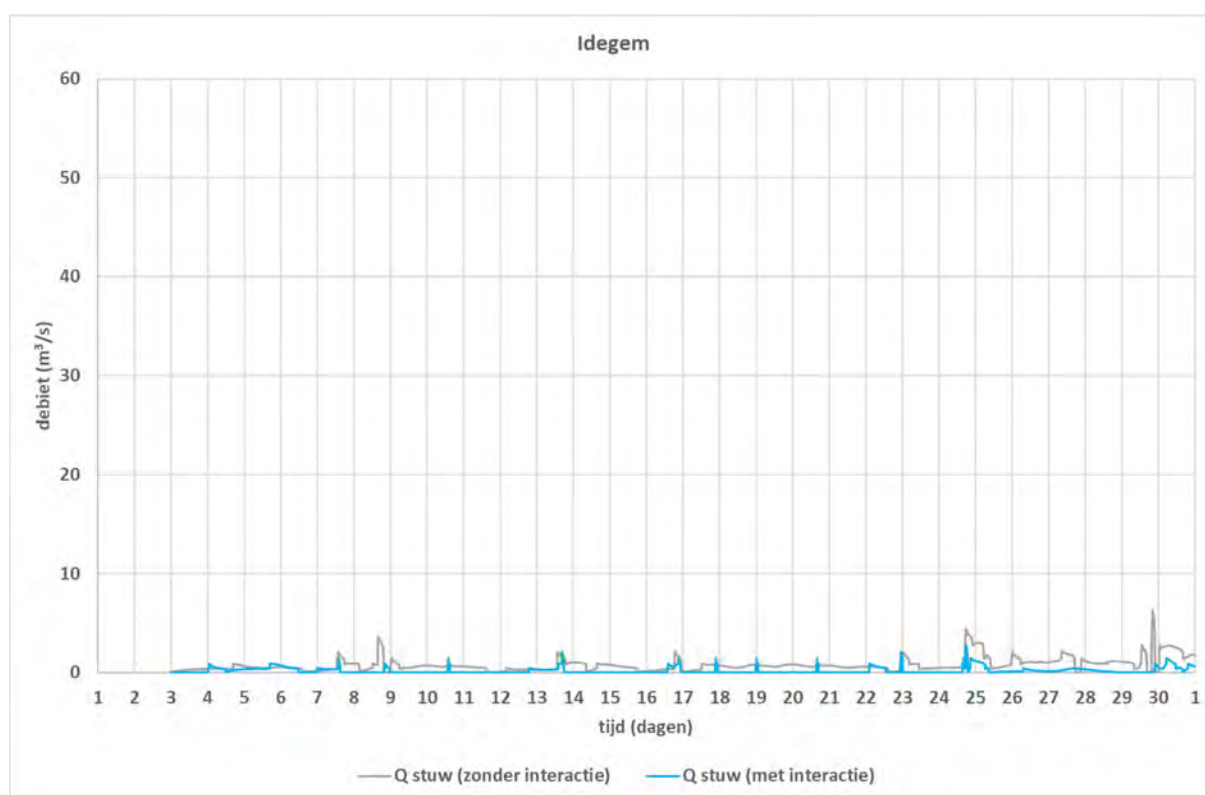
Figuur 47 – Augustus 2019 - Aalst (reeks 2)



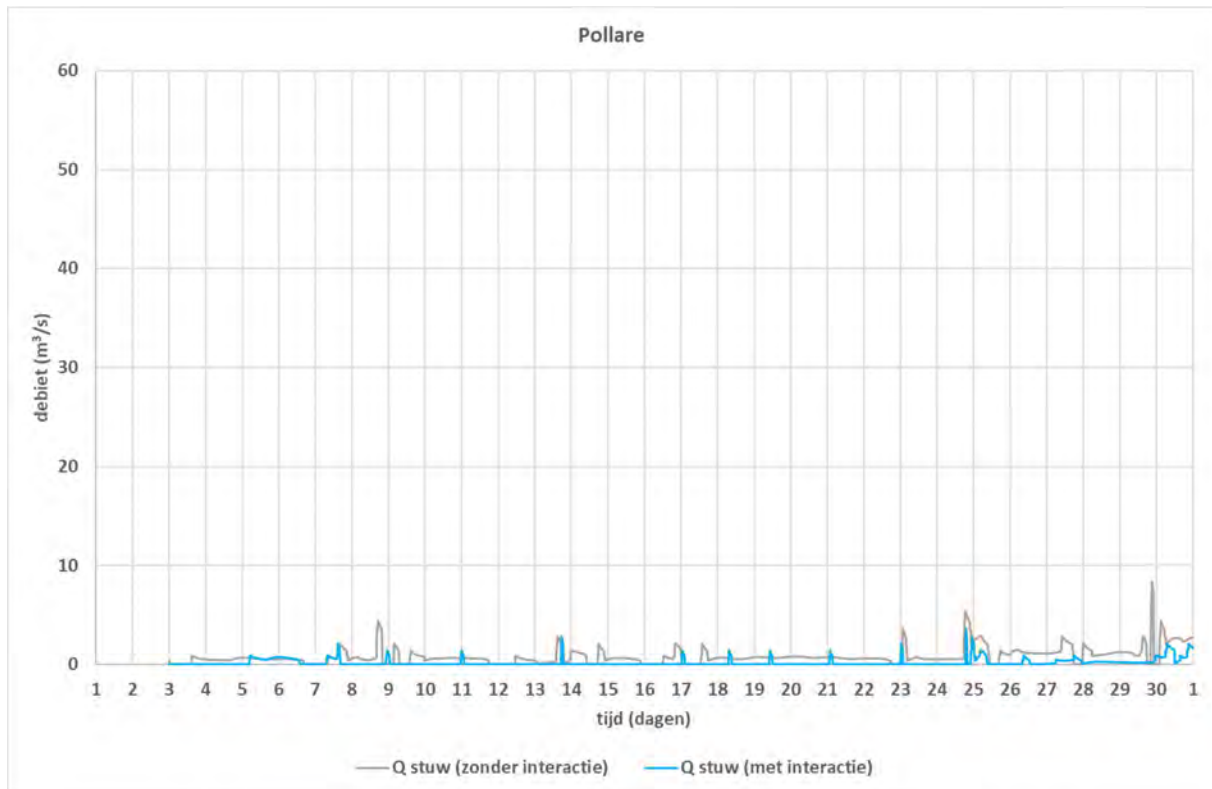
Figuur 48 – Augustus 2019 - Denderbelle (reeks 2)



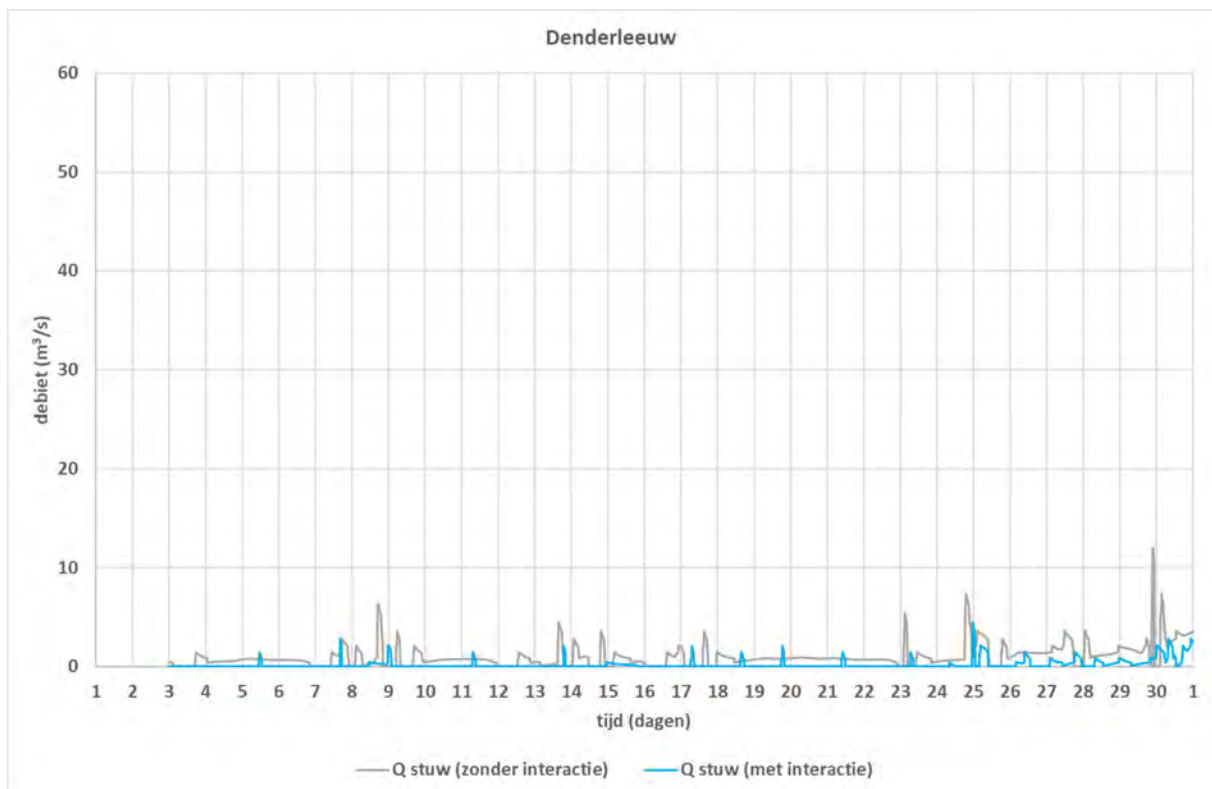
Figuur 49 – September 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



