

Baggeren en storten in de Schelde

ONDERZOEK NAAR DE SLIBHUISHOUDING IN DE ZEESCHELDE



770_42 WL Rapporten

Baggeren en storten in de Schelde

Onderzoek naar de slibhuishouding in de Zeeschelde

Claus, J.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F.

Juni 2009

WL2009R770_42_rev2_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Claus, J.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). Baggeren en storten in de Schelde - Onderzoek naar de slibhuishouding in de Zeeschelde. WL Rapporten, 770_42. Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent: Antwerpen, België



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115
B-2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 224 60 35
Fax +32 (0)3 224 60 36
E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.watlab.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.



Documentidentificatie

Titel:	Baggeren en storten in de Schelde: Onderzoek naar de slibhuishouding in de Zeeschelde		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2009R770_42_rev2_0
Keywords (3-5):	Schelde estuarium, baggeren & storten, slib		
Tekst (p.):	25	Tabellen (p.):	4
Bijlagen (p.):	/	Figuren (p.):	55
Vertrouwelijk:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
	Vrijgegeven vanaf		
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur Claus Jasper	Revisor ir. Ides Stefaan	Projectleider ir. Ides Stefaan	Afdelingshoofd dr. Mostaert Frank
------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	31/10/2008	Conceptversie	Claus, J.
1_1	14/11/2008	Inhoudelijke revisie	Ides, S.
1_2	26/02/2009	Revisie opdrachtgever	Wouters, M.
2_0	02/06/2009	Definitieve versie	Ides, S.

Abstract

In dit rapport wordt onderzoek beschreven uitgevoerd op het Waterbouwkundig Laboratorium naar het verband tussen de slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde en de gebaggerde hoeveelheden slib in de Zeeschelde. Hiervoor werd beschikbare data over slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde en de baggerwerken in de Schelde van de voorbije jaren met elkaar vergeleken. Er werd gekeken of het enigszins mogelijk was om de gebaggerde hoeveelheden slib te voorspellen aan de hand van de slibtoevoer. Verder werd een vertraging verwacht in de baggerwerken in vergelijking met de slibtoevoer, doordat het slib enige tijd nodig heeft om vervoerd te worden tot op de locaties waar het neerslaat.

Voorafgaand aan het onderzoek naar de correlatie tussen beiden, werden de slibtoevoer enerzijds en de baggerwerken anderzijds apart onder de loep genomen. Slibtoevoer is sterk afhankelijk van de de hoeveelheid neerslag in een bepaalde periode. Meer regen betekent grotere debieten en sterkere stroomsnelheden. Deze zorgen voor grotere slibgehalten in het water waardoor er dus ook meer slibtransport is. In natte periodes wordt dus meer slibtoevoer verwacht.

De hoeveelheden gebaggerd slib vertonen minder duidelijke trends dan de slibtoevoer. De reden hiervoor is dat het uitvoeren van een baggeractiviteit een menselijke beslissing is, die niet louter wordt gestuurd door natuurlijke processen. Verdere werken op de Schelde, zoals verruimingen, zorgen voor nog verdere versturende factoren.

De overeenkomst tussen slibtoevoer en vereiste baggerhoeveelheden is minder sterk dan verwacht. Dit voornamelijk door toedoen door de mens. Daar deze een beslissing volledig in eigen hand heeft zal deze niet altijd de natuur volgen. Op langere termijn zal de natuur wel tot de menselijke beslissing leiden, doordat het neerslaan van het slib en het ondieper worden van de vaargeulen een natuurlijk proces is. Langer beschouwde periodes vertoonden dan ook een betere overeenkomst. De verwachte vertraging van de baggerwerken is

aanwezig. Onderzoekt men de correlatie met intervallen van een maand, dan zal de beste overeenkomst optreden na 1 maand. Werkt men met kwartalen, treedt de beste overeenkomst op na 1 kwartaal.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	II
Lijst van de figuren	III
1 Inleiding.....	1
1.1 De Schelde	1
1.2 Fluviaal transport van slib	2
1.3 Baggeren en storten in de Schelde	2
1.4 Doel van het onderzoek	4
2 Slibbalans.....	5
2.1 Inleiding.....	5
2.2 Werkwijze verzameling en verwerking data.....	5
2.3 Nauwkeurigheid data	7
2.4 Analyse van de data	7
3 Baggerwerken op de Schelde	11
3.1 Inleiding.....	11
3.2 Werkwijze.....	11
3.3 Analyse van de data	12
4 Correlatie Slibbalans - Baggerwerken.....	15
4.1 Inleiding.....	15
4.2 Correlatie	15
5 Besluit.....	18
5.1 Slibbalans	18
5.2 Slibbaggerwerken	18
5.3 Correlatie	18
6 Dankwoord	20
7 Referenties	21
Bijlage 1: Tabellen.....	T1
Bijlage 2: Figuren	F1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Overzicht van de jaarlijkse totale slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2.	T1
Tabel 2 - Overzicht van de maandelijkse totale slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2.	T2
Tabel 3 - R ² waarden bij verschillende intervallen en bij verschillende verschuivingen.	T4

Lijst van de figuren

Figuur 1 - Stroomgebied van de Schelde, topografisch. Bron: De Scheldeatlas.	F1
Figuur 2 - Deelstroomgebieden van de Schelde. Bron: De Scheldeatlas.	F2
Figuur 3 - Meergeulensysteem in de Westerschelde. Bron: De Scheldeatlas.	F2
Figuur 4 - Biologische habitats in de Westerschelde. Bron: De Scheldeatlas.	F3
Figuur 5 - Korrelgroottes (onder) en slibpercentages (boven) in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Bron: De Scheldeatlas.	F4
Figuur 6 - Relatie tussen TEU-capaciteit van de schepen en de diepgang van het schip. Bron: : http://jsp.vlaamsparlement.be	F5
Figuur 7 - Baggerlocaties in de Westerschelde op langprofiel. Bron: http://jsp.vlaamsparlement.be	F5
Figuur 8 - Bagger- en stortlocaties in de Beneden Zeeschelde (2004). Bron: Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2004.	F6
Figuur 9 - Bagger- en stortlocaties in de Westerschelde (2004). Bron: Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2004.	F7
Figuur 10 - Schematische figuur van sleephopperzuiger met zuigbuis. Bron: Infobrochure Jan De Nul. F8	
Figuur 11 - Sleepkop van een sleephopperzuiger. Foto door Charlotte Dhollander.	F9
Figuur 12 - Hydrografisch bekken van de Schelde met aanduiding van de meetpunten. Bron: Beneden Zeeschelde Slibbalans 1992.	F10
Figuur 13 - Gemeten slibgehalte in functie van debiet voor het jaar 2005. De rechte werd bekomen via kleinste kwadratenmethode.	F11
Figuur 14 - Vergelijking van de totale slibtoevoer te Schelle volgens methode 1 en methode 2.	F12
Figuur 15 Verwijdering van onlogische waarden. Rechtsonder: originele grafiek, Linksboven: herwerkte grafiek. Verwijderd punt is omcirkeld. De parameters a en b van de kleinste kwadratenmethode veranderen hierdoor eveneens!	F13
Figuur 16 - Verwijdering van onlogische waarden aan de hand van grafiek waar debiet en slibgehalten worden uitgezet tegenover een tijdschaal. Boven de originele grafiek, onder met herwekte data. Let op, schaalverdeling is anders in beide figuren.	F14
Figuur 17 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Grobbendonk.	F15
Figuur 18 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Itegem.	F16
Figuur 19 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Epegem.	F17
Figuur 20 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Haacht.	F18
Figuur 21 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Dendermonde.	F19
Figuur 22 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Melle.	F20
Figuur 23 - Gemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Grobbendonk.	F21
Figuur 24 - Gemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Itegem.	F22
Figuur 25 - Gemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Epegem.	F23

Figuur 26 - Gemiddelde slibgehalten en debietwaarden in functie van de tijd voor Haacht.....	F24
Figuur 27 - Gemiddelde slibgehalten en debietwaarden in functie van de tijd voor Dendermonde.	F25
Figuur 28 - Gemiddelde slibgehalten en debietwaarden in functie van de tijd voor Melle.	F26
Figuur 29 - Gemiddelde maanddebieten per monsternamelocatie.	F27
Figuur 30 - Maandgemiddelde slibgehalten per monsternamelocatie.....	F28
Figuur 31 - Vergelijking totale slibafvoer in ton berekend volgens methode 1 en 2.....	F29
Figuur 32 - Slibafvoer Scheldebekken versus slibafvoer Rupelbekken	F30
Figuur 33 - Vergelijking slibafvoer in ton per jaar volgens methode 1 met de neerslaghoeveelheid per jaar in Ukkel.	F31
Figuur 34 - Vergelijking slibafvoer in ton per jaar voor rivier Zenne volgens methode 1 met de neerslaghoeveelheid per jaar in Ukkel.	F32
Figuur 35 - Jaarlijkse slibafvoer per meetlocatie volgens methode 2.	F33
Figuur 36 - Cirkeldiagram met aandeel van slibaanvoer berekend volgens methode 1 voor iedere meetplaats voor het jaar 2001.....	F34
Figuur 37 - Cirkeldiagram met aandeel van slibaanvoer berekend volgens methode 1 voor iedere meetplaats voor het jaar 2007.....	F34
Figuur 38 - Kaart van Westerschelde en Beneden Zeeschelde met aanduiding van de gekozen zones + aanduiding Deurganckdok. Bron: http://maps.google.be (eigen bewerking).....	F35
Figuur 39 - Gebaggerde hoeveelheid slib in m ³ per jaar voor de periode 1992-2007.....	F35
Figuur 40 - Gebaggerde hoeveelheid slib per jaar zonder Deurganckdok voor de periode 1992-2007	F36
Figuur 41 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand in de periode 1992-2007.....	F37
Figuur 42 - Gebaggerde slibtotalen over 16 jaar (1992-2007) in taartdiagram per baggerplaats.	F38
Figuur 43 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand per zone.....	F39
Figuur 44 - Aandeel van de baggerlocaties tot hun zone over een periode van 16 jaar (1992-2007). ..	F40
Figuur 45 - Taartdiagram met totaal gebaggerde slibhoeveelheden waarin België zonder Deurganckdok, het Deurganckdok en Nederland zijn uitgezet.	F40
Figuur 46 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 1.	F41
Figuur 47 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 2.	F42
Figuur 48 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 3.	F43
Figuur 49 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 4.	F44
Figuur 50 - Som van alle overeenkomstige maanden over de jaren heen (1992-2007).	F45
Figuur 51 - Gebaggerde hoeveelheid slib in het Deurganckdok per maand.....	F46
Figuur 52 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2	F47
Figuur 53 - Slibafvoer (methode 2) en gebaggerde hoeveelheid slib in functie van elkaar. Slibafvoer 1 maand verschoven t.o.v. gebaggerde hoeveelheid slib.	F48
Figuur 54 - R ² in functie van aantal maanden verschuiving.	F48
Figuur 55 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2 per kwartaal.....	F49

Figuur 56 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2 per semester.	F50
Figuur 57 - R^2 in functie van aantal kwartalen verschuiving.	F51
Figuur 58 - R^2 in functie van aantal semesters verschuiving.	F51
Figuur 59 - Vergelijking gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer (methode 2) per jaar.	F52
Figuur 60 - Gebaggerde hoeveelheid zand in België op de locaties waar ook slib gebaggerd wordt.	F53
Figuur 61 - Vergelijking gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer (methode 2) per jaar.	F53
Figuur 62 - Vergelijking van de maximale R^2 waardes bij verschillende intervallen.	F54

1 Inleiding

1.1 De Schelde

De Schelde (Figuur 1) is zowel geografisch als economisch de belangrijkste waterloop in Vlaanderen. Geografisch daar het grootste deel van Vlaanderen door het stroombekken wordt bedekt. Economisch voor de binnenscheepvaart op de Schelde zelf en de connectie van de Noordzee met de haven van Antwerpen via de Westerschelde.

De Schelde ontspringt nabij het Noord-Franse dorpje Gouy-Le-Catelet, gelegen op een hoogte van 95 m boven de zeespiegel. [1] Ze mondt uit in de Noordzee, ter hoogte van Vlissingen. De totale lengte bedraagt ongeveer 350 km. Het stroomgebied van de Schelde heeft een oppervlakte van circa 21.860 km², verspreid over 3 landen: Frankrijk, België en Nederland. Bij dit stroomgebied worden eveneens de deelstroomgebieden die uitmonden in de Schelde gerekend. Zo zijn er 8 grotere waterlopen die de Schelde voeden (Figuur 2): De Haine en De Scarpe (monden uit in de Bovenschelde), de Leie (Gent), de Dender (Dendermonde), de Zenne en de Demer (monden uit in de Dijle), de Dijle en Nete (monden uit in de Rupel). De Rupel mondt op haar beurt uit in de Schelde te Schelle. [2]

Tussen bron en monding verandert de Schelde enkele keren van benaming. Het deel tussen de bron en de stuw in Gent wordt Bovenschelde genoemd. Stroomafwaarts Gent tot de Belgisch-Nederlandse grens wordt ze Zeeschelde genoemd. De Zeeschelde wordt nog verder opgedeeld in Boven Zeeschelde en Beneden Zeeschelde, hiervoor ligt de grens ter hoogte van Antwerpen. Afwaarts van de Belgisch-Nederlandse grens tot aan de raai Vlissingen-Breskens wordt ze Westerschelde genoemd. Het deel afwaarts deze raai wordt het mondingsgebied genoemd. [2] Een belangrijk locatie langsheen de waterloop bevindt zich te Schelle: hier komen het Scheldebekken en het Rupelbekken bij elkaar. Vanaf hier begint de overheersing van het maritieme getijkarakter. Het gebied opwaarts te Schelle wordt ook wel het Schelle-Scheldebekken genoemd. Het grootste deel van de neerslagafvoer en andere zoetwaterlozingen die in het Schelde estuarium gebeuren passeren dit punt. Metingen op zoetwaterafvoer en slibafvoer te Schelle zijn dus reepresentabel voor de Beneden Zeeschelde, daar verder stroomafwaarts geen zulke debieten als hier meer instromen. [9]

De Westerschelde en Zeeschelde samen worden ook wel met de term Schelde estuarium aangeduid, dit is het gebied van de rivier dat onderhevig is aan de getijden. In de Zeeschelde is er een 1-geul systeem, in de Westerschelde een meergeulen systeem (Figuur 3). Bij vloed kiest het water hoofdzakelijk de kortste weg (i.e. de vloedgeul), bij eb zal het water hoofdzakelijk de langste weg kiezen. De tijgolf aan de monding bestaat voornamelijk uit een halfdagelijks maangetij met een periode van 12 u 25 min. De getijdenamplitude voor een gemiddeld getij bedraagt ongeveer 4 m aan de monding in de Noordzee, neemt toe tot 5 m in Antwerpen en daalt vervolgens tot 2 m in Gentbrugge. Verdere penetratie van de tijgolf wordt hier verhinderd door een stuw. Deze tijgolf plant zich in de rivier voort en veroorzaakt zo een horizontale waterbeweging. Tijdens één getij komt er in Vlissingen gemiddeld $6,0 \times 10^9$ m³ water het estuarium binnen; een even groot watervolume zal bij de eb het Schelde estuarium uitstromen. [3] De stroomsnelheden die optreden zijn sterk afhankelijk van tijd en ruimte. In de hoofdgeul komen de grootste snelheden voor, deze liggen rond 1 à 2 m/s. Bij springtij treden de hoogste snelheden op, bij doottij liggen deze net onder het gemiddeld tij. Tijdens de kentering, dit is de periode dat de stroomrichting omkeert, treedt een periode van stilstand op. Niet overal in het estuarium komt er een stilstand voor, op deze plaatsen verandert de stroming dan geleidelijk. De maximale debieten die worden opgemeten in de Schelde voor eb en vloed zijn respectievelijk 78.000 m³/s en 96.000 m³/s voor Vlissingen, 11.000 m³/s en 14.000 m³/s aan de Belgisch - Nederlandse grens en 5.000 m³/s en 6.000 m³/s te Antwerpen. [2]

De Schelde heeft ook ecologische belangen. Het Schelde estuarium, onderhevig aan getijden, is een gebied waar veel bio-diversiteit aanwezig is. De intertidale gebieden in de Westerschelde, die met de getijden mee onder water staan en boven water komen, vormen een biologisch habitat voor vele soorten dieren. Daarnaast zijn langs de oever talrijke slikken en schorren aanwezig, met een grote rijkdom aan planten en dieren. Een voorbeeld hiervan is het Verdronken land van Saeftinge, een natuurreservaat dat het grootste brakwatergebied van West-Europa vormt, met een oppervlakte van circa 2770 ha. Op Figuur 4 zijn de ecotopen van de Westerschelde aangeduid.

1.2 Fluviaal transport van slib

Stromend water bezit de mogelijkheid om vaste deeltjes te transporteren, zoals slib- en zanddeeltjes. Het onderscheid tussen slib en zand wordt gemaakt bij een korreldiameter van 63 μm . Als ondergrens voor de slibfractie wordt een diameter van 0,45 μm gehanteerd [9].

Een slibdeeltje dat wordt meegevoerd met de stroming is onderhevig aan 2 krachten: enerzijds een neerwaarts gerichte kracht, de zwaartekracht, anderzijds werkt er een opwaarts gerichte kracht op het slibdeeltje, door turbulentie. Het overwicht van een van deze krachten maakt dat een slibdeeltje ofwel in suspensie blijft en wordt meegevoerd met de stroming, ofwel langzaam zal bezinken. Hoe kleiner en lichter de korrel, hoe kleiner het effect van de zwaartekracht en hoe kleiner de benodigde stroomsnelheden om dit deeltje in suspensie te houden. Een kenmerk van transport van korrels is dat de kracht nodig om neergeslagen korrels terug te transporteren (de kritische erosiesnelheid) groter is dan de kracht om deze korrels te vervoeren in het water (de depositiesnelheid). Een tweede kenmerk is dat hoe groter de korrel, hoe groter de stroomsnelheden die nodig zijn om de deeltjes te vervoeren.

Het gebied tussen Antwerpen en de Belgisch-Nederlandse grens is een preferentiële aanslibbingszone van de Schelde (Figuur 5). Hier bevindt zich het zogenoemde turbiditeitsmaximum van de rivier. De haven van Antwerpen is gelegen in de brakwaterzone van de tijrivier, waar door de ontmoeting van het zoute zeewater en het zoete rivierwater flocculatie van het suspensiemateriaal optreedt: de slibkorrels vormen door samenklitting grotere slibkorrels, die sneller zullen bezinken. Dergelijk fenomeen wordt eveneens in de hand gewerkt door het zomers biotisch samenklitten van de fijne slibpartikels. In de zomer is er minder neerslag waardoor ook minder zoet water uit de rivieren naar de Beneden Zeeschelde vloeit. Het water in de Beneden Zeeschelde heeft bijgevolg een hoger zoutgehalte. Dit geeft een versterkend effect op de flocculatie [9]. In de Westerschelde komt, in tegenstelling tot de omringende gebieden, amper slib voor. Hier is het voornamelijk zand dat aanwezig is. Tot op heden is nog niet duidelijk waarom er in deze zone een dergelijk laag slibgehalte aanwezig is vergeleken met de Beneden Zeeschelde en het mondingsgebied.

