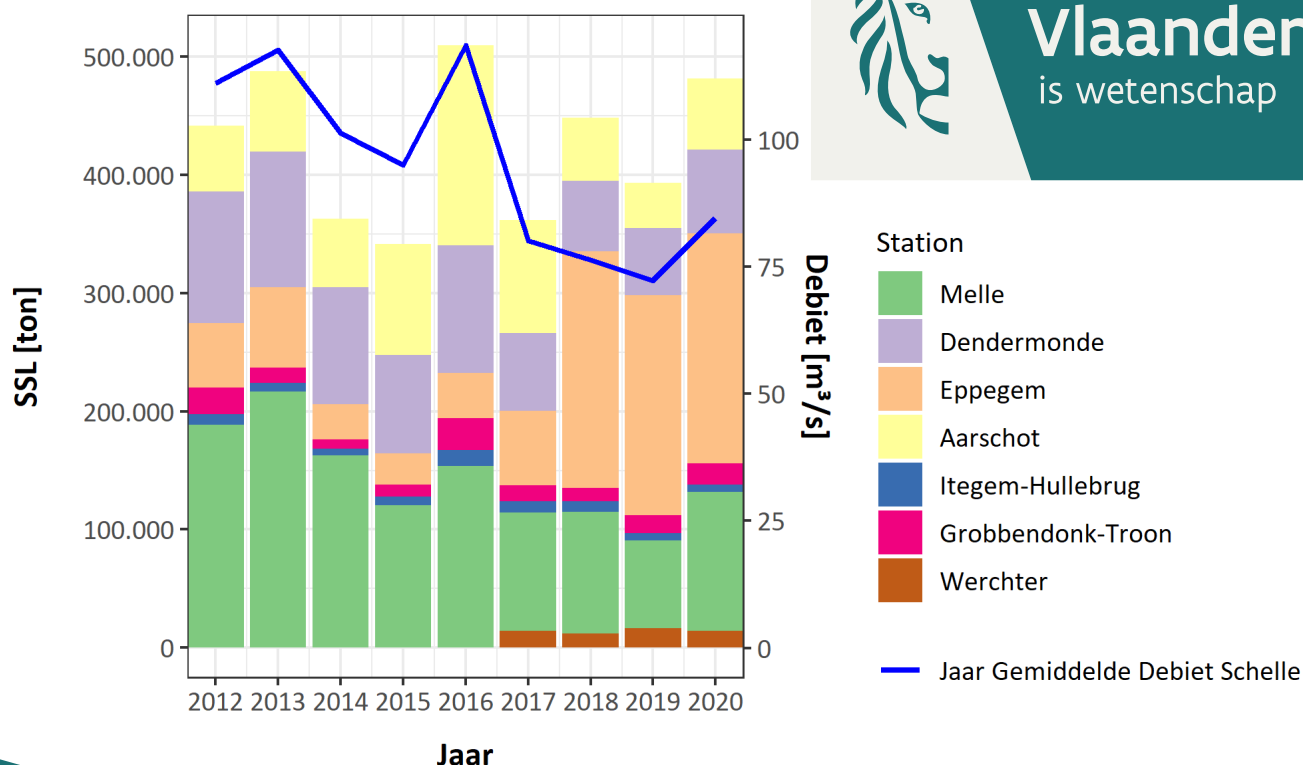




Vlaanderen
is wetenschap



PA025_16
WL rapporten

Fluviatiele sedimentaanvoer richting Schelde estuarium

Inschatting sedimentaanvoer op basis van
APS staalname en turbiditeitsmetingen

Fluviatiele sedimentaanvoer richting Schelde estuarium

Inschatting sedimentaanvoer op basis van
APS staalname en turbiditeitsmetingen

Vandenbruwaene, W.; van den Berg, M; Van De Moortel, I.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M.

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 2022
D/2021/3241/223

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vandenbruwaene, W.; van den Berg, M.; Van De Moortel, I.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M. (2022).
Fluviatile sedimentaanvoer richting Schelde estuarium: Inschatting sedimentaanvoer op basis van APS staalname en turbiditeitsmetingen. Versie 3.0. WL Rapporten, PA025_16. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	WL	Ref.:	WL2022RPA025_16
Trefwoorden (3-5):	Sedimentaanvoer; Schelde estuarium; historisch; pompstalen en turbiditeit		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > 2.2 Cohesief sediment Hydraulica en sediment > 2.4 Sedimenttransport Hydraulica en sediment > 4.1 Sedimentbalans		
Tekst (p.):	22	Bijlagen (p.):	12
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.; van den Berg, M.; Van De Moortel I.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y. Vereecken, H.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2022-06-03 11:57:26 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i> Getekend door: Hans Vereecken (Signature) Getekend op: 2022-05-03 09:41:03 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Hans Vereecken</i>
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene Getekend op: 2022-04-12 14:45:18 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Wouter Vandenbruwaene</i>

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps (Sig) Getekend op: 2022-04-14 09:39:14 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-04-12 14:23:03 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>



Abstract

Voorliggend rapport geeft een overzicht van de fluviatiele sedimentaanvoer richting Schelde estuarium ter hoogte van de HIC meetstations Melle, Dendermonde, Epegem, Werchter (VMM), Aarschot, Itegem en Grobbendonk. Elk van deze stations is representatief voor de aanvoer vanuit de verschillende rivierbekkens, en de som van de afzonderlijke stations laat toe om de totale sedimentaanvoer richting Schelde estuarium te begroten. De sedimentaanvoer werd bepaald op basis van APS staalname (pompstalen) en turbiditeitsmetingen, en werd doorgerekend over de periode 2012-2020. Voor de locaties Aarschot en Grobbendonk zijn er meer data beschikbaar, en werd de sedimentaanvoer berekend vanaf 2001. De totale jaarlijkse sedimentaanvoer richting Schelde estuarium varieert in de periode 2012-2020 tussen de 341 618 en 509 832 ton. Het aandeel van sedimentaanvoer voor de periode 2012-2016 is hierbij het grootst vanuit het Bovenschelde-Leiebekken (meetlocatie Melle), en het Dender- en Demerbekken (meetlocaties Dendermonde en Aarschot). Vanaf 2017 wordt de sedimentaanvoer vanuit het Zennebekken echter belangrijker, met te Epegem de hoogste bijdrage van alle meetlocaties voor de periode 2018-2020. In tegenstelling tot de Zenne is de sedimentaanvoer vanuit Bovenschelde-Leie, Dender en Demer lager vanaf 2017. Over het algemeen is de bijdrage in sedimentaanvoer vanuit het Dijle- en Netebekken laag. Naast een overzicht van de sedimentaanvoer richting Schelde estuarium volgens de actuele methode, wordt in het rapport ook een vergelijking gemaakt tussen de sedimentaanvoer berekend volgens de vroeger toegepaste schepstaalmethodiek.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
Lijst van afkortingen	1
1 Inleiding	2
2 Methodes	4
2.1 Meetlocaties.....	4
2.2 Nieuwe methodiek op basis van APS staalname en turbiditeitsmeting.....	5
2.2.1 Overzicht beschikbare data	5
2.2.2 Berekening sedimentaanvoer.....	6
2.2.3 Verwijderen van outliers	7
2.3 Schepstaalmethodiek	7
3 Resultaten.....	8
3.1 Sedimentaanvoer periode 2012-2020.....	8
3.1.1 Melle (Bovenschede en Leie).....	8
3.1.2 Dendermonde (Dender)	9
3.1.3 Eppegem (Zenne).....	10
3.1.4 Werchter (Dijle)	12
3.1.5 Aarschot (Demer)	12
3.1.6 Itegem-Hullebrug (Grote Nete)	13
3.1.7 Grobbendonk-Troon (Kleine Nete).....	14
3.1.8 Totale sedimentaanvoer richting Schelde estuarium.....	15
3.2 Sedimentaanvoer periode 2001-2011.....	17
3.2.1 Aarschot (Demer)	17
3.2.2 Grobbendonk-Troon (Kleine Nete).....	18
3.3 Vergelijking met de schepstaalmethodiek	20
4 Conclusies	21
5 Referenties	22

Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit	B1
Bijlage 2 – Brondata debiet (hoogfrequent).....	B4
Bijlage 3 – Q-SSC relaties	B7
Bijlage 4 – Turb-SSC relaties	B11
Bijlage 5 – EWI relaties periode 2001-2011	B12

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht meetlocaties	5
Tabel 2 – Overzicht start metingen per parameter	5
Tabel 3 – Overzicht waarden sedimentaanvoer [ton] per jaar en per station	16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzichtskaart van de locaties waar sedimentaanvoer wordt berekend op basis van automatische pompstalen (rood) en turbiditeit (groen). De sedimentaanvoer voor de Dijle (onbevaarbaar) wordt berekend door VMM.	4
Figuur 2 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer ter hoogte van Melle voor de periode 2012-2020. ...	8
Figuur 3 – Jaarlijkse sedimentaanvoer ter hoogte van Melle voor de periode 2012-2020.	9
Figuur 4 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Dendermonde voor de periode 2012-2020.	9
Figuur 5 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Dendermonde voor de periode 2012-2020.	10
Figuur 6 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Eppegem voor de periode 2012-2020.	11
Figuur 7 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Eppegem voor de periode 2012-2020.	11
Figuur 8 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Werchter voor de periode 2017-2020.	12
Figuur 9 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2012-2020.	12
Figuur 10 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2012-2020.	13
Figuur 11 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Itegem-Hullebrug voor de periode 2012-2020.	13
Figuur 12 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Itegem-Hullebrug voor de periode 2012-2020.	14
Figuur 13 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2012-2020.	14
Figuur 14 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer ter hoogte van Grobbendonk-Troon (geldig vanaf 2000).	15
Figuur 15 – Barplot totale sedimentaanvoer per jaar richting Schelde estuarium, opgesplitst per locatie. Jaarwaarden voor de Dijle pas beschikbaar vanaf 2017.	16
Figuur 16 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2001-2020.	17
Figuur 17 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2001-2020.	18
Figuur 18 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2001-2020.	19
Figuur 19 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2001-2020.	19
Figuur 20 – Correlatie tussen jaarlijkse sedimentaanvoer berekend volgens de schepstaalmethodiek en de nieuwe techniek.	20
Figuur 21 – Hoogfrequente turbiditeitsdata te Melle.	B1
Figuur 22 – Hoogfrequente turbiditeitsdata te Dendermonde.	B1
Figuur 23 – Pompstaalgegevens te Eppegem.	B2
Figuur 24 – Pompstaalgegevens te Aarschot.	B2
Figuur 25 – Pompstaalgegevens te Itegem-Hullebrug.	B3
Figuur 26 – Pompstaalgegevens te Grobbendonk-Troon.	B3

Figuur 27 – Hoogfrequent debiet te Melle.....	B4
Figuur 28 – Hoogfrequent debiet te Dendermonde.	B4
Figuur 29 – Hoogfrequent debiet Eppegem. 5/15 minuutwaarden vanaf 02/08/2004, periode er vóór uurwaarden.	B5
Figuur 30 – Hoogfrequent debiet Aarschot. 5/15 minuutwaarden vanaf 16/05/2005, periode er vóór uurwaarden.	B5
Figuur 31 – Hoogfrequent debiet Hulshout. 5/15 minuutwaarden vanaf 01/01/2007, periode er vóór uurwaarden.	B6
Figuur 32 – Hoogfrequent debiet Grobbendonk-Troon. 5/15 minuutwaarden vanaf 02/01/2005, periode er vóór uurwaarden.	B6
Figuur 33 – Q-SSC relatie Melle op basis van data 2012-2020.....	B7
Figuur 34 – Q-SSC relatie Dendermonde op basis van data 2012-2020.....	B7
Figuur 35 – Q-SSC relatie Eppegem op basis van data 2012-2020.....	B8
Figuur 36 – Q-SSC relatie Aarschot op basis van data 2012-2020.....	B8
Figuur 37 – Q-SSC relatie Aarschot op basis van de data 2001-2011.....	B9
Figuur 38 – Q-SSC relatie Itegem-Hullebrug op basis van de data 2012-2020.....	B9
Figuur 39 – Q-SSC relatie Grobbendonk-Troon op basis van de data 2012-2020.....	B10
Figuur 40 – Q-SSC relatie Grobbendonk-Troon op basis van de data 2001-2011.....	B10
Figuur 41 – Turb-SSC relatie voor Melle op basis van de data 2012-2020.....	B11
Figuur 42 – Turb-SSC relatie voor Dendermonde op basis van de data 2012-2020.	B11
Figuur 43 – EWI relaties Aarschot voor de periode 2001-2011 en 2012-2020.	B12
Figuur 44 – EWI relaties Grobbendonk voor de periode 2001-2011 en 2012-2020.	B12

Lijst van afkortingen

APS:	Automatic Pump Sampler; automatisch pompstation
EWI:	Equal Width Increment-, of kortweg EWI-metingen worden gebruikt om dwarssectiegemiddelde sedimentconcentraties te berekenen ter hoogte van waterlopen.
HIC:	Hydrologisch Informatie Centrum
MONEOS:	MONitoring Effecten OntwikkelingsSchets 2010; Vlaamse-Nederlands monitoringsprogramma langsheen Schelde estuarium
NTU:	Nephelometric turbidity unit; eenheid van turbiditeit gebruikt door YSI multiparametertoestellen
Q:	Debiet
SSC:	Suspended -Sediment Concentration; suspensiegehalte aan sediment
SSL:	Suspended sediment load; sedimentlading
Turb:	Turbiditeit
VMM:	Vlaamse Milieumaatschappij
WL:	Waterbouwkundig Laboratorium

1 Inleiding

De fluviatiele sedimentaanvoer¹ richting Schelde estuarium wordt begroot door de sedimentflux te berekenen voor de verschillende bijrivieren die uitmonden in het estuarium. Door de sedimentflux te integreren in de tijd wordt sedimentlading of fluviatiele sedimentaanvoer bekomen. De basis om een sedimentflux te berekenen is het vermenigvuldigen van het debiet (Q) met het zwevende stof gehalte (SSC). Doorheen de tijd werden verschillende methodes gebruikt om de sedimentflux te berekenen, grotendeels bepaald door de meetmethodiek toegepast op het terrein.

Vanaf de jaren 1970 worden er langsheen de bijrivieren op vaste locaties schepstalen genomen. Deze schepstalen worden ongeveer tweewekelijks genomen en geven een beeld van het zwevende stof gehalte nabij het oppervlak van een rivierloop. Deze schepstalen werden initieel gebruikt om (in combinatie) met debiet een sedimentflux te berekenen. Hierbij werden verschillende verwerkingsmethodes gebruikt om te komen tot een sedimentflux en uiteindelijke sedimentaanvoer (bv. Claessens, 1993; Taverniers, 1995). Een overzicht van de verschillende methodes wordt gegeven in De Boeck et al. (2013). De schepstaalmethodiek werd toegepast tot en met het MONEOS jaarboek 2015 (Vanlierde et al., 2016). Voor een historische doorrekening over de periode 1972-2009 wordt verwezen naar Van Hoestenbergh et al. (2014).

De schepstaalmethodiek brengt echter een aantal beperkingen met zich mee. De lage samplingfrequentie ($\pm$ tweewekelijks) zorgt er voor dat wasevents (met hoge sedimentaanvoer) niet (of onvolledig) bemonsterd worden. Dit wordt opgevangen door op basis van een relatie tussen debiet (Q) en sedimentconcentratie (SSC), de sedimentconcentratie in te schatten voor de dagen zonder bemonstering. Bijkomend zorgt de staalname nabij oppervlak er voor dat het zwevende stof gehalte niet volledig representatief is (lager) voor het dwarssectie gemiddelde gehalte aan zwevende stof. De combinatie van beide factoren resulteert in een sterke onderschatting van de sedimenttoevoer bij toepassen van de schepstaalmethodiek.

Doorheen de jaren is het meetnet van het Waterbouwkundig Laboratorium echter sterk uitgebreid en vernieuwd. Zo worden er sinds begin jaren 2000 op verschillende plaatsen (telkens puntmeting) in het estuarium sedimentmonsters genomen met een automatisch pompstation (APS - frequentie 7 of 14 uur), en/of wordt de turbiditeit continu geregistreerd (frequentie 5 minuten tot 15 minuten) door middel van een multi-parametersonde. Turbiditeit kan mits een kalibratie omgerekend worden naar een benadering van het zwevende stof gehalte. Daarnaast werden op regelmatige tijdstippen EWI²-campagnes (Brackx et al., 2019) uitgevoerd, waarbij de sectie-gemiddelde sedimentconcentratie bepaald wordt om op die manier de puntmetingen te corrigeren. Dit leidde recentelijk tot een herziening van de methodiek, waarbij voor locaties met unidirectionele stroming pompstaalgegevens gebruikt worden om sedimenttoevoer te berekenen, en voor locaties met getijdenwerking (bidirectionele stroming) turbiditeitsmetingen (Vos et al., 2019). Deze berekeningsmethodiek wordt toegepast vanaf het MONEOS jaarboek 2016 (Plancke et al., 2017). Vanaf het MONEOS jaarboek 2018 (Vandenbruwaene et al., 2019) wordt de omzetting naar dwarssectie-gemiddelde zwevende stof gehalten daarenboven nog nauwkeuriger bepaald door de verwerking van de tot dan toe beschikbare EWI-campagnes.

Voorliggend rapport geeft een overzicht van de sedimentaanvoer richting Schelde estuarium over de periode 2012-2020, berekend volgens de meer accurate methode van Vos et al. (2019). Voor de stations Aarschot en

¹ Het gaat hier om suspensietransport, geen bodemtransport

² 'Equal Width Increment'-, of kortweg EWI-metingen worden gebruikt om dwarssectiegemiddelde sedimentconcentraties te berekenen ter hoogte van waterlopen. Tijdens een EWI-campagne worden er waterstalen genomen geïntegreerd over de in secties verdeelde dwarsdoorsnede van een waterloop, waardoor ze representatief zijn voor de hoeveelheid sediment die in deze secties wordt getransporteerd.

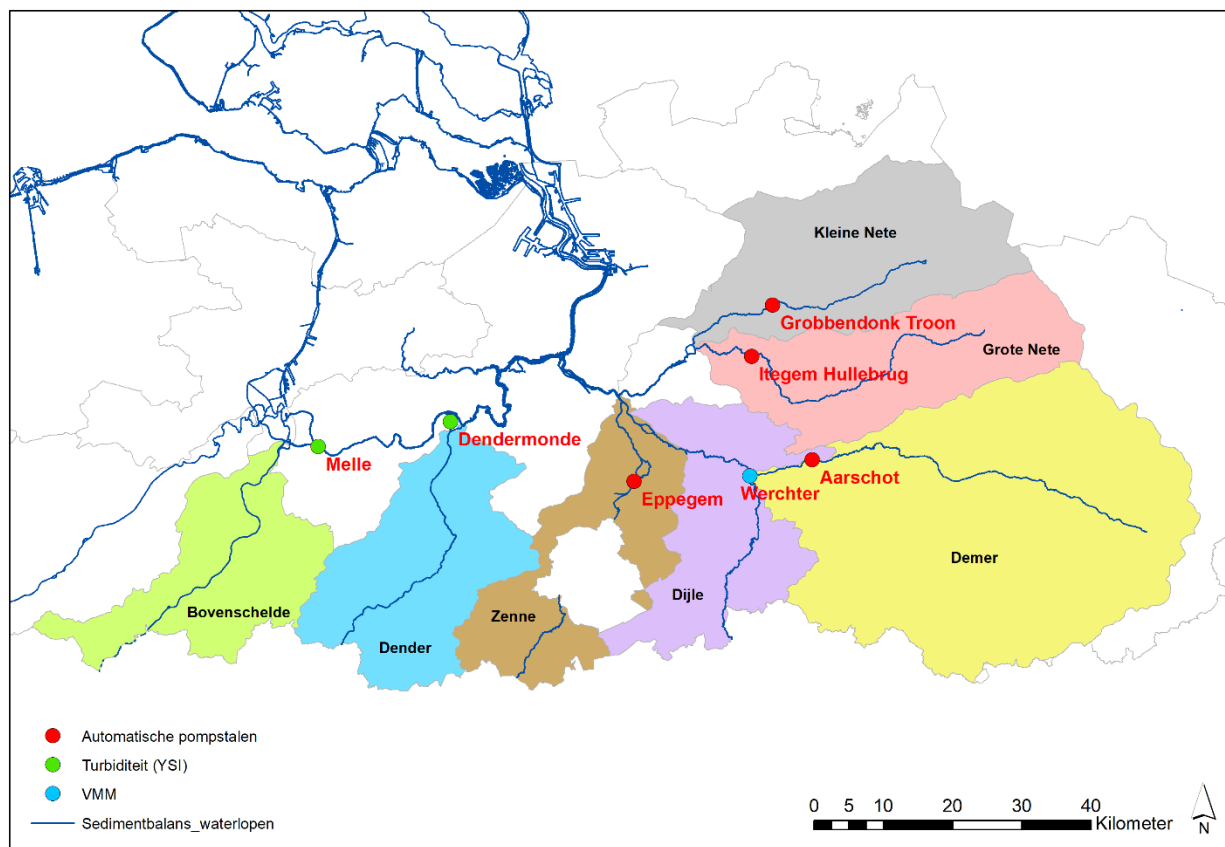
Grobbendonk zijn ook APS gegevens pré 2012 beschikbaar en wordt de periode 2001-2011 bijkomend doorgerekend. Daarnaast wordt een vergelijking gemaakt met de sedimentaanvoer berekend volgens de minder accurate schepstaalmethodiek.