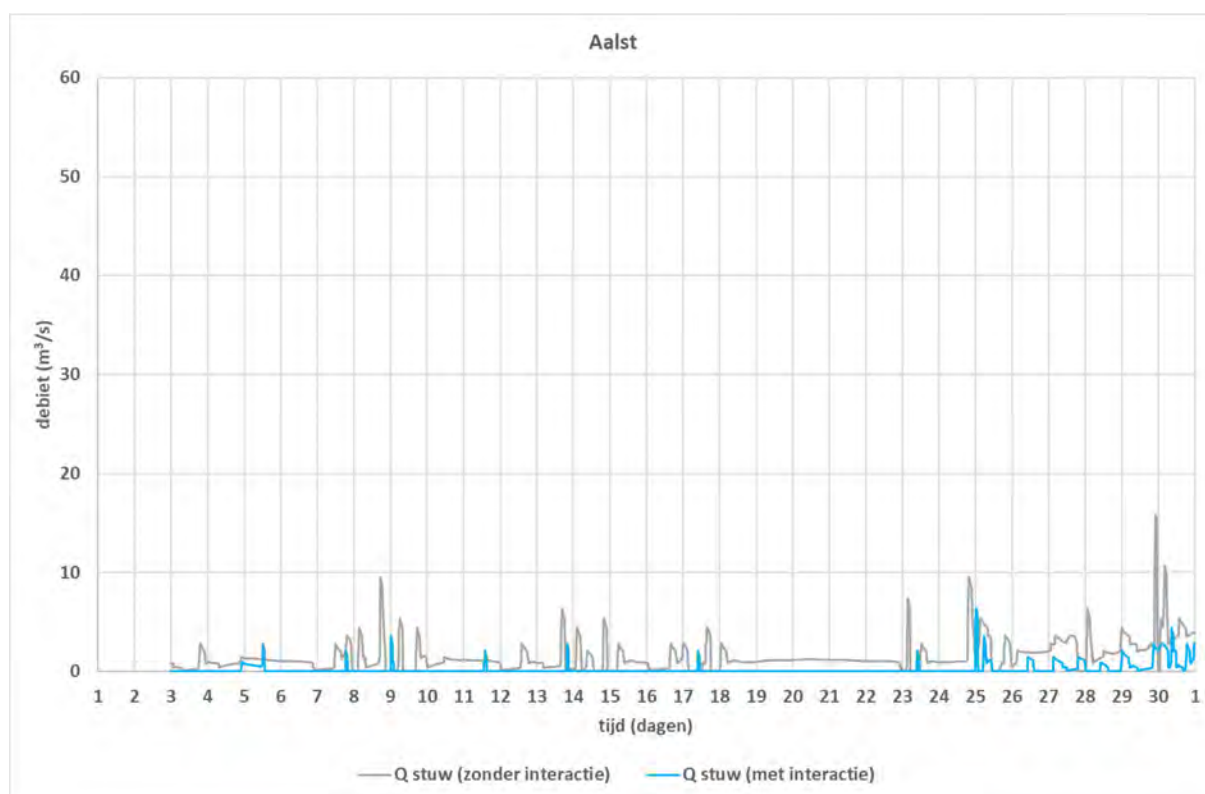
Figuur 50 – September 2019 - Idegem (reeks 2)



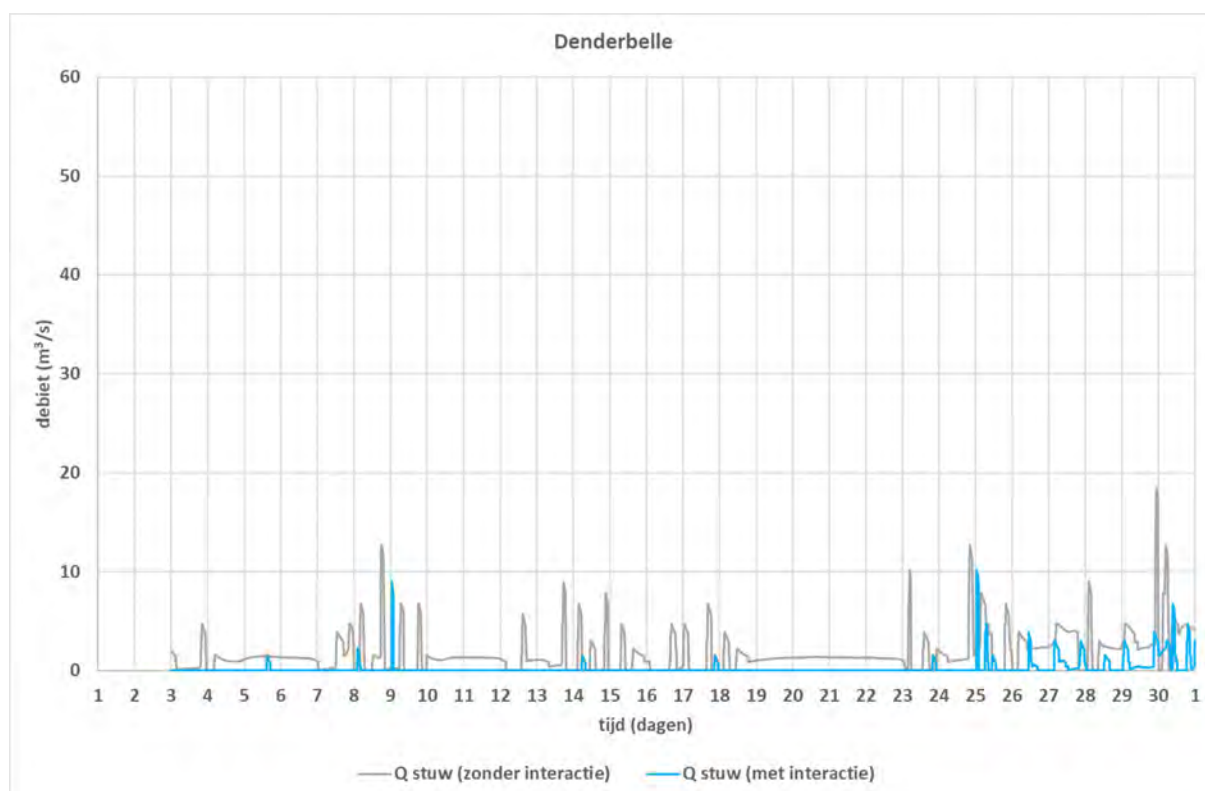
Figuur 51 – September 2019 - Pollare (reeks 2)



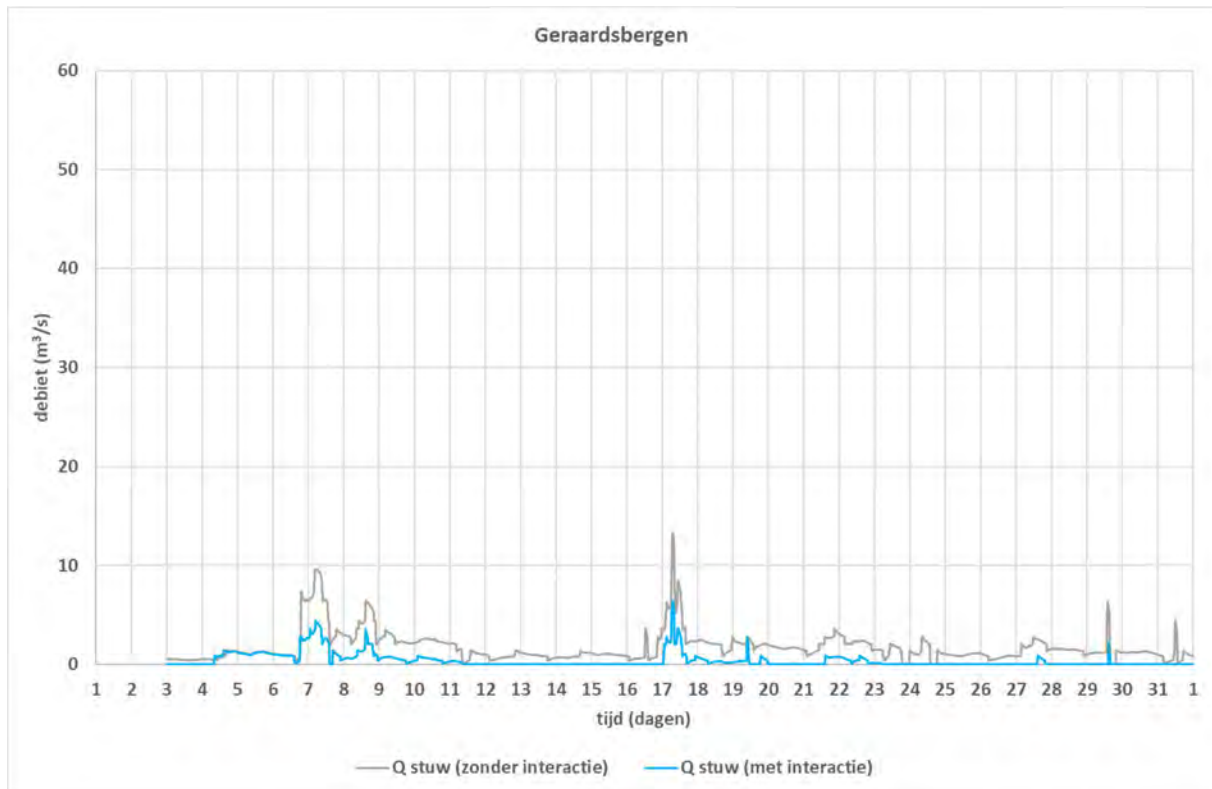
Figuur 52 – September 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