1.3 Baggeren en storten in de Schelde

Op de Westerschelde en de Zeeschelde dient regelmatig gebaggerd te worden. Het Schelde estuarium zorgt namelijk voor de verbinding tussen de Noordzee en de Antwerpse haven. Het sediment dat door de eb- en de vloedstromen wordt getransporteerd, kan bezinken indien de stroomsnelheid niet groot genoeg meer is. Dit fenomeen van natuurlijke sedimentatie treedt op op de zogenaamde drempels in het Schelde estuarium: dit zijn zones waar sediment door het systeem naartoe getransporteerd wordt, terwijl de stroomsnelheid op deze locaties niet voldoende groot is om het sediment opnieuw in beweging te brengen. Hierdoor kunnen de geulen ter hoogte van deze drempels ondieper worden. Opdat de schepen de haven van Antwerpen kunnen bereiken, dient de diepte van de vaargeul op alle plaatsen groter te zijn dan de diepgang van een opvarend schip. Hiervoor moet er op de drempels in het estuarium regelmatig worden gebaggerd. Zo wordt door de Vlaamse overheid vandaag de dag gegarandeerd dat een schip met een diepgang van 11,85 m (dit is een schip met een capaciteit van

circa 3000 TEU¹) de haven van Antwerpen op elk moment van het getij zal kunnen bereiken. Met andere woorden een schip met een dergelijke diepgang kan de haven van Antwerpen bereiken onafhankelijk van het getij. Zelfs bij laagwater zal er op de ondiepste plaatsen (de drempels) voldoende diepgang zijn voor een dergelijk schip. Grotere schepen kunnen eveneens de haven van Antwerpen bereiken, indien men inspeelt op de getijden. Dit noemt men getij-afhankelijke vaart. Zo ligt het record voor de haven van Antwerpen momenteel op een schip van 10 061 TEU [6]. In de periode 2008-2009 is een nieuwe verdieping van de vaargeul van het Schelde estuarium gepland die de getij-onafhankelijke maximale diepgang op 13,10 meter moet brengen. Dit is nodig om aan de eisen van de steeds grotere containerschepen te voldoen, en zo de economische belangen in de haven van Antwerpen uit te breiden. De relatie tussen TEU en diepgang van de schepen is te zien op Figuur 6.

1.3.1 Baggeren op de Schelde

De plaatsen waar gebaggerd moet worden zijn deze waar de gegarandeerde minimale diepte in gedrang komt (Figuur 7). Op dit lengteprofiel is zichtbaar dat er drempels (ondiepe zone) en putten (diepe zones) zijn in de loop van de Westerschelde. Deze drempels zouden belemmeren dat de grote scheepvaart tot aan de haven geraakt moest er niet gebaggerd worden. De locaties die gebaggerd moeten worden zijn steeds dezelfde. Door een lokale verbreding van de geul is het mogelijk dat op deze plaatsen een vertraging optreedt van de stroomsnelheid waardoor de specie kan bezinken. Verdere baggerlocaties zijn de drempels in de Zeeschelde, zoals eerder uitgelegd, en de dokken en toegangen tot sluisen waar trage waterstroming voorkomt. In de Westerschelde zal voornamelijk zand gebaggerd moeten worden, in de Zeeschelde voornamelijk slib en in beperkte mate eveneens zand.

1.3.2 Storten op de Schelde

De gebaggerde specie moet natuurlijk ook teruggestort worden. Omwille van allerlei redenen mag dit niet op land gebeuren (voor veiligheid tegen overstromen, behoud van de belangrijke natuurgebieden langsheen het estuarium, ...) waardoor men locaties in de Schelde moet zoeken waar men dit kan storten. De stortplaatsen hebben een belangrijke voorwaarde: aangezien de gestorte specie toch terug verplaatst zal worden, moeten deze locaties zo gekozen worden dat de gestorte specie niet onmiddellijk terug in de vaargeul zal terugkomen. De beste stortlocaties liggen in de nevengeulen, die niet voor de grote scheepvaart gebruikt worden. Hier zal de gestorte specie er het langst over doen om terug tot aan de ondiepste punten te raken. Andere stortlocaties liggen tussen de oever en de vaargeul, in diepe putten. Welke plaats men kiest om te storten hangt af van de afstand tot de baggerplaats, het tij, de hoeveelheden die er reeds gestort werden,... In Nederland legt de WVO vergunning op hoeveel specie er jaarlijks in de stortvakken gestort mag worden, in België werkt men eveneens met vergunningen voor stortplaatsen. Op Figuur 8 en Figuur 9 zijn enkele van deze bagger- en stortplaatsen aangeduid.

1.3.3 Baggertechnieken op de Westerschelde

Slib en zand worden op de Schelde beide gebaggerd door sleephopperzuigers (Figuur 10). Deze hebben één of twee lange zuigbuizen met een sleepkop (Figuur 11) aan het uiteinde die over de bodem van de rivier gesleept wordt en een slib/zand-water mengsel naar boven zuigt. Dit naar boven zuigen is eigenlijk vergelijkbaar met een stofzuiger. De diepte tot waarop men wil baggeren kan men precies invoeren, zodanig dat het sediment tot op de gewenste diepte wordt verwijderd. Een sleephopperzuiger is ideaal voor losse sedimenten, het zal steeds een dun bovenste laagje afschrapen. Bij meer gecompacteerd lagen is het minder efficiënt, eventueel wordt dan met jets (hoge druk water injectoren) gewerkt om het bodemmateriaal los te woelen alvorens het op te zuigen. Deze jets bevinden zich op de sleepkop. Op rotsen zal dit type baggerboot echter nooit nut hebben.

¹ TEU is een aanduiding van de afmetingen van containers, het staat voor Twenty feet Equivalent Unit. Dit is de capaciteit waarin containerschepen worden uitgedrukt. 1 TEU container heeft de afmeting van 20 x 8 x 8 voet. Een standaard 40 voet container is gelijk aan 2 TEUs (40 x 8 x 8 voet). [7]

Wat opgezogen wordt is steeds een combinatie van facies en water. In de beun, het ruim waar het zand/slib-water mengsel terecht komt, kan het water van facies gescheiden worden door het principe van overstorting. De zwaardere deeltjes bezinken terwijl het water via een overloopsysteem verwijderd wordt. Bij slib gaat dit echter moeilijker dan bij zand, daar slib een veel kleinere korrel – en dus een kleinere valsnelheid – heeft. Het onderscheid tussen zand en slib wordt gemaakt aan de hand van de dichtheid van de vracht. Bij zand kan men rechtstreeks het volume bepalen aan de hand van de inhoud van de beun. Voor slib dient hier nog een correctie op uitgevoerd te worden, doordat het slib nog steeds een grote hoeveelheid water bevat (cfr. sterke compactatie van slib in de tijd). Voor de Schelde specifiek werd vastgelegd dat de minimale dichtheid die moet bereikt worden bij het baggeren van slib 1,2 ton/m³ is. De dichtheid wordt gemeten aan de hand van een radioactief signaal dat bij het binnenkomen van de baggerspecie op het schip uitgestuurd wordt of ook via de vergelijking van de inhoud van het schip met de inzakking van het schip in het water.

Eens de beun vol is en de minimale dichtheid bereikt is, moet het schip zijn lading ook terug lossen. Dit kan op verscheidene manieren. Op de Westerschelde werkt men meestal via storten door kleppen in de beun te openen, waarna alle species uit de beun loopt en bezinkt. Werken met een sproeiponton dat de specie nauwkeurig op de bodem aanbrengt is in uitzonderlijke projecten waarbij dergelijke precisie vereist is eveneens een optie. Dit storten gebeurt op de eerder besproken stortplaatsen [13].

1.4 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is de slibhuishouding in de Zeeschelde in kaart te brengen. Rivierwater zal een bepaalde hoeveelheid slib meebrengen uit stroomopwaarts gelegen gebieden. Dit slib zal zich dan gedeeltelijk afzetten in de Beneden Zeeschelde, waar het gebaggerd zal moeten worden. In de hier beschreven stage wordt gezocht naar een verband tussen de afvoer van slib uit het Schelde- en Rupelbekken enerzijds en de gebaggerde hoeveelheden slib in de Beneden Zeeschelde en Westerschelde anderzijds.

In een eerste deel zal een analyse van de resultaten van de slibafvoer naar de Beneden Zeeschelde gebeuren. Hiervoor was sinds 1992 data beschikbaar. In een tweede luik kijken we naar de baggerwerken van slib die werden uitgevoerd sinds 1992 en wordt deze data geanalyseerd. In een derde en finaal deel zullen deze 2 dan samen gebracht worden om de invloed die de slibafvoer heeft op de baggerwerken te onderzoeken. De hypothesen hierbij zijn: er bestaat een verband tussen de aanvoer van fluviatiel slib en de hoeveelheden gebaggerd slib, echter met een vertraging in de tijd die het slib nodig heeft om van de meetstations (gelegen aan de grenzen van het tijgebied) tot aan de baggerplaatsen in de Beneden Zeeschelde te komen. Ook zal de invloed afnemen naarmate we verder stroomafwaarts op de Zeeschelde en verder op de Westerschelde gaan.

Indien de hypothesen gerechtvaardigd blijken te zijn dan kunnen de resultaten van dit onderzoek onder andere gebruikt worden om voorspelling te doen naar de baggeractiviteit op slib in de Beneden Zeeschelde, afhankelijk van de gemeten toevoer van slib uit de bovenlopen.

2 Slibbalans

2.1 Inleiding

Analyse van de totale slibaanvoer in het Schelde estuarium is de eerste zaak die nodig is in dit onderzoek. Metingen van slibaanvoer zijn beschikbaar sinds 1992, digitaal sinds het jaar 1999. Deze metingen werden uitgevoerd in kader van de WVO (Wet Verontreiniging Oppervlaktewater). Immers vervuilende stoffen kunnen zich aan de slibdeeltjes hechten, waardoor slibtransport eveneens transport van vervuilde sedimenten inhoudt. Vanuit de WVO werd door Nederland aan Vlaanderen een jaarlijks rapport gevraagd over de afvoer van slib uit de Zeeschelde naar de Westerschelde. Van 1992 tot 2000 verscheen hierover jaarlijks een rapport – geschreven door de afdeling Maritieme Schelde [9]. De noodzaak voor een dergelijk rapport werd echter ontbonden door de Nederlandse Raad van Staten, waardoor er geen rapporten meer van gemaakt werden sinds 2001. De metingen bleven wel doorgaan waardoor de data ook na 2001 beschikbaar is.

Er wordt in dit hoofdstuk gezocht naar trends en relaties die voorkomen in de aanvoer van fluviatiel slib uit de bovenlopen.

2.2 Werkwijze verzameling en verwerking data

Metingen van slibaanvoer werden uitgevoerd aan de rand van het getijgebied van de Schelde om op die manier de volledige slibtoevoer in het Schelde estuarium te kunnen begroten. De monsternamen gebeurde ongeveer wekelijks op 6 locaties: de bovenloop van de Schelde zelf, en de belangrijkste bijrivieren. Figuur 12 toont de locatie van deze punten.

1. Bovenschelde (Melle)
2. Dender (Dendermonde, Appels)
3. Zenne (Epepegem)
4. Dijle (Haacht)
5. Grote Nete (Itegem)
6. Kleine Nete (Grobbendonk)

Aan de hand van deze 6 locaties kan de totale toevoer van slib die instroomt in de Zeeschelde worden bepaald. De techniek die gebruikt werd voor monsternamen zijn schepstalen: dit zijn water-sediment stalen die aan het wateroppervlak worden ontnomen. Deze stalen worden – afhankelijk van de locatie – genomen van een brug over of aan de oever van de rivier. Hieruit kan het slibgehalte bepaald worden door analyse in het labo. Daar zal men eerst het staal homogeniseren, waarna men er circa 10 cl mengsel uitneemt om de analyse verder te doen. Men filtreert het staal met een zeer fijne filter, waarbij alle deeltjes groter dan $0,45\ \mu\text{m}$ worden tegengehouden. Na droging van het zo bekomen residu bepaalt men hiervan het drooggewicht. Dit gewicht is een maat voor het suspensiemateriaal (in gram) dat aanwezig was in 10 cl van het staal. Om het uit te drukken in mg/l vermenigvuldigt men het met 10^4 . De korrelgrootte die men hanteert voor slib is $>0,45\ \mu\text{m}$ en $<63\ \mu\text{m}$. Bij metingen voor 1996 werd als ondergrens $0,22\ \mu\text{m}$ gehanteerd, waarbij men dus een nog fijnere filter nodig heeft. Dit verschil tussen beide is echter onbeduidend ten overstaan van de totale slibhoeveelheid. Eigenlijk worden alle aanwezige korrels groter dan de ondergrens gemeten. Dus ook deze groter dan $63\ \mu\text{m}$ die eigenlijk tot de zandfractie horen. Daar een schepstaal aan het wateroppervlak genomen wordt, zal hier slechts een klein deel zand in zitten. De grotere grote zandkorrels zullen zich eerder dichtbij de bodem van de rivier bevinden.

Naast slibgehalte heeft men om de sedimentinflux te kunnen bepalen ook informatie nodig over de debieten op dezelfde locaties. Aan ieder monsternamepunt wordt het daggemiddelde debiet bepaald. Uit een combinatie van beide data kan dan de slibafvoer berekend worden, dit werd gedaan volgens 2 methodes:

- 1) methode 1: Door middel van de kleinste kwadratenmethode, werd per locatie een lineair verband opgesteld tussen het slibgehalte van het schepmonster en de daggemiddelde bovenafvoer op de dag van monstername. Er kon overal een oplopende lineaire correlatielijne worden teruggevonden. Met behulp van de berekende correlatielijne kon per monsternameplaats het maandgemiddelde slibgehalte bepaald worden aan de hand van het plaatselijk maandgemiddelde debiet. Op Figuur 13 wordt voor elke locatie het slibgehalte van ieder monster uitgezet tegen het daggemiddeld debiet op de dag van monstername, dit voor het jaar 2006. De rechte lijn geeft de correlatie zoals berekend volgens de kleinste kwadratenmethode. Op de figuur is vaak een goede overeenkomst tussen de gemeten punten en de correlatielijne te merken (Figuur 13, Haacht), maar dit is echter niet altijd het geval (Figuur 13, Epegem). In dit laatste geval zal de berekening van een maandgemiddelde slibafvoer volgens deze methode onbetrouwbaar zijn. R^2 op deze figuren is een maat voor hoe goed de rechte de datapunten benadert. 1 is een perfecte benadering, 0 betekent dat er geen enkele overeenkomst is. Bij een waarde van bijvoorbeeld 0,8 zegt men ook dat de regressierechte 80% van de geplote punten verklaard, en 20% niet verklaard.
- 2) methode 2: Gebaseerd op dezelfde gegevens van slibconcentratie en daggemiddeld debiet, maar volgens een eenvoudiger principe. Bij deze methode wordt het maandgemiddelde slibgehalte per monsternameplaats bepaald als rekenkundig gemiddelde van het slibgehalte van al de monsters die in de loop van die maand op die plaats werden genomen. Een vermenigvuldiging van dit maandgemiddelde slibgehalte met het plaatselijk maandgemiddelde debiet geeft de maandelijkse slibafvoer per meetplaats.

Bij beide methodes zal men een correctie toepassen om de invloed van kleine, minder uitgesproken rivieren en beken die uitmonden afwaarts van de verschillende monsternamepunten tot aan de Schelde te Schelle in rekening te brengen. Te Schelle geeft het resultaat bijgevolg een representatief beeld van de totale sedimentinflux.. Zonder deze correctie zou bijvoorbeeld de Durme niet meegerekend worden in de totale slibafvoer. Afwaarts Schelle kan geen extrapolatie meer gebeuren door het overwicht van het getij fenomeen. Daarom wordt het fluviaatiele slib tot op deze plaats bepaald.

Tussen beide methoden treedt telkens een klein verschil op (Figuur 14). Er zal steeds vermeldt worden bij grafieken welke van beide methodes gebruikt werd.

Een kleine noot bij totale slibafvoer: slib afkomstig uit de Leie en stroomopwaarts Gent wordt niet integraal afgevoerd naar de Zeeschelde. Door het complexe watersysteem in Gent wordt een deel van het toestromende water via kanalen rechtstreeks naar Westerschelde en Noordzee gebracht. Het slib dat wel in de Zeeschelde terecht komt zal gemeten worden in het meetstation te Melle.

Tussen Schelle en de haven van Antwerpen zal natuurlijk nog een kleine aanvoer zijn van slib, door beken en andere kleine waterlopen stroomafwaarts van het punt te Schelle. Deze hebben echter maar een kleine invloed waardoor ze verwaarloosd mogen worden.

Voor meer informatie over de precieze werkwijze, methoden en berekeningen om tot de slibtotaal te komen wordt doorverwezen naar de rapporten over de slibbalans gemaakt in opdracht van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewegen, Afdeling Maritieme Schelde. Geschreven door ir. E. Taverniers.

2.3 Nauwkeurigheid data

In het proces van verzamelen van monsters tot opstellen van methoden om totale slibafvoer te berekenen treden telkens kleine fouten op die de nauwkeurigheid van de uiteindelijk berekende slibafvoer verkleinen. Hierna volgt een korte bespreking welke processen tot deze fouten aanleiding geven.