2 Methodes

2.1 Meetlocaties

De sedimentaanvoer richting Schelde estuarium wordt berekend op 7 locaties langs de rivieren van het estuarium. Twee locaties (Melle aan de opwaartse rand van de boven-Zeeschelde en Appels op de Dender) worden beïnvloed door getijdenwerking. Bij de overige locaties hebben we te maken met unidirectionele stroming. Alle locaties zijn in beheer van WL-HIC, enkel de locatie Werchter langs de Dijle wordt beheerd door VMM. Voor een overzicht wordt verwezen naar Figuur 1 en Tabel 1.

Voor de berekening van de sedimentflux/sedimentaanvoer wordt gebruikt gemaakt van het zwevende stof gehalte (pompstaal of turbiditeitsmeting) en het debiet (zie ook §2.2.2). Voor alle locaties wordt de meting van beide parameters uitgevoerd op dezelfde locatie. Enkel voor de locaties Werchter (Dijle) en Itegem-Hullebrug (Grote Nete) is dit niet het geval aangezien er geen debietsmeting wordt uitgevoerd. Om de sedimentflux te berekenen wordt daarom voor deze locaties gebruik gemaakt van de respectievelijke debietmeetlocaties Haacht en Hulshout.



Figuur 1 – Overzichtskartaal van de locaties waar sedimentaanvoer wordt berekend op basis van automatische pompstalen (rood) en turbiditeit (groen). De sedimentaanvoer voor de Dijle (onbevaarbaar) wordt berekend door VMM.

Tabel 1 – Overzicht meetlocaties

Locatie	Waterloop	Stroming	Beheer
Melle	Zeeschelde	Getij	WL
Dendermonde	Dender	Getij	WL
Eppegem	Zenne	Unidirectioneel	WL
Werchter	Dijle	Unidirectioneel	VMM
Aarschot	Demer	Unidirectioneel	WL
Itegem-Hullebrug	Grote Nete	Unidirectioneel	WL
Grobbendonk-Troon	Kleine Nete	Unidirectioneel	WL

2.2 Nieuwe methodiek op basis van APS staalname en turbiditeitsmeting

2.2.1 Overzicht beschikbare data

De basisparameters voor de berekening van sedimentflux en sedimentaanvoer zijn het debiet (hoogfrequent), en de SSC data op basis van pompstalen (unidirectionele stroming) en turbiditeit (getijdenwerking). De periode waarover sedimentlading kan berekend worden is dus afhankelijk van de beschikbaarheid van deze meetgegevens. Om een nauwkeurige inschatting te bekomen van de totale sedimentaanvoer richting Schelde estuarium moeten bovenstaande gegevens beschikbaar zijn voor alle locaties. Een overzicht van de beschikbare brongegevens wordt gegeven in Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit en Bijlage 2 – Brondata debiet (hoogfrequent). Een overzicht van de start van de metingen per parameter wordt gegeven in onderstaande tabel (Tabel 2). Analyse van deze datasets toont aan dat vanaf 2012 de nodige data voorhanden zijn voor alle locaties. De focus van dit rapport ligt dan ook op sedimentaanvoer over de periode 2012-2020. De methodiek voor berekening van de sedimentaanvoer bij unidirectionele stroming en getijdenstroming wordt verder toegelicht in §2.2.2)

Tabel 2 – Overzicht start metingen per parameter

Station	SSC pomp	SSC turb	Debiet ³
Melle	nvt	16/02/2010	01/01/2012
Dendermonde	nvt	01/12/2011	01/01/2012
Eppegem	01/07/2010	nvt	02/08/2004
Werchter	Vanaf 2016 (VMM)	nvt	VMM
Aarschot	10/07/2000	nvt	16/05/2005
Itegem-Hul.	04/09/2014	nvt	01/01/2007 ⁴
Grobbendonk-Tr.	03/02/1999	nvt	02/01/2005

³ Begintijdstip van de hoogfrequentie debietsmetingen (5- of 15 minuutwaarden). De periode er vóór zijn er uurwaarden beschikbaar.

⁴ Voor de berekening van de sedimentaanvoer te Itegem-Hullebrug wordt het debiet van Hulshout gebruikt.

2.2.2 Berekening sedimentaanvoer

Unidirectionele stroming

Voor locaties met unidirectionele stroming wordt de sedimentaanvoer berekend op basis van de zwevende stof gehaltes van de 7/14-uurlijkse pompstalen (verzameld met de APS-toestellen) en de hoogfrequente debietgegevens (5 minuut, 15 minuut of uurwaardes). Elk debietmeetpunt krijgt een SSC waarde toegekend, afgeleid uit de 7/14-uurlijkse pompstaalreeks. Volgende regels worden hierbij gehanteerd:

1. Indien tijdstip debietmeetpunt samenvalt met tijdstip APS meting wordt de SSC waarde van de APS rechtstreeks toegekend aan debiet.
2. Als er geen gelijktijdig APS meetstaal is, maar wel een meetstaal binnen de 7 uur voor én na het tijdstip van debietmeting, dan gebruiken we een lineaire interpolatie tussen deze twee punten voor toekenning SSC waarde.
3. Als dit ook niet het geval is, dan wordt er gekeken of er voor of na het huidige punt een APS meetstaal dichterbij dan 14 uur ligt. De meest nabijgelegen van deze twee mogelijke punten wordt dan rechtstreeks gebruikt als de SSC waarde voor het huidige punt.
4. Indien er meer dan 2 opeenvolgende meetwaarden ontbreken, wordt de lineaire interpolatie onderbroken en wordt de SSC-waarde berekend op basis van de relatie tussen het daggemiddeld debiet en de gemeten SSC met APS. Deze alternatieve berekening op basis van Q-SSC wordt uitgevoerd in minder dan 15% van de gevallen (voor de periode 2012-2020). Enkel voor Itegem-Hullebrug ligt dit hoger (39%) aangezien er geen pompstaalgegevens beschikbaar zijn voor de jaren 2012, 2013 en een groot deel van 2014 (zie Figuur 25 in Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit)

De hierboven vernoemde Q-SSC relaties zijn constant aangenomen voor de volledige duur van de analyse, en zijn ook op de volledige dataset Q-SSC koppels gefit. Op die manier worden er voldoende data meegenomen voor het opstellen van een kwaliteitsvol Q-SSC verband. Hoewel de relatie kan veranderen in de tijd, is de kwaliteit van de data niet hoog genoeg om een variabele relatie te rechtvaardigen. Een overzicht van de Q-SSC verbanden is terug te vinden in Bijlage 3 – Q-SSC relaties.

Na het opbouwen van Q-SSC koppels op bovenstaande wijze worden de geïnterpoleerde SSC waarden op basis van APS, alsook de berekende SSC waarden op basis van Q (waar van toepassing) gecorrigeerd met de opgestelde EWI relaties (Brackx et al., 2019). Uiteindelijk worden de EWI gecorrigeerde SSC-waarden vermenigvuldigd met het hoogfrequente debiet. Op die manier wordt een sedimentfluxreeks bekomen met een temporele resolutie van 5 minuten (in sommige gevallen van 15 minuten of uurwaardes). Integratie in de tijd levert de finale sedimentaanvoer op.

Voor de doorrekening van de sedimentaanvoer periode pré-2012 (van toepassing voor Aarschot en Grobbendonk, zie §3.2), wordt gebruik gemaakt van de EWI relaties opgesteld voor die periode (Bijlage 5 – EWI relaties periode 2001-2011).

Getijdenwerking

Voor locaties met getijdenstroming wordt de sedimentaanvoer berekend op basis van de hoogfrequente turbiditeitsgegevens en het debiet. Op basis van de relatie tussen turbiditeit en SSC (APS) kunnen de turbiditeitsgegevens omgerekend worden naar SSC-waarden. Net zoals voor de Q-SSC verbanden wordt de gehele reeks als één homogene set gezien (zie Bijlage 4 – Turb-SSC relaties). Bij het ontbreken van turbiditeitsgegevens wordt gebruik gemaakt van de Q-SSC verbanden (Bijlage 3 – Q-SSC relaties) om een SSC-waarde te berekenen. Voor Melle wordt in 6% van de gevallen een Q-SSC verband gebruikt, voor Dendermonde is dit in 17% van de gevallen. De bekomen SSC-waarden worden vervolgens gecorrigeerd met de opgestelde EWI-relaties (Brackx et al., 2019), en vermenigvuldigd met het debiet om te komen tot een sedimentflux. Integratie in de tijd levert de sedimentaanvoer op.

2.2.3 Verwijderen van outliers

De dataset, zowel Q-SSC als Turb-SSC koppels, bevatten veel ruis. Om het effect van eventuele uitschieters te verminderen kan er gekozen worden voor verschillende methodieken om de invloed van deze afwijkende punten te dempen. Enerzijds kunnen ze verwijderd worden op basis van een criterium zoals Cook's distance of een zogenaamde "3 Sigma" regel. Echter, in de praktijk heeft dit niet de voorkeur omdat deze criteria essentieel arbitrair zijn. In plaats daarvan is er gekozen voor een Robuuste Lineaire Regressie op basis van een M-estimator. Deze methode geeft ieder koppel een gewicht, initieel 1, en weegt koppels met een hoger residu minder totdat de gewichten stabiliseren. Datakoppels die op deze manier worden geïdentificeerd als outlier zijn weergegeven in de figuren van Bijlage 3 – Q-SSC relaties en Bijlage 4 – Turb-SSC relaties.

2.3 Schepstaalmethodiek

Schepstalen werden initieel gebruikt om (in combinatie) met debiet een sedimentflux te berekenen. Hierbij werden verschillende verwerkingsmethodes gebruikt om te komen tot een sedimentflux en uiteindelijke sedimentaanvoer (bv. Claessens, 1993; Taverniers, 1995). De interpolatiemethode is hier één van en combineert sedimentfluxen rechtstreeks berekend uit de meetdata, en sedimentfluxen bepaald volgens de correlatie tussen daggemiddelde Q en SSC. Voor dagen waarop SSC metingen werden uitgevoerd, wordt de slibafvoer (flux) berekend door vermenigvuldiging van het daggemiddeld debiet met het (daggemiddelde) gemeten slibgehalte. Voor alle overige dagen wordt via de correlatie Q-SSC, een slibgehalte (per dag) berekend uit het daggemiddeld bovendebiet, en vervolgens worden beide vermenigvuldigd om de slibafvoer te bekomen. De gecombineerde reeks van dagelijkse slibafvoeren wordt dan nadien uitgemiddeld per maand. Tenslotte wordt de sedimentvracht (SSL) berekend door de maandgemiddelde flux te integreren (i.e. vermenigvuldiging met duur van de maand). Het is deze interpolatiemethode die tot en met het MONEOS jaarboek 2015 gebruikt werd om sedimentaanvoer te berekenen (Vanlierde et al., 2016).

In dit rapport wordt een vergelijking gemaakt tussen de berekende jaarwaarden sedimentaanvoer volgens de interpolatiemethode (schipstaalmethodiek), en de nieuwe methodiek op basis van APS en turbiditeitsmetingen (zie §3.3).

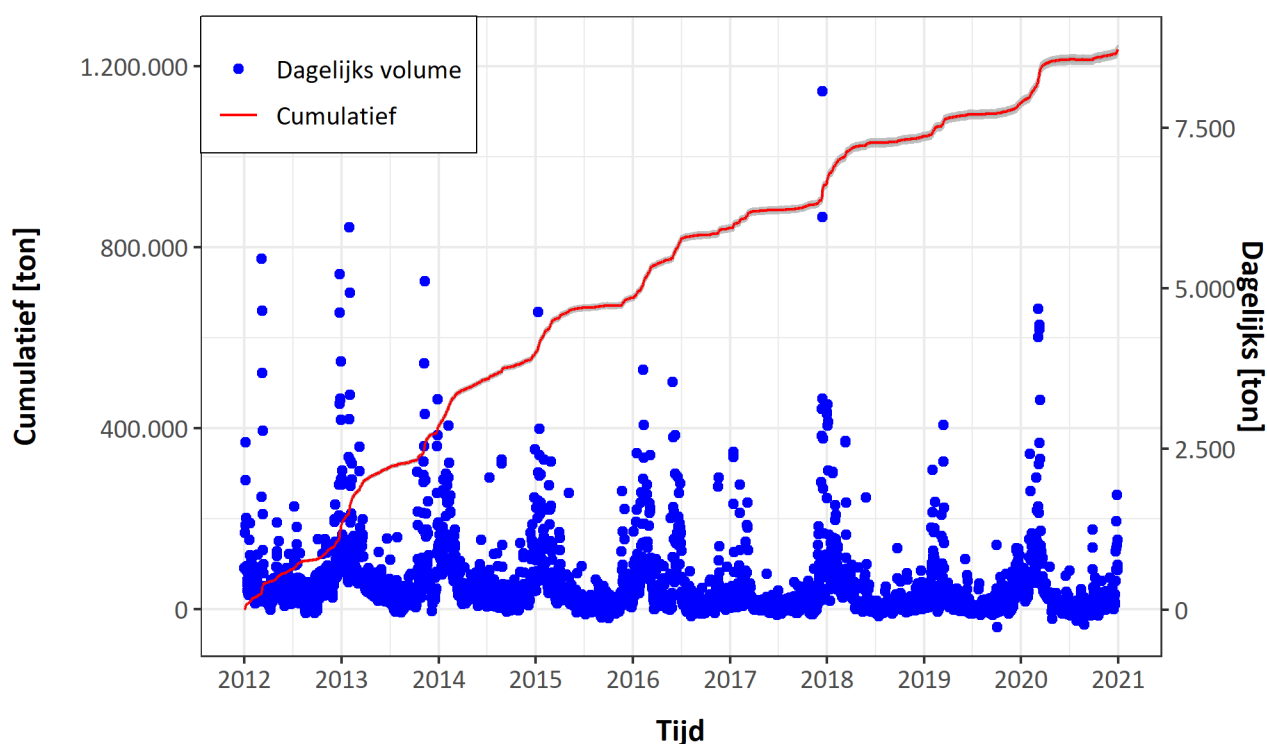
3 Resultaten

3.1 Sedimentaanvoer periode 2012-2020

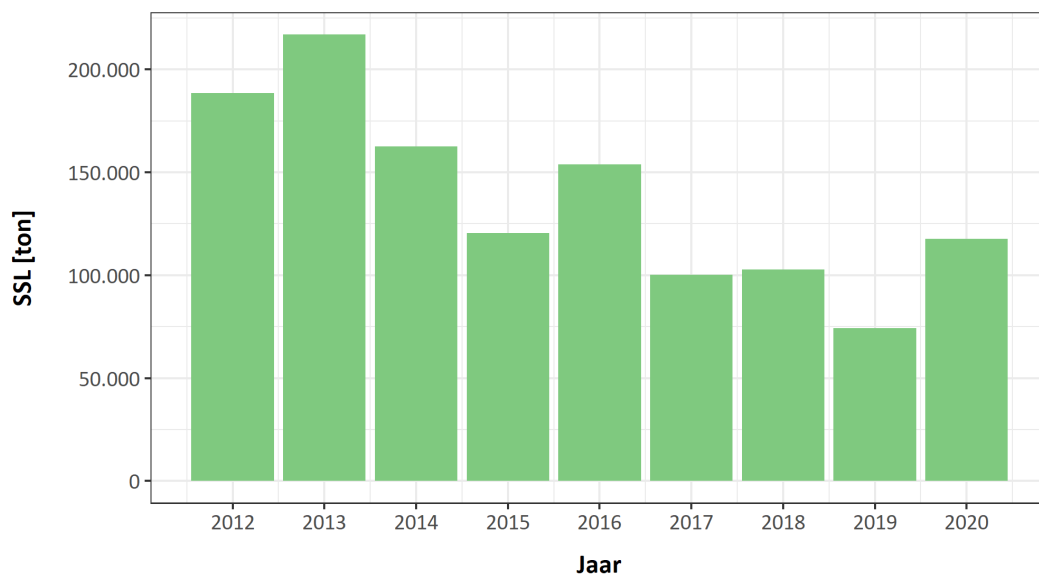
3.1.1 Melle (Bovenschede en Leie)

Ter hoogte van Melle (net als voor de andere meetlocaties) wordt de hoogste sedimentaanvoer berekend tijdens de winterperiode wanneer de debieten het hoogst zijn (Figuur 2). De jaarwaarden in sedimentaanvoer variëren over de periode 2012-2020 tussen de 74 317 en 216 862 ton (Figuur 3). De hoogste waarden worden bereikt voor de jaren 2012 en 2013. De daaropvolgende jaren worden gekenmerkt door een dalende trend, met de laagste jaarwaarde in 2019.

We geven nog mee dat de sedimenttoevoer ter hoogte van Melle (Boven-Zeeschelde) niet representatief is voor de volledige sedimentaanvoer vanuit het Bovenschede- en Leiebekken. Via de ringvaart te Gent wordt immers een deel van het water van Bovenschede en Leie afgevoerd richting Boven-Zeeschelde. Het overige deel wordt afgevoerd via het Kanaal Gent-Terneuzen en het Kanaal Gent-Oostende.



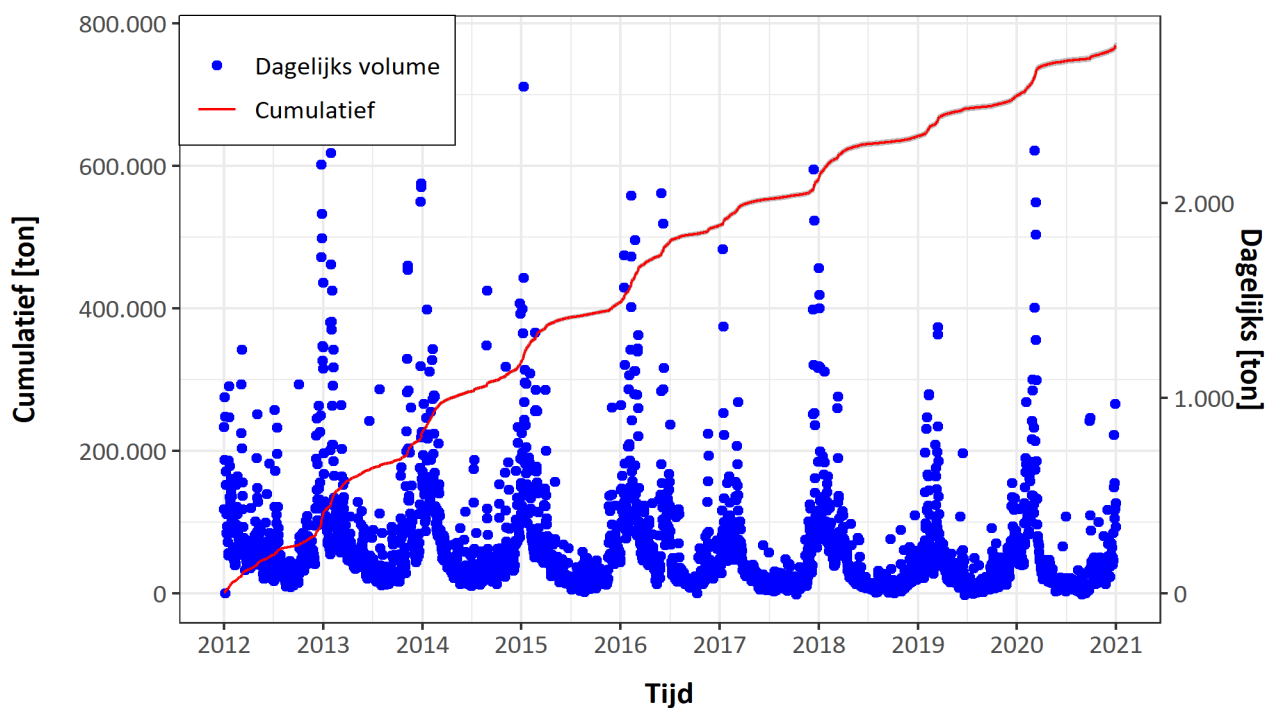
Figuur 2 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer ter hoogte van Melle voor de periode 2012-2020.