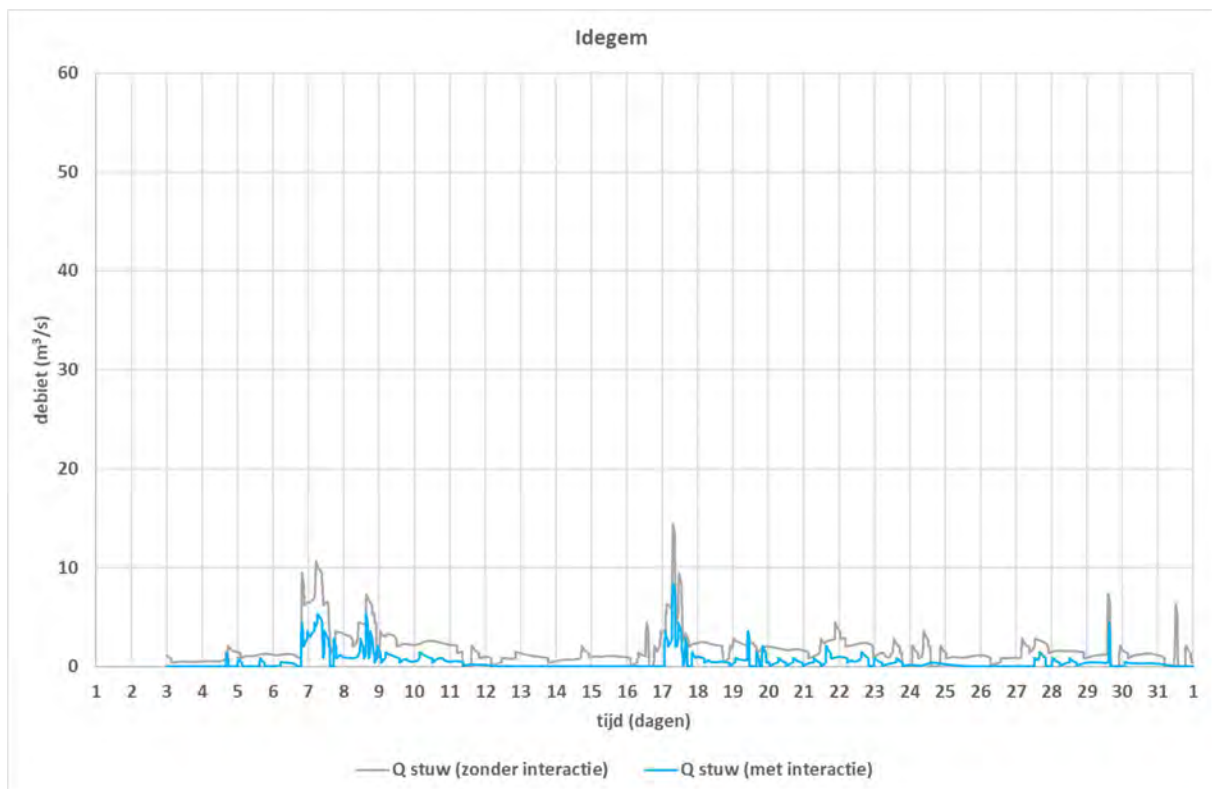
Figuur 53 – September 2019 - Aalst (reeks 2)



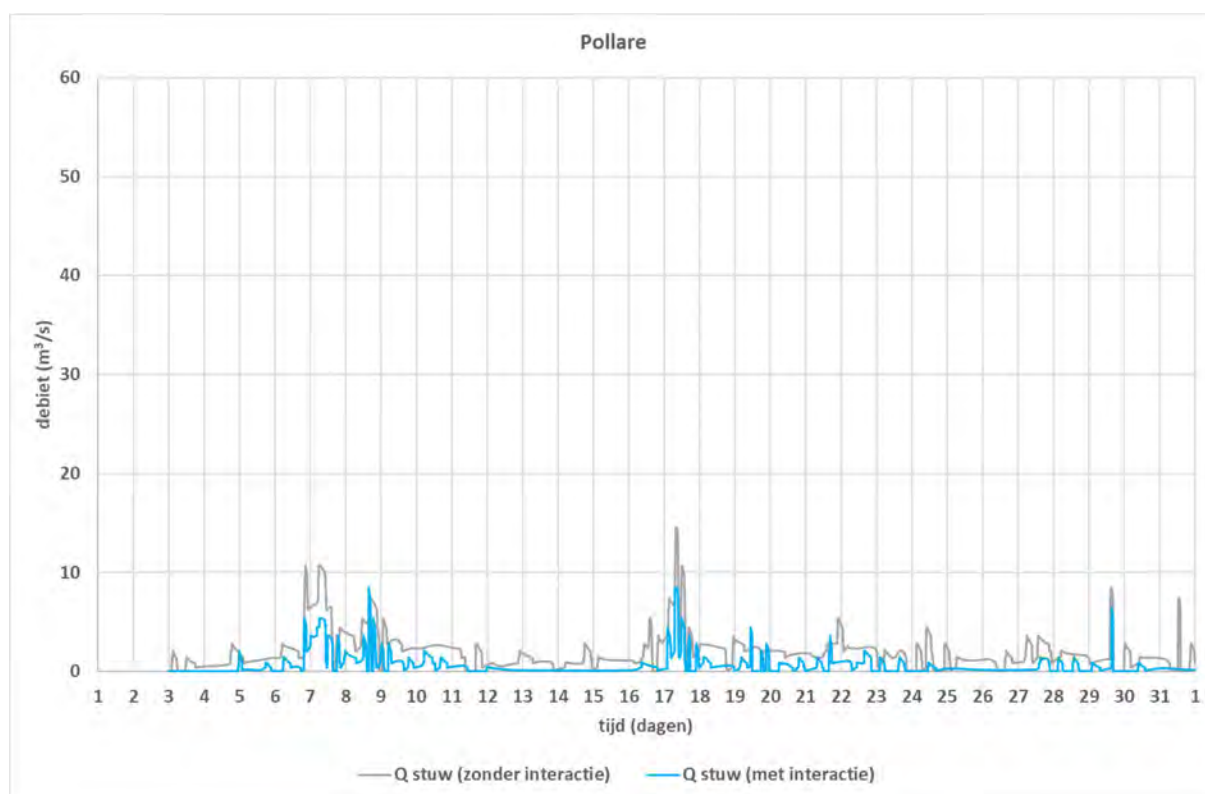
Figuur 54 – September 2019 - Denderbelle (reeks 2)



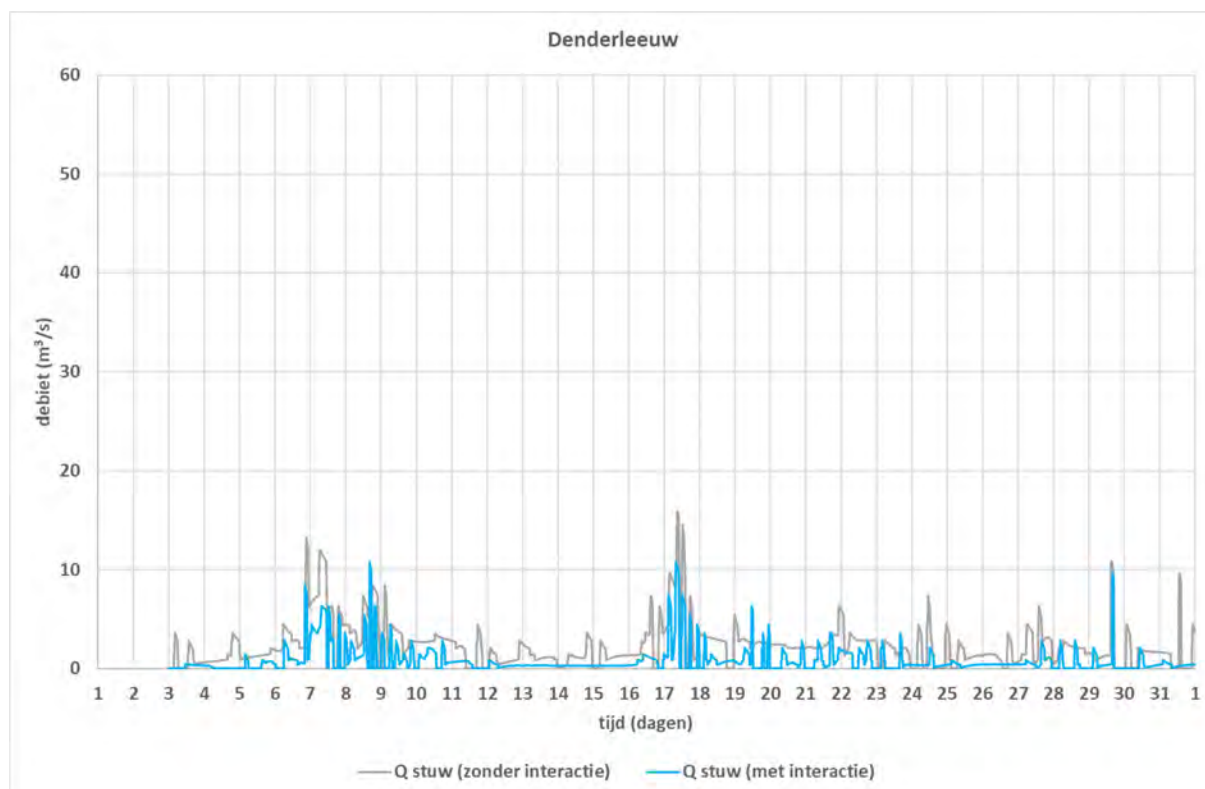
Figuur 55 – Oktober 2019 - Geraardsbergen (reeks2)