Het nemen van een schepstaal gebeurt ideaal van op een brug zodanig dat men in het midden van de rivier meet. Op sommige locaties (Grobendonk en Dendermonde) is dit echter niet mogelijk waardoor men van op de oever gemeten heeft. Nu is in de dwarsdoorsnede van een rivier het slibgehalte afhankelijk van de plaats waarop men meet: dichtbij de bodem of nabij het wateroppervlak, tegen de oever of in het midden van de rivier, een meting op elk van deze locaties zal telkens verschillende resultaten opleveren. Om op een consequente manier te werk te gaan heeft men voor alle locaties de waarde voor het midden van de rivier genomen. Indien het niet mogelijk was om in het midden te meten, werd aan de oever gemeten en via een correlatiefactor herleidt naar een waarde voor het midden van de rivier. De gehanteerde factor hiervoor is 1,1. Deze werd bekomen door enkele malen een volledig dwarsprofiel van de rivier op te stellen met slibgehaltenes en zo een verband tussen concentratie langs de oever en concentratie in het midden van de rivier te zoeken. Een tweede fout in de staalname ligt aan het feit dat dit ongeveer wekelijks gebeurt. Men bekomt dus 1 waarde per week, terwijl de slibgehaltenes in werkelijkheid continu veranderen. Daggemiddelde debieten worden gemeten, waarbij informatie over fluctuaties van het debiet gedurende de dag niet mee in rekening wordt gebracht. Ook fouten in de analyse in het labo zijn mogelijk en kunnen een invloed hebben op het slibgehalte dat gemeten wordt. Zo werd bijvoorbeeld enkel op de ondergrens van de korrelgrootte van slib gefilterd, waardoor ook grotere korrels zijn opgenomen. De schepstalen werden echter aan het wateroppervlak genomen en grotere korrels zullen zich eerder dichtbij de bodem van de rivier bevinden, waardoor dit slechts een kleine afwijking zal geven.

In beide berekeningsmethodes voor de totale slibafvoer sluipen ook fouten. Bij methode 1 zal een hogere nauwkeurigheid bereikt worden indien R^2 van de correlatie (grafieken op Figuur 13) een grotere waarde heeft. Aangezien dan een beter verband bestaat tussen slibgehalte en debiet. Bij methode 2 neemt men het gemiddelde per maand van de slibgehaltenes. Stel nu dat deze toevallig telkens op een piek in de slibafvoer gebeuren, dan zal een veel te hoge waarde gebruikt worden als maandgemiddeld slibgehalte.

Andere fouten ontstaan door fenomenen die niet in de methode aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld het fenomeen dat na drogere perioden meer slib zal afgevoerd worden, dan indien hetzelfde debiet zou optreden na een natte periode. Na een droge periode zal alle stof en andere deeltjes die in het bekken aanwezig zijn plots vervoerd worden door de neerslag die valt. Na een natte periode zouden vele van deze deeltjes reeds getransporteerd zijn. Na een droge periode wordt dus meer suspensie vervoerd.

Verder kunnen fouten optreden bij de berekening van de hoeveelheid slib die afkomstig is uit de zijbekkens. De correlatiecoëfficiënt kan nooit exact bepaald worden waardoor kleine fouten optreden.

Hoewel er enige onnauwkeurigheden in de berekening van de slibafvoeren kunnen optreden, kunnen we aannemen dat de getallen representatief zijn voor de slibaanvoer in het Scheldebekken. Aangezien er in deze studie voornamelijk wordt gezocht naar trends in de slibaanvoer, zullen deze weerspiegeld zijn in de data doordat op een consequente wijze te werk gegaan is.

2.4 Analyse van de data

Voor de verwerking van de data werd gebruik gemaakt van grafieken om duidelijk verbanden te zien tussen de verschillende parameters. Hoewel de data beschikbaar is vanaf 1992, werd meestal gewerkt met de periode 1999-2007. De reden hiervoor is dat de data voor de jaren 1992-1998 niet digitaal beschikbaar is. Bij enkele grafieken werd echter toch data van deze periode opgenomen, die eerst werd gedigitaliseerd, teneinde langetermijn trends beter te kunnen waarnemen.

Het is mogelijk dat Melle en Merelbeke door elkaar vermeldt worden als meetstation aan de opwaartse grens van de Beneden zeeschelde. Op deze locatie werden de watermonsters genomen te Merelbeke, terwijl de debietmetingen in Melle plaatsvonden. Echter gezien deze locaties dichtbij elkaar liggen, werden deze metingen beschouwd als zijnde in 1 meetpunt. Hetzelfde geldt voor Dendermonde en Appels. In Appels vonden de metingen van slibgehalten plaats, metingen van slibgehalten in Dendermonde werden niet gebruikt omdat deze werden uitgevoerd voorbij de monding van de Dender in de Schelde.

2.4.1 Kwaliteitscontrole data

Een kwaliteitscontrole van de meetdata werd vooreerst uitgevoerd. Onlogische waarden en waarden die teveel afwijken, mogelijks door foute staalname of analyse, werden verwijderd. Via de grafiek die gemaakt werd voor de kleinste kwadratenmethode, kan men punten die veraf liggen van de andere slibgehalten voor ongeveer dezelfde debietwaarde verwijderen (zie Figuur 15). Verwijdering van deze uitschieters zorgt voor een verandering in de parameters van de kleinste kwadratenmethode, in die zin dat de correlatie zo meer betrouwbaar wordt. Een tweede controle kan uitgevoerd worden door alle datapunten te plotten ten opzichte van een tijdschaal. Hierbij kunnen zwaar afwijkende waarden weer uit de database verwijderd worden zodanig dat ze de verdere waardes niet meer beïnvloeden (Figuur 16).

2.4.2 Debieten en slibgehalten

Op Figuur 17-22 werden alle gemeten slibgehalten en debietwaarden uitgezet in functie van een tijdschaal, dit voor elke monsternameplaats. Let op: aangezien in de verschillende jaarrapporten de exacte datum van de metingen vermeld stond en er een ongelijke verdeling was van het aantal monsters per maand, kon geen exacte tijdschaal gemaakt worden. Toch werden deze figuren bijgevoegd om een idee te geven over hoe groot de debieten en slibgehalten per meetplaats kunnen zijn. Ze zijn hier nog niet uitgemiddeld. Door het grote aantal waarden zal ieder punt ongeveer juist staan volgens zijn datum, maar er zal toch steeds een kleine afwijking zijn! Let ook op het verschil in schaal op de verticale as voor iedere grafiek.

Deze grafieken zijn vooral bedoeld om alle meetwaarden te bekijken op een grafiek en eventuele foute waarden eruit te halen, zoals hierboven beschreven. Verder valt op dat bij hogere debietwaarden hogere slibgehalten horen. Bij hogere snelheden zal meer slib worden getransporteerd omdat de capaciteit van de stroming om sediment te transporteren dan groter is.

Om de trends beter te zien wordt met maandgemiddelde debieten en maandgemiddelde slibgehalten gewerkt (Figuur 23-28), wat het wel mogelijk maakt om een lineaire schaal op te stellen. Door het kleiner aantal punten zijn de trends beter zichtbaar. De hogere slibgehalten komen voor tijdens de grotere debieten met per jaar een seizoenaal verloop. Dit is logische aangezien volgens de eerste methode het slibgehalte rechtstreeks wordt afgeleid uit het debiet. De piek komt overeen met de natste periode in het jaar, namelijk herfst en winter. Het dal komt overeen met de droogste periode van het jaar. Door een toename van de neerslaghoeveelheid regenval is er meer instroom in de rivieren en dit zorgt voor hogere debieten. Ook is zichtbaar dat in de jaren 2001-2003 opmerkelijk hogere debieten voorkomen dan in de latere jaren.

De vergelijking van de maandgemiddelde debieten van elke locatie wordt weergegeven op Figuur 29. Deze verschillen in grootte allemaal van elkaar, maar de algemene trends, zoals de jaarlijkse piek en dal, zijn overal herkenbaar. Nu valt nog meer op dat in 2001 tot 2003 hogere debieten voorkomen dan in de daaropvolgende jaren, en dit vooral voor de Bovenschelde: deze rivier is verantwoordelijk voor een belangrijk deel van het volledige debiet in de Zeeschelde in natte periodes². De Dijle en de Dender

² Het hydrografische bekken van de Bovenschelde is zeer groot en reikt tot in Frankrijk. Een vast deel van het water uit dit gebied wordt gebruikt om een aantal kanalen te voeden, maar van zodra die aanvoer deze behoefte overschrijdt, wordt het overtollige water afgevoerd via de Zeeschelde. Dit heeft voor gevolg dat het aandeel van de Bovenschelde in de totale afvoer naar de Zeeschelde, gedurende een drogere periode nauwelijks merkbaar is, maar zeer dominant is tijdens grote afvoer.

zorgen voor middelmatige debieten en Grote Nete, Kleine Nete en de Zenne kennen een kleiner debiet.

Op Figuur 30 staat de vergelijking van de maandgemiddelde slibgehaltenes voor elke locatie. Men zou verwachten dat in 2001 tot 2003 veel grotere slibgehaltenes aanwezig dan in de andere jaren omwille van de reeds opgemerkte grotere debieten in die periode. De slibgehaltenes liggen inderdaad iets hoger, maar het verschil is veel minder uitgesproken dan verwacht. Ook voor de Bovenschelde, waar een duidelijk hoger slibgehalte verwacht wordt dan in de andere meetlocaties, is dit niet zo uitgesproken als men zou vermoeden.

De totale slibafvoer per maand berekent volgens beide methodes wordt vergeleken met elkaar op Figuur 31 (methode 1 = correlatie debiet/slibgehalte, methode 2 = maandgemiddelde slibgehalte * debiet, meer info zie bij uitleg over de werkwijze). Zoals eerder vermeld liggen beiden redelijk dicht bij elkaar. Doordat pieken bij de debieten samenvallen met deze van slibgehaltenes is het ook logisch dat hier ook weer deze jaarlijkse piek zichtbaar is. De hogere debieten zorgen ook hier voor de hogere slibafvoer, gevolgd door een periode met lagere slibafvoer.

Figuur 32 is een vergelijking van de hoeveelheid slib die afkomstig is uit het Rupelbekken met de hoeveelheid die afkomstig is uit het Scheldebekken volgens methode 1. Rupelbekken heeft qua pieken een constanter verloop in de tijd. Er treedt wel een kleine daling op maar deze is veel minder dan bij het Scheldebekken, daar treedt een zeer grote piekdaling op na 2002. Van 1999 tot 2004 was het Scheldebekken de grootste leverancier van slib, maar sinds 2005 is het Rupelbekken verantwoordelijk voor ongeveer hetzelfde aandeel in slibaanvoer.

2.4.3 Slibafvoer

Op Figuur 14 staat een overzicht van de jaarlijkse totale slibafvoer sinds 1993 berekend volgens beide methodes. Van 1992 tot 1996 treedt jaarlijks een daling op van de gemeten slibwaardes. In 1996 en 1997 worden de laagste slibafvoeren waargenomen, waarna in 1998 plots de hoogste afvoer van slib sinds registratie gemeten wordt. In 2001 en 2002 werden de hoogste pieken geregistreerd. In 2003 treedt een grote daling op en blijft het tot 2006 vrij constant. In 2007 is er weer een lichte stijging.

Deze stijgingen en dalingen hangen vrij nauw samen met de totale neerslag die er gedurende het jaar valt. Meer neerslag zorgt namelijk voor grote watertoevoer, dus grotere debieten. Grotere debieten geven aanleiding tot hogere slibgehaltenes en zo worden ook hogere slibtotaal bereikt. De samenhang tussen neerslag en totale slibafvoer is te zien op Figuur 33. De vorm van beide grafieken komt vrij goed overeen. Omdat we nu kijken naar de totale slibafvoer en de neerslaggegevens te Ukkel werden gemeten, is het beter een vergelijking te maken met de slibaanvoer uit het Zennebekken, daar Ukkel in het afwateringsgebied van de Zenne ligt. Op Figuur 34 is de overeenkomst tussen beide grafieken inderdaad nog duidelijker.

Een overzicht van de jaarlijkse slibafvoer per meetplaats is weergegeven op Figuur 35. Dit schetst een beeld van welke rivieren verantwoordelijk zijn voor de meeste afvoer van slib. De Bovenschelde zorgt voor de grootste hoeveelheden slib. Daarnaast zorgt de Dijle voor een relatief grote aanvoer van slib. De Zenne en beide Nete's zorgen voor de kleinste aanvoer en de Dender vormt de middenmoot. Daarnaast is er de tendens dat ze een constanter verloop hebben naargelang ze minder slib aanvoeren. Verder is weer de hogere slibafvoer in 2001-2002 zichtbaar. Deze gegevens werden eveneens in een taartdiagram gegoten per jaar, bijvoorbeeld voor 2001 (Figuur 36), een jaartal in de slibafvoerpiek) en 2007 (Figuur 37, een jaartal met een waarde tussenin). Het wordt duidelijk dat in 2001 de Bovenschelde verantwoordelijk is voor een groot deel (54%) van de totale slibafvoer. In 2007 ligt dit percentage heel wat lager, namelijk 32%. Hier is een logische verklaring voor.

Tijdens de bespreking van de grafieken werd herhaaldelijk geconstateerd dat er in de periode 2001 tot 2003 een verhoogd debiet en slibafvoer was in het algemeen, maar specifiek in de Bovenschelde werden zeer grote pieken bereikt. De verklaring hiervoor valt ook te zoeken in de neerslaghoeveelheden voor die jaren. 2001 en 2002 waren namelijk 2 natte jaren, tot boven 1000 mm regen gemiddeld over een jaar. Terwijl de periode ervoor en erna lagere gemiddeldes gehaald werden. Dit gaf aanleiding tot

hogere slibafvoer naar de Beneden Zeeschelde in elke bijrivier. De reden waarom het debiet zo veel hoger is in de Bovenschelde in vergelijking met de bijrivieren ligt aan het complexe systeem van waterverdeling in Gent. In Gent heb je namelijk de samenloop van enkele rivieren en de splitsing in verscheidene kanalen. Deze kanalen hebben altijd een bepaalde hoeveelheid waterinstroom nodig, dit wordt geregeld aan de hand van stuwen. Een deel van het water dat toekomt, wordt dus verdeeld over de kanalen, de rest wordt afgevoerd via de Zeeschelde. Bij meer watertoevoer door verhoogde neerslag zal men de instroom in de kanalen niet drastisch verhogen, maar wel de hoeveelheid water die via de Schelde verder richting Noordzee stroomt vergroten. Dit zorgt voor een groter debiet in het meetstation in Melle waardoor ook een grotere totale slibafvoer bereikt wordt.

In de bijlagen zijn ook 2 tabellen opgenomen met slibafvoeren die van belang zijn voor een van de volgende hoofdstukken. Tabel 1 bevat een overzicht van de jaarlijkse totale slibafvoer van de rivieren naar de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2. Tabel 2 Bevat een overzicht van de maandelijks totale slibafvoer van de rivieren naar de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2.

3 Baggerwerken op de Schelde

3.1 Inleiding

Voorhanden waren 16 rapporten over de baggerwerken op de Westerschelde en de Zeeschelde van 1992 tot en met 2007 [13]. Deze bevatten tabellen met een overzicht van de totale baggerhoeveelheden (onderhouds- en verbeteringsbaggerwerken) in de Schelde. Ze geven weer hoeveel zand en slib er op iedere plaats gebaggerd of gestort werd per maand, alles wordt uitgedrukt in m³. Aan de hand van deze data wordt in dit hoofdstuk opnieuw naar trends gezocht die in een volgend hoofdstuk gelinkt zullen worden aan de slibbalans.

3.2 Werkwijze

Het criteria dat gebruikt wordt om het onderscheid tussen slib en zand te maken is de densiteit. Zoals eerder vermeld, meet men de densiteit op verschillende manieren, onder andere via een radioactief signaal dat op het binnenkomende slib op de baggerboot wordt uitgestuurd of via de verhouding van de inhoud van het schip ten opzichte van de inzinking van het schip. Op basis van de densiteit kunnen 3 klassen onderscheiden worden (met d = densiteit, in ton/m³):

Densiteit 1:	$d \geq 1,6$	zand
Densiteit 2:	$1,6 > d > 1,4$	mengsel van zand en slib
Densiteit 3:	$1,4 > d \geq 1,1$	voornamelijk slib

Bij een densiteit groter of gelijk aan 1,6 wordt het volume aangegeven dat rechtstreeks in de beun van het baggerschip werd opgemeten. Bij een densiteit kleiner dan 1,6 wordt het volume aangegeven dat eenzelfde hoeveelheid vaste specie zal aannemen bij een densiteit gelijk aan 2. Dit om de foutfactor die er is door het water dat vermengd is met slib weg te werken. Hiertoe wordt volgende omrekeningsformule toegepast:

$$V' = \frac{V(d-1)}{dB-1}$$

Waarin V' = herleid volume (m³)

V = het in de beun van het schip gemeten volume (m³)

d = densiteit van het mengsel

dB = densiteit waarnaar het volume V herleidt wordt, hier werd gebruikt $dB = 2$.

De slibbalans bevat enkel gegevens over de afgevoerde hoeveelheden slib, dus in dit hoofdstuk over baggerwerken houden we ook enkel rekening met de gebaggerde hoeveelheden slib, dit is de data met densiteit type 3. Sediment van densiteit type 2, dat in principe ook slib bevat, wordt niet opgenomen in de data die gebruikt wordt voor deze grafieken: dit enerzijds aangezien het zowel zand als slib betreft, anderzijds is dit gerechtvaardigd doordat het voorkomen ervan zeer beperkt is. Van deze data worden wederom grafieken gemaakt om te zoeken naar trends.

Ten einde de grafieken overzichtelijker te maken, worden de vele baggerplaatsen in de Schelde onderverdeeld in 4 zones, waarin nabij gelegen baggerlocaties gegroepeerd worden. De gehanteerde onderverdeling is:

- Zone 1:
 - Drempel van de Parel
 - Toegang Kallosluis
 - Toegang Boudewijnsluis
 - Krankeloon
- Zone 2:
 - Drempel van Frederik
 - Drempel van Lillo
 - Vaarwater P1 Lillo
 - Ketelplaat
 - Deurganckdok
 - Drempel Deurganckdok
- Zone 3:
 - Drempel van Zandvliet
 - Toegang Zandvlietsluis
 - Containerkaai Zuid
 - Containerkaai Noord
 - Noordzeeterminal
- Zone 4:
 - Drempel van Borssele
 - Put van Terneuzen
 - Drempel van Hansweert
 - Overloop Valkenisse 58-62
 - Drempel van Valkenisse

Op Figuur 38 is de onderverdeling op kaart aangeduid. Zones 1, 2 en 3 zijn volledig in België gelegen, zone 4 ligt in Nederland. Alleen de locaties waar slib gebaggerd wordt zijn opgenomen in deze onderverdeling.

3.3 Analyse van de data

Eerst werd een algemeen overzicht opgesteld van de gebaggerde hoeveelheden slib per jaar, zoals te zien is op Figuur 39. In de periode 1992-1995 werd jaarlijks ongeveer een zelfde hoeveelheid slib gebaggerd. In 1996 treed een verdubbeling op die de volgende jaren weer wat afzwakt. In 2000 en 2001 werden opnieuw dezelfde hoeveelheden gebaggerd als in 1996. In 2001 en 2002 komt een piek voor die in 2003 terug daalt en constant is in 2004 en 2005: in deze jaren benadert de gebaggerde hoeveelheid slib opnieuw de hoeveelheden van 1996. In 2006 en 2007 treedt weer een stijging op in de gebaggerde hoeveelheden slib.