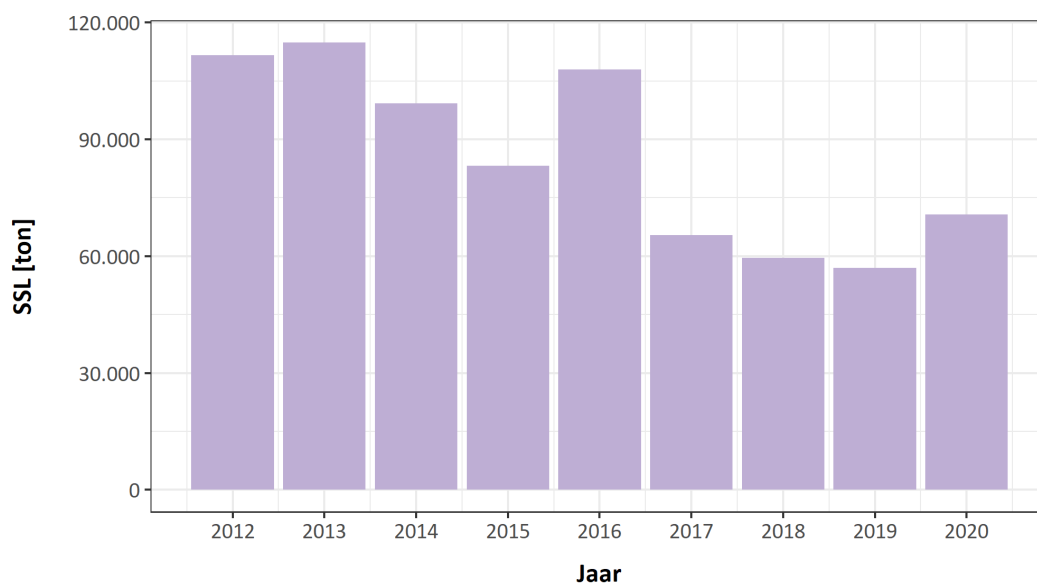
Figuur 3 – Jaarlijkse sedimentaanvoer ter hoogte van Melle voor de periode 2012-2020.

3.1.2 Dendermonde (Dender)

Voor de Dender varieert de jaarlijkse sedimentaanvoer tussen 57 028 en 114 812 ton over de periode 2012-2020 (Figuur 4 en Figuur 5). Net als voor Melle zijn de jaarwaarden het hoogst voor de jaren 2012 en 2013. Vanaf 2017 zijn de jaarwaarden beduidend lager (57 028 – 70 660 ton) in vergelijking met de periode 2012-2016. De laagste jaarwaarde wordt berekend voor het jaar 2019.



Figuur 4 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Dendermonde voor de periode 2012-2020.



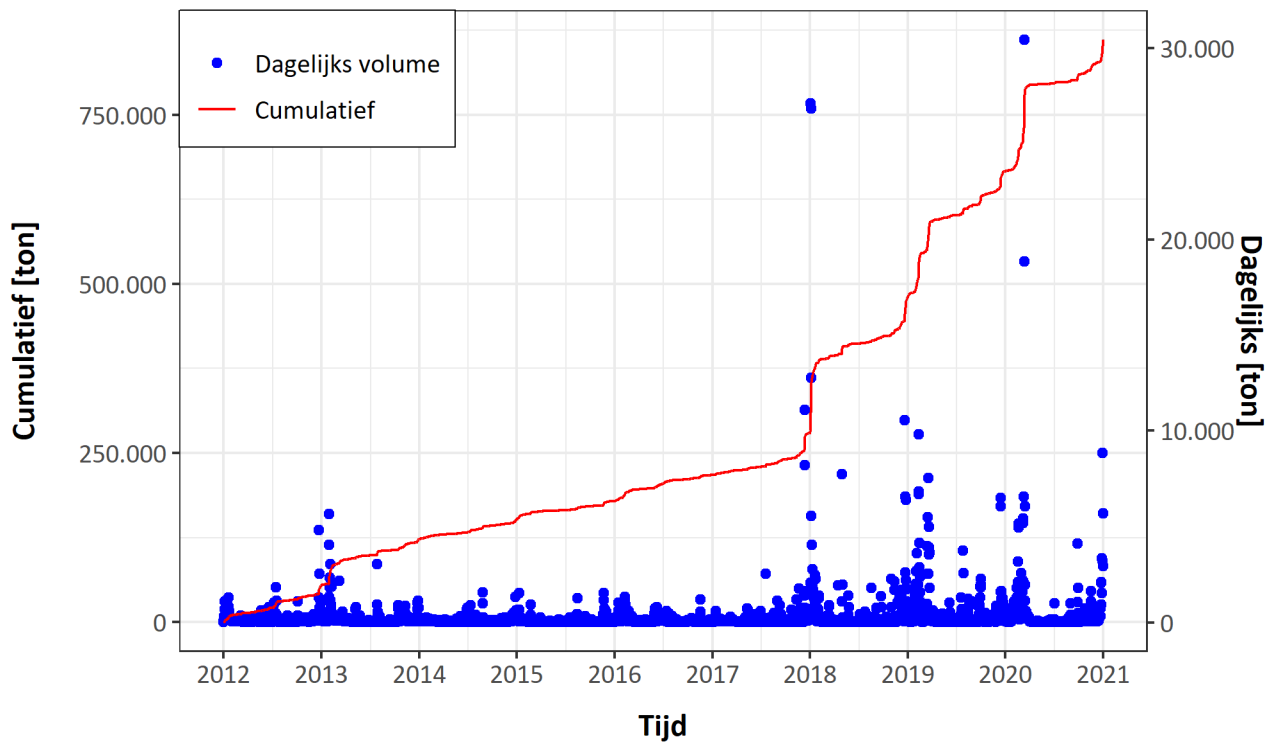
Figuur 5 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Dendermonde voor de periode 2012-2020.

3.1.3 Eppegem (Zenne)

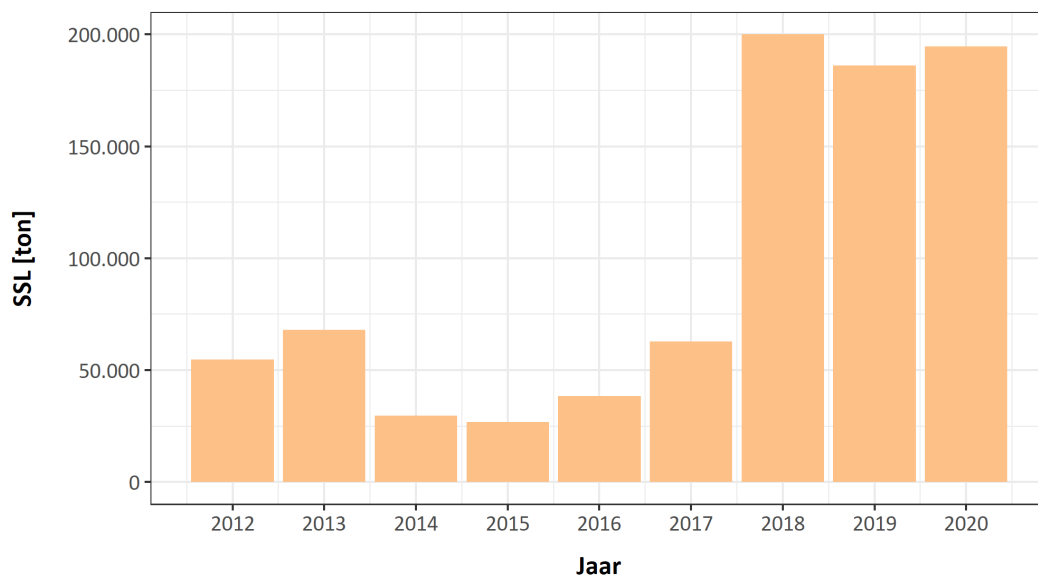
De sedimentaanvoer ter hoogte van Eppegem (Zenne) is duidelijk verschillend ten opzichte van de locaties Melle en Dendermonde. De jaarlijkse sedimentaanvoer varieert er tussen de 26 805 en 199 972 ton, waarbij de hoogste waarden voorkomen in de jaren 2018, 2019 en 2020. De hoge jaarwaarden zijn een gevolg van de hoge dagwaarden in sedimentaanvoer gedurende de winterperiodes (Figuur 6). De hoge dagwaarden zijn echter niet toe te schrijven aan de uitzonderlijk hoge debieten (Bijlage 2 – Brondata debiet (hoogfrequent)), maar aan de hoge sedimentconcentraties (Figuur 23, zie Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit).

Meerdere oorzaken kunnen naar voor worden gebracht voor de beduidend hogere sedimentconcentraties in de periode 2018-2020. Mogelijks is de positie van de APS inlaat gewijzigd in het dwarstransect. Dit valt echter te betwijfelen aangezien recent uitgevoerd EWI-campagnes (2020 en 2021) geen significante afwijking tonen ten opzichte van de EWI-relatie afgeleid in Brackx et al. (2019)⁵. Daarnaast komen dergelijke sedimentconcentraties ook voor in de winter van 2011 (jaar 2011 niet doorgerekend).

⁵ Deze relatie is opgesteld op basis van EWI-campagnes uitgevoerd over de periode 2012-2017.



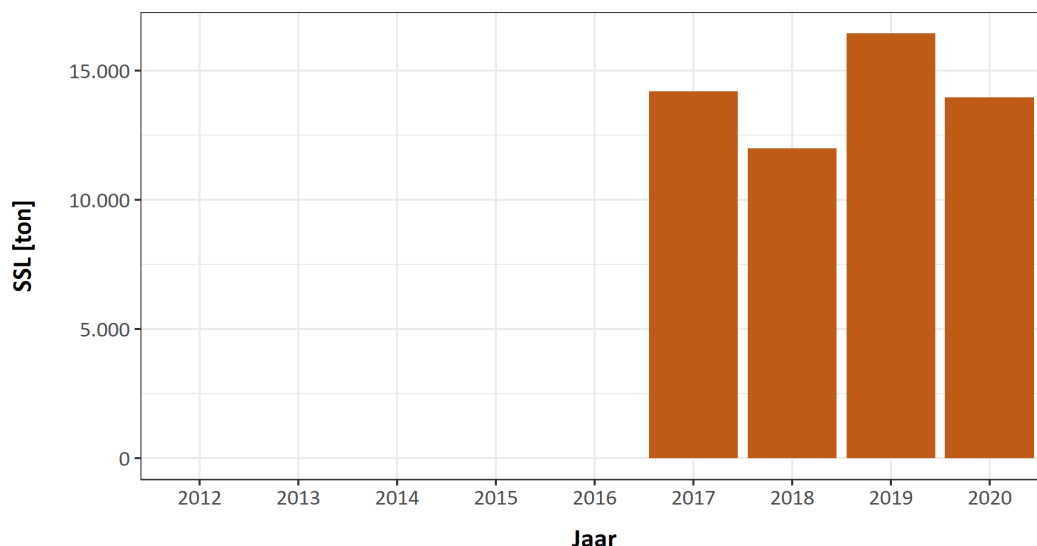
Figuur 6 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Epepegem voor de periode 2012-2020.



Figuur 7 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Epepegem voor de periode 2012-2020.

3.1.4 Werchter (Dijle)

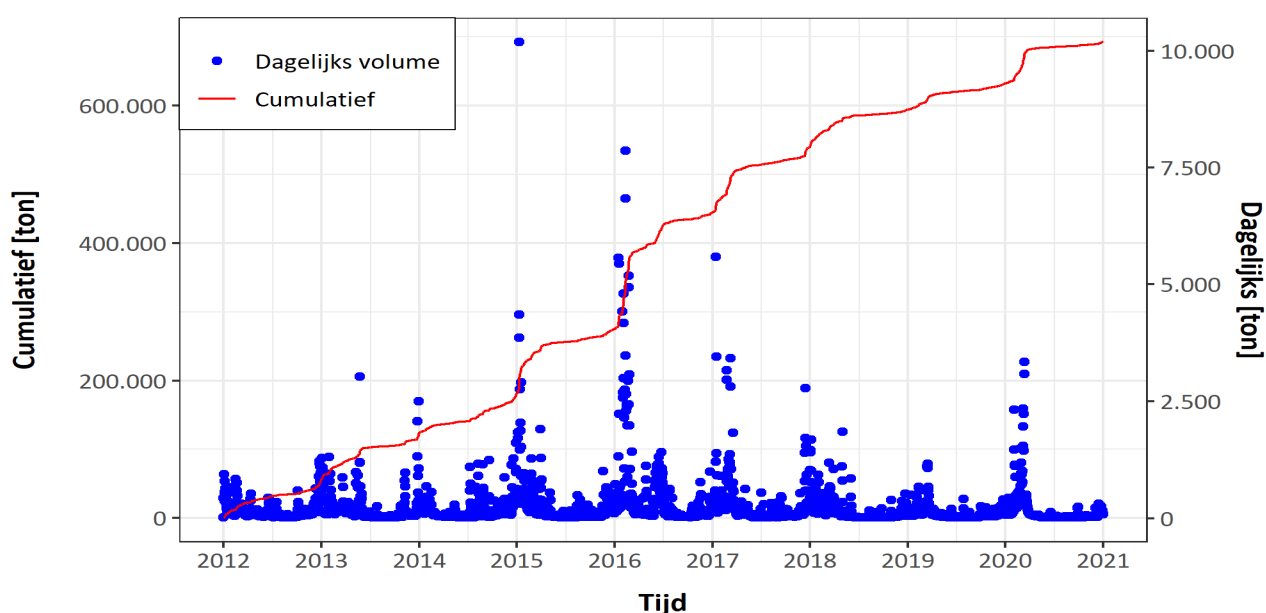
De sedimentaanvoer vanuit de Dijle wordt door de VMM berekend (niet-bevaarbaar). Sinds 2016 neemt VMM pompstalen ter hoogte van Werchter. Gebruik makende van het stroomopwaarts gemeten debiet te Wilsele en 2 uitgevoerde EWI campagnes wordt de sedimentaanvoer berekend. Over de periode 2017-2020 varieert de jaarlijkse sedimentaanvoer tussen 11 986 en 16 439 ton, met de hoogste waarde in het jaar 2019, en de laagste waarde in het jaar 2018 (Figuur 8).



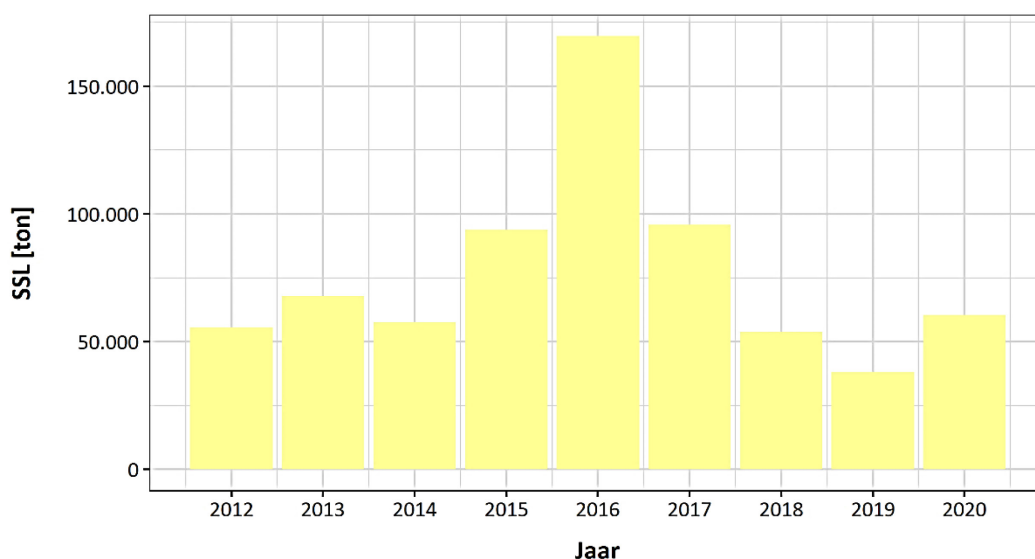
Figuur 8 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Werchter voor de periode 2017-2020.

3.1.5 Aarschot (Demer)

De Demer kent in de winter van 2016 een duidelijke verhoogde sedimentaanvoer (Figuur 9). Dit resulteert in een hoge jaarwaarde van 169 560 ton voor het jaar 2016 (Figuur 9). Over de periode 2012-2020 varieert de jaarlijkse sedimentaanvoer tussen de 38 218 en 169 560 ton. De laagste waarde wordt berekend voor het jaar 2019.



Figuur 9 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2012-2020.

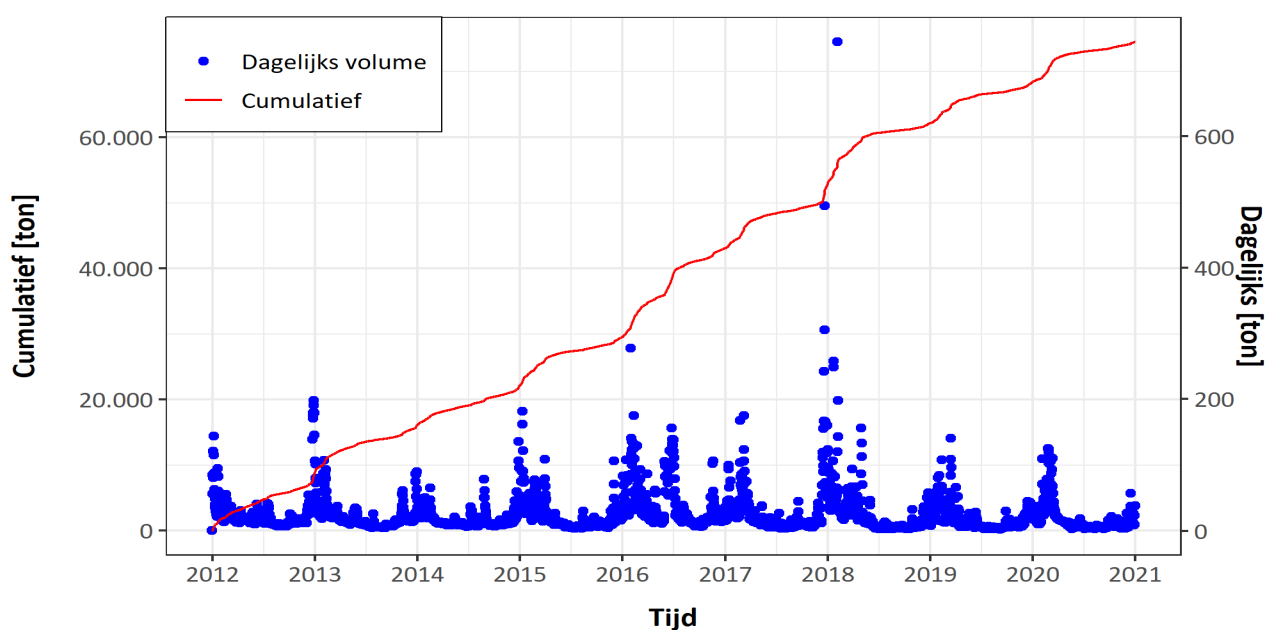


Figuur 10 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2012-2020.

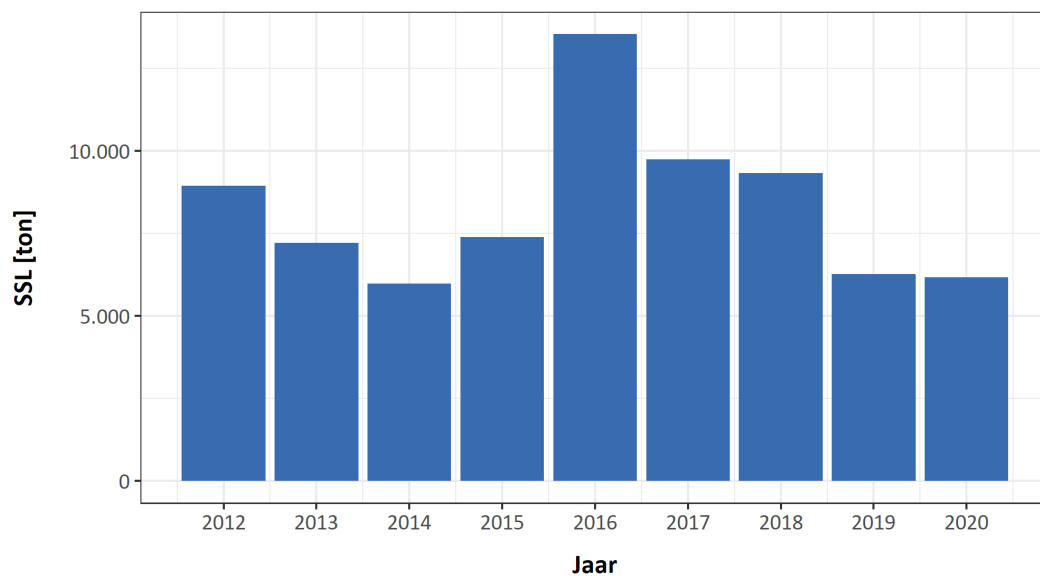
3.1.6 Itegem-Hullebrug (Grote Nete)

Net als voor de Demer kent de Grote Nete in het jaar 2016 de hoogste sedimentaanvoer (13 537 ton, zie Figuur 12). De grootte-orde in sedimentaanvoer is voor de Grote Nete echter beduidend lager dan voor de Demer (cf. Figuur 12 en Figuur 10). Over de periode 2012-2020 varieert de sedimentaanvoer ter hoogte van Itegem-Hullebrug tussen de 5 983 en 13 537 ton. De laagste waarden worden berekend voor de jaren 2014, 2019 en 2020.