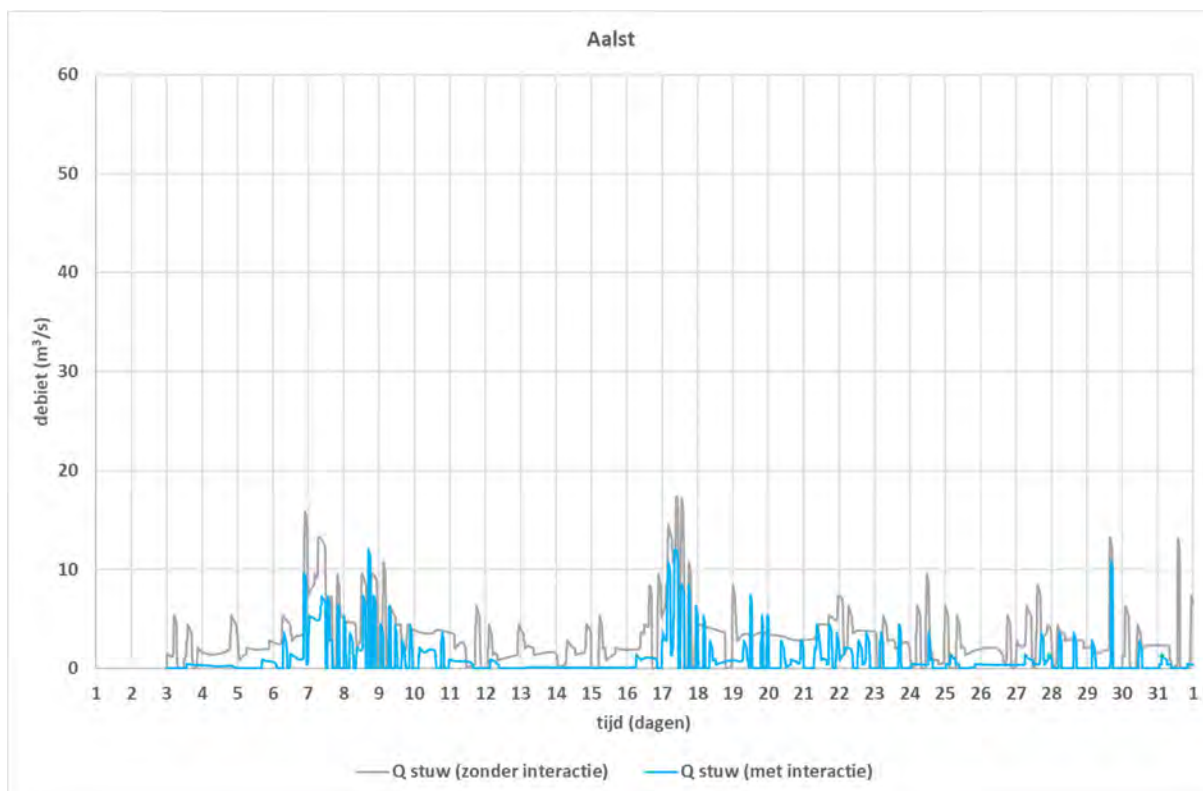
Figuur 56 – Oktober 2019 - Idegem (reeks 2)



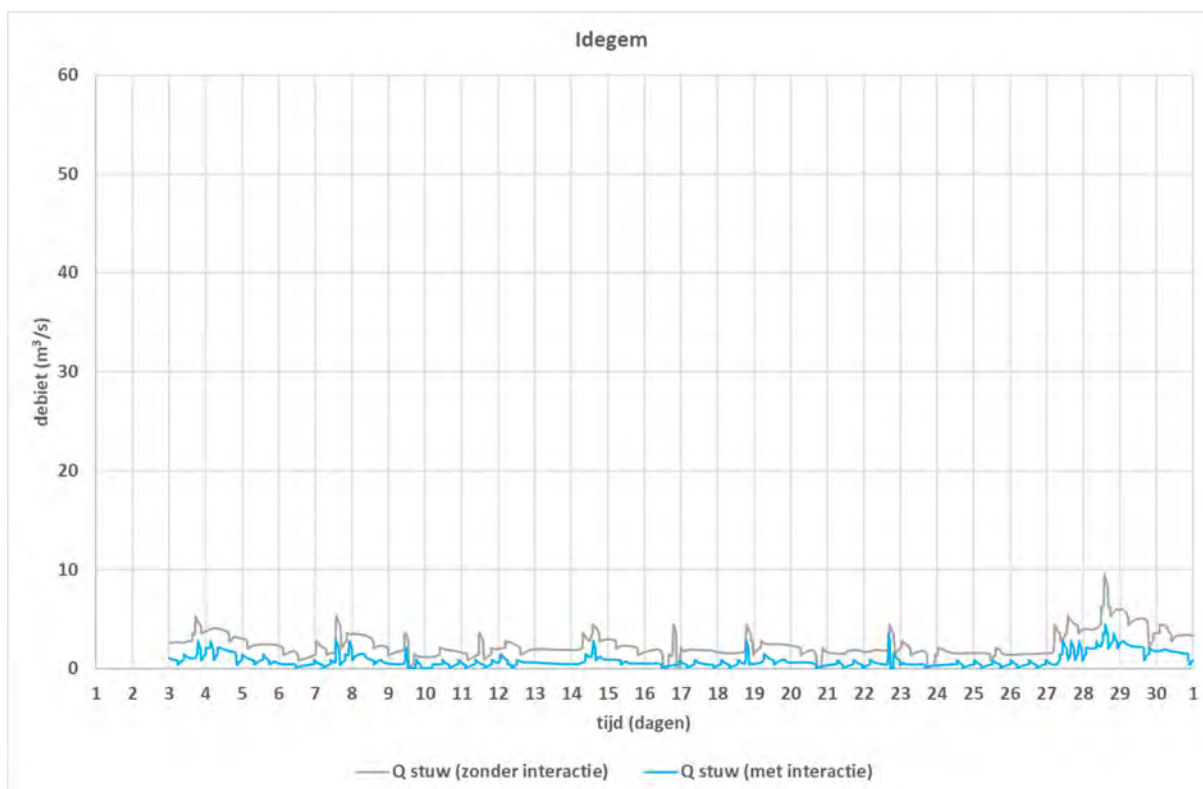
Figuur 57 – Oktober 2019 - Pollare (reeks 2)



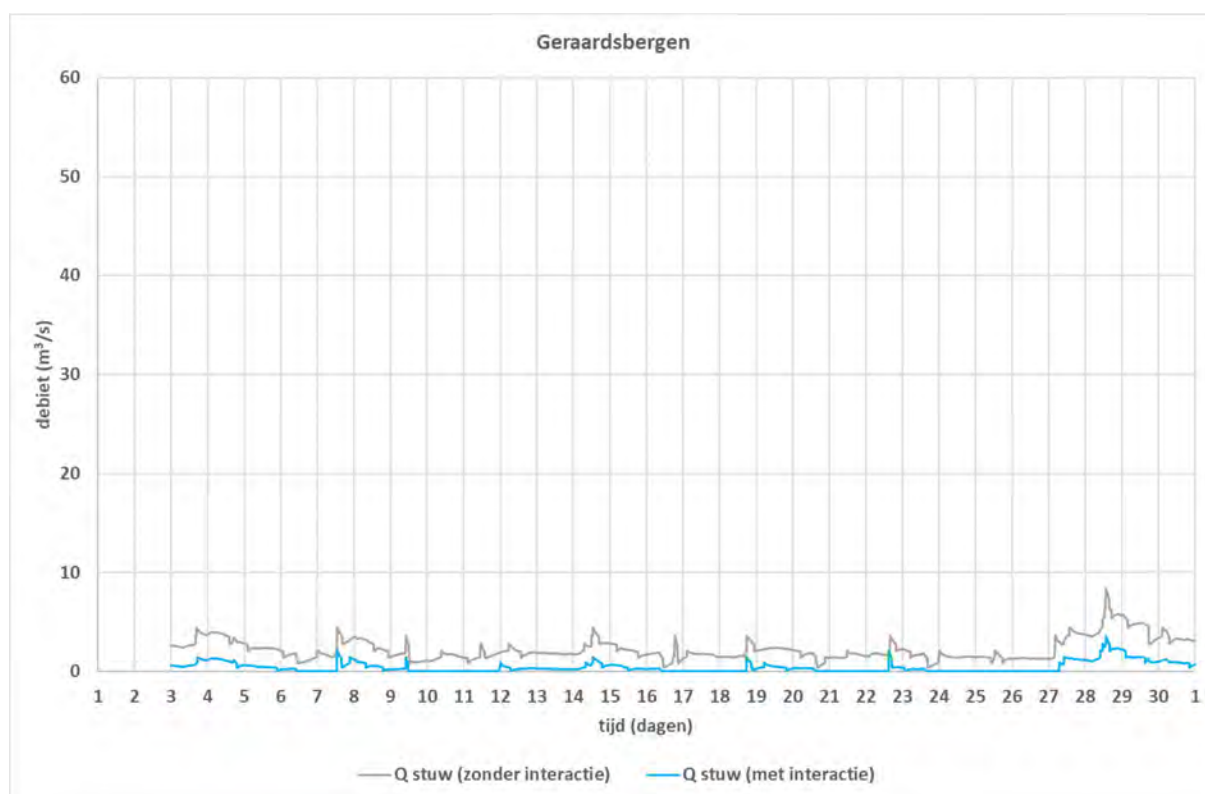
Figuur 58 – Oktober 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