Een mogelijke verklaring voor de verdubbeling in gebaggerd slib in 1996 en slechts kleine vermindering in slibbaggerwerken erna kan liggen in de 2^{de} verruiming van de Schelde in 1997-1998. In België was geen vergunning nodig voor deze verruiming waardoor de verruimingswerkzaamheden reeds in 1996 grotendeels werden uitgevoerd.

De piek van 2006-2007 is verklaarbaar door het in werking treden van het Deurganckdok (Figuur 38). Dit dok gelegen op de linkeroever is het grootste getijdendok ter wereld. Als gevolg van de aanslibbingen in het dok zijn ook veel meer baggerwerkzaamheden nodig, wat voor een piek in gebaggerd slib zorgt. Vergelijking van figuur 40 met Figuur 39 wijst erop dat deze piek inderdaad grotendeels afkomstig is van het Deurganckdok.

Op Figuur 41, waar nu per maand in plaats van per jaar gewerkt wordt, zijn dezelfde fenomenen moeilijker waarneembaar. De piek in 2001-2002 is nog goed merkbaar, deze in 2006-2007 is ook te zien, maar iets minder duidelijk. Het is minder zichtbaar doordat er meer pieken en dalen optreden binnen 1 jaar. Een trend in deze pieken is echter nog niet merkbaar.

Figuur 42 geeft een overzicht van het aandeel van iedere baggerplaats op de totale baggerwerken die werden uitgevoerd. 5 locaties hebben een aandeel van meer dan 10%, deze 5 samen zijn goed voor 85% van de totale baggerwerken sinds 1992. In volgorde van belangrijkheid zijn deze locaties: Drempel van Zandvliet (23%), Drempel van Frederik (18%), Toegang Zandvlietsluis (18%), Drempel van Lillo (16%), en Toegang Kallosluis (10%). Alle andere locaties hebben een kleiner aandeel in de gebaggerde slibhoeveelheden. Daarom wordt gewerkt via zones, zoals eerder vermeld, om zo enigszins de grafieken te vereenvoudigen en vooral het aantal grafieken te beperken

Omdat op de grafiek met totale maandelijks baggerwerken nog geen trends zichtbaar waren (Figuur 41), wordt dezelfde grafiek nog eens opnieuw gemaakt, maar nu per zone in plaats van het gehele totaal (Figuur 43). Voor we de bespreking ervan maken kijken we eerst eens naar het aandeel van iedere baggerplaats tot de geclusterde zone (Figuur 44). In zone 1 heeft de Toegang tot de Kallosluis het grootste aandeel in de baggerwerken (69%). De toegang tot de Boudewijnsluis (16%) en de drempel van de Parel (15%) zijn respectievelijk de tweede en de derde grootste baggerlocatie in deze zone. Voor zone 2 zijn het de Drempel van Frederik (45%) en de Drempel van Lillo (41%) die de grootste bijdrage hebben tot de gebaggerde slibhoeveelheden. Ook al is het Deurganckdok nog maar in werking sinds 2006, toch is het al verantwoordelijk voor 12% van de baggerwerken in deze zone. De Drempel van Zandvliet (55%) en de Toegang tot de Zandvlietsluis (42%) zijn verantwoordelijk voor de meeste baggerwerken in zone 3. In Nederland dan, zone 4, is de Drempel van Borssele de plaats waar meest baggerwerken van slib nodig zijn (69%). In deze zone moet slechts sporadisch slib gebaggerd worden (zie Figuur 45). Sinds 1992 is slechts 4 % van alle slibbaggerwerken uitgevoerd in de Westerschelde.

Figuur 43 opsplitsen in 4 afzonderlijke figuren, 1 voor elke zone, maakt het iets gemakkelijker om trends te zoeken. Let wel, per zone wordt een andere schaalverdeling op de verticale as gebruikt. Zone 1 (Figuur 46) kent voornamelijk pieken rond de jaarwisseling, dit is in het 1^{ste} en 4^{de} kwartaal. Dit sluit niet uit dat er op andere momenten in het jaar ook pieken voorkomen, vooral in 2003, 2006 en 2007 treden hier grote uitschieters op. In zone 2 is een jaarlijkse trend minder duidelijk (Figuur 47). Wel toont de grafiek vanaf 1999 opmerkelijk meer baggeractiviteit dan de periode voorheen. De hoge waarden in 2006 en 2007 zijn hier gerelateerd aan de opening van het Deurganckdok, die in deze zone ligt. Zone 3 (Figuur 48) is net zoals zone 2 redelijk onregelmatig wat gebaggerde hoeveelheden betreft. Per jaar komen 2 a 3 pieken voor, de grootste en de meeste pieken komen in de eerste helft van het jaar voor. Zone 4 heeft zoals verwacht weinig baggerwerken gekend (Figuur 49). 2 grote pieken komen voor, in 2002 en 2006, telkens gedurende het 2^{de} kwartaal. Kleinere pieken komen voor over de jaren heen, deze zijn veelal in het 2^{de} semester van het jaar gelegen.

Wat zonet besproken is wordt gestaafd door Figuur 50. Hier worden alle gebaggerde hoeveelheden over de jaren heen per maand opgeteld, dus alle 1^{ste} maanden van 1992-2007 opgeteld, alle 2^{de} maanden, enz. Zone 2 en 3 tonen de grootste spreiding over het jaar in gebaggerde hoeveelheden. Hier is duidelijk zichtbaar dat voor zone 3 in het eerste semester van het jaar iets meer gebaggerd wordt dan in het 2^{de} semester. Voor zone 4 komen kleine pieken voor in de gehele 2^{de} helft van het jaar en vertoont het verloop een quasi constante lijn. Twee zaken die verder opvallen op deze figuur zijn het scherpe dal in de maand juli, en de lagere waarden in december. Deze twee zijn beide verklaarbaar aan de hand van het bouwverlof. In deze periodes liggen de meeste baggerwerken stil. In juli is het bouwverlof 3 weken, in december 2 weken. Dit was vooral vroeger het geval, recent wordt op de Schelde meer en meer doorgewerkt in deze periode.

Omdat het Deurganckdok een speciaal geval is, bekijken we de data hiervoor eens apart. Ondanks het feit dat dit dok slechts 2 jaar in gebruik is blijkt uit Figuur 44 dat het instaat voor 5% van de totale hoeveelheden gebaggerd slib sinds 1992. In februari 2006 zijn de eerste gegevens over de baggerwerken beschikbaar (Figuur 51). Over de 2 jaren gezien komt in februari - maart een piek voor, een volgende piek rond april - mei, één in augustus en dan nog één in oktober - november. De grootste is deze rond oktober - november.

4 Correlatie Slibbalans - Baggerwerken

4.1 Inleiding

Nu zowel de slibbalansen als de hoeveelheden gebaggerd slib geanalyseerd zijn, zullen we in dit laatste deel een link tussen beide proberen te vinden. Er zal worden nagegaan of de hypothesen nu als waar aangenomen mogen worden. De hypothesen zijn:

- 1) Er bestaat een verband tussen de aanvoer van fluviatiel slib en de hoeveelheden gebaggerd slib, echter met een vertraging in tijd die het slib nodig heeft om van aan de meetstations (grens van het tijgebied) tot aan de baggerplaatsen te komen.
- 2) De invloed zal afnemen naarmate we verder stroomafwaarts op de Zeeschelde en verder op de Westerschelde gaan.

Voor dit deel werden enkel de gebaggerde slibhoeveelheden uit België gebruikt. Ook de waarden van het Deurganckdok worden uit de waarden voor België weggelaten ondanks het feit dat het dok in België ligt. In het Deurganckdok werden grote hoeveelheden gebaggerd, maar het is slechts in gebruik sinds 2006. Hierdoor worden er grotere hoeveelheden slib gebaggerd dan voordien en zorgt het dok dus voor een stijging vanaf 2006. Om een consequente tijdreeks te hebben, is het bijgevolg verantwoord deze waarden weg te laten.

4.2 Correlatie

De data van slibtoevoer wordt vergeleken met de gebaggerde hoeveelheden slib aan de hand van grafieken. Op Figuur 52 wordt de gebaggerde hoeveelheid slib en de slibtoevoer per maand uitgezet ten opzichte van de tijd. Op deze grafieken is het moeilijk enige correlatie te vinden. Wat wel te zien is, is dat een periode van hogere slibtoevoer overeenkomt met verhoogde baggeractiviteit van slib. Om het juiste verband en de vertraging die eventueel zou optreden te achterhalen, wordt de grafiek gemaakt waarin de gebaggerde hoeveelheid slib en slibtoevoer ten opzichte van elkaar worden uitgezet. Hierop wordt een lineaire trendlijn geplott, waarvan vooral de R^2 waarde ons interesseert. Een betere overeenkomst betekent namelijk een hogere R^2 waarde. Dit is voorgesteld op Figuur 53. Nu kan het zijn dat het slib uit de waterlopen met een vertraging in de Beneden Zeeschelde binnenkomt, het slib moet namelijk enige afstand afleggen in het water alvorens het op de baggerplaatsen neerslaat. Om te kijken hoeveel deze vertraging is zullen we de waarden van de slibtoevoer telkens vergelijken met de gebaggerde hoeveelheden van een maand later en zo telkens 1 maand opschuiven tot de beste R^2 waarde gevonden wordt. Deze R^2 waarden worden weergegeven in Tabel 3, en op Figuur 54 voorgesteld op grafiek. Na 1 maand wordt hier de beste R^2 bereikt, namelijk 0,10. Deze waarde ligt wel zeer laag, wat toch nog niet op een al te beste overeenkomst wijst. Dit was enigszins wel te verwachten aangezien de beslissing om op een bepaalde plaats te baggeren genomen wordt door de mens en niet louter afhangt van natuurlijke processen. Daarom zullen de gebaggerde hoeveelheden minder regelmaat vertonen dan een proces in de natuur. Bij het werken met grotere tijdsintervallen van gebaggerde hoeveelheden wordt verwacht dat een steeds betere correlatie zal optreden, aangezien effecten in de tijd worden gemiddeld. Daarom wordt hieronder gewerkt met intervallen van 3 maanden, 6 maanden, 1 jaar en 2 jaar. Verwacht wordt dat door een steeds groter interval te nemen, het willekeurige effect van de mens die beslissingen moet nemen van waar te baggeren, wegvalt. Willekeurig in die zin dat niet overal tegelijk kan gebaggerd worden en continu een laagje kan weggebaggerd worden. De beslissing voor het al dan niet baggeren wordt wel gestuurd door het feit dat de minimale diepgang in de vaargeul in gedrang komt op een bepaalde plaats, waardoor op langere termijn een betere correlatie zou moeten merkbaar zijn.

In Figuur 55 en Figuur 56 wordt respectievelijk gewerkt met een interval van 3 maanden en 6 maanden. In 1996 treden hogere gebaggerde hoeveelheden slib op, terwijl er geen hogere slibtoevoer is. Eerder werd al uitgelegd dat dit ten gevolge van de verruiming in de Beneden Zeeschelde is (zie paragraaf 3.3 Analyse van de data). In de periode 2001-2003 komt een verhoogde activiteit van slibbaggerwerken overeen met een periode van verhoogde slibtoevoer. Vanaf 2002 is ook zichtbaar dat er een verandering is opgetreden in de strategie van de baggerwerken. Voordien werd lokaal gebaggerd: waar de minimale diepgang in gedrang kwam, verdiepte men de geul. Dit uit zich in een vrij continue grafiek (geen opvallende pieken en dalen). Na 2002 wordt met zones gewerkt. Indien de minimale diepte in gedrang komt in een bepaalde zone, gaat men deze volledige zone verdiepen, hierbij een overdiepte in acht nemend. Op deze manier kan langer gewacht worden vooraleer er terug moet gebaggerd worden in die zone, maar er zal dan wel meer moeten gebaggerd worden. Dit zorgt voor de grafieken met uitgesproken pieken en dalen. Deze verandering in strategie valt samen met een wisseling van verantwoordelijke voor de baggerwerken op de Schelde. Bepalen we nu opnieuw de R^2 waarden en plaatsen we deze in grafiek, dan bekomen we Figuur 57 (per kwartaal) en Figuur 58 (per semester). Per kwartaal wordt de beste R^2 bereikt indien we de gegevens 1 kwartaal verschuiven. Deze R^2 ligt al hoger maar is nog niet optimaal. Na 1 kwartaal, en dan telkens om de 4 kwartalen wordt een maximum R^2 bereikt, maar iedere piek is iets lager dan de vorige. Na een kwartaal wordt dus de beste correlatie bereikt. Kijken we naar de R^2 per semester, dan wordt de hoogste waarde bereikt in het semester zelf. En om de 2 semesters wordt weer een maximum bereikt, dat telkens lager is dan het vorige, dit is analoog als bij de kwartalen.

Beschouwen we nu intervallen per jaar (Figuur 59), dan wordt opnieuw een betere correlatie verwacht. Dit kunnen we ook vaststellen, maar de hoogste R^2 wordt bereikt na een jaar (Tabel 3), wat niet logisch is in vergelijking met de figuren per kwartaal en semester. De verhoging in 1996 van gebaggerd slib is afkomstig van de verdieping van de Beneden Zeeschelde, dit is volledig onafhankelijk van de slibtoevoer aangezien deze extra baggerinspanning door de mens bepaald wordt. In 1998-2000 volgen de baggerwerkzaamheden niet de slibtoevoer. De verklaring hiervoor kan liggen aan het feit dat in de periode hier net voor, tijdens de verruiming, iets meer zand gebaggerd werd dan nodig was. Op Figuur 60 staan de gebaggerde zandvolumes voor de locaties waar ook slib gebaggerd werd uitgezet per jaar. In 1996 treedt een plotse stijging op door de verdieping van de Beneden Zeeschelde in die periode. Van 1996 tot 2002 is een geleidelijke daling zichtbaar in de gebaggerde hoeveelheid zand. Als men het zand onder het slib wegbaggert betekent dit dat er ook meer slib zal kunnen sedimenteren vooraleer weer gebaggerd moet worden. Dit in combinatie met tijdelijke beperkingen in het baggerbudget zou ervoor kunnen zorgen dat de baggerwerken van 1998 tot 2000 de slibtoevoer niet volgen. In 2001 treedt dan een grote stijging op in gebaggerd slib, deze piek ligt samen met een vergrote slibtoevoer. In 2002 is er nog een lichte stijging in de baggerwerken, maar al een kleine daling in de slibtoevoer. Dit zou kunnen zijn doordat er minder gebaggerd werd in de periode 1998-2000, waardoor nu die achterstand moet worden ingehaald. Een tweede reden kan zijn dat er minder zand gebaggerd werd in deze periode (te zien op Figuur 60), waardoor er minder ruimte beschikbaar was voor het slib om te sedimenteren en de minimale diepte sneller in gedrang kwam. Daardoor treedt een kleine vertraging op in de grafiek tussen slibtoevoer en baggerwerken. Vanaf 2004 volgt de curve van de gebaggerde hoeveelheden slib dan weer de vorm van de curve van slibtoevoer. De slibtoevoer ligt ongeveer gelijk aan deze van 1992-1995, de hoeveelheden gebaggerd slib liggen echter dubbel zo hoog. De baggerwerken zijn wel ongeveer gelijk met deze van 1996 - 2000 (nu liggen ze wel ietsje hoger dan toen, maar niet veel). Dit kan zijn door de verruiming, om de geul op de minimale diepte te houden zijn continue grotere baggerwerken nodig. Op deze figuur is het verschil tussen de baggerstrategie in "vlekken" en "zones" weggevallen. Op jaarbasis zijn de pieken en dalen die optreden bij de strategie in zones bij een kleiner tijdsinterval weggevallen.

Ook indien we een interval van 2 jaar kiezen is de vorm van de curve nog niet zoals gehoopt (Figuur 61). De problemen uitgelegd bij een interval van 1 jaar zijn hier nog steeds aanwezig.

Op Figuur 62 staat de evolutie in R^2 . De maximum waarde werd genomen voor het interval per maand, kwartaal en semester. Per jaar en per 2 jaar werd weggelaten door de eerder aangegeven problemen op deze waarden. Een duidelijke betere overeenkomst treedt op naargelang een groter interval genomen wordt. Wat er op wijst dat als we een groter tijdsinterval nemen de overeenkomst tussen slibtoevoer en gebaggerde hoeveelheden verbeterd. Op langere termijn neemt de invloed van de mens om beslissingen te nemen over de hoeveelheid die gebaggerd moet worden dus af, en gaat deze hoeveelheid gedeeltelijk afhangen van de slibtoevoer naar de Beneden Zeeschelde.

Bij de grafieken waar R^2 berekend wordt moet wel opgemerkt worden dat steeds minder punten aanwezig zijn die geplot worden, waardoor de R^2 waarde ook meer kans heeft om beter te zijn daar de trendlijn door minder punten moet liggen. Hierdoor zullen makkelijker hogere R^2 waarden bekomen worden. De R^2 waarden blijven ook redelijk klein over de intervallen heen. Per semester wordt een maximum R^2 bereikt van 0,29. Dit betekent dat maar ongeveer 29% van de geplotte punten verklaard wordt aan de hand van de regressierechte. Er moet dus voorzichtig omgegaan worden met deze R^2 waarden, en de bekomen resultaten.

5 Besluit

5.1 Slibbalans

De slibtoevoer naar de Beneden Zeeschelde is geen constant fenomeen. Debiet, slibgehalte en slibtoevoer zijn evenredig met elkaar. Maandelijks schommelingen treden op naargelang er meer of minder neerslag valt en er is een duidelijke jaarlijkse piek in de natte periode en een dal in de droge periode. Ook jaarlijkse variaties treden op naargelang er meer of minder regen valt, zo zijn 2001 en 2002 gekenmerkt door een relatief grote hoeveelheid neerslag waardoor ook de slibtoevoer een piek vertoont. De totale slibtoevoer wordt bekomen door al het slib dat in het tijgebied van het Schelde estuarium binnenstroomt te vermeerderen met een correlatiefactor voor de gebieden die niet door de meetpunten gedekt worden. Hierbij is vooral het Scheldebekken met de Bovenschelde de grootste leverancier aan slib. In het Rupelbekken is de Dijle de grootste leverancier aan slib.

De data voor slibtoevoer die uit de berekeningen bekomen werd is onderhevig aan enkele onnauwkeurigheden, maar door consequente werkmethode zijn de trends wel eenduidig. Aangezien vooral met de trends verder gewerkt werd voldeed de data wel aan de nodige vereisten voor dit onderzoek.

5.2 Slibbaggerwerken

De trends bij de gebaggerde slibhoeveelheden zijn minder duidelijk dan bij de slibbalans. Logisch, want slibtoevoer is een natuurlijk proces, terwijl baggeren gedaan wordt door de mens en dus altijd een menselijke beslissing volgt. Maar deze beslissing is wel het gevolg van een natuurlijk proces waardoor toch enigszins trends merkbaar zijn. Afhankelijk van de zone waarin gebaggerd wordt, zijn deze iets meer of minder duidelijk.