Voor Itegem-Hullebrug zijn de pompstaalgegevens slechts beschikbaar vanaf september 2014 (Figuur 25 in Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit, en Tabel 2). De doorrekening van de sedimentaanvoer te Itegem over de periode 2012-september 2014 is dus enkel gebaseerd op de relatie Q-SSC (zie Figuur 38 in Bijlage 3 – Q-SSC relaties).



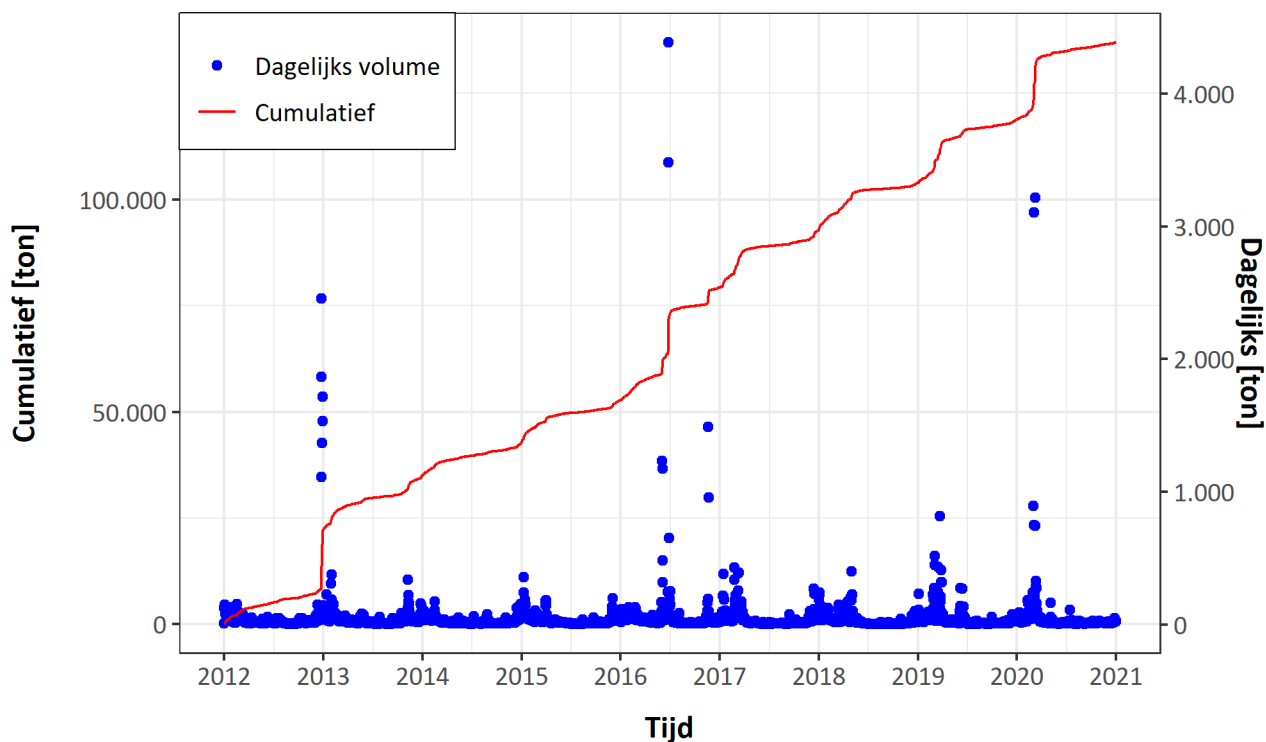
Figuur 11 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Itegem-Hullebrug voor de periode 2012-2020.



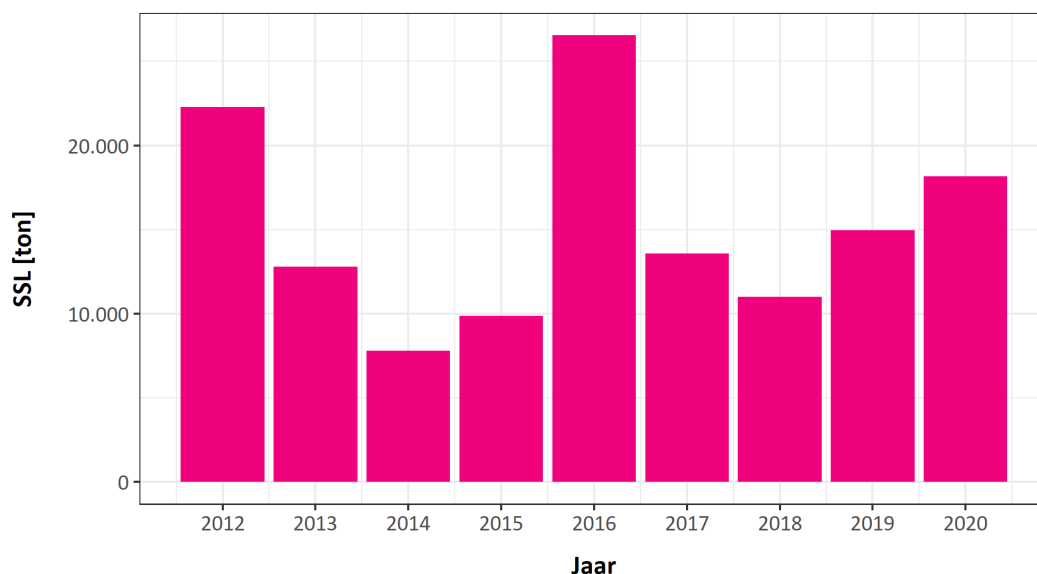
Figuur 12 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Itegem-Hullebrug voor de periode 2012-2020.

3.1.7 Grobbendonk-Troon (Kleine Nete)

De jaren 2012 en 2016 worden ter hoogte van Grobbendonk-Troon gekenmerkt door hoge dagwaarden (Figuur 13). Dit resulteert in hoge jaarwaarden van respectievelijk 22 291 en 26 539 ton (Figuur 14). De jaarlijkse sedimentaanvoer varieert in de periode 2012-2020 tussen de 7 812 en 26 539 ton, met de laagste waarde voor het jaar 2014.



Figuur 13 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2012-2020.



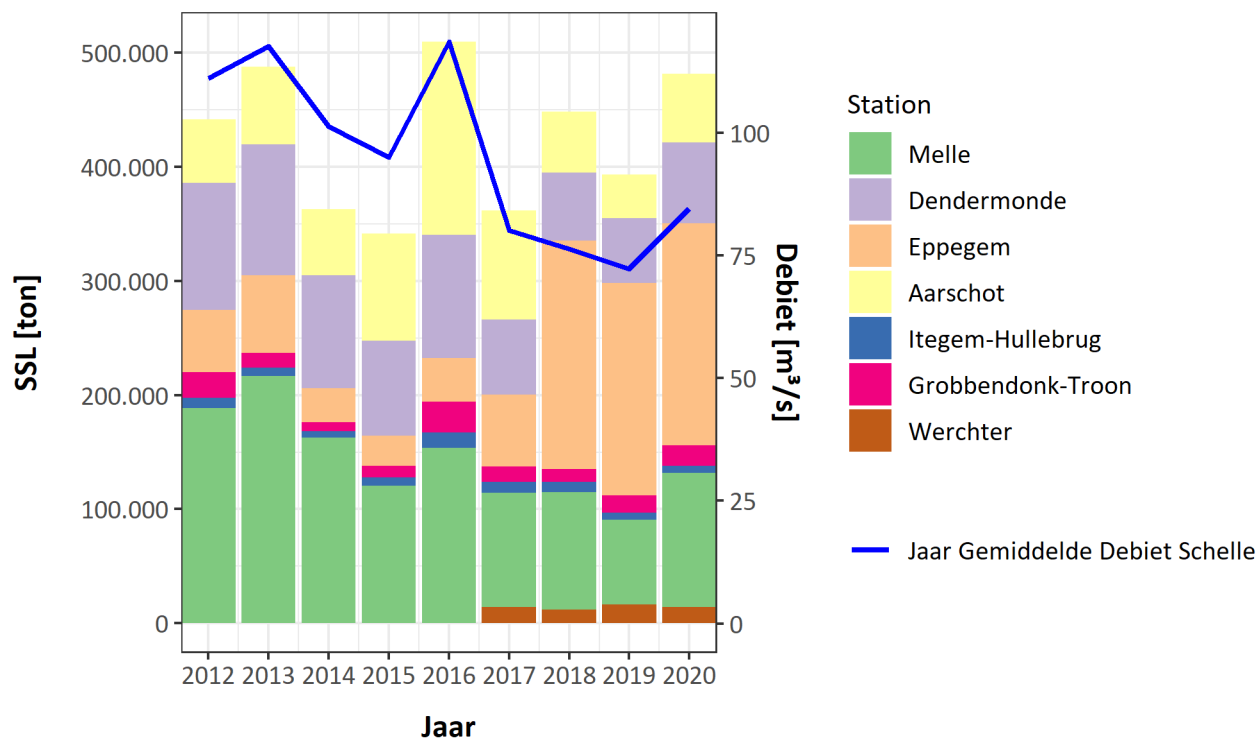
Figuur 14 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer ter hoogte van Grobbendonk-Troon (geldig vanaf 2000).

3.1.8 Totale sedimentaanvoer richting Schelde estuarium

De totale jaarlijkse sedimentaanvoer richting Schelde estuarium varieert in de periode 2012-2020 tussen de 341 618 en 509 832 ton (Figuur 15 en Tabel 3). Over de periode 2012-2016 is het aandeel sedimentaanvoer het hoogste vanuit het Bovenschelde-Leiebekken (Melle), en het Dender- en Demerbekken. Vanaf 2017 wordt de sedimentaanvoer vanuit het Zennebekken belangrijker, met in de periode 2018-2020 hoge aanvoerwaarden. In tegenstelling tot de Zenne, is de sedimentaanvoer vanuit Bovenschelde-Leie, Dender en Demer lager vanaf 2017. Over het algemeen is bijdrage in sedimentaanvoer vanuit het Dijle- en Netebekken laag.

Beschouwen we naast de totale jaarlijkse sedimentaanvoer het jaargemiddeld debiet ter hoogte van Schelle, dan valt op dat hoge jaargemiddelde debieten geassocieerd zijn met hoge sedimentaanvoer (Figuur 15). Voor de lagere debieten is het beeld minder éénduidig. Zo worden de jaren 2018, 2019 en 2020 gekenmerkt door lage debieten, maar blijft de sedimentaanvoer hoog. Dit heeft grotendeels te maken met de sterk verhoogde sedimentaanvoer vanuit de Zenne.

We geven hier nog mee dat de berekende sedimentaanvoer ter hoogte van de meetstations niet noodzakelijkerwijs representatief is voor de aanvoer vanuit het volledige rivierbekken. Voor Melle is dit niet het geval omdat het aangevoerde water vanuit Bovenschelde en Leie ter hoogte van Gent slechts voor een deel richting Boven-Zeeschelde gaat (zie ook §3.1.1). Maar ook de positie van het meetstation in het rivierbekken speelt een rol. Grobbendonk (Kleine Nete) bijvoorbeeld ligt een eind opwaarts van de monding met de Nete, en bijgevolg is de sedimentaanvoer te Grobbendonk lager dan de sedimentaanvoer ter hoogte van de monding. Het doel van dit rapport is echter een inschatting te geven van de sedimentaanvoer richting *Schelde estuarium*. De meetstations waarvoor de sedimentaanvoer wordt berekend vallen min of meer samen met de randen van het tijgebied. De berekende sedimentaanvoer ter hoogte van de meetstations kan dan ook beschouwd worden als representatief voor de aanvoer richting Schelde estuarium, en verdere correcties op deze waarden (bijvoorbeeld toepassen schaalvergrotingen) worden dan ook niet doorgevoerd.



Figuur 15 – Barplot totale sedimentaanvoer per jaar richting Schelde estuarium, opgesplitst per locatie. Jaarwaarden voor de Dijle pas beschikbaar vanaf 2017.

Tabel 3 – Overzicht waarden sedimentaanvoer [ton] per jaar en per station.

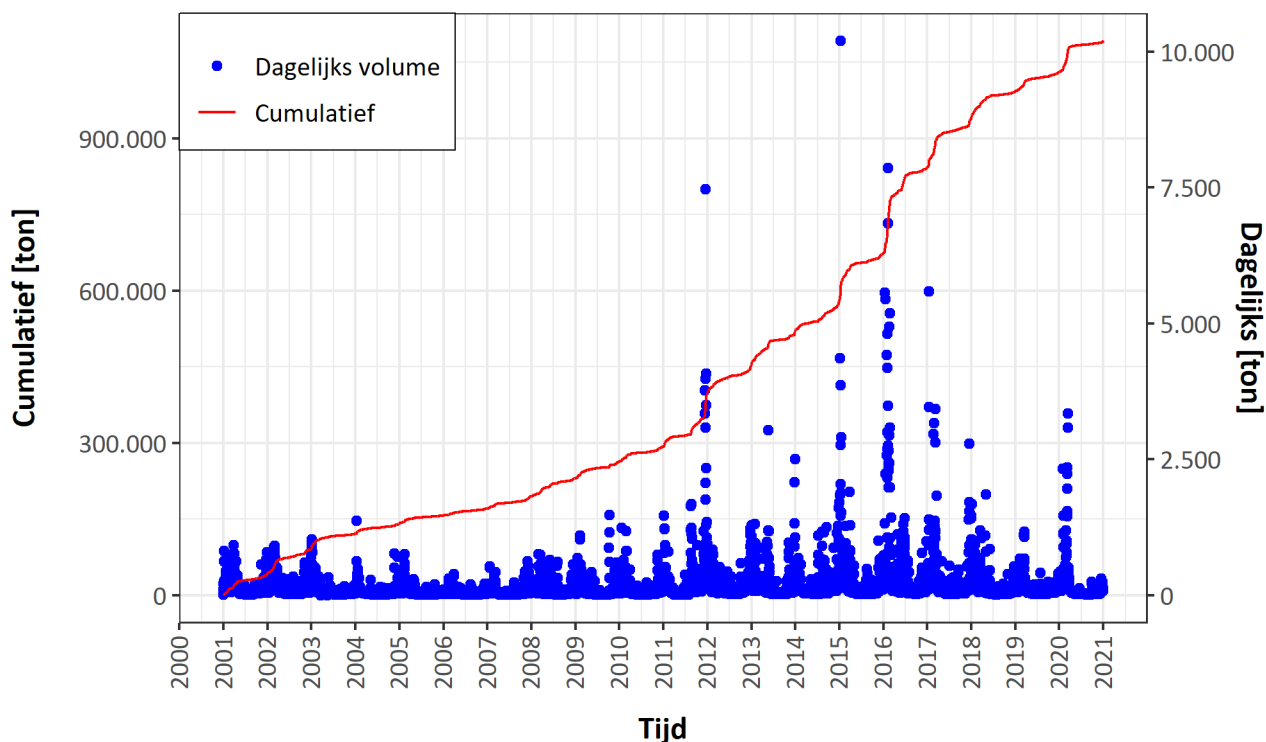
Jaar	Melle	Denderm.	Eppegem	Werchter	Aarschot	Itegem-Hul.	Grob.-Tr.	Totaal
2012	188 556	111 606	54 646	-	55 731	8 951	22 291	441 781
2013	216 862	114 812	68 119	-	67 926	7 220	12 788	487 728
2014	162 543	99 206	29 598	-	57 663	5 983	7 812	362 805
2015	120 461	83 218	26 805	-	93 862	7 385	9 885	341 618
2016	153 882	107 976	38 338	-	169 560	13 537	26 539	509 832
2017	100 063	65 474	62 898	14 202	95 812	9 739	13 583	361 771
2018	102 779	59 598	199 972	11 986	53 777	9 322	11 015	448 450
2019	74 317	57 028	186 117	16 439	38 218	6 277	14 950	393 346
2020	117 631	70 660	194 512	13 964	60 437	6 175	18 173	481 552

3.2 Sedimentaanvoer periode 2001-2011

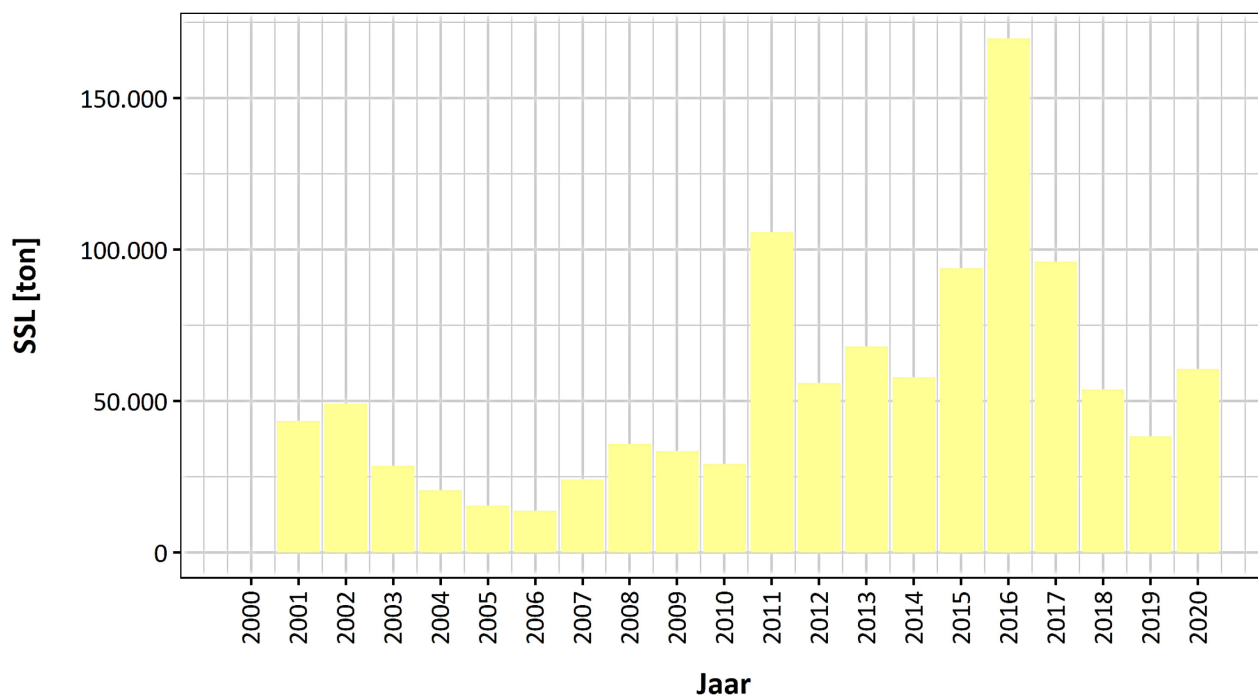
Voor de stations Aarschot en Grobbendonk-Troon zijn er doorlopend pompstaalgegevens beschikbaar vanaf respectievelijk 2001 en 1999. De sedimentaanvoer voor deze stations werd dan ook bijkomend doorgerekend vanaf 2001. Om de sedimentaanvoer voor de periode 2001-2011 zo juist mogelijk in te schatten werd gebruik gemaakt van de EWI metingen die respectievelijk werden uitgevoerd in 2005-2010 en 2005-2008 (zie Figuur 43 en Figuur 44 in Bijlage 5 – EWI relaties periode 2001-2011). Op die manier wordt zo veel mogelijk rekening gehouden met een mogelijke lange termijn wijziging van de positie van de APS inlaat in het dwarsstransect.

3.2.1 Aarschot (Demer)

Beschouwen we de volledige periode 2001-2020 dan zijn de sedimentconcentraties in Aarschot vanaf 2011 duidelijk hoger (zie Figuur 24 in Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit). Dit resulteert voor de sedimentaanvoer in hogere dagwaarden (Figuur 16) en hogere jaarwaarden (Figuur 17). In de periode 2001-2010 zijn de jaarwaarden lager en komen deze niet boven de 50 000 ton, met een minimum van 13 594 ton in 2006. Mogelijks is de kwaliteit van de EWI relatie onvoldoende (geen data in de range 50-300 mg/l voor SSC APS, zie ook Figuur 43) om goed te corrigeren naar dwarssectiegemiddelde SSC-waarden, en is er een onderschatting van de sedimentaanvoer over de periode 2001-2010. Het valt echter niet uit te sluiten dat de sedimentconcentraties (en bijgevolg de sedimentaanvoer) in de Demer effectief hoger liggen vanaf 2011.