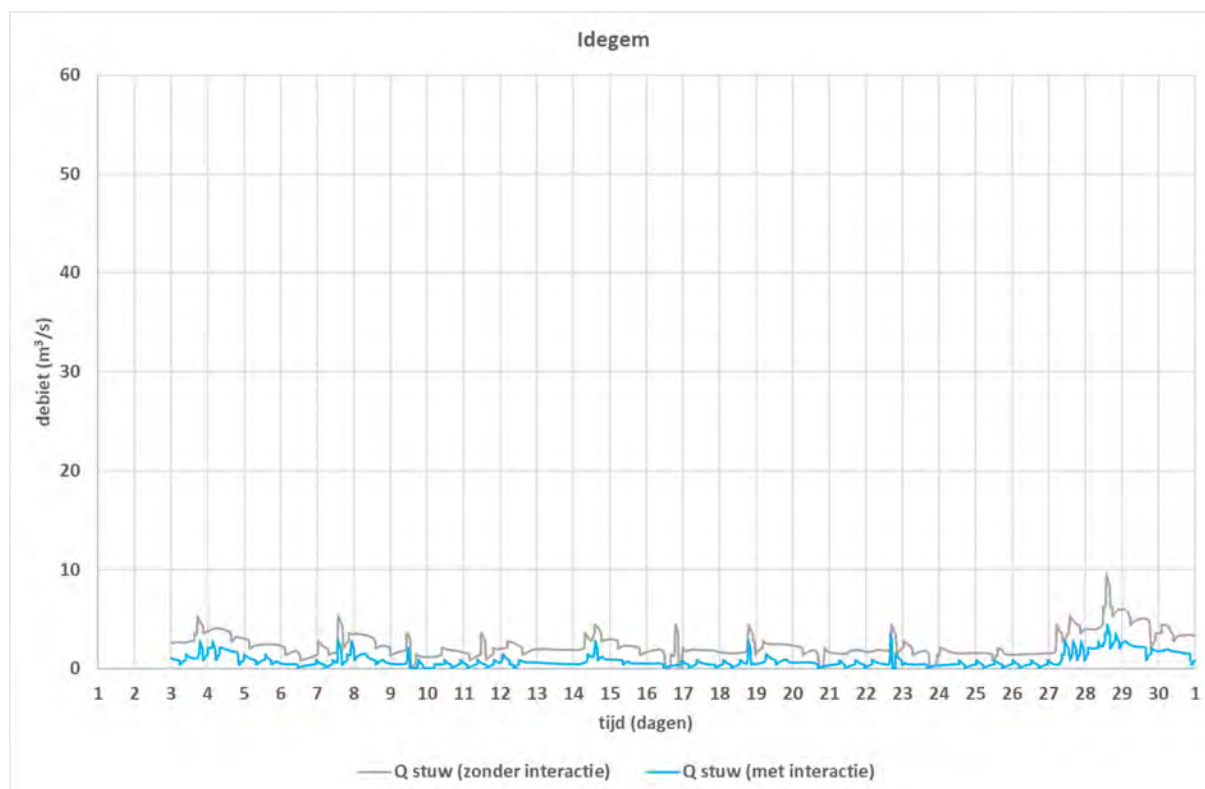
Figuur 59 – Oktober 2019 - Aalst (reeks 2)



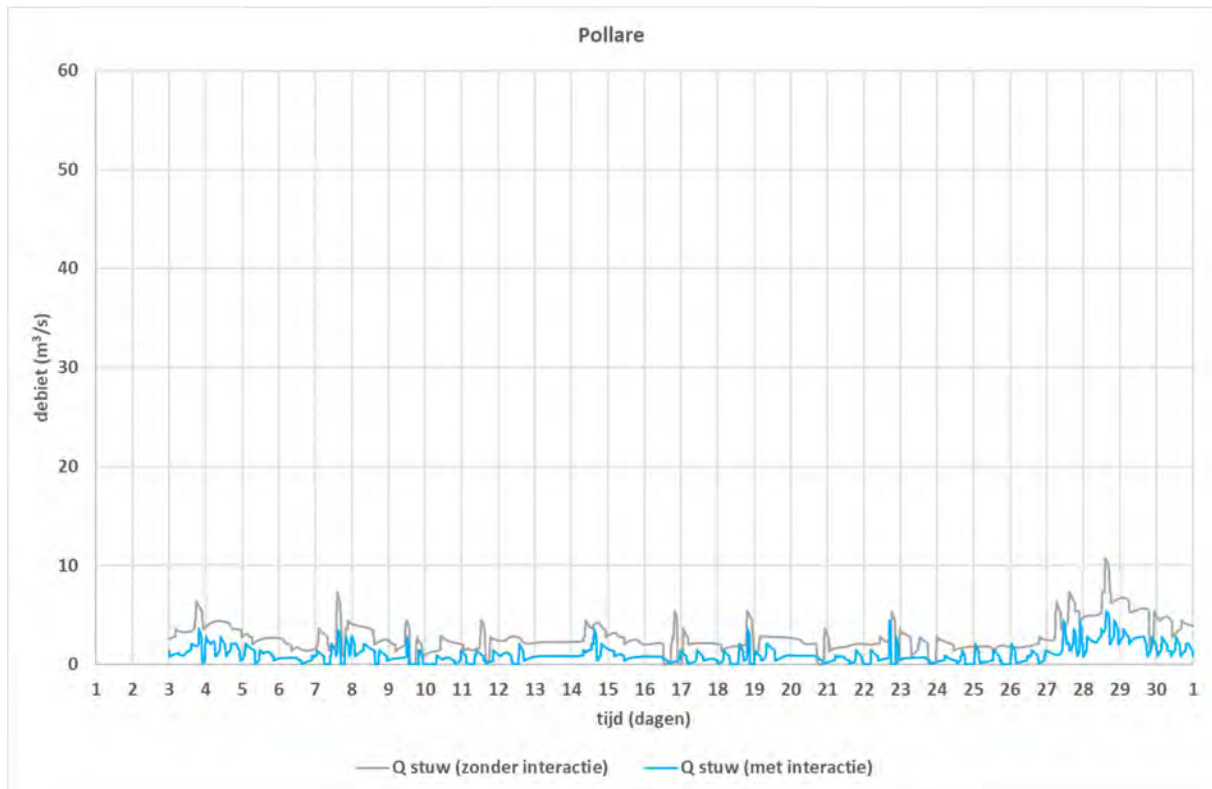
Figuur 60 – Oktober 2019 - Denderbelle (reeks 2)