In zones 1, 2 en 3, dit zijn zones in de Zeeschelde ter hoogte van de Antwerpse haven, moet frequent slib gebaggerd worden. In zone 4 moet slechts sporadisch slib gebaggerd worden. Soms zijn er seizoenale trends merkbaar, maar deze zijn niet allemaal even uitgesproken. Vooral aan de toegangswegen naar sluizen moet meer gebaggerd worden. Doordat het water er veel lagere stroomsnelheden heeft, kan het slib bezinken. Het Deurganckdok is verantwoordelijk voor een groot deel van de slibbaggerwerken sinds het is opengegaan in 2006. De aanvoer van slib uit de Schelde blijft in dit praktisch stilstaand water gevangen en krijgt de kans te sedimenteren.

5.3 Correlatie

De correlatie tussen beide is minder goed dan verwacht. Dit vooral door toedoen van menselijke beslissingen. Deze zijn niet zo continu als natuurlijke processen. Een beslissing moet genomen worden over waar en hoeveel precies moet gebaggerd worden op een locatie. Dit kan op korte termijn afwijken van de natuurlijke aanvoer van slib, op lange termijn zal echter een betere correlatie bereikt worden. De aanvoer van slib zorgt er namelijk voor dat de minimale diepgang in het gedrang komt. Op korte termijn is afwijking tussen menselijke beslissing en natuurlijk proces dus frequent aanwezig, op langere termijn zal echter meer en meer overeenkomst optreden aangezien de menselijke beslissing en natuurlijke aanvoer van slib dan samenvallen. Er zijn echter ook fenomenen die voor verdere afwijking zorgen tussen slibtoevoer en baggerwerken, vooral verruimingswerken zijn hiervoor verantwoordelijk.

De belangrijkste events in de onderzochte periode van 1992 tot 2007 zijn:

- 1996: De 2^{de} verruiming van de Zeeschelde, zorgt voor een plotse stijging in de baggerhoeveelheid die vanaf dan steeds rond dat niveau blijft.

- 2001-2002: 2 zeer natte jaren. Meer regen betekent grotere debieten, grotere debieten leiden tot hogere slibgehalten. Combinatie van hogere debieten en hogere slibgehalten zorgen voor een grotere slibtoevoer. De hogere slibtoevoer is ook merkbaar in de baggerwerken, deze jaartallen zijn meer baggerwerken op slib nodig dan andere jaartallen.

De vooropgestelde hypothesen waren:

- 1) Er bestaat een verband tussen de aanvoer van fluviatiel slib en de hoeveelheden gebaggerd slib, echter met een vertraging in de tijd die het slib nodig heeft om van aan de meetstations tot aan de baggerplaatsen te geraken.
- 2) Ook zal de invloed afnemen naarmate we verder stroomafwaarts op de Zeeschelde en verder op de Westerschelde gaan.

Hypothese 1 werd inderdaad bevestigd. Per maand komt na 1 maand de beste correlatie voor. Per kwartaal komt de beste overeenkomst voor na 1 kwartaal. Het verband wordt wel gestoord door allerlei menselijke factoren. En er dient opgemerkt te worden dat het verband zwak is, wat wordt bevestigd door een lage correlatiecoëfficiënt R^2 . De vertraging ontstaat doordat het slib enige tijd nodig heeft om getransporteerd te worden vanaf de meetplaats tot aan de baggerlocaties. Hypothese 2 kon niet onderzocht worden doordat de data hiervoor ontoereikend was.

6 Dankwoord

Een woord van dank gaat hierbij uit naar ir. Stefaan Ides, die instond voor de goede begeleiding van dit project en zorgde voor de nodige uitleg omtrent dit onderwerp. Verder wil ik mijn dank betuigen aan De Heer Marc Wouters voor de nodige uitleg bij de rapporten over de slibbalansen en ir. Eric Taverniers voor de uitleg bij de rapporten over de slibbalansen en deze over de baggerwerken.

7 Referenties

- [1] http://www.isc-cie.com/index_nl.asp (20 oktober 2008)
- [2] Van Eck, B. (1999). *De Scheldeatlas, een beeld van een estuarium*. Middelburg. 120pp
- [3] Peters J.J. (1975). *Model voor de studie van de verontreiniging van het Schelde estuarium, De gouden delta 2*
- [4] Keller X., Ides S. (2007). *Analyse saliniteitsdata - Hoog- en laagwater kenteringsvaarten Schelde 1975 – 2006*. WL Rapporten, 770/24. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.
- [5] www.portofantwerp.com (14 oktober 2008)
- [6] http://www.portofantwerp.com/annualreport/2007/en/act_freightvolumes.html (14 oktober 2008)
- [7] <http://www.businessdictionary.com/definition/twenty-foot-equivalent-unit-TEU.html> (22 oktober 2008)
- [8] Ides S., Plancke Y., De Mulder T. (2007). *Beneden Zee- en Westerschelde: morfologische analyse van de bagger- en stortingsintensiteitsdata van 2000 tot en met 2005*. WL Rapporten, 791/02. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België
- [9] *Beneden Zeeschelde Slibbalans 1992* Nr.AZ/93.3
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1993 Nr. AZ/94.2
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1994 Verslag AMS.95/02
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1995
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1996 Depotnummer: D/1997/3241/244
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1997
Beneden Zeeschelde Slibbalans 1998

Bovenstaande rapporten zijn uitgegeven door de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leemfilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.

Auteur: ir. E. Taverniers. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.

Voor 1999-2007 werden Excel bestanden gebruikt, deze zijn aanwezig in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout.

- [10] <http://www.kmi.be> (6 oktober 2008)
- [11] <http://home.scarlet.be/weerstation.ransberg/neerslag1833.htm> (6 oktober 2008)
- [12] *Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1992*
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1993
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1994
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1995
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1996
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1997
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1998
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 1999
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2000
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2001
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2002
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2003
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2004
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2005
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2006
Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2007

Bovenstaande rapporten zijn opgesteld door het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leemfilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde (tot en met 2003), Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling

Maritieme Toegang (vanaf 2004).

[13] De Wit K., Sas M. (2007). *Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden Zeeschelde en Westerschelde, Achtergronddocument Baggeren en storten. Versie 3.4*. Technische Scheldec commissie 071015 Achtergronddocument Baggeren en storten versie 3.4.pdf

[14] <http://jsp.vlaamsparlement.be/docs/cd/684-4/presentaties/e.antwerpen.ppt#273,21>, Maritieme toegang. In Westerschelde alleen drempels baggeren (15 oktober 2008)

Bijlage 1: Tabellen

Tabel 1 - Overzicht van de jaarlijkse totale slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2.

Jaartal	Slibtoevoer in ton volgens methode 1	Slibtoevoer in ton volgens methode 2
1992	230.496	236.216
1993	191.131	201.569
1994	184.129	189.042
1995	167.612	158.899
1996	83.883	89.708
1997	99.188	91.898
1998	237.522	257.875
1999	313.264	328.272
2000	264.682	287.881
2001	429.717	452.016
2002	372.269	384.461
2003	165.211	177.588
2004	136.161	144.943
2005	136.716	137.189
2006	162.209	141.262
2007	200.277	189.937

Tabel 2 - Overzicht van de maandelijkse totale slibtoevoer in de Beneden Zeeschelde berekend volgens methode 1 en 2.

Jaartal	Maand	Slibtoevoer te Schelle volgens methode 1	Slibtoevoer te Schelle volgens methode 2
1999	januari	56.469	61.320
	februari	41.293	41.545
	maart	37.633	35.329
	april	18.413	19.180
	mei	10.900	10.666
	juni	10.234	14.095
	juli	7.134	7.221
	augustus	7.494	7.069
	september	5.220	4.746
	oktober	7.280	7.450
	november	7.122	5.730
	december	104.072	113.922
2000	januari	26.861	36.159
	februari	35.367	29.358
	maart	25.963	18.418
	april	16.272	12.824
	mei	16.361	12.524
	juni	8.494	14.319
	juli	22.840	25.711
	augustus	8.180	7.509
	september	8.129	6.764
	oktober	19.446	24.217
	november	35.010	50.080
	december	41.759	50.000
2001	januari	75.299	73.467
	februari	50.974	69.437
	maart	82.283	103.081
	april	66.021	61.935
	mei	18.198	15.999
	juni	8.467	10.623
	juli	10.194	12.755
	augustus	6.198	8.181
	september	29.495	33.491
	oktober	15.585	16.585
	november	27.311	21.490
	december	39.692	24.972
2002	januari	39.235	49.693
	februari	81.783	77.013
	maart	66.934	60.828
	april	15.742	17.143
	mei	16.024	16.606
	juni	11.395	16.160
	juli	11.001	10.598
	augustus	18.905	20.808
	september	8.358	8.167
	oktober	11.650	10.327
	november	42.139	42.568

	december	49.103	54.548
2003	januari	59.664	63.233
	februari	26.112	30.327
	maart	16.290	15.829
	april	9.494	9.731
	mei	11.282	10.770
	juni	7.141	8.040
	juli	6.542	9.077
	augustus	4.171	3.725
	september	3.762	3.706
	oktober	5.501	5.540
	november	5.507	5.468
	december	9.745	12.143
2004	januari	44.183	58.178
	februari	18.911	16.749
	maart	11.000	10.242
	april	6.554	5.160
	mei	5.614	5.455
	juni	3.991	4.339
	juli	6.245	5.133
	augustus	6.937	6.435
	september	4.427	4.878
	oktober	4.781	6.296
	november	9.464	9.758
	december	14.054	12.322
2005	januari	13.574	9.362
	februari	29.974	27.481
	maart	15.464	11.533
	april	10.655	8.611
	mei	9.139	8.459
	juni	3.901	5.071
	juli	11.373	15.701
	augustus	7.440	11.029
	september	4.498	5.841
	oktober	5.922	8.363
	november	11.009	15.070
	december	13.767	10.667
2006	januari	11.881	10.133
	februari	25.813	29.120
	maart	23.718	15.325
	april	15.293	10.044
	mei	16.142	16.546
	juni	7.637	6.403
	juli	3.867	4.076
	augustus	15.596	12.315
	september	4.364	3.974
	oktober	5.596	5.066
	november	9.797	7.673
	december	22.505	20.587
2007	januari	31.698	18.214
	februari	29.008	28.037
	maart	39.954	29.658
	april	4.713	4.019

mei	5.763	5.087
juni	6.507	4.091
Juli	11.939	9.488
augustus	7.297	8.304
september	4.383	4.317
oktober	8.252	7.904
november	13.210	10.750
december	37.553	60.069

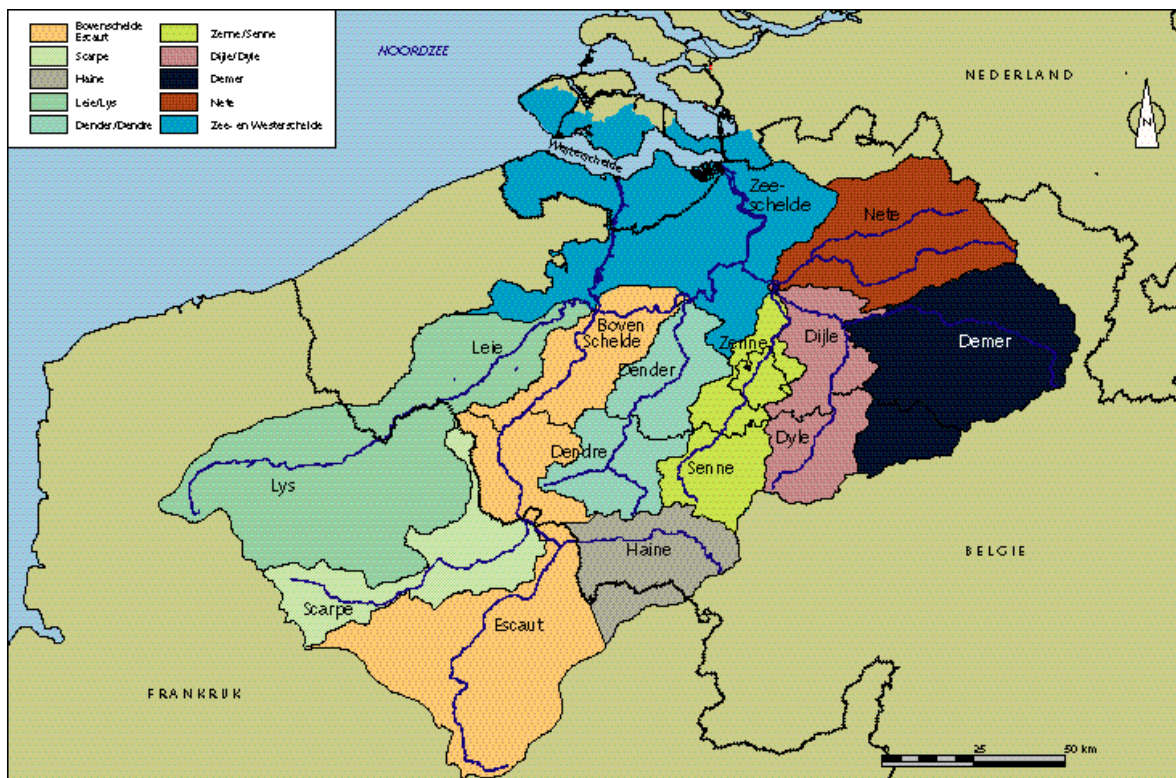
Tabel 3 - R² waarden bij verschillende intervallen en bij verschillende verschuivingen.

verschuiving	Interval				
	maand	kwartaal	semester	jaar	2 jaar
0	0,048	0,102	0,285	0,362	0,279
1	0,104	0,214	0,148	0,490	0,529
2	0,084	0,078	0,267	0,314	0,001
3	0,033	0,051	0,197	0,103	
4	0,028	0,089	0,243		
5	0,040	0,176	0,133		
6	0,015	0,087	0,164		
7	0,024	0,058	0,001		
8	0,040	0,125	0,018		
9	0,049	0,163			
10	0,021	0,053			
11	0,021	0,031			
12	0,032	0,076			
13	0,026	0,089			
14	0,056	0,005			
15	0,059				
16	0,064				
17	0,036				
18	0,008				
19	0,025				
20	0,023				
21	0,040				
22	0,028				
23	0,031				
24	0,010				
25	0,040				
26	0,041				
27	0,078				
28	0,028				
29	0,028				
30	0,024				

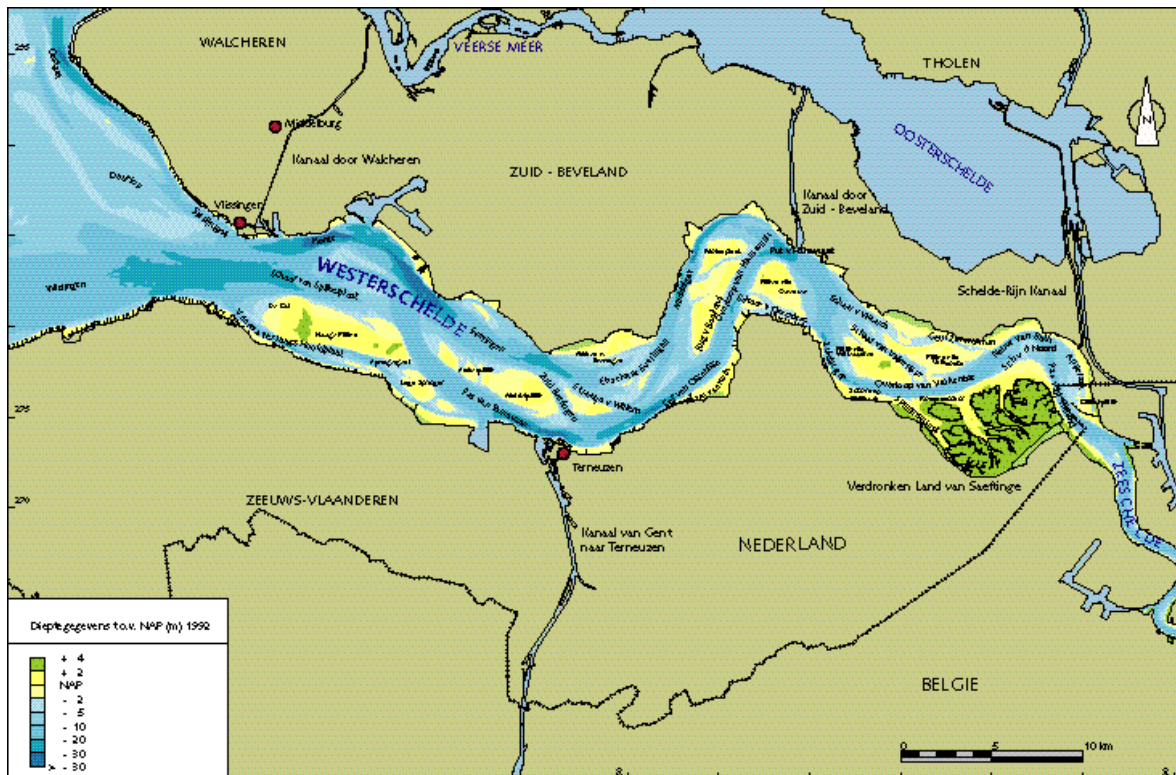
Bijlage 2: Figuren



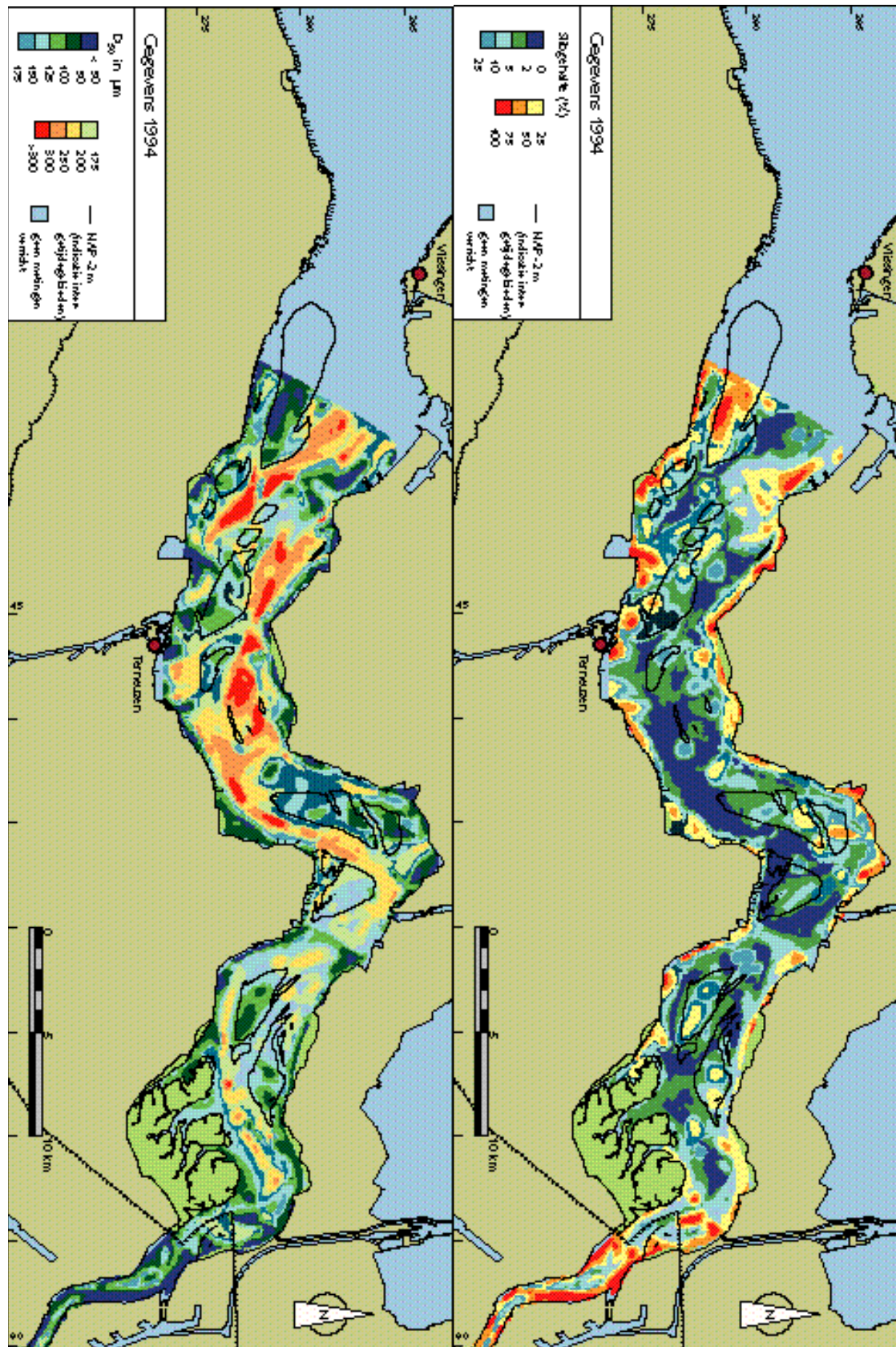
Figuur 1 - Stroomgebied van de Schelde, topografisch. Bron: De Scheldeatlas.