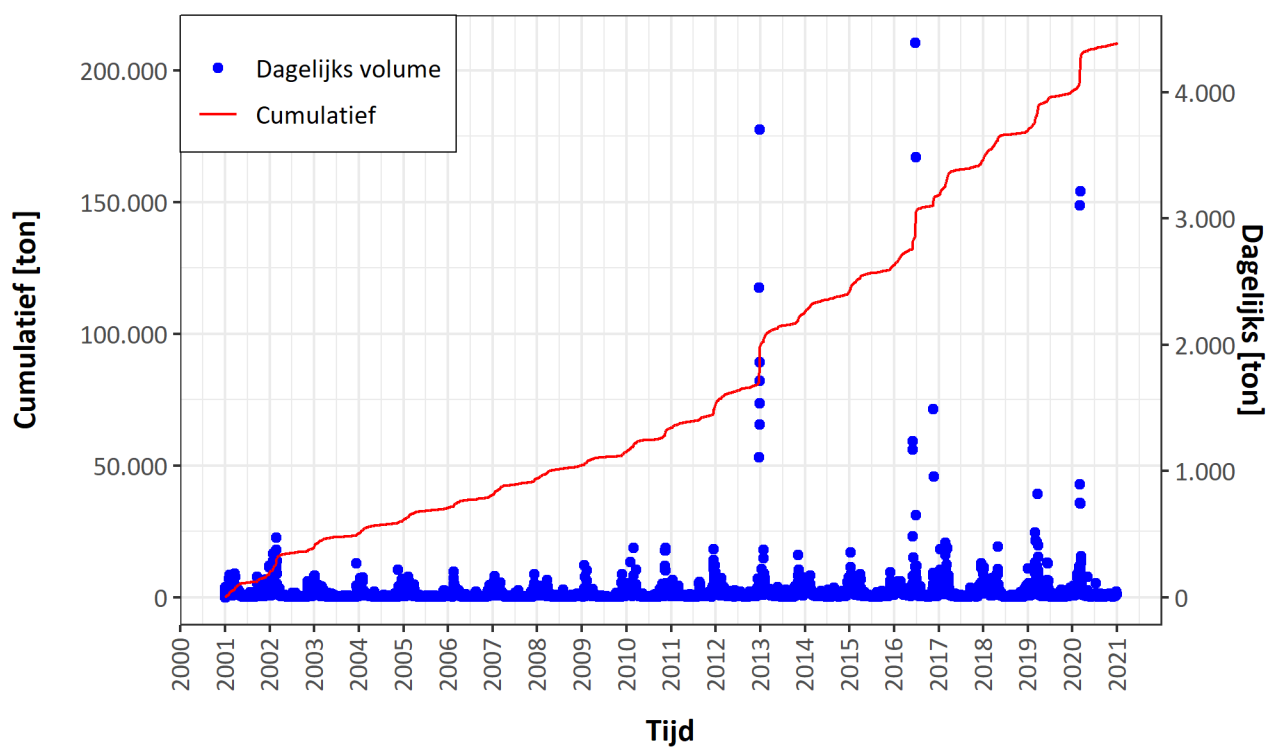
Figuur 16 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2001-2020.



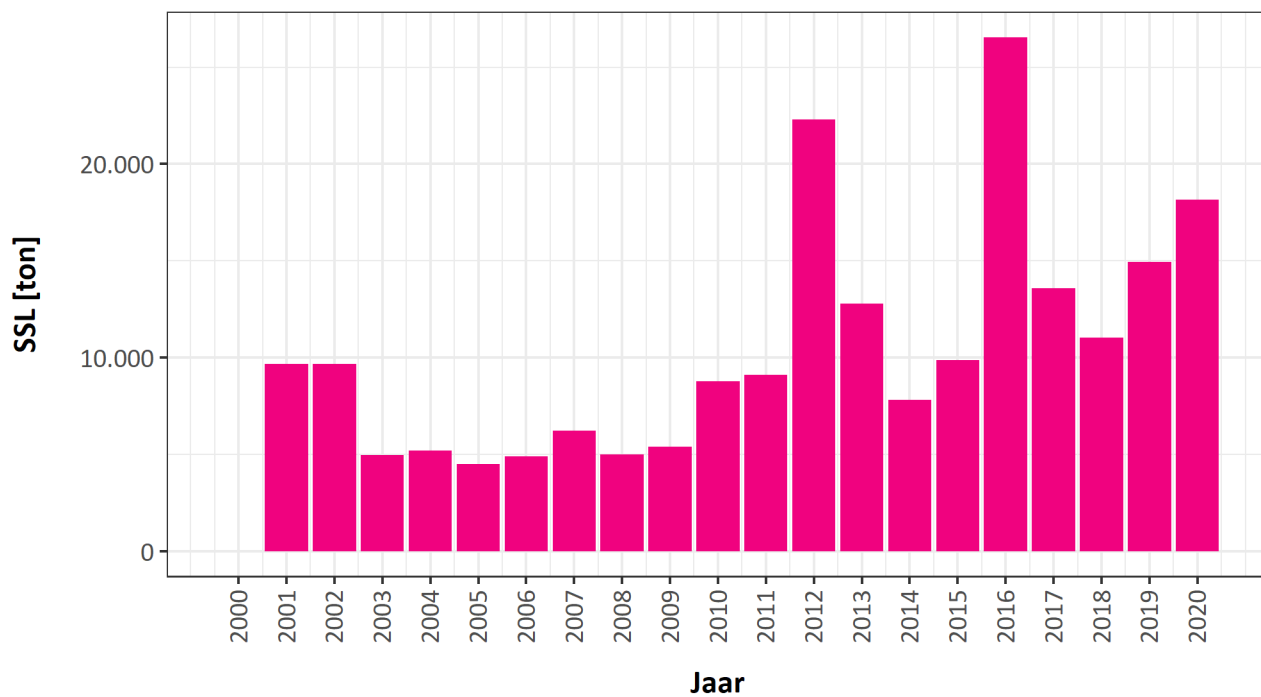
Figuur 17 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Aarschot voor de periode 2001-2020.

3.2.2 Grobbendonk-Troon (Kleine Nete)

Ook voor Grobbendonk is de sedimentaanvoer over het algemeen lager vóór 2012 (Figuur 18 en Figuur 19). De jaarlijkse sedimentaanvoer varieert in de periode 2001-2011 tussen 4 504 en 9 667 ton, en is het laagst in 2005. De hoogste waarden voor deze periode komen net als in Aarschot voor in de jaren 2001 en 2002. Ook hier ligt de sedimentaanvoer beduidend hoger vanaf 2012 (voor Aarschot is dit 2011), en ook hier kan de kwaliteit van de EWI relatie pré-2012 onvoldoende zijn. Toch is de EWI relatie voor Grobbendonk gebaseerd op een betere spreiding van de SSC APS data (Figuur 44). Belangrijk om te mee te geven is dat in Grobbendonk de meetplaats medio 2011 is uitgediept, en de inlaat van de APS hoger is geplaatst. De verwachting hierbij is dat de SSC waarden lager worden (wegens hogere positie in dwarstransect en dus verder verwijderd van bodem/oever). We nemen echter hogere sedimentaanvoerwaarden waar vanaf 2012. Voor de Kleine Nete valt dus ook niet uit te sluiten dat de sedimentconcentraties vanaf 2012 effectief hoger zijn geworden.



Figuur 18 – Dagelijkse en cumulatieve sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2001-2020.

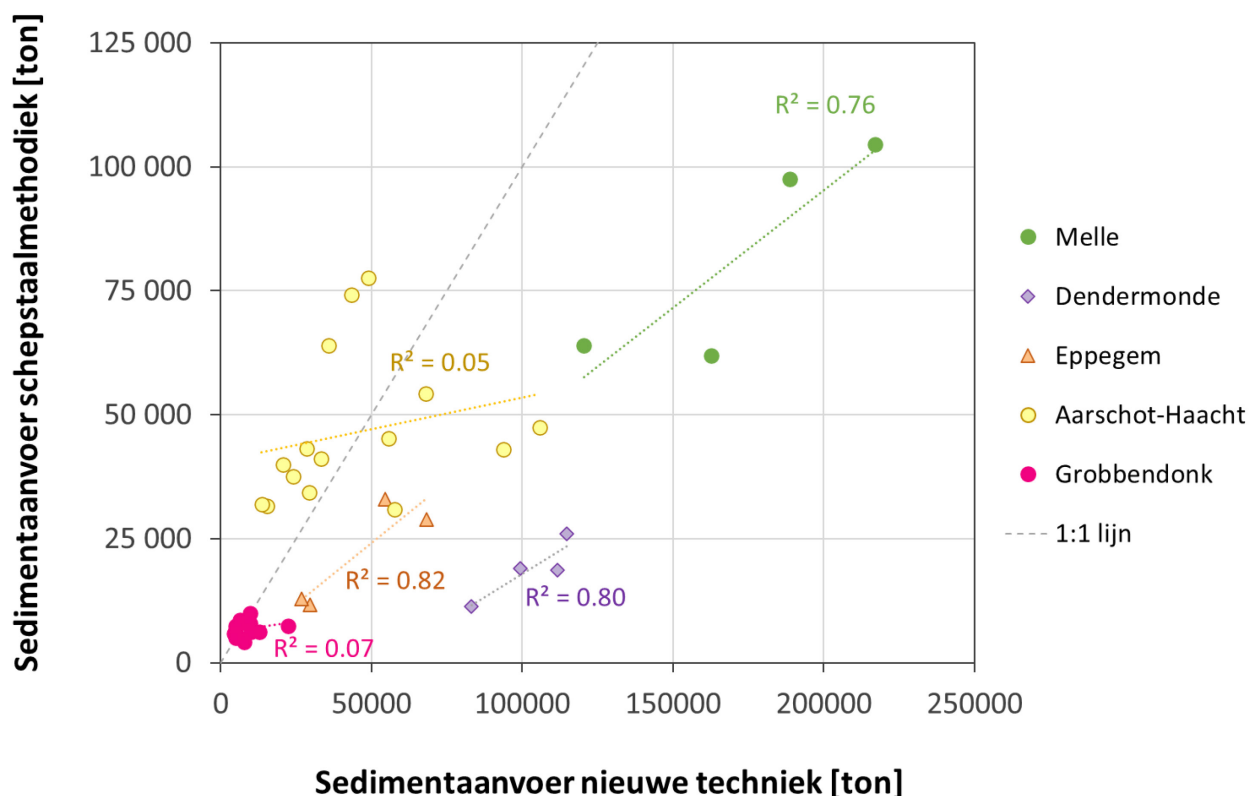


Figuur 19 – Jaarlijkse sedimentaanvoer te Grobbendonk-Troon voor de periode 2001-2020.

3.3 Vergelijking met de schepstaalmethodiek

De sedimentaanvoer op basis van de schepstaalmethodiek werd in het verleden doorgerekend tot en met 2015 (zie ook §2.3). Het tijdstip vanaf wanneer de nieuwe methodiek kan worden doorgerekend is zoals besproken afhankelijk van de databeschikbaarheid (zie §2.2.1 en Tabel 2). Dit starttijdstip is niet hetzelfde voor iedere locatie. In deze paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen de beschikbare jaarwaarden op basis van de schepstaalmethodiek, en deze op basis van de nieuwe methodiek. Aangezien het voor Aarschot en Grobbendonk mogelijk was om de nieuwe methodiek door te rekenen vanaf 2001, zijn voor deze locaties meer data beschikbaar. Voor de overige locaties is het aantal datakoppels beperkt tot vier. Voor Aarschot dient opgemerkt te worden dat de schepstaalmethodiek in feite werd doorgerekend naar Haacht.

Voor de locaties Melle, Dendermonde en Eppegem is er een sterke correlatie tussen de sedimentaanvoer op basis van de nieuwe techniek, en de sedimentaanvoer op basis van de schepstaalmethodiek (Figuur 20). De berekende sedimentaanvoer op basis van de nieuwe techniek is hierbij voor Melle en Eppegem ongeveer een factor 2 hoger, voor Dendermonde is dit een factor 5. Gezien het beperkt aantal data is geen van deze relaties echter significant. Voor Aarschot en Grobbendonk zijn er meer datakoppels beschikbaar, maar is er geen correlatie tussen de sedimentaanvoer volgens schepstaalmethodiek en deze volgens de nieuwe methodiek.



Figuur 20 – Correlatie tussen jaarlijkse sedimentaanvoer berekend volgens de schepstaalmethodiek en de nieuwe techniek.

4 Conclusies

De totale jaarlijkse sedimentaanvoer richting Schelde estuarium berekend volgens de nieuwe methodiek (APS staalnames en turbiditeitsmetingen) varieert in de periode 2012-2020 tussen de 341 618 en 509 832 ton (Figuur 15 en Tabel 3). De sedimentaanvoer is het grootst voor de jaren 2013 en 2016. Deze jaartallen worden eveneens gekenmerkt door een hogere jaarlijkse bovenafvoer. Lage sedimentaanvoer wordt echter niet noodzakelijkerwijs geassocieerd met lage bovenafvoer.

Beschouwen we de bijdrages vanuit de verschillende rivierlopen dan is het aandeel sedimentaanvoer voor de periode 2012-2016 het grootst vanuit het Bovenschelde-Leiebekken (Melle), en het Dender- en Demerbekken (Figuur 15). Vanaf 2017 wordt de sedimentaanvoer vanuit het Zennebekken echter belangrijker, met te Eppegem de hoogste bijdrage van alle meetlocaties voor de periode 2018-2020. In tegenstelling tot de Zenne, is de sedimentaanvoer vanuit Bovenschelde-Leie, Dender en Demer lager vanaf 2017. Over het algemeen is de bijdrage in sedimentaanvoer vanuit het Dijle- en Netebekken laag, en wordt voor alle meetlocaties de hoogste bijdrage aan jaarlijkse sedimentaanvoer gerealiseerd in de winter (langdurig hogere debieten).

Voor Aarschot (Demer) en Grobbendonk-Troon (Kleine Nete) kon de sedimentaanvoer reeds vanaf 2001 worden doorgerekend. Opvallend voor beide locaties is dat de sedimentaanvoer hoger wordt vanaf respectievelijk 2011 en 2012 (Figuur 17 en Figuur 19). Mogelijks is dit te wijten aan de onvoldoende kwaliteit van de opgestelde EWI relaties vóór 2012. Het valt echter niet uit te sluiten dat voor beide locaties de sedimentconcentraties vanaf 2011-2012 effectief hoger zijn geworden.

Een vergelijking van de jaarwaarden volgens de APS-turbiditeit methodiek en de (vroegere) schepstaalmethodiek toont voor de locaties Melle, Dendermonde en Eppegem een duidelijke correlatie in sedimentaanvoer. Voor Melle en Eppegem is de sedimentaanvoer volgens de APS-turbiditeit methodiek een factor 2 hoger, voor Dendermonde is dit een factor 5. Voor geen van de drie locaties is de opgestelde relatie echter significant wegens het te beperkt aantal datapunten. Voor Aarschot en Grobbendonk zijn er wel genoeg datapunten, maar is er geen correlatie tussen de sedimentaanvoerwaarden volgens beide methodieken.

De methodiek om sedimentaanvoer te berekenen (obv APS en turbiditeit) omvat een aantal aannames die onzekerheid met zich mee brengen. Het gaat hier onder meer over de onzekerheid op de Turb-SSC en Q-SSC relaties, de interpolatie van de APS stalen, meetonzekerheden, en de gekozen periode voor het opstellen van Q-SSC en Turb-SSC verbanden. Gebruik makende van een bootstrap analyse is het bijvoorbeeld mogelijk om de onzekerheid op de Turb-SSC en Q-SSC relaties te bepalen. De begroting van al deze onzekerheden valt echter buiten de scope van deze rapportage.

5 Referenties

Brackx, M.; Van de Moortel, I.; Vandenbruwaene, W.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Validatie fysische parameters: Verwerking EWI-campagnes periode 2012-2017. Versie 1.0. WL Rapporten, 12_076_15. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Claessens, J. (1993). Beneden-Zeeschelde: slibbalans 1992 Rapport. Antwerpse Zeediensten, AZ/93.3 Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Antwerpse Zeehavendienst: Antwerpen. 9 + figures, tables pp.

De Boeck, K.; Ferket, B.; Vanlierde, E.; Boeckx, L.; Mostaert, F. (2013). Methodologie Berekening Slibbalans Zeeschelde: Methodologie en implementatie in WISKI. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_061_2. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

Plancke, Y.; Van De Moortel, I.; Hertogs, R.; Vereecken, H.; Vos, G.; Verdoodt, N.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2017). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2016: Deelrapport 6 – Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2016. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Taverniers, E. (1995). Beneden-Zeeschelde: slibbalans 1994 Verslag AMS, 95.02 Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Afdeling Maritieme Schelde: Antwerpen. 10 + figures, tables pp.

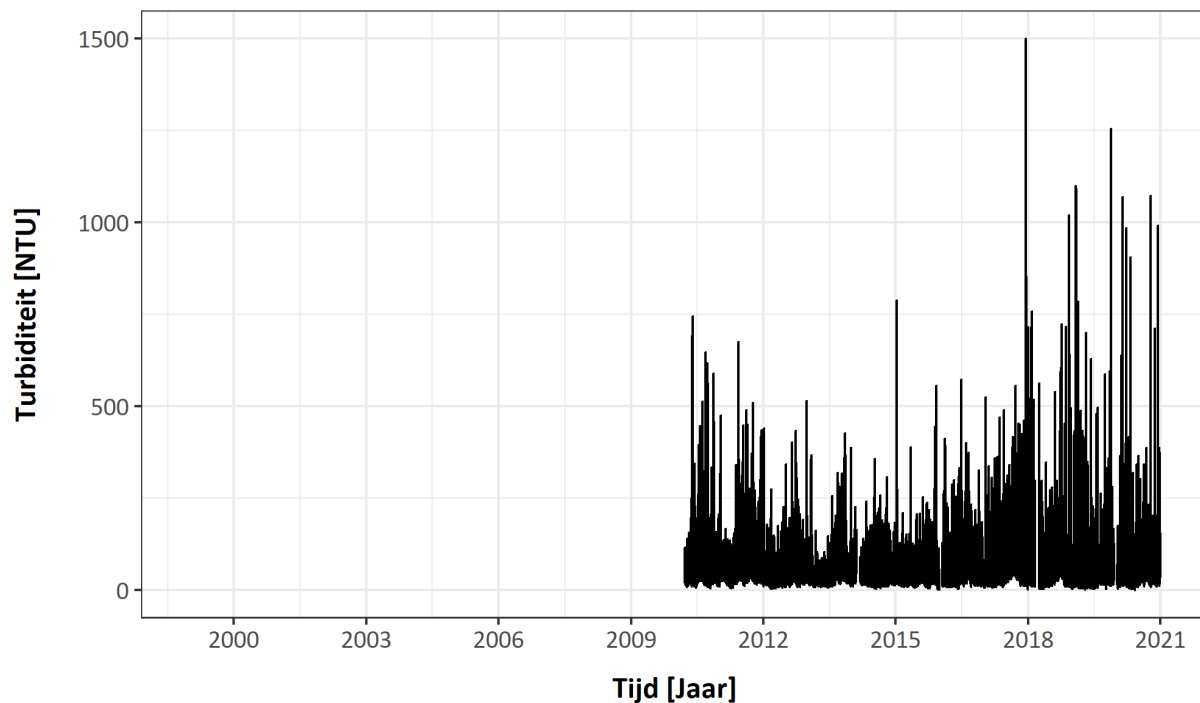
Van Hoestenbergh, T.; Ferket, B.; De Boeck, K.; Vanlierde, E.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Slibbalans Zeeschelde: Deelrapport 2 – Sediment load for the river Scheldt and its main tributaries (1972 – 2009). Versie 5.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group. Antwerpen, België.