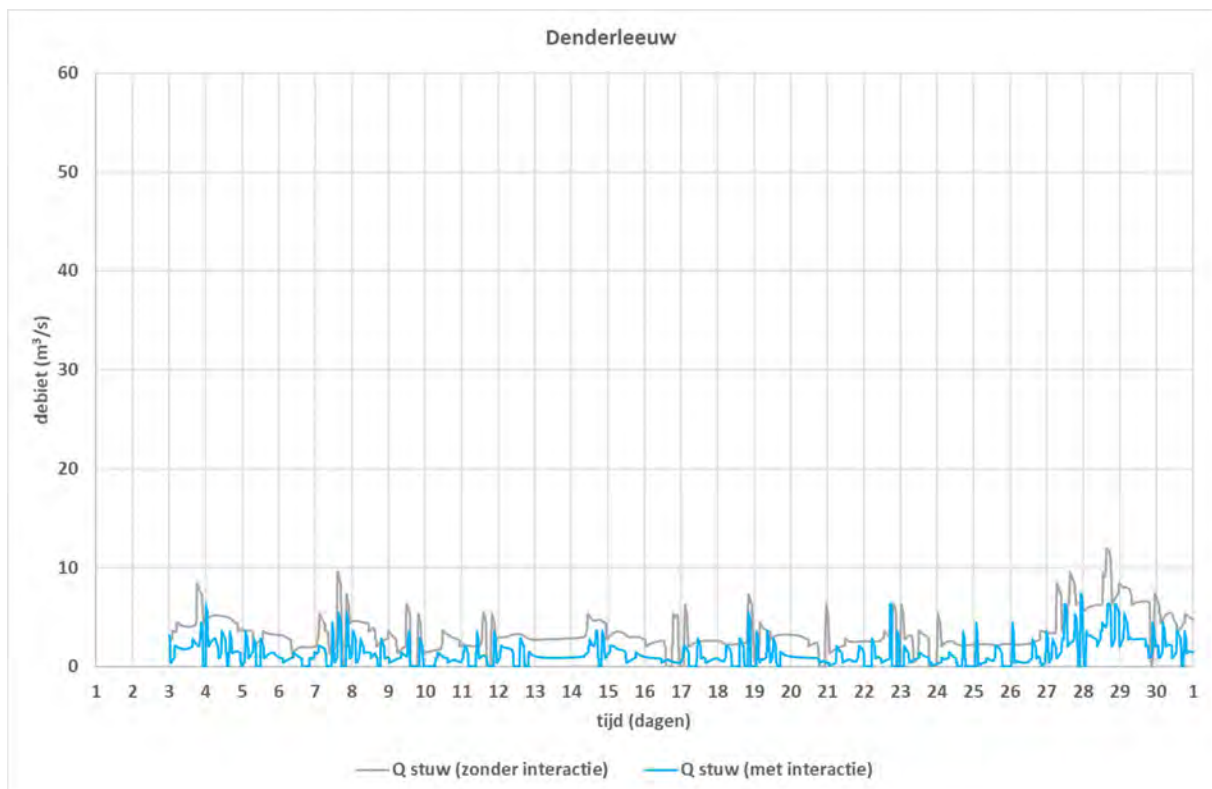
Figuur 61 – November 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



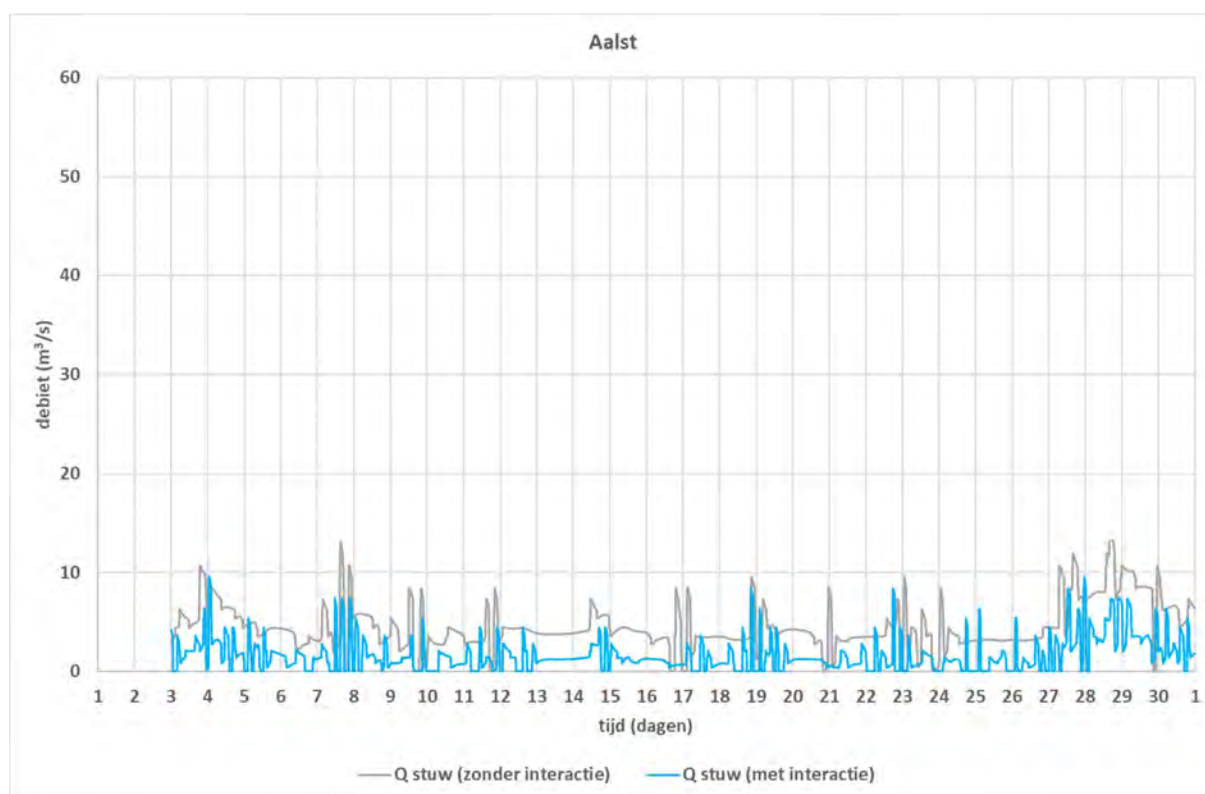
Figuur 62 – November 2019 - Idegem (reeks 2)



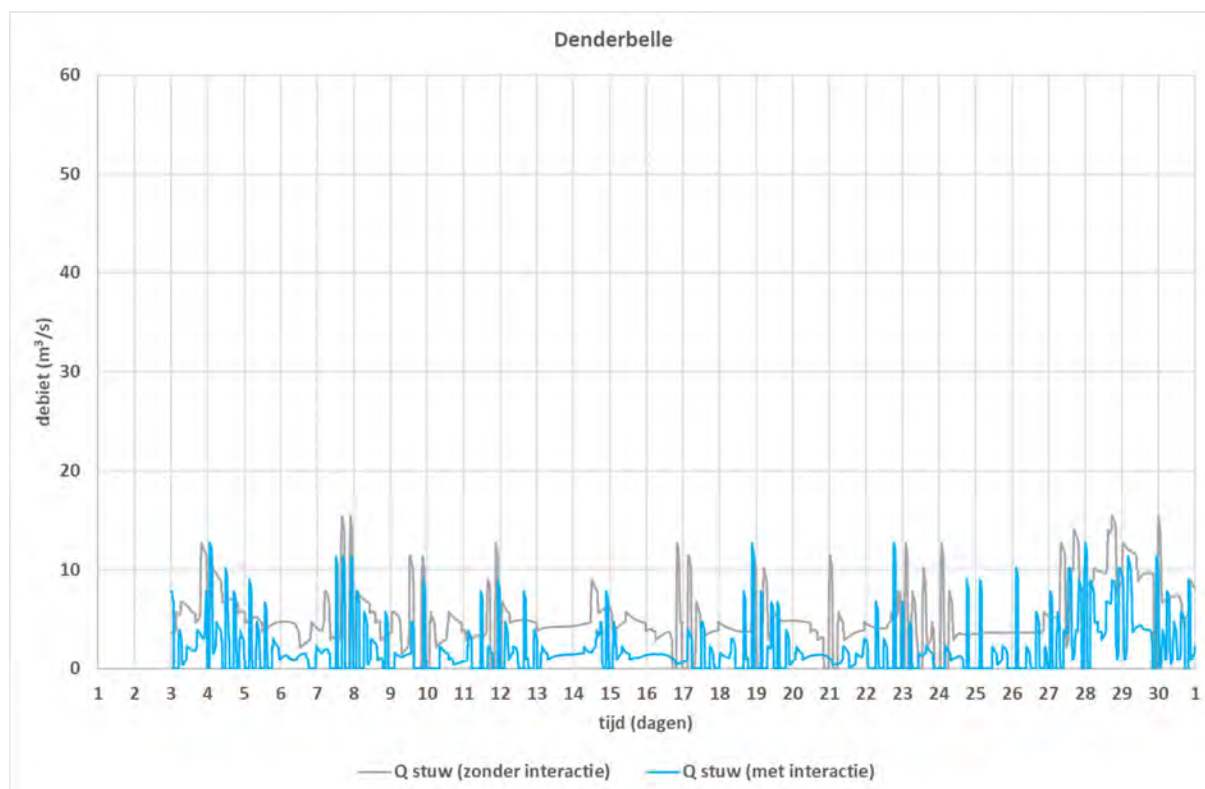
Figuur 63 – November 2019 - Pollare (reeks 2)