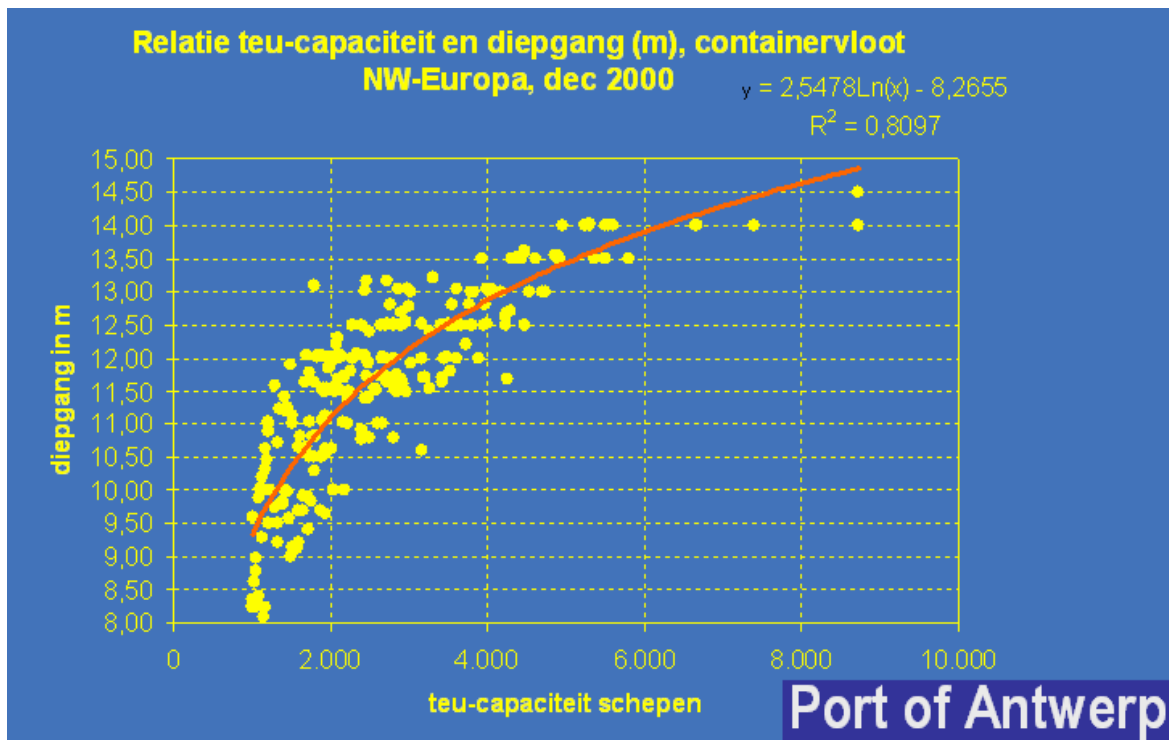
Figuur 2 - Deelstroomgebieden van de Schelde. Bron: De Scheldeatlas.



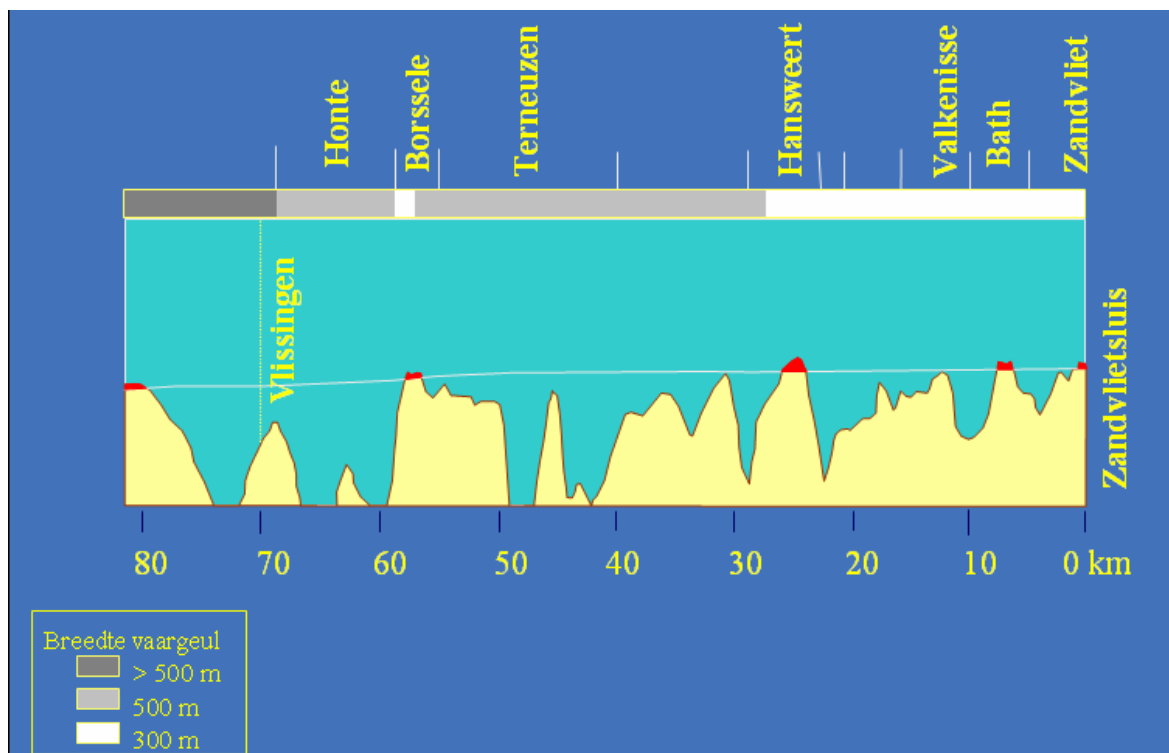
Figuur 3 - Meergeulensysteem in de Westerschelde. Bron: De Scheldeatlas.



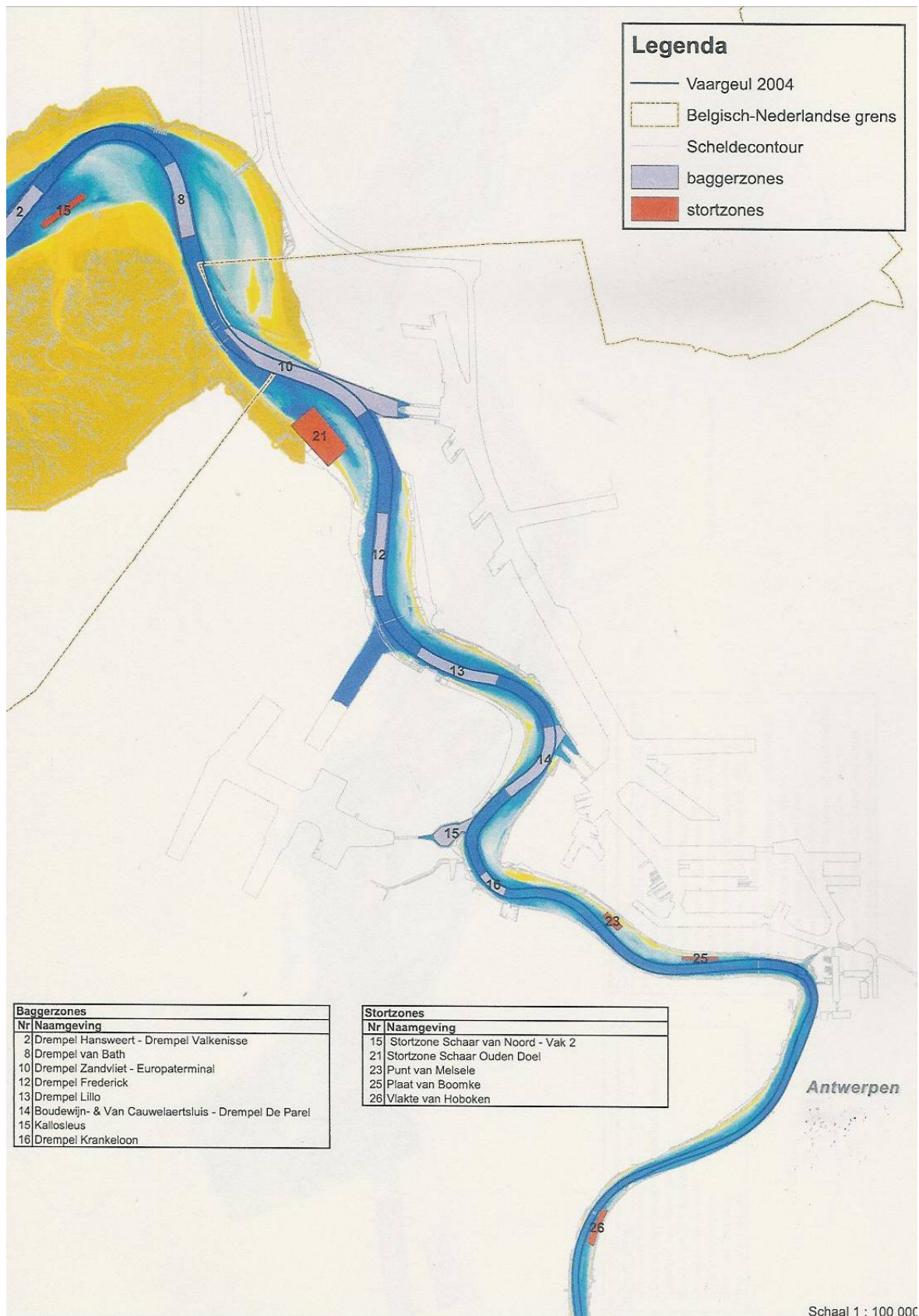
Figuur 5 - Korrelgroottes (onder) en slibpercentages (boven) in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Bron: De Scheldeatlas



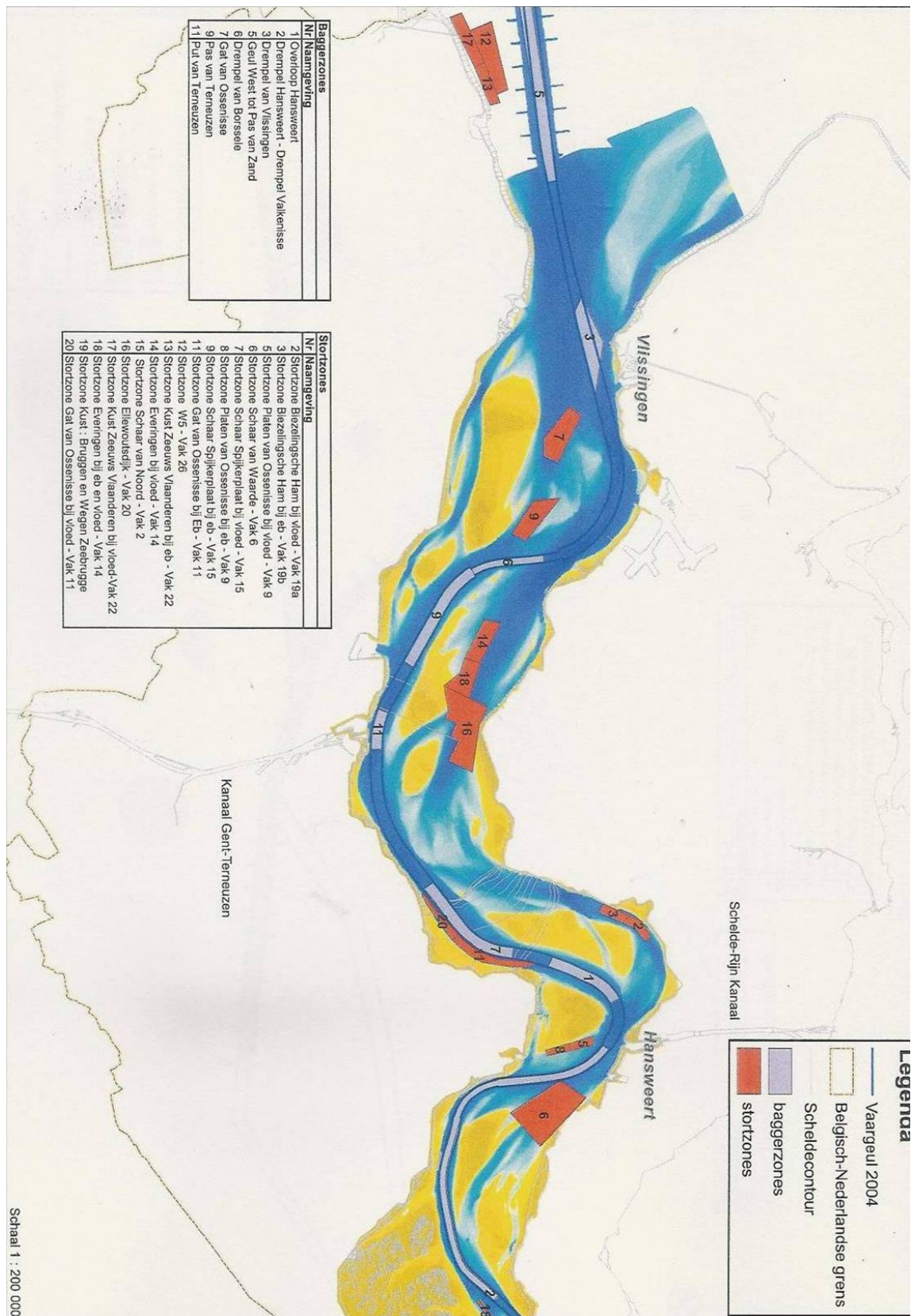
Figuur 6 - Relatie tussen TEU-capaciteit van de schepen en de diepgang van het schip. Bron: <http://jsp.vlaamsparlement.be>



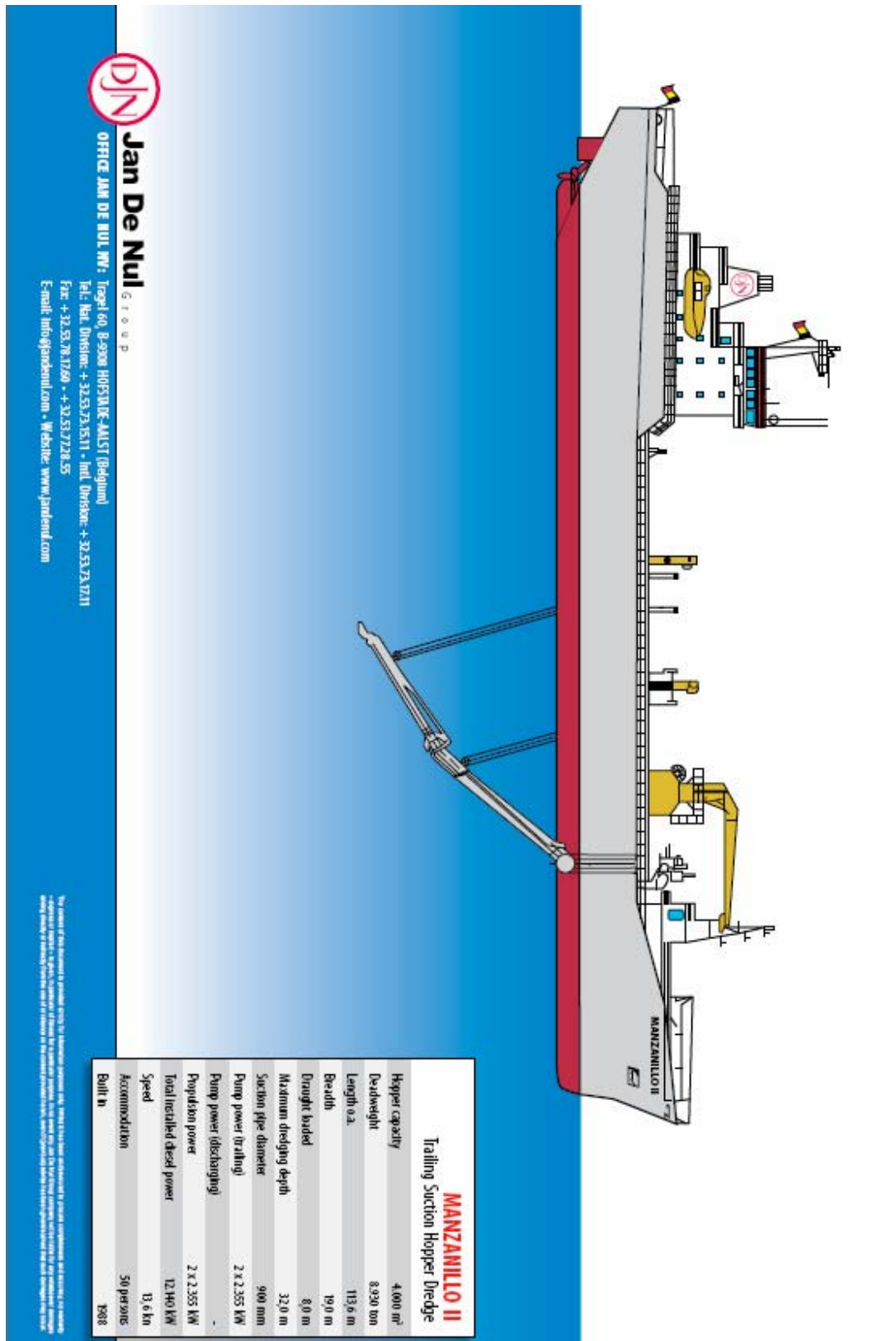
Figuur 7 - Baggerlocaties in de Westerschelde op langsprofiel. Bron: <http://jsp.vlaamsparlement.be>