Vanlierde, E.; Ferket, B.; Pauwaert, Z.; Michiels, S.; Van De Moortel, I.; Levy, Y.; Plancke, Y.; Meire, D.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2015: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2015. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_070. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

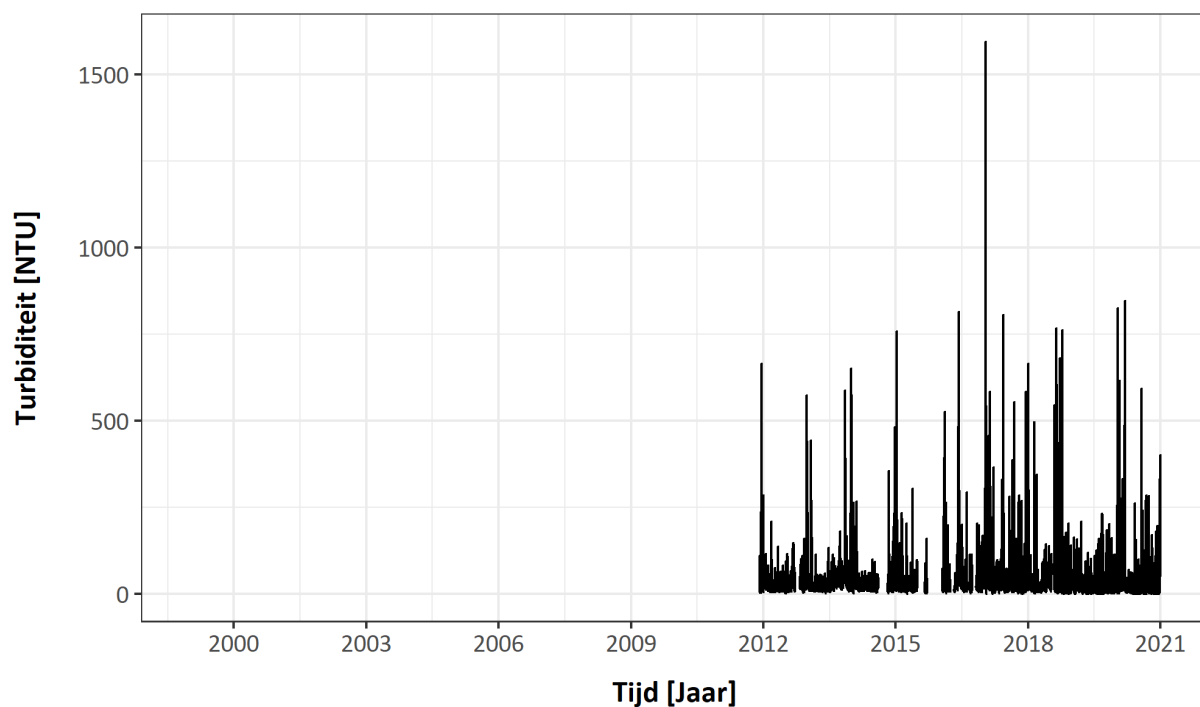
Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van de Moortel, I.; Brackx, M.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2018: Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2018. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vos, G.; Van de Moortel, I.; Meire, D.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2019). Validatie fysische parameters: Optimalisatie methodologie voor het bepalen van sedimentaanvoer naar het Schelde-estuarium. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_076_13. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

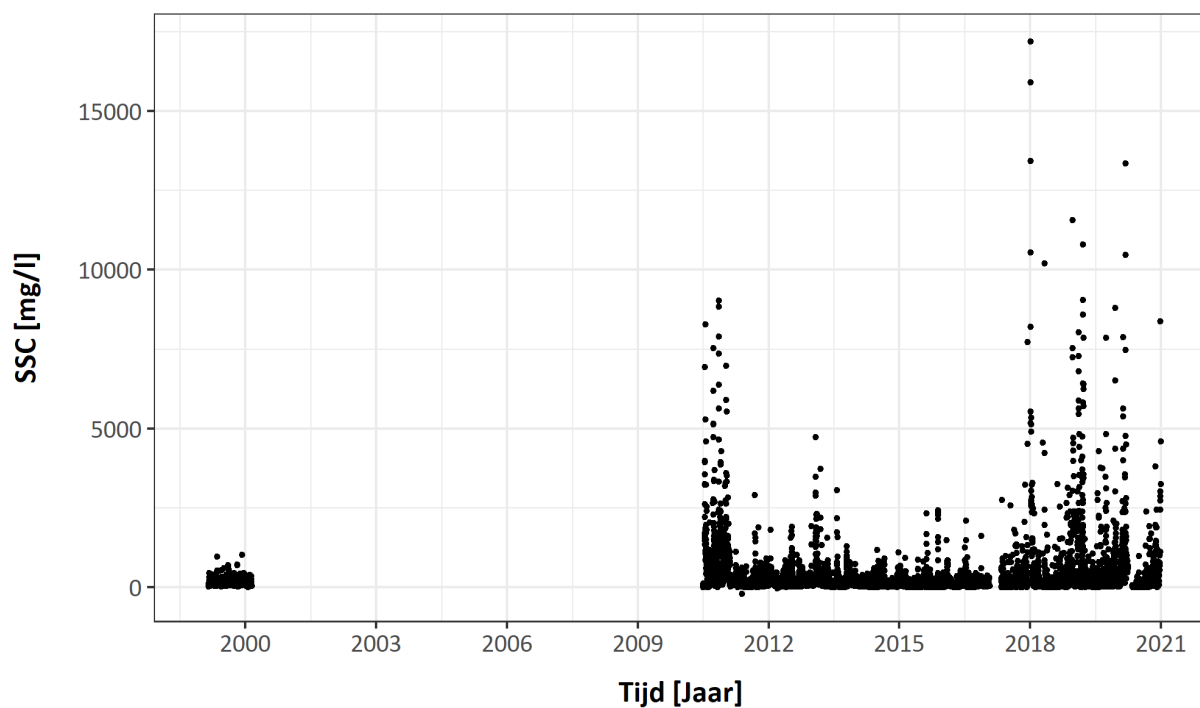
Bijlage 1 – Brondata pompstalen en turbiditeit



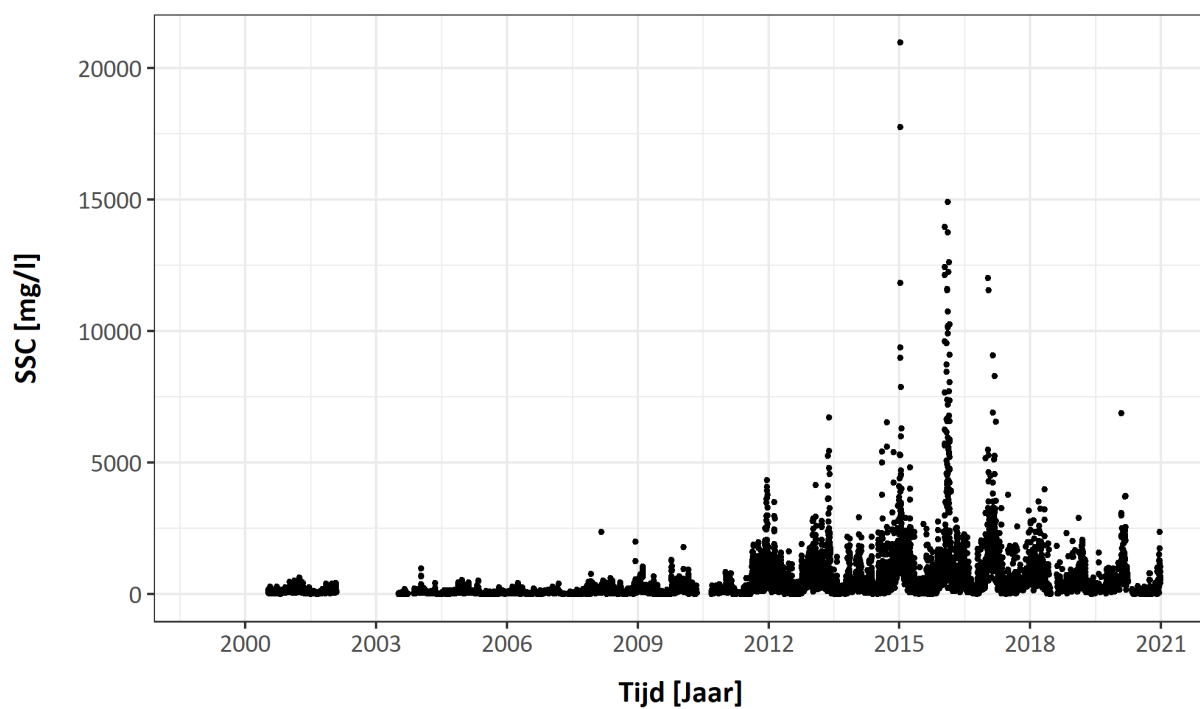
Figuur 21 – Hoogfrequente turbiditeitsdata te Melle.



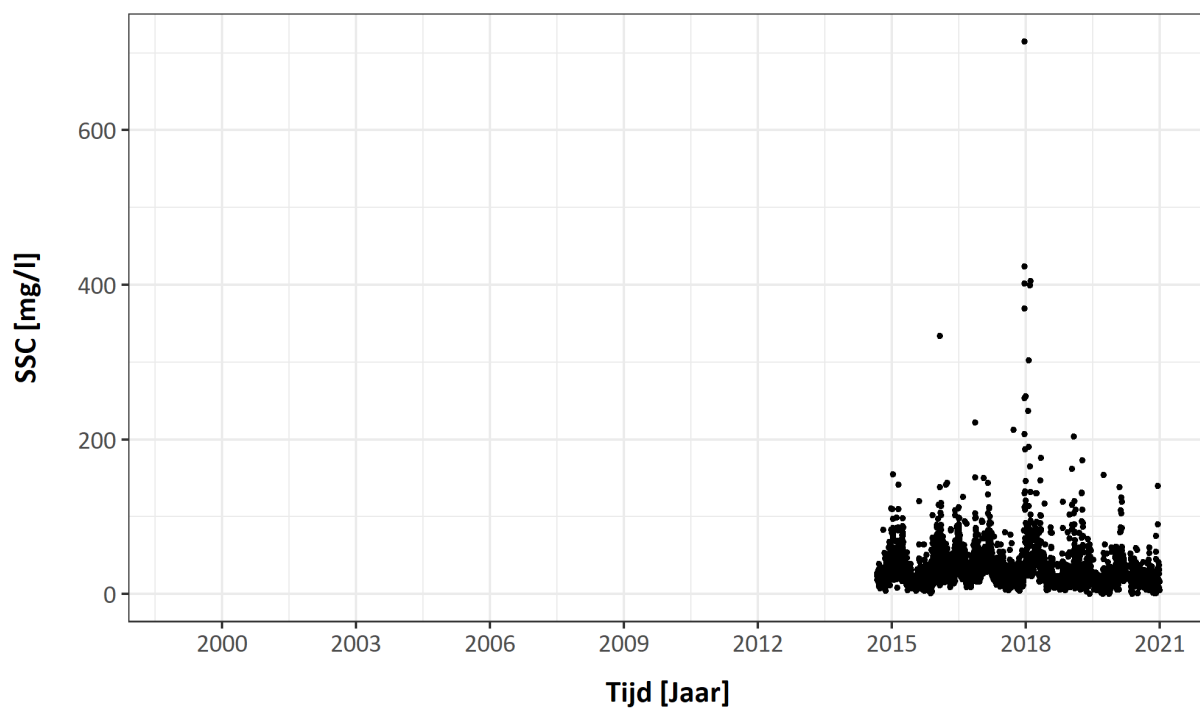
Figuur 22 – Hoogfrequente turbiditeitsdata te Dendermonde.



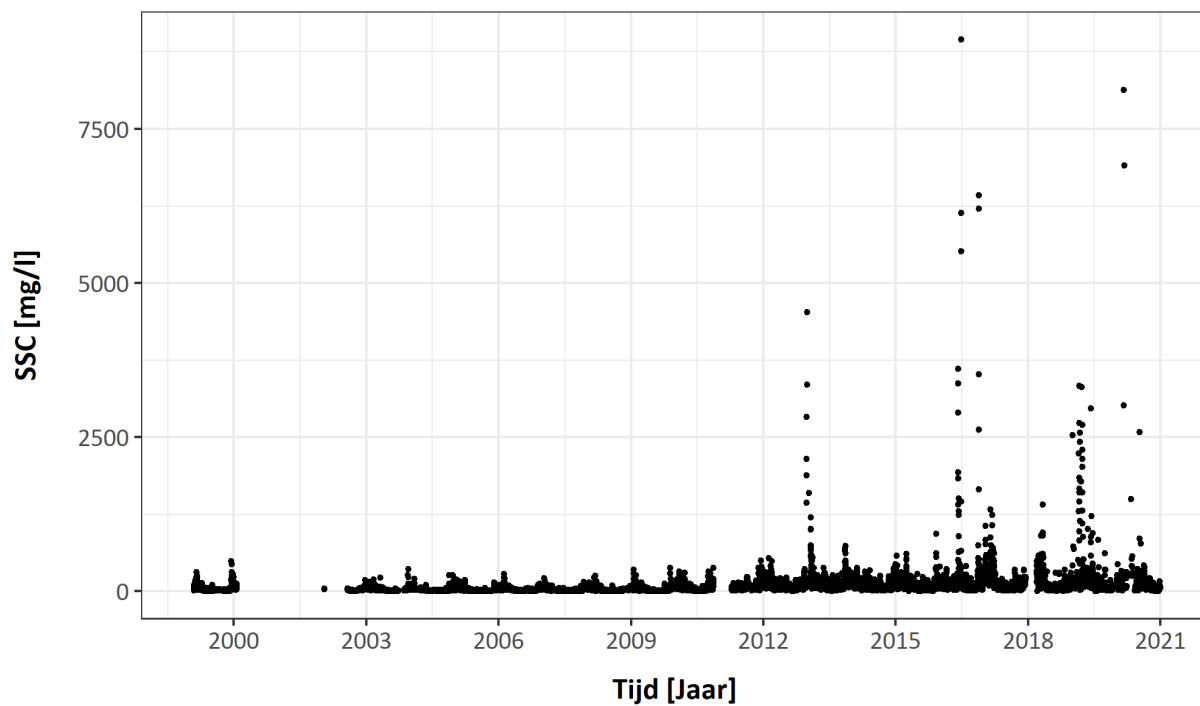
Figuur 23 – Pompstaalgegevens te Epegem.



Figuur 24 – Pompstaalgegevens te Aarschot.

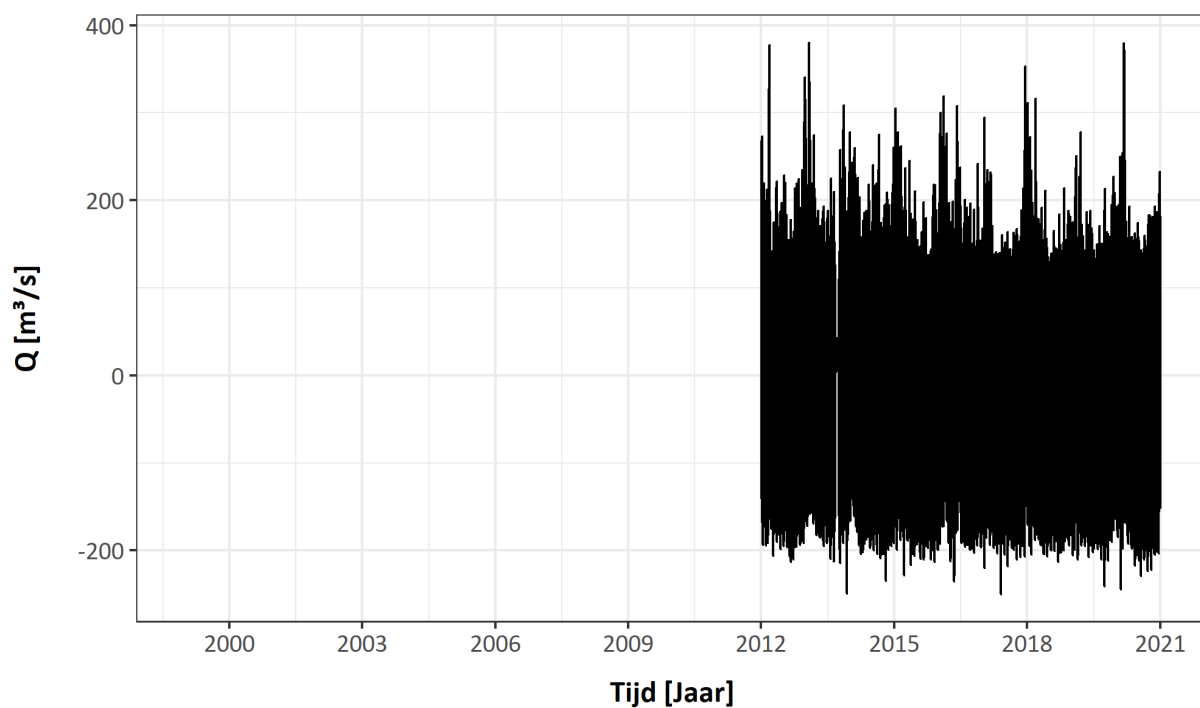


Figuur 25 – Pompstaalgegevens te Itegem-Hullebrug.

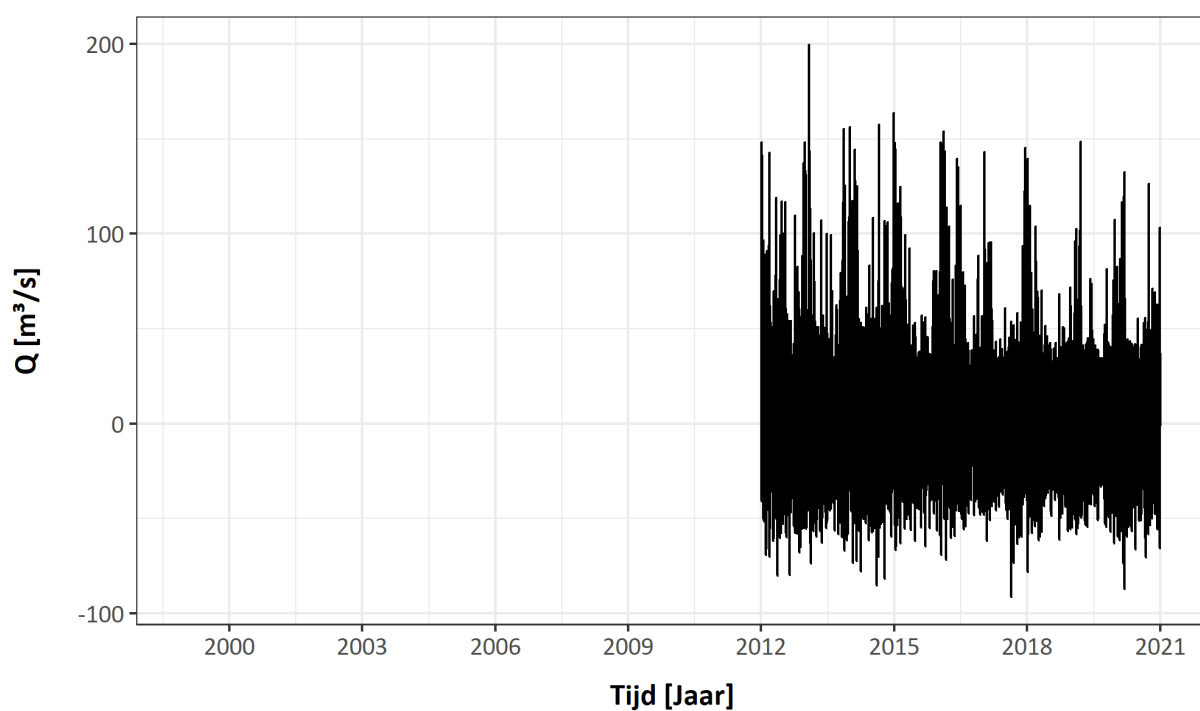


Figuur 26 – Pompstaalgegevens te Grobbendonk-Troon.