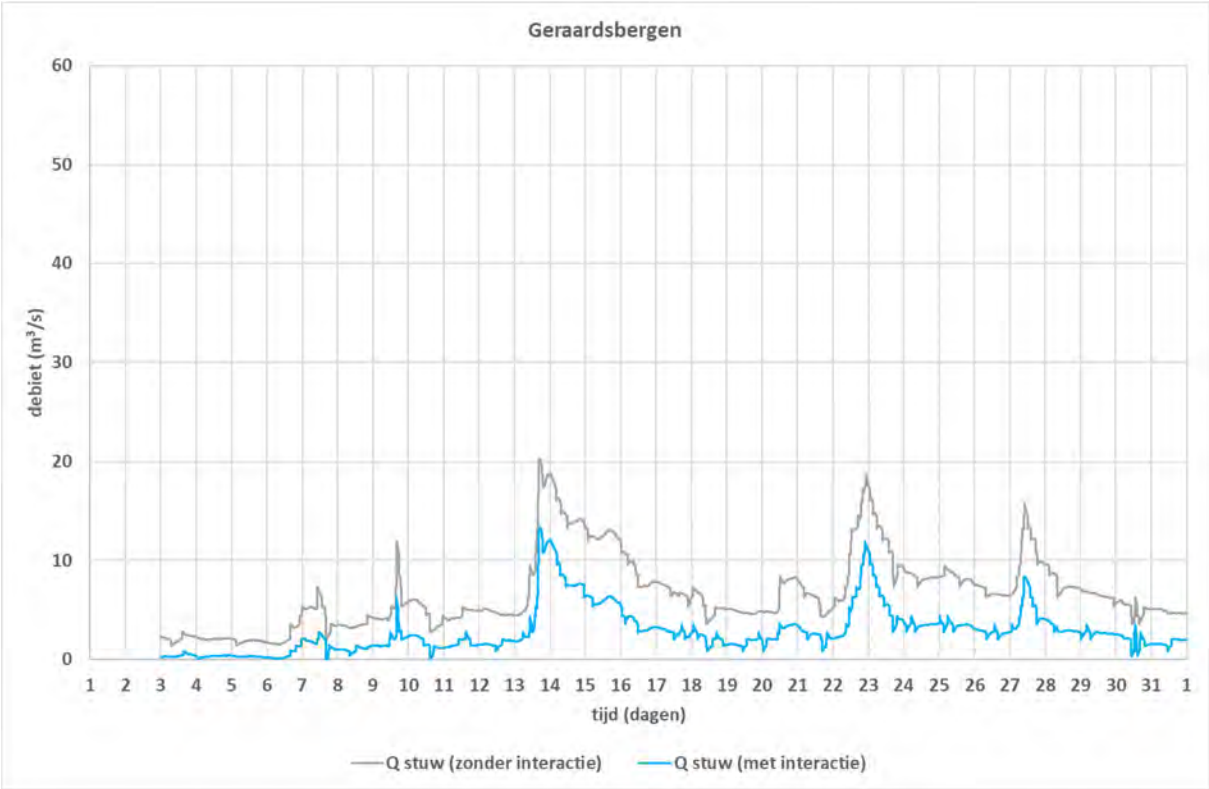
Figuur 64 – November 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



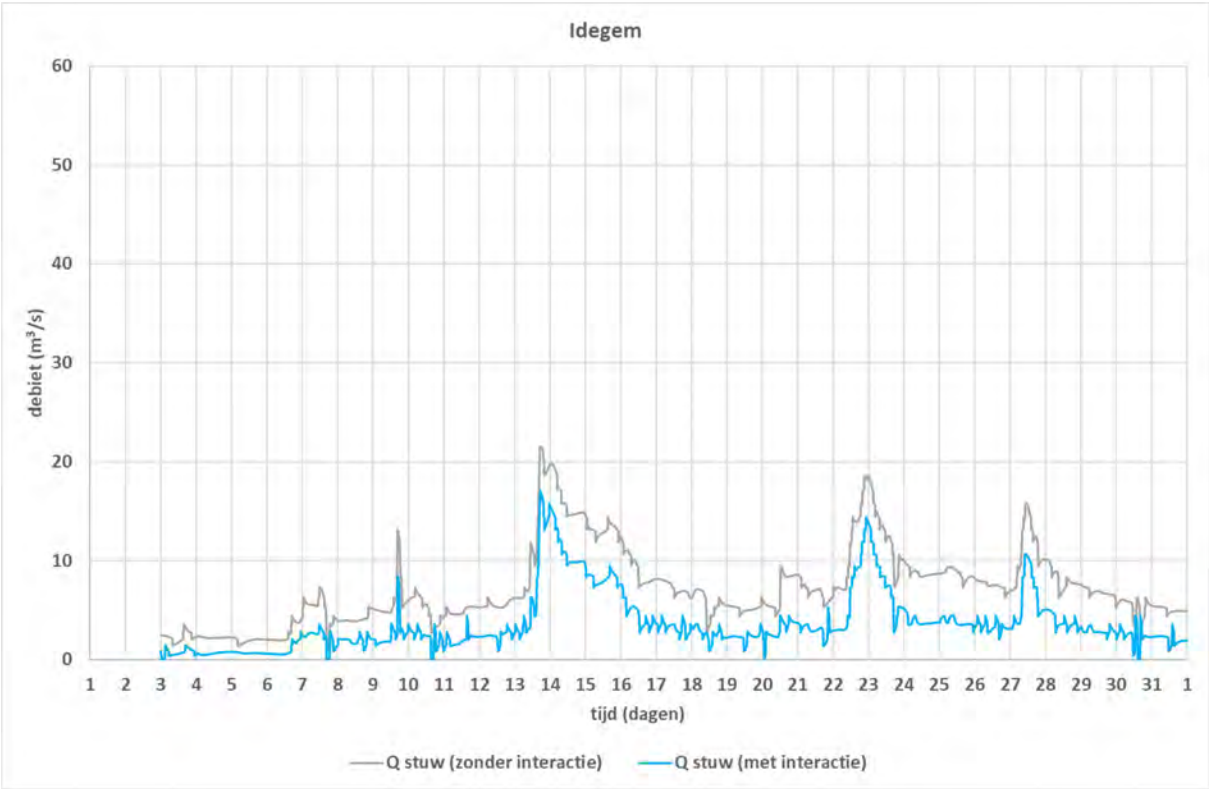
Figuur 65 – November 2019 - Aalst (reeks 2)



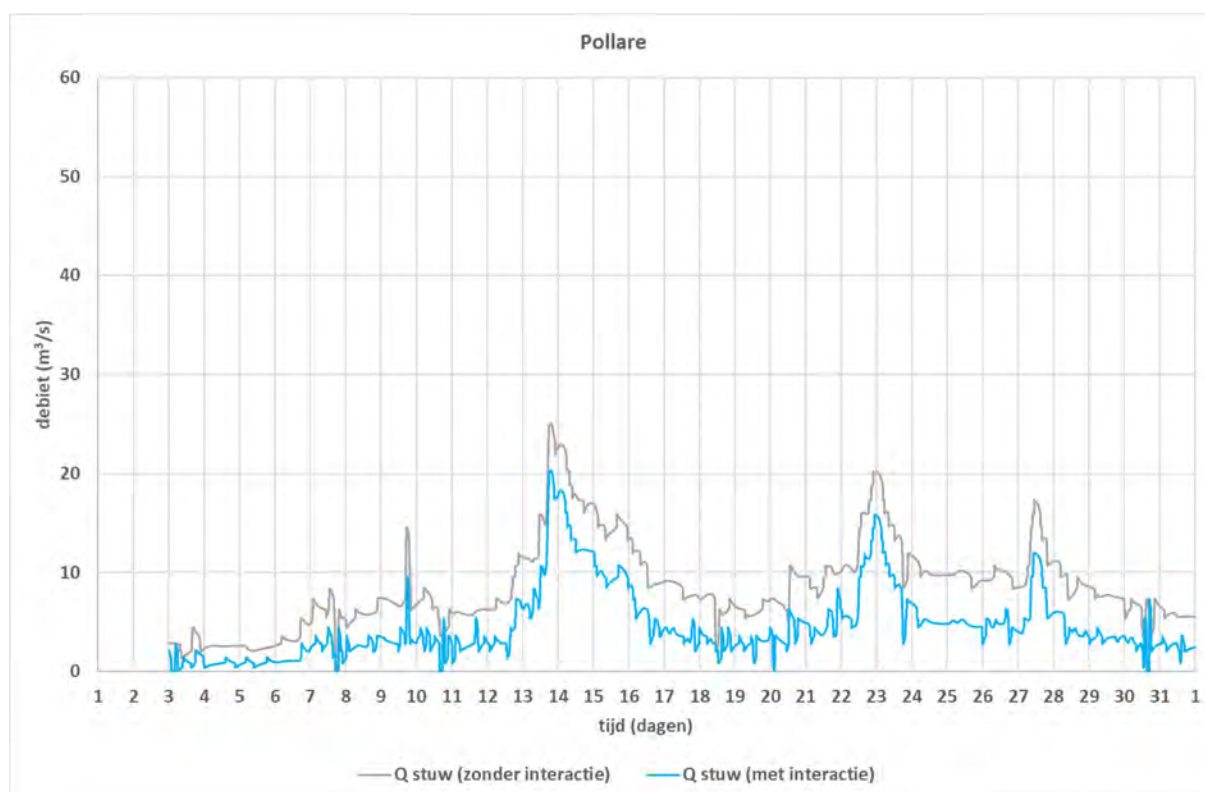
Figuur 66 – November 2019 - Denderbelle (reeks 2)