Figuur 8 - Bagger- en stortlocaties in de Beneden Zeeschelde (2004). Bron: Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2004



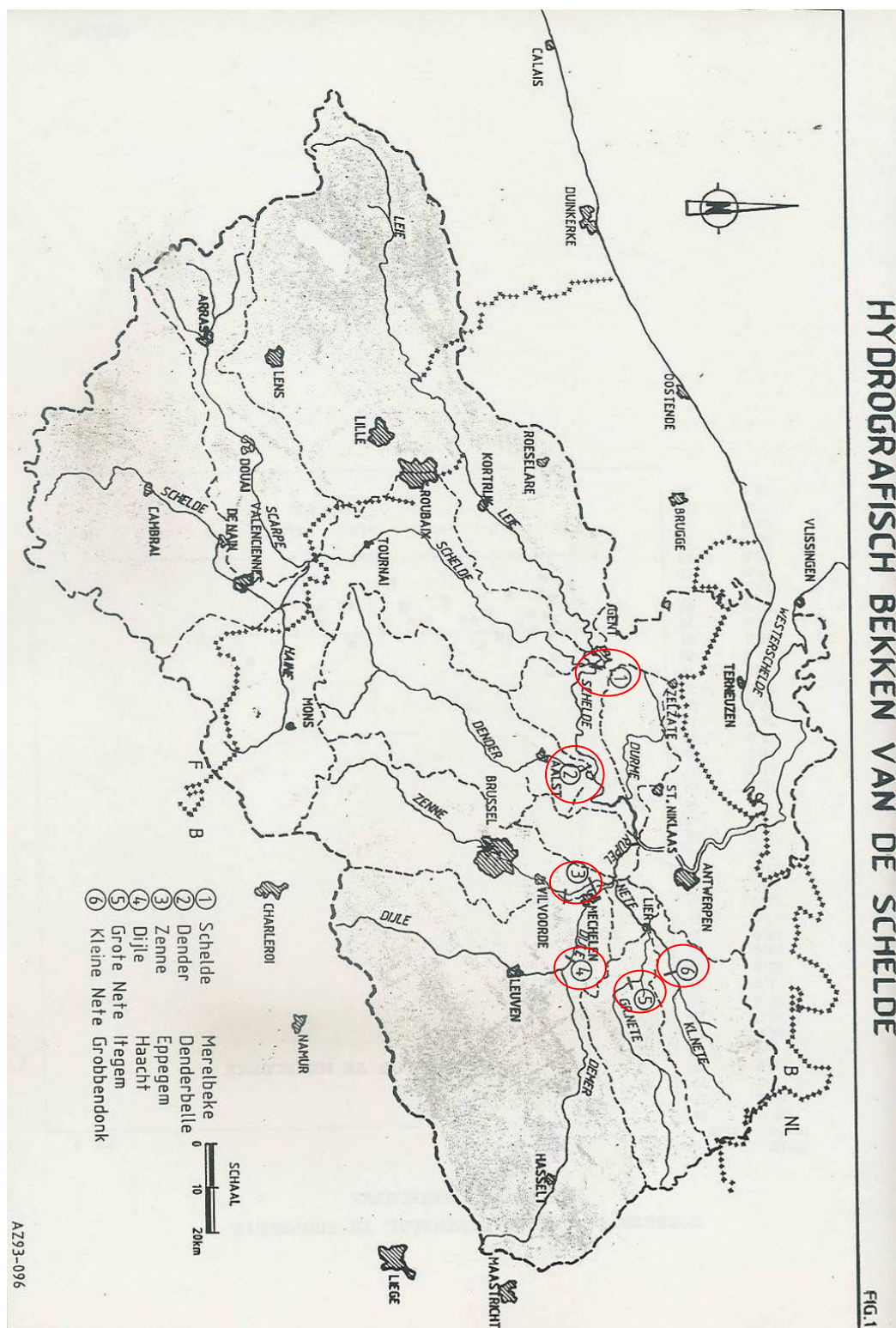
Figuur 9 - Bagger- en stortlocaties in de Westerschelde (2004). Bron: Westerschelde en Zeeschelde baggerwerken 2004.



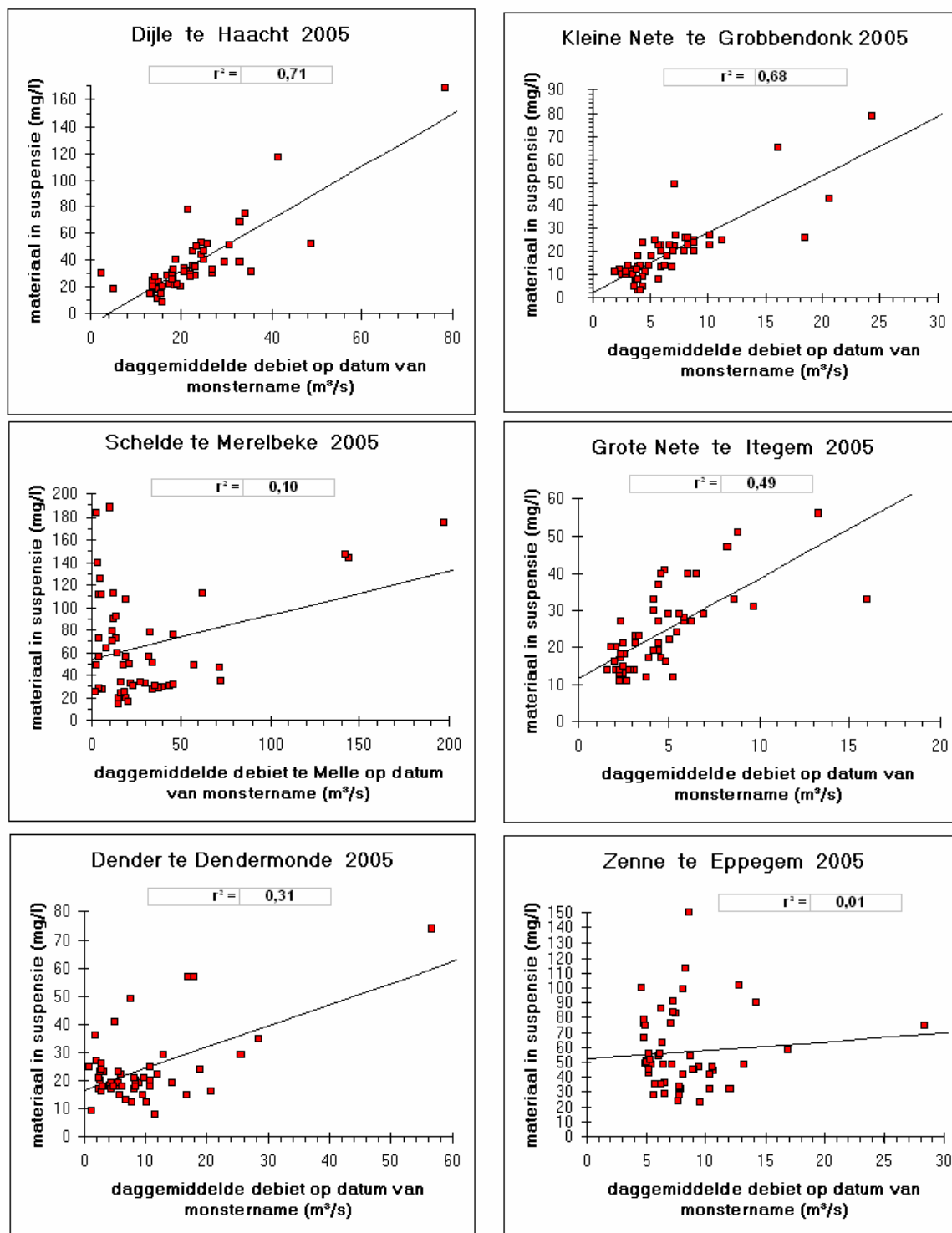
Figuur 10 - Schematische figuur van sleehopperzuiger met zuigbuis. Bron: Infobrochure Jan De Nul.



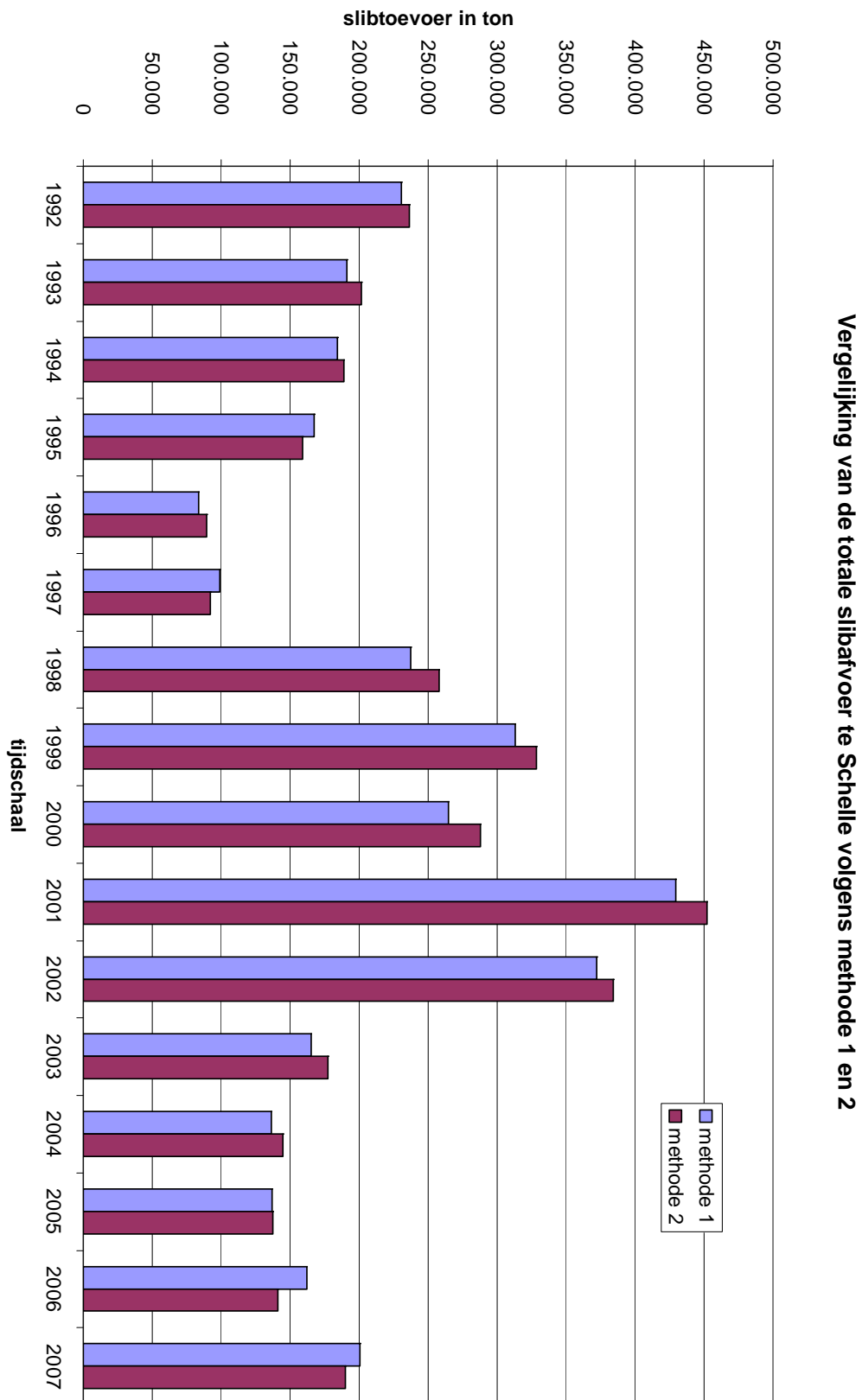
Figuur 11 - Sleepkop van een sleephopperzuiger. Foto door Charlotte Dhollander.



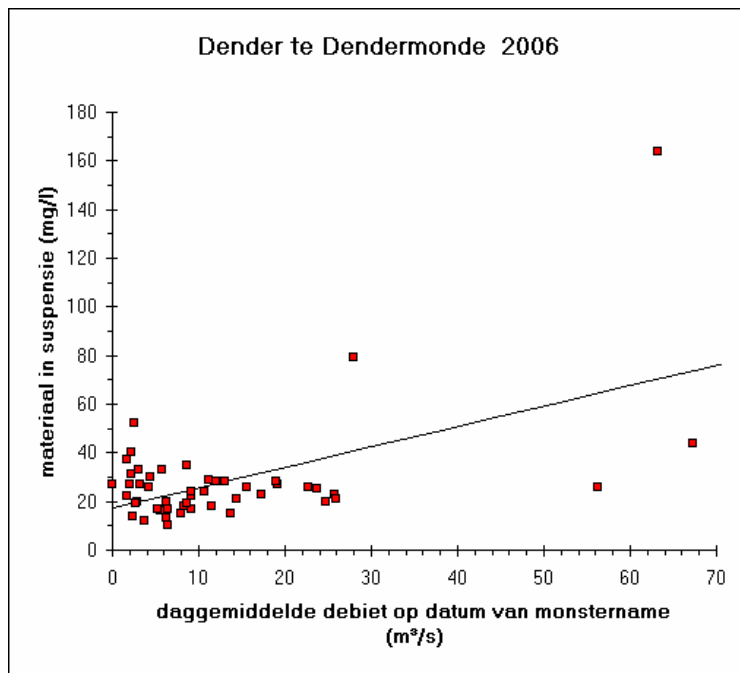
Figuur 12 - Hydrografisch bekken van de Schelde met aanduiding van de meetpunten. Bron: Beneden Zeeschelde Slibbalans 1992



Figuur 13 - Gemeten slibgehalte in functie van debiet voor het jaar 2005. De rechte werd bekomen via kleinste kwadratenmethode.

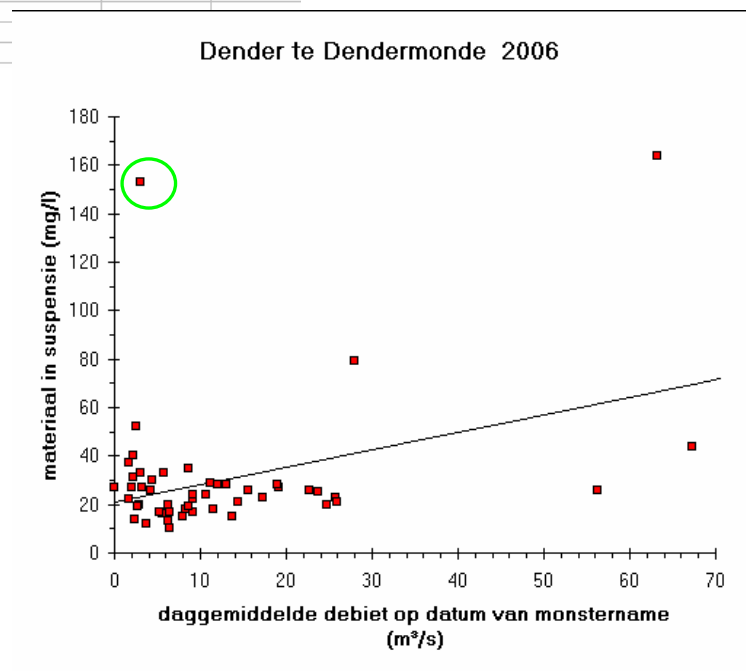


Figuur 14 - Vergelijking van de totale slibtoevoer te Schelle volgens methode 1 en methode 2.