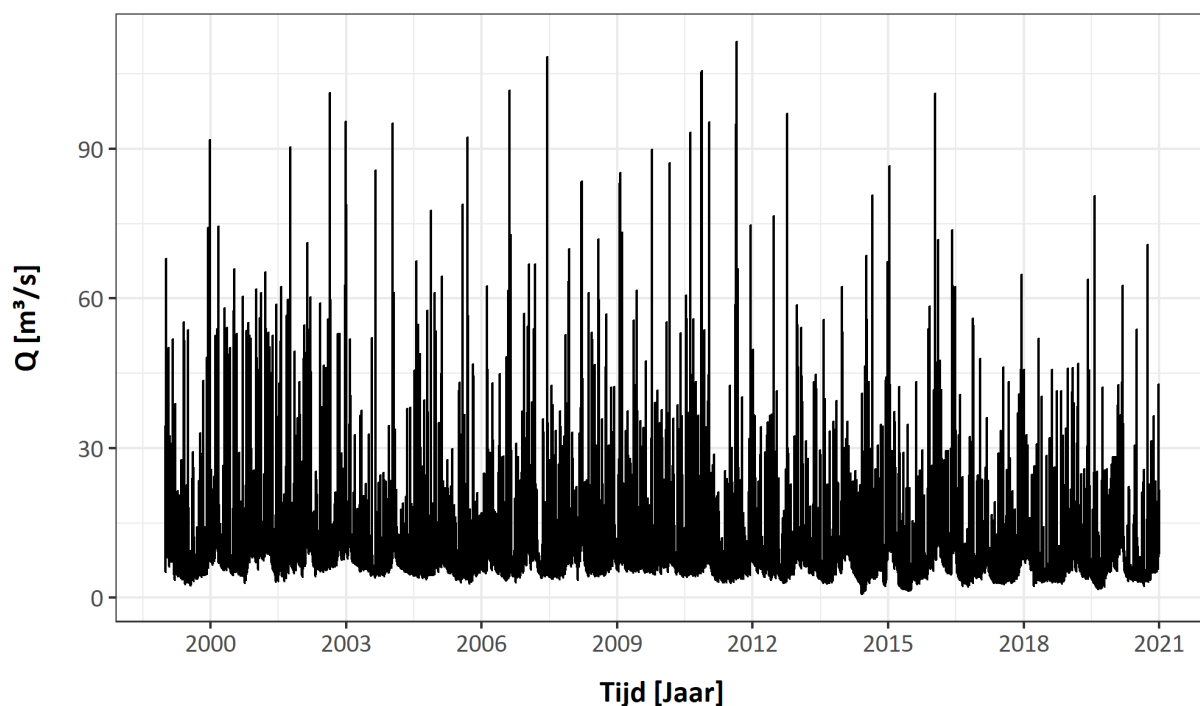
Bijlage 2 – Brondata debiet (hoogfrequent)



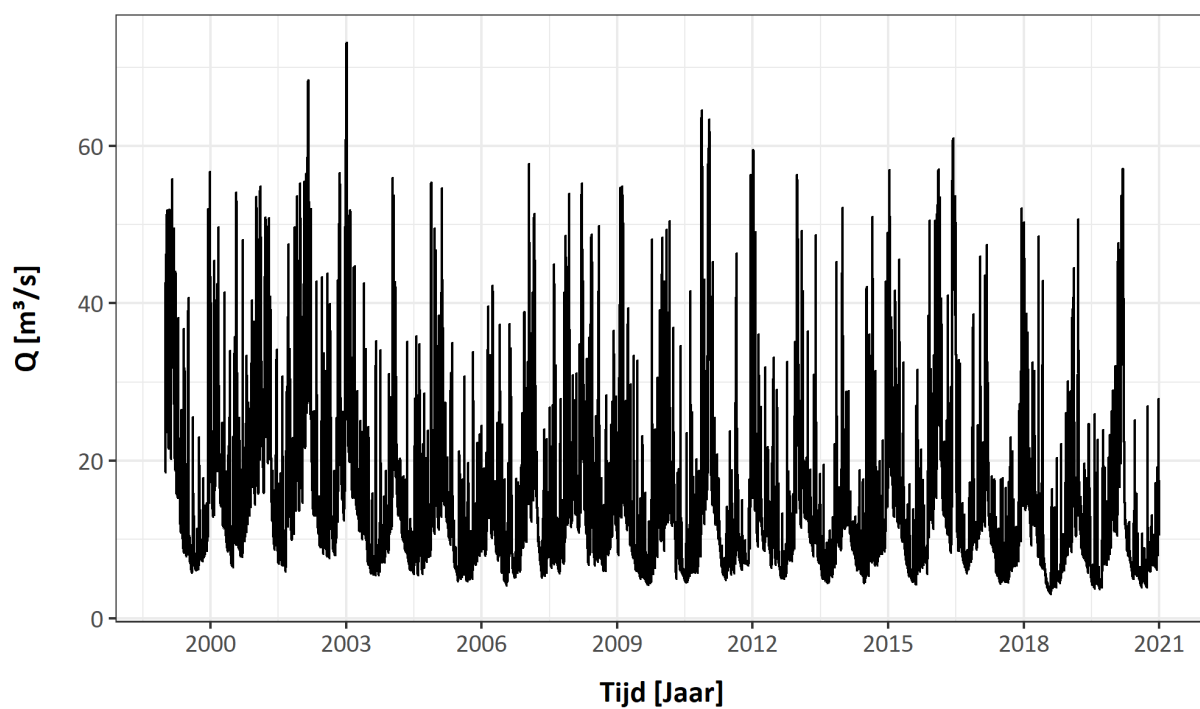
Figuur 27 – Hoogfrequent debiet te Melle.



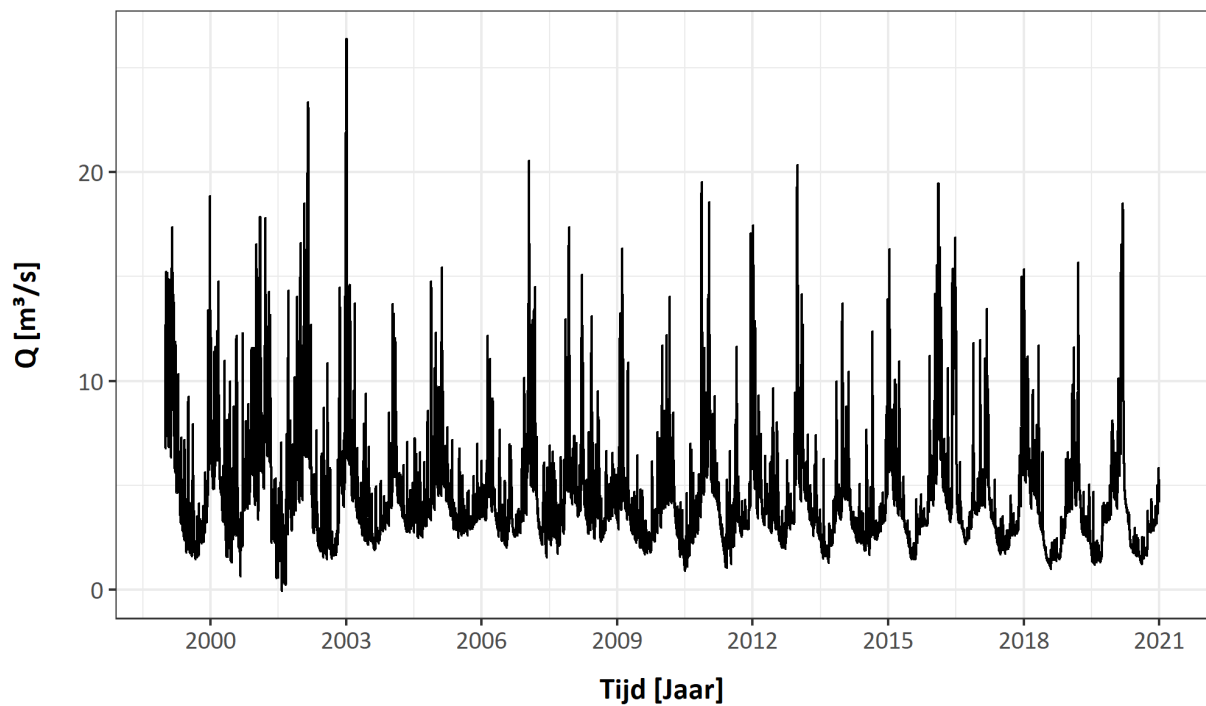
Figuur 28 – Hoogfrequent debiet te Dendermonde.



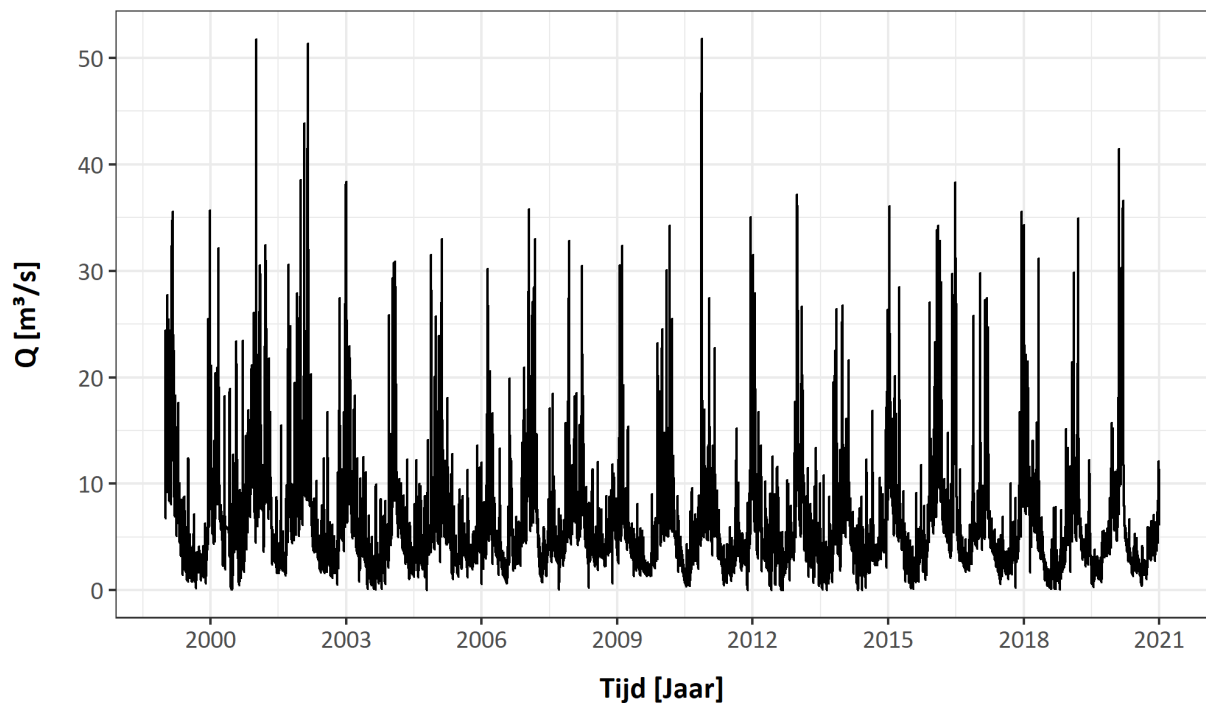
Figuur 29 – Hoogfrequent debiet Eppegem. 5/15 minuutwaarden vanaf 02/08/2004, periode er vóór uurwaarden.



Figuur 30 – Hoogfrequent debiet Aarschot. 5/15 minuutwaarden vanaf 16/05/2005, periode er vóór uurwaarden.

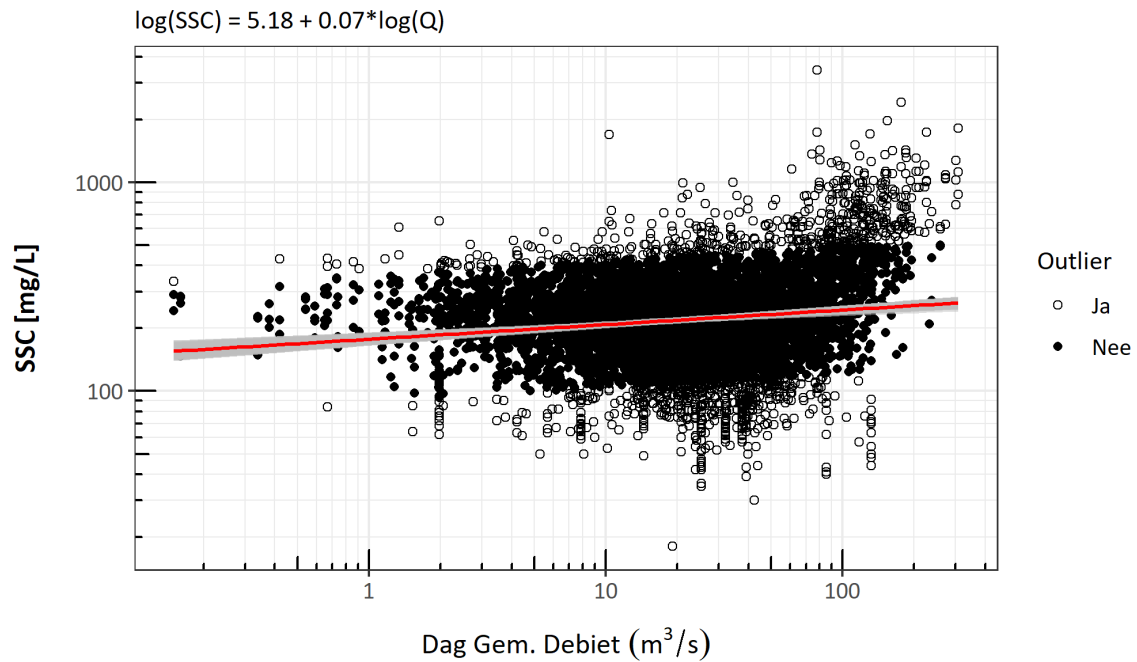


Figuur 31 – Hoogfrequent debiet Hulshout. 5/15 minuutwaarden vanaf 01/01/2007, periode er vóór uurwaarden.

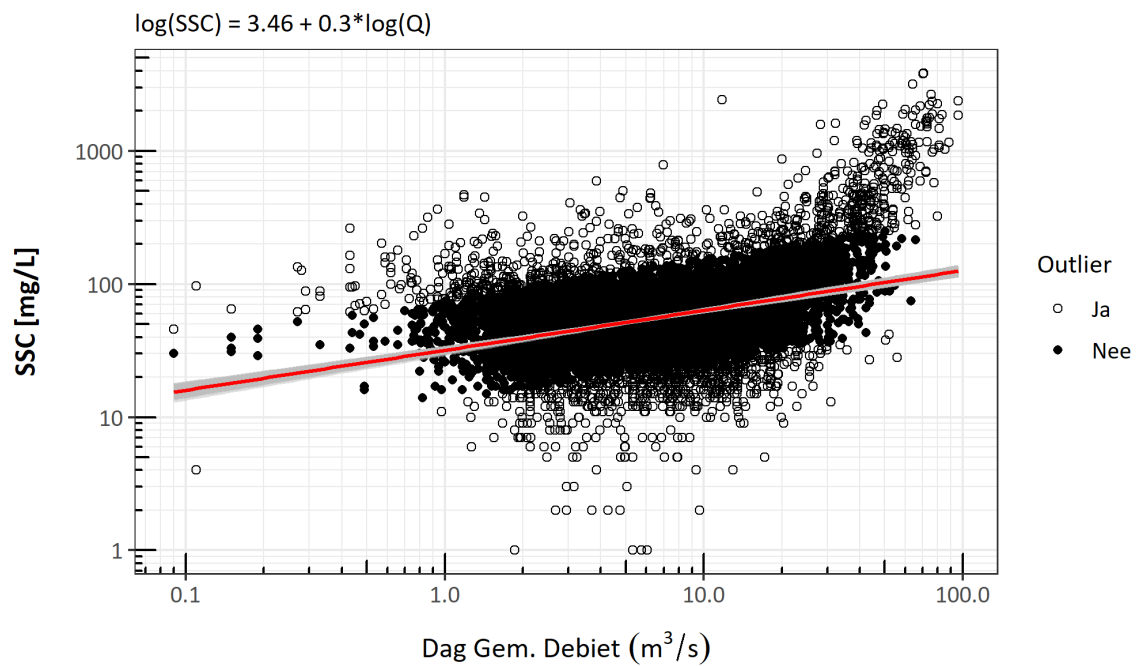


Figuur 32 – Hoogfrequent debiet Grobbendonk-Troon. 5/15 minuutwaarden vanaf 02/01/2005, periode er vóór uurwaarden.

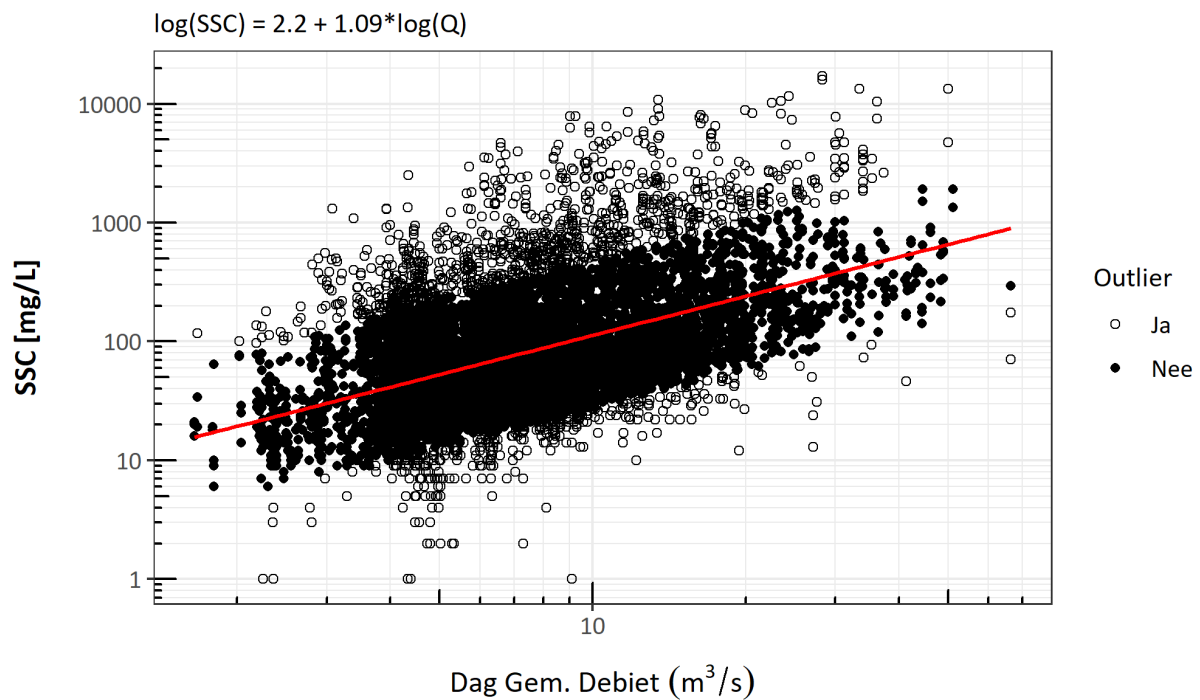
Bijlage 3 – Q-SSC relaties



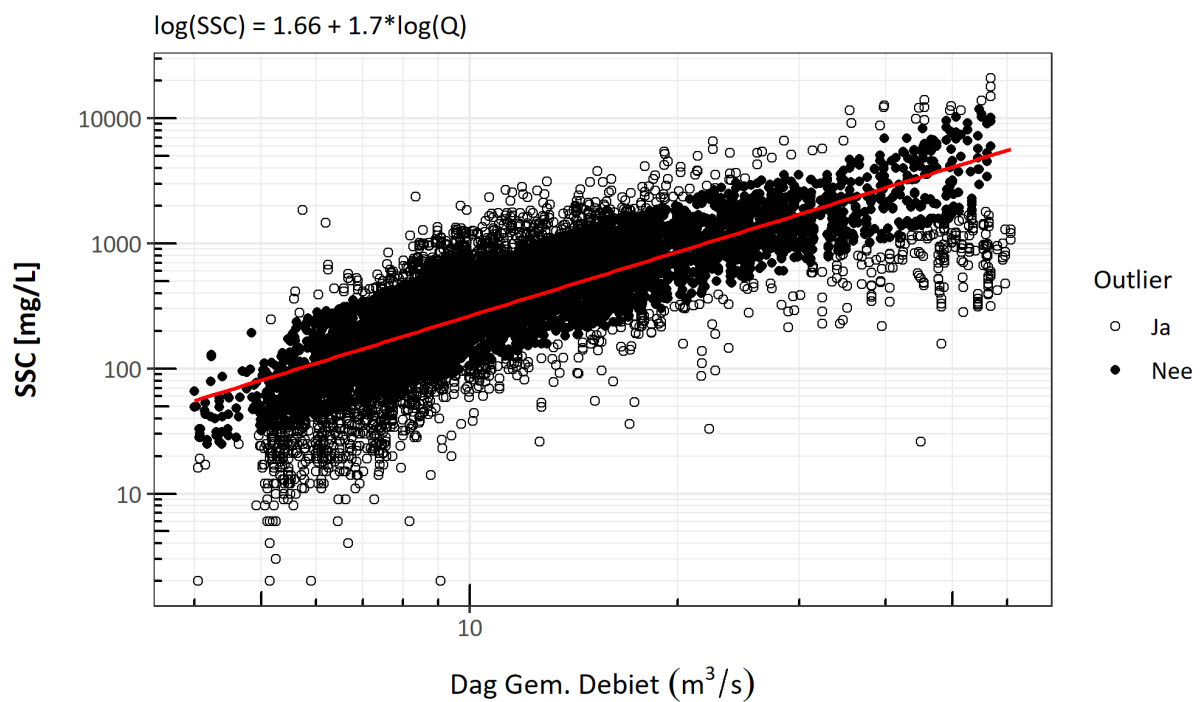
Figuur 33 – Q-SSC relatie Melle op basis van data 2012-2020.