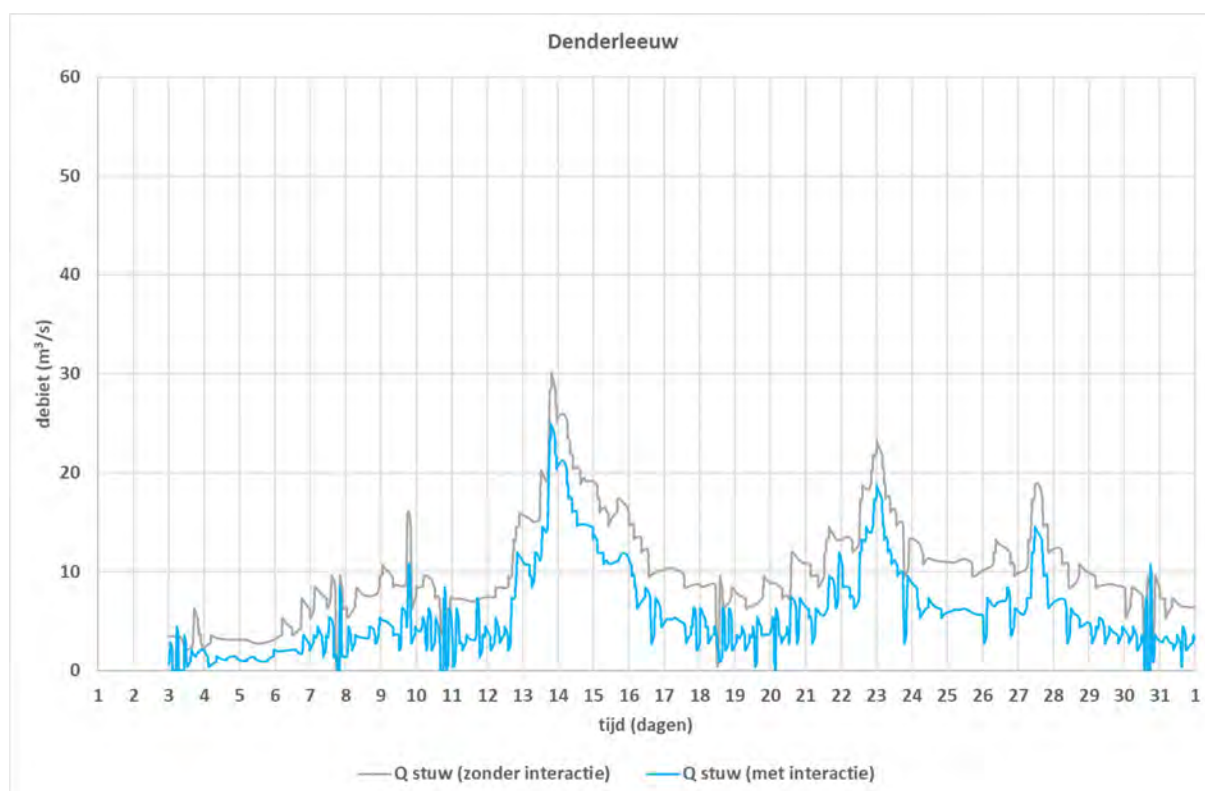
Figuur 67 – December 2019 - Geraardsbergen (reeks 2)



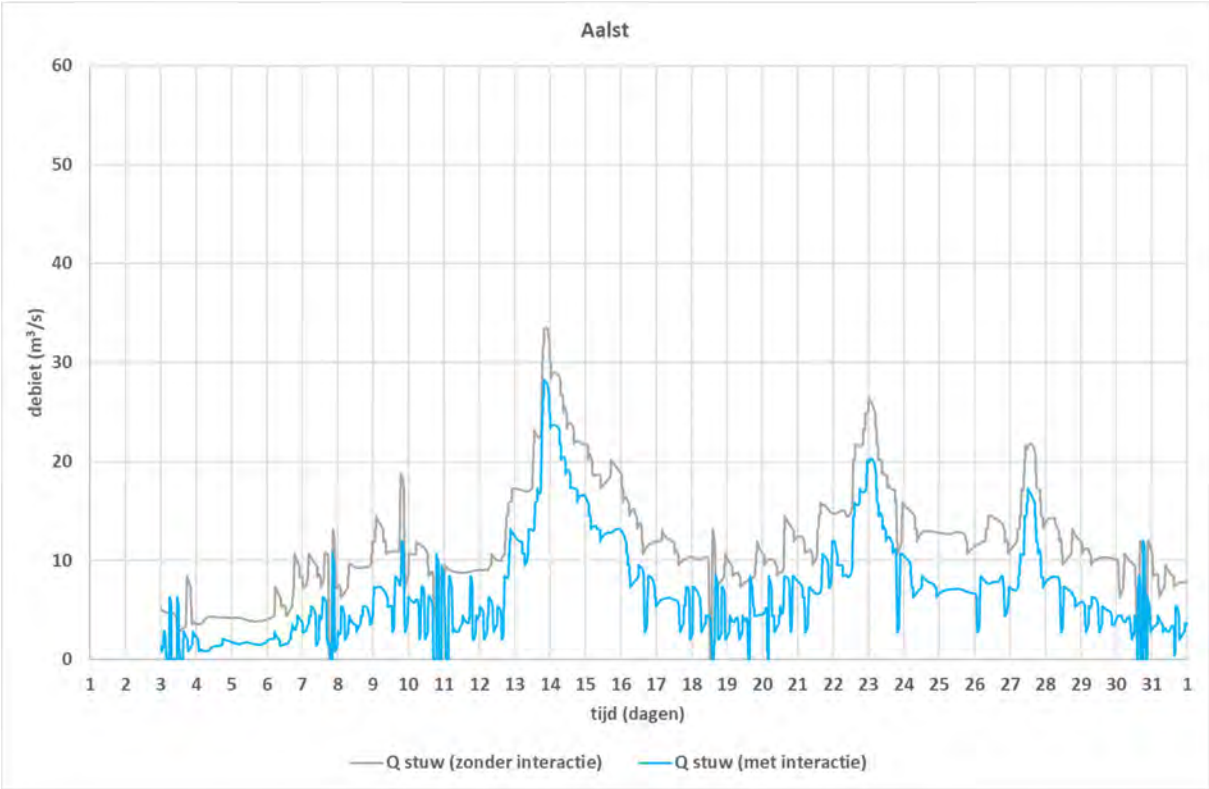
Figuur 68 – December 2019 - Idegem (reeks 2)



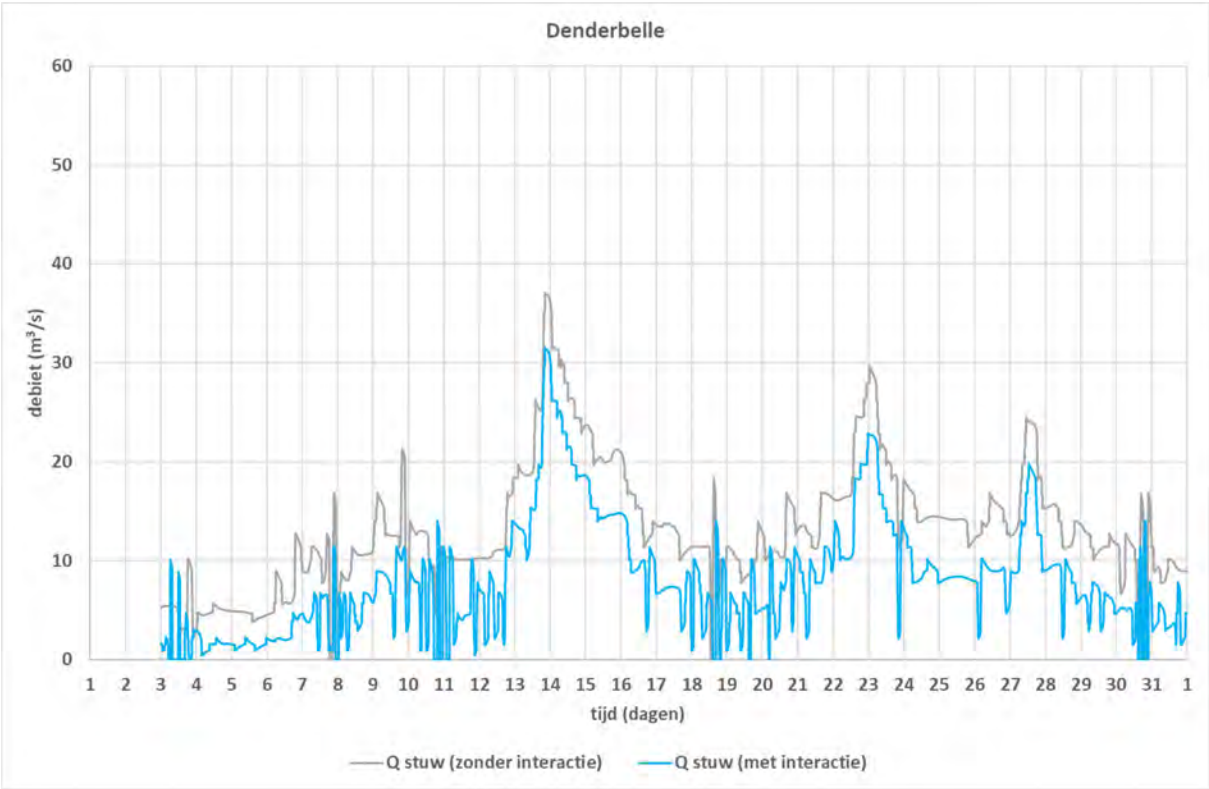
Figuur 69 – December 2019 - Pollare (reeks 2)



Figuur 70 – December 2019 - Denderleeuw (reeks 2)



Figuur 71 – December 2019 - Aalst (reeks 2)



Figuur 72 – December 2019 - Denderbelle (reeks 2)

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