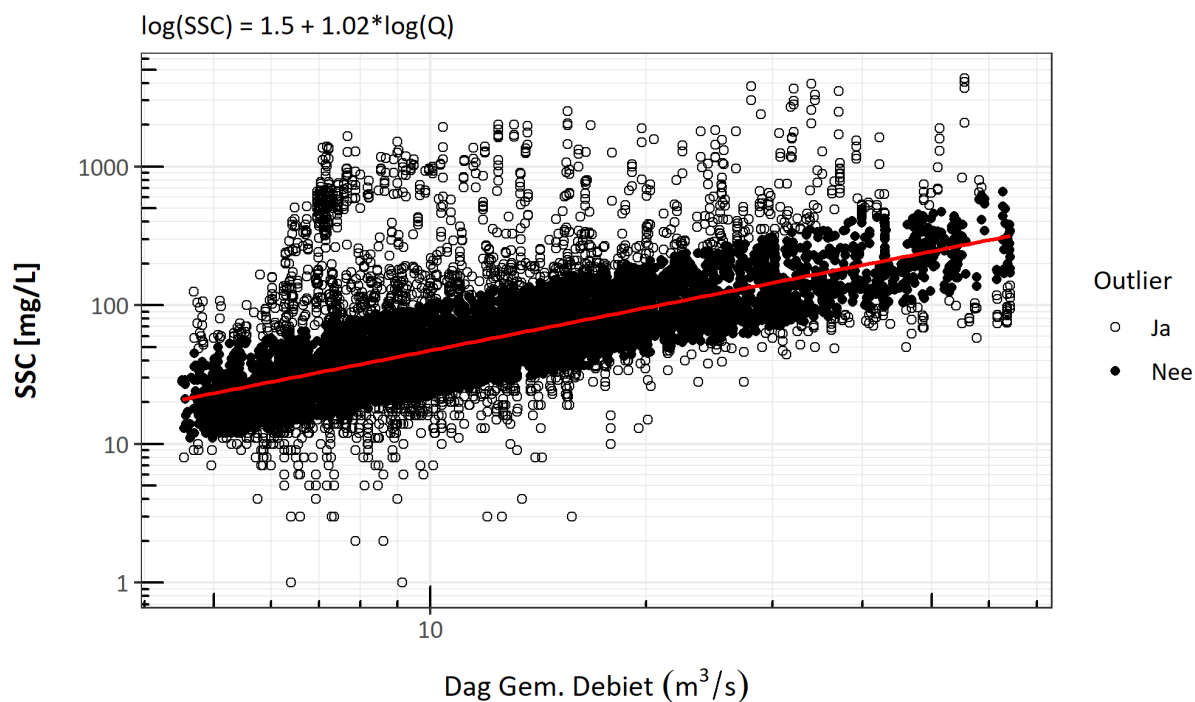
Figuur 34 – Q-SSC relatie Dendermonde op basis van data 2012-2020.



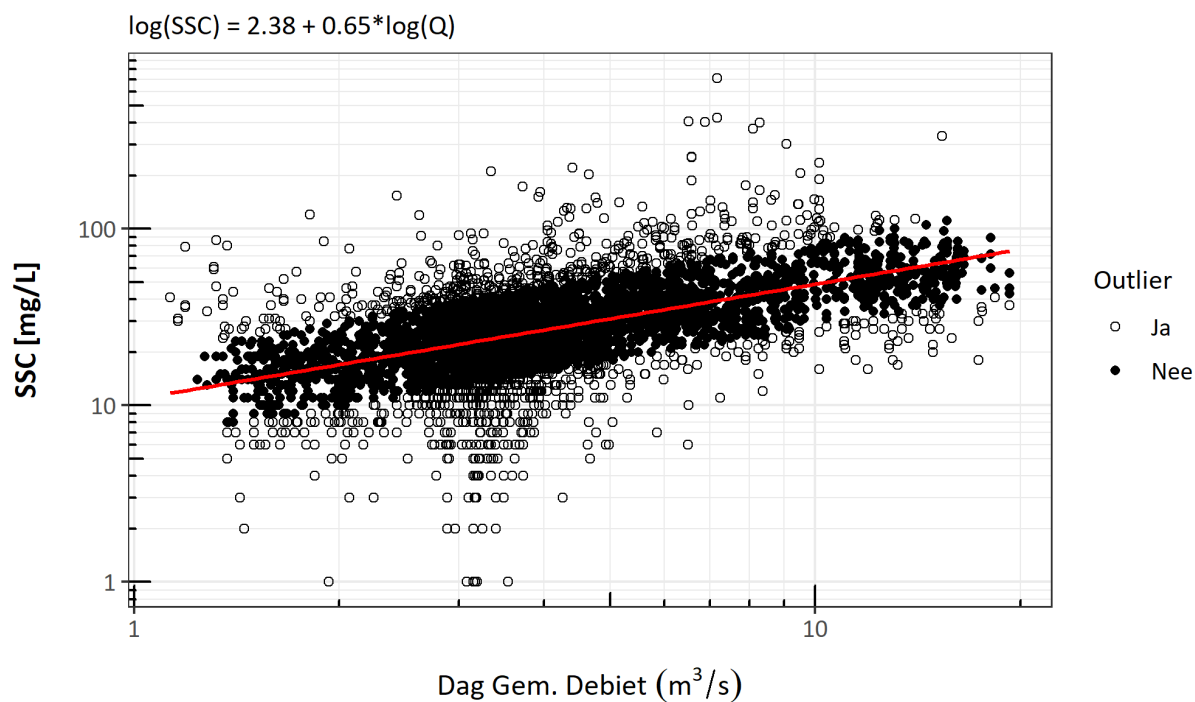
Figuur 35 – Q-SSC relatie Eppegem op basis van data 2012-2020.



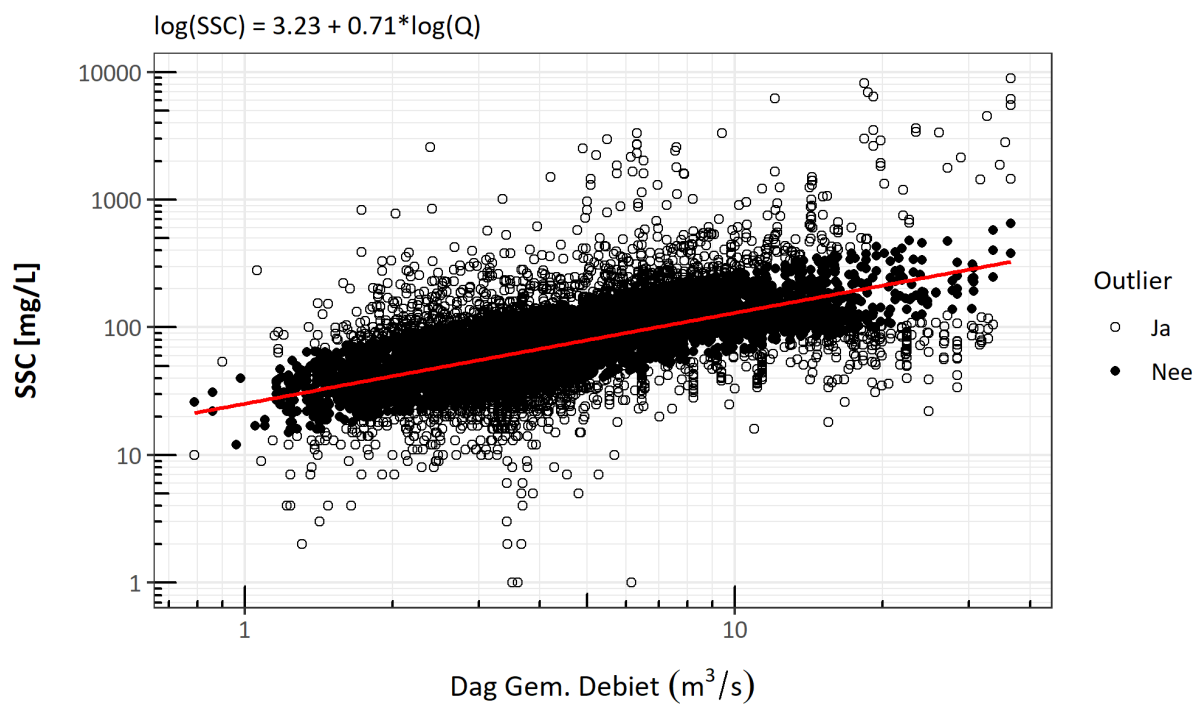
Figuur 36 – Q-SSC relatie Aarschot op basis van data 2012-2020.



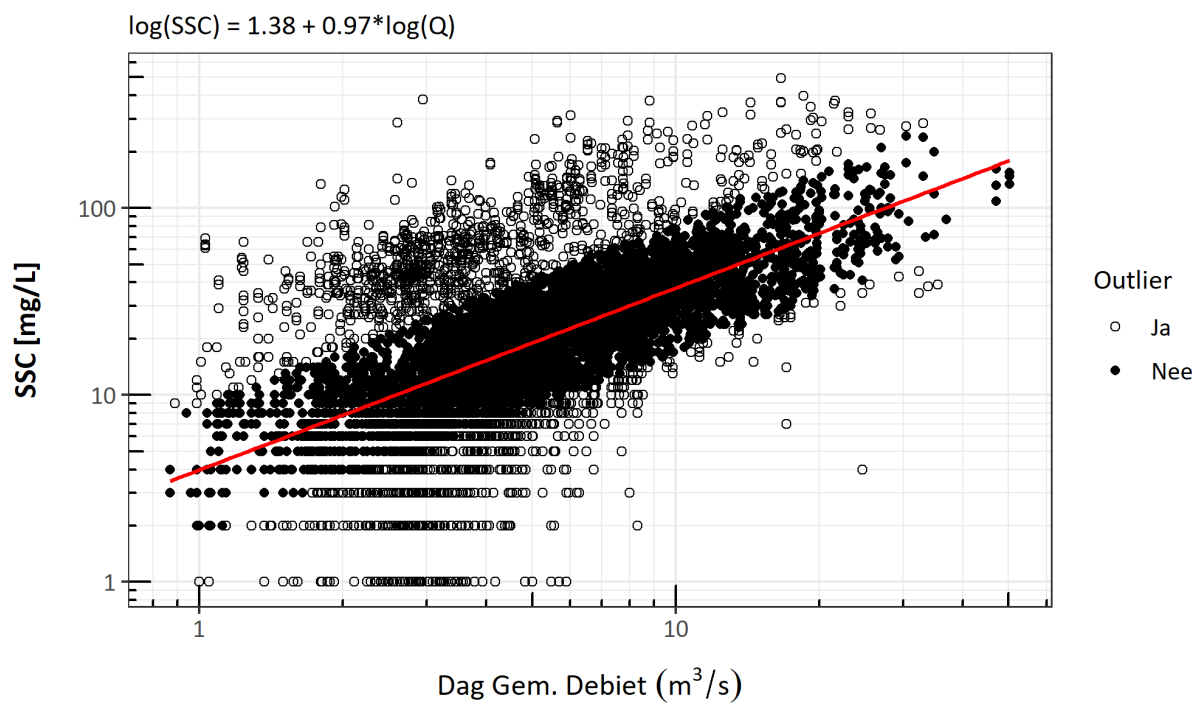
Figuur 37 – Q-SSC relatie Aarschot op basis van de data 2001-2011.



Figuur 38 – Q-SSC relatie Itegem-Hullebrug op basis van de data 2012-2020.

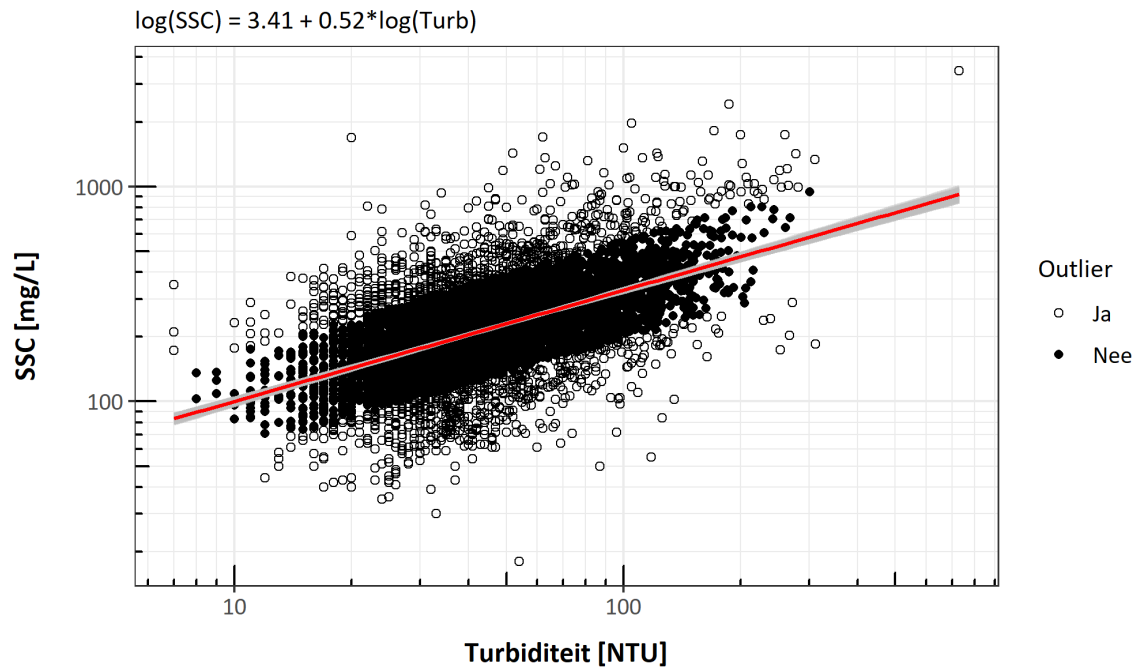


Figuur 39 – Q-SSC relatie Grobbendonk-Troon op basis van de data 2012-2020.

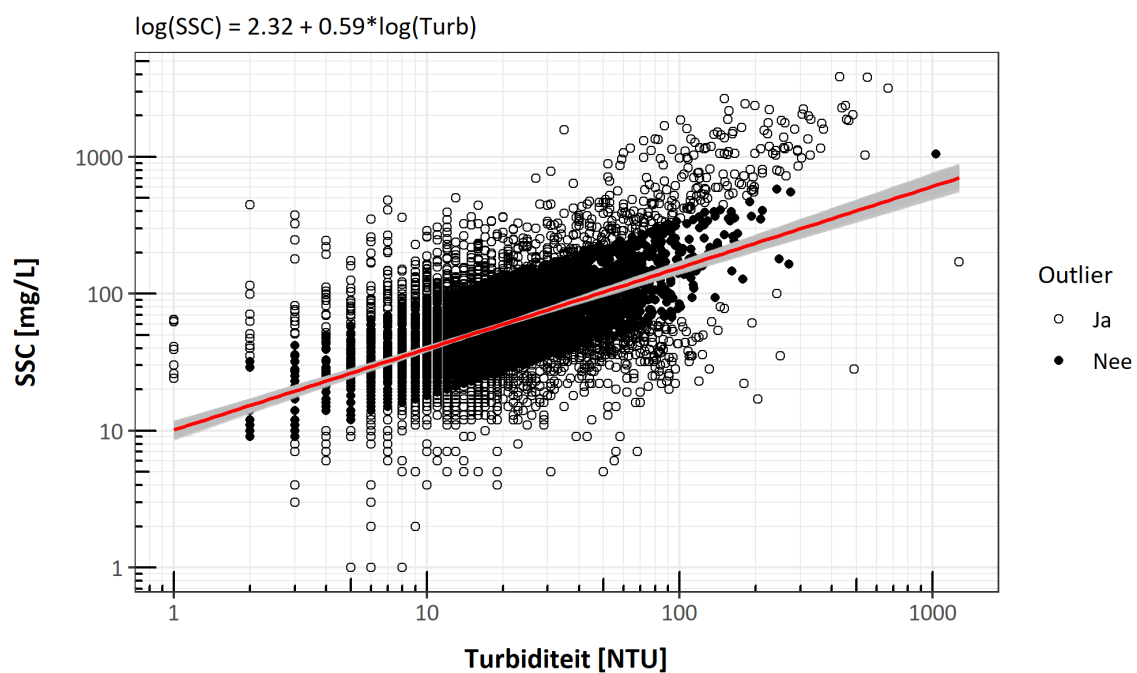


Figuur 40 – Q-SSC relatie Grobbendonk-Troon op basis van de data 2001-2011.

Bijlage 4 – Turb-SSC relaties



Figuur 41 – Turb-SSC relatie voor Melle op basis van de data 2012-2020.



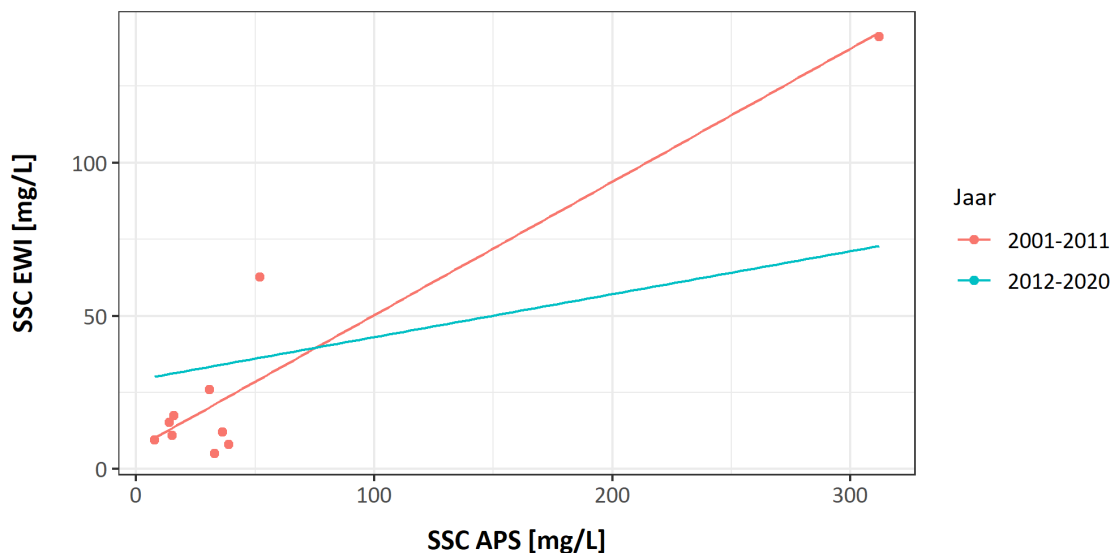
Figuur 42 – Turb-SSC relatie voor Dendermonde op basis van de data 2012-2020.

Bijlage 5 – EWI relaties periode 2001-2011

Aarschot

2005: $\text{SSC EWI} = 6.83 + 0.43 * \text{SSC APS}$ ($R^2 = 0.89$, $\text{RMSE} = 12.74$ en $p < 0.001$)

2012: $\text{SSC EWI} = 29.1 + 0.14 * \text{SSC APS}$ ($R^2 = 0.68$, $\text{RMSE} = 22.78$ en $p < 0.001$)

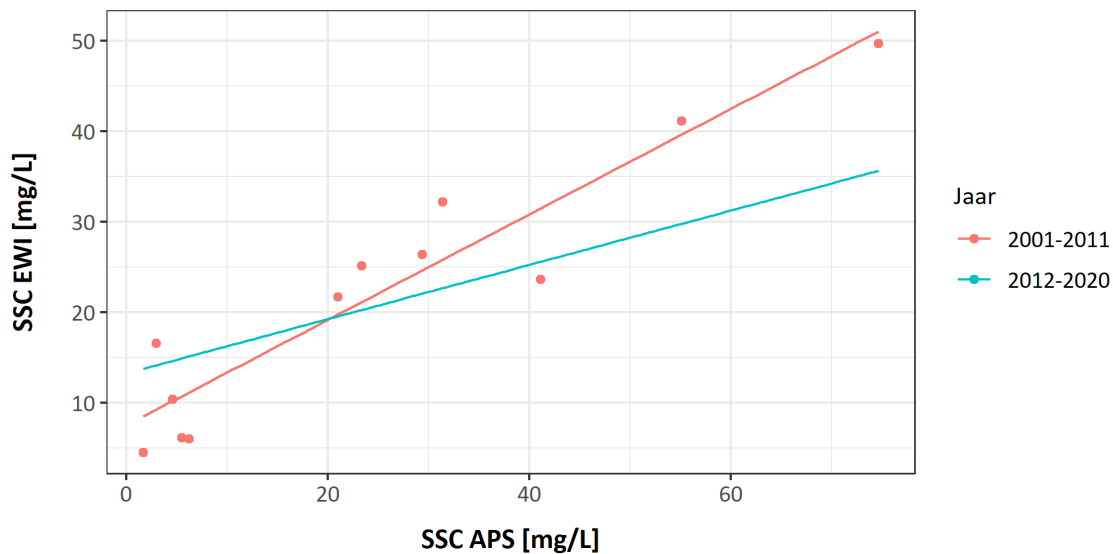


Figuur 43 – EWI relaties Aarschot voor de periode 2001-2011 en 2012-2020.

Grobbendonk

2005: $\text{SSC EWI} = 7.49 + 0.58 * \text{SSC APS}$ ($R^2 = 0.89$, $\text{RMSE} = 4.53$ en $p < 0.001$)

2012: $\text{SSC EWI} = 13.24 + 0.3 * \text{SSC APS}$ ($R^2 = 0.43$, $\text{RMSE} = 14.01$ en $p = 0.001$)



Figuur 44 – EWI relaties Grobbendonk voor de periode 2001-2011 en 2012-2020.

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