$$\text{SLIBGEHALTE} = a * \text{DEBIET (m}^3/\text{s)} + b$$

a = 0,84
b = 17,17
r² = 0,30

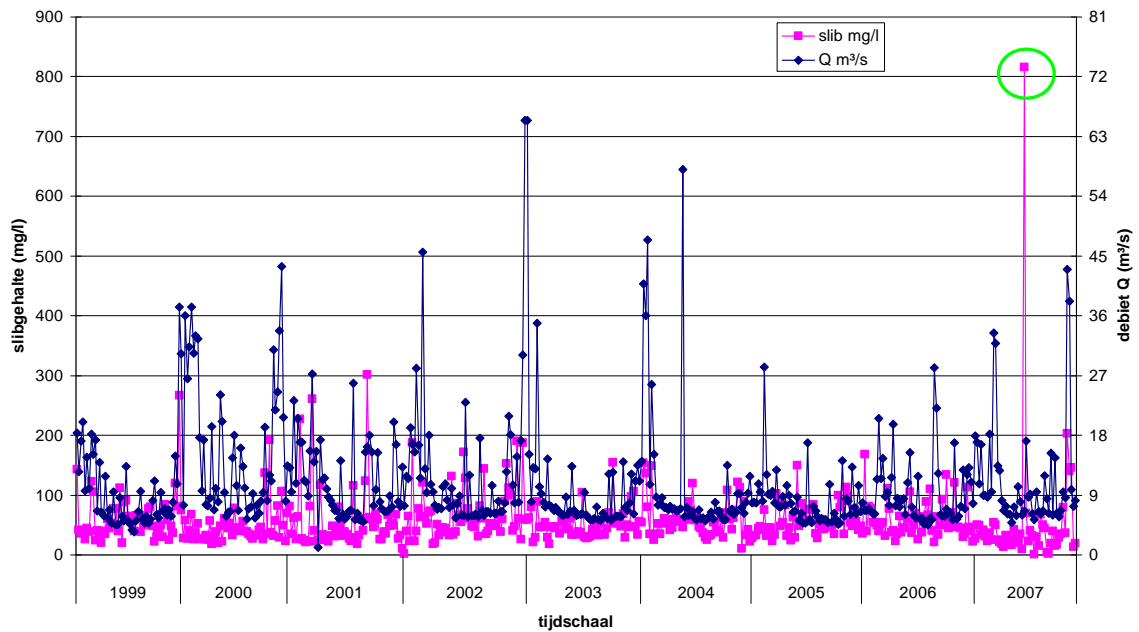


$$\text{SLIBGEHALTE} = a * \text{DEBIET (m}^3/\text{s)} + b$$

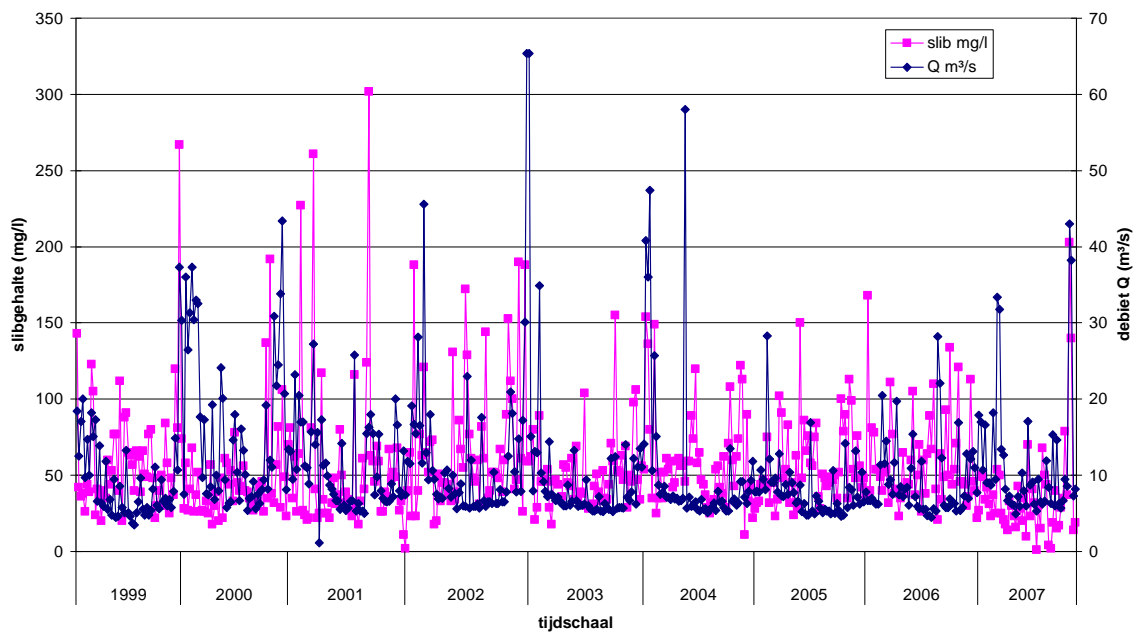
a = 0,72
b = 21,23
r² = 0,14

Figuur 15 - Verwijdering van onlogische waarden. Rechtsonder: originele grafiek, Linksboven: herwerkte grafiek. Verwijderd punt is omcirkeld. De parameters a en b van de kleinste kwadratenmethode veranderen hierdoor eveneens!

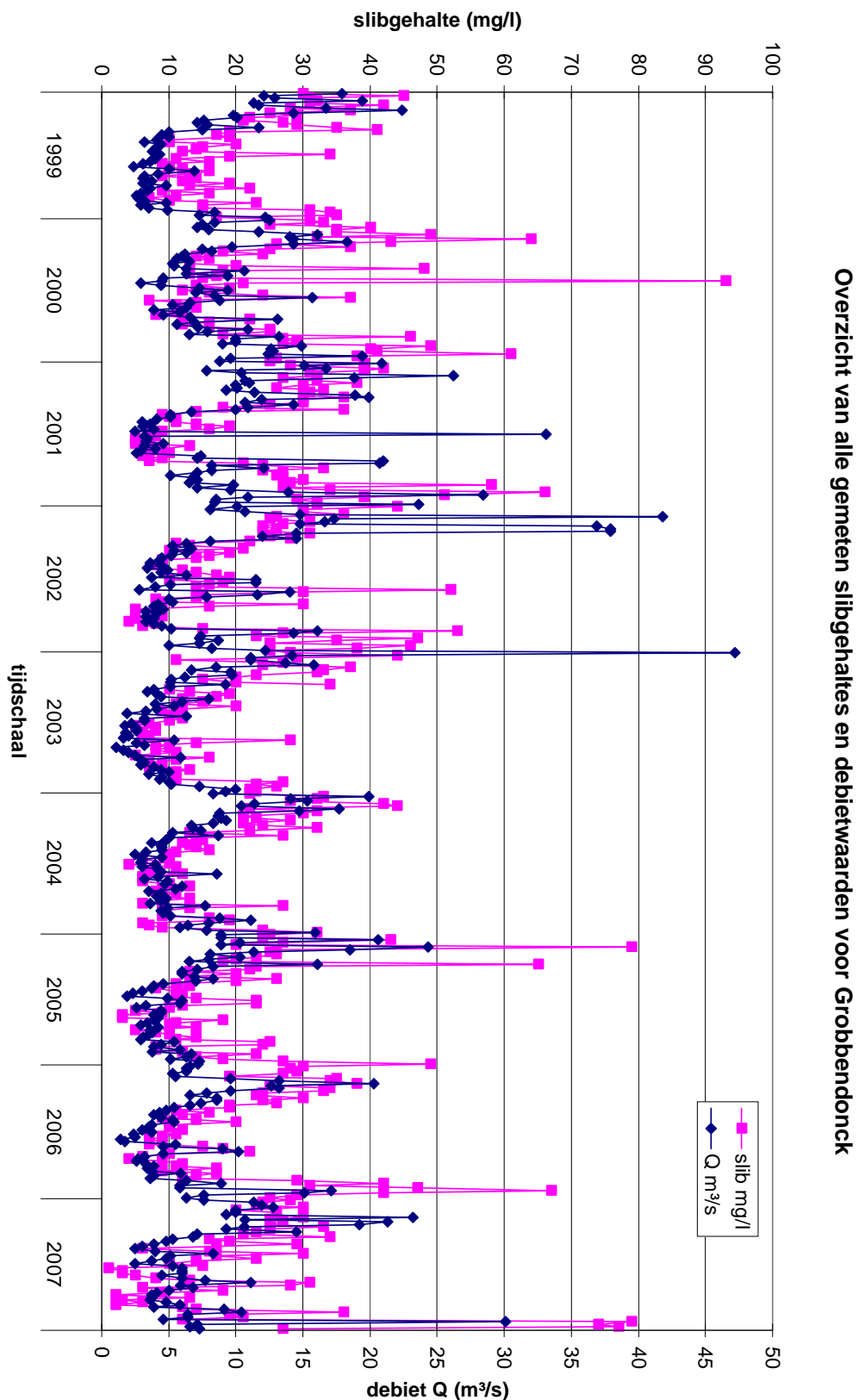
Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Epepegem



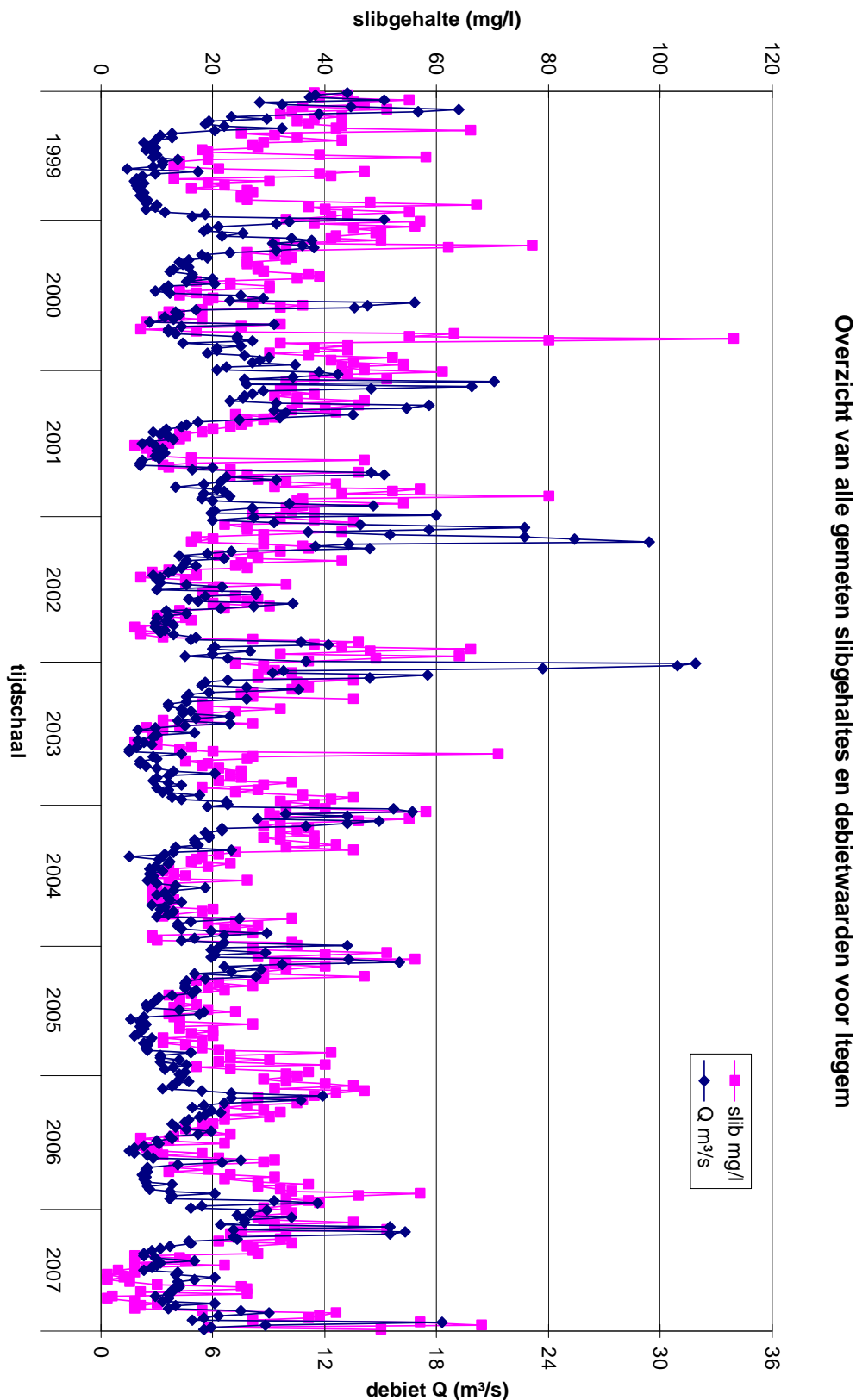
Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Epepegem



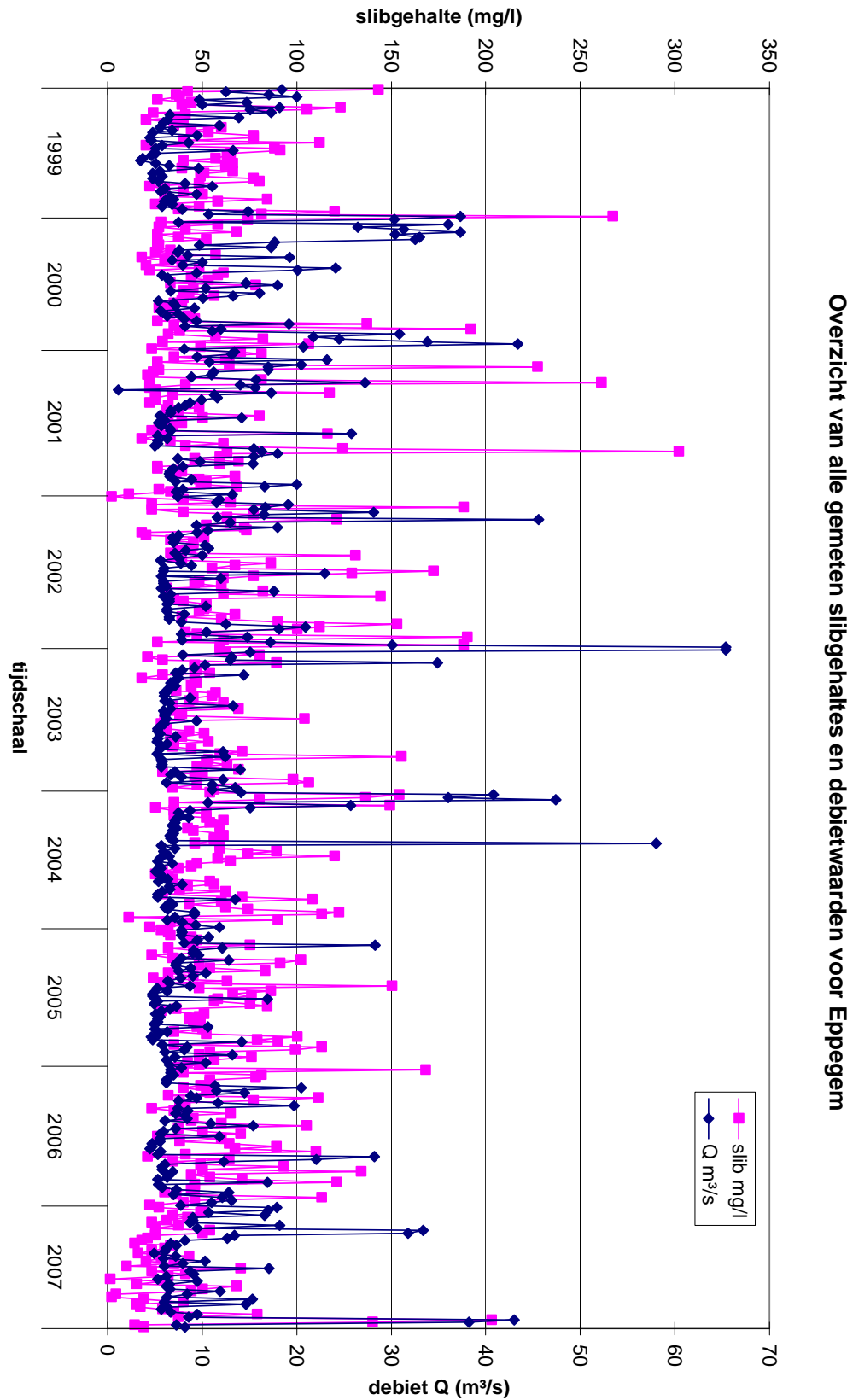
Figuur 16 - Verwijdering van onlogische waarden aan de hand van grafiek waar debiet en slibgehaltenes worden uitgezet tegenover een tijdschaal. Boven de originele grafiek, onder met herwerkte data. Let op, schaalverdeling verticale assen is verschillend in beide figuren.



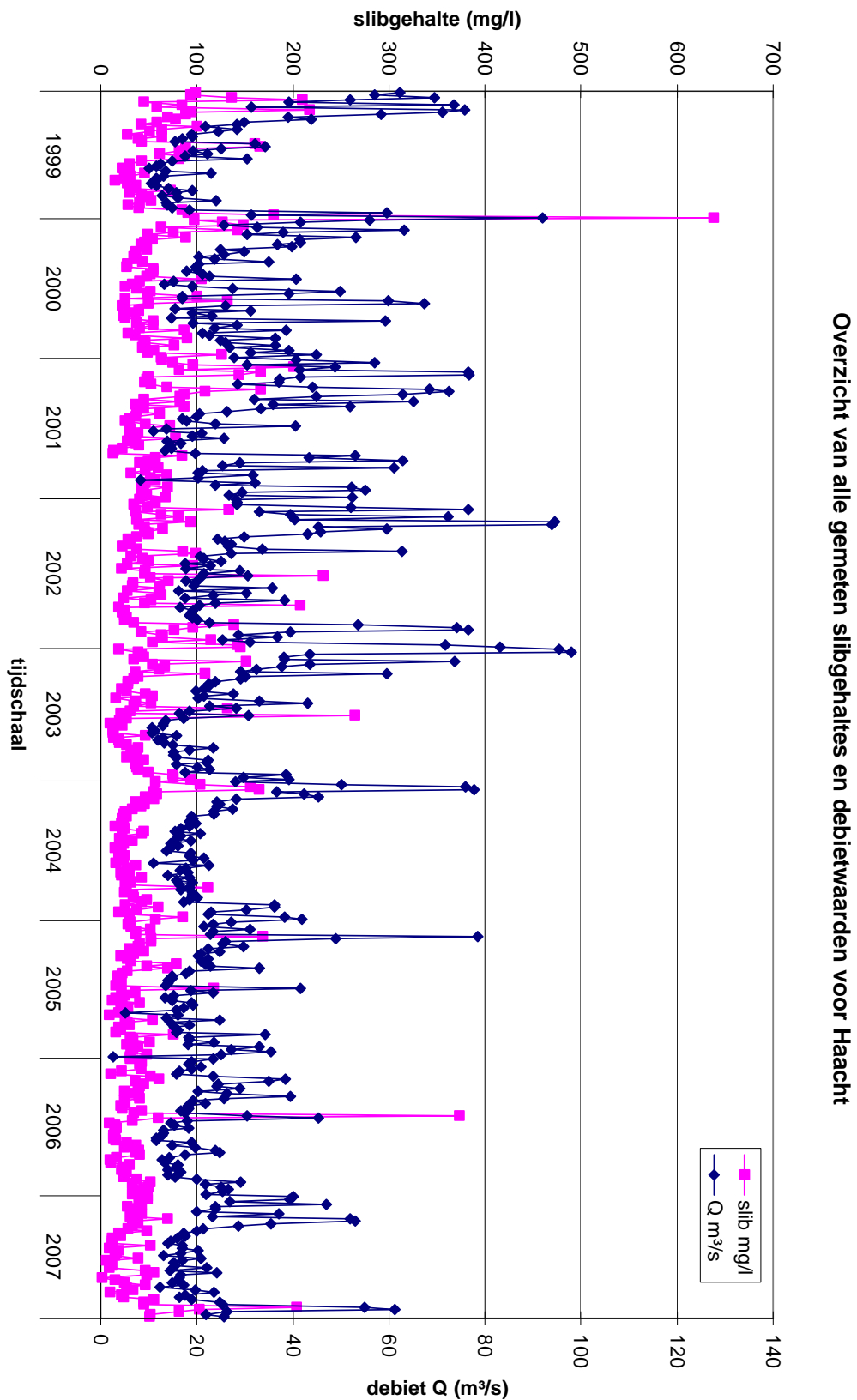
Figuur 17 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Grobbendonck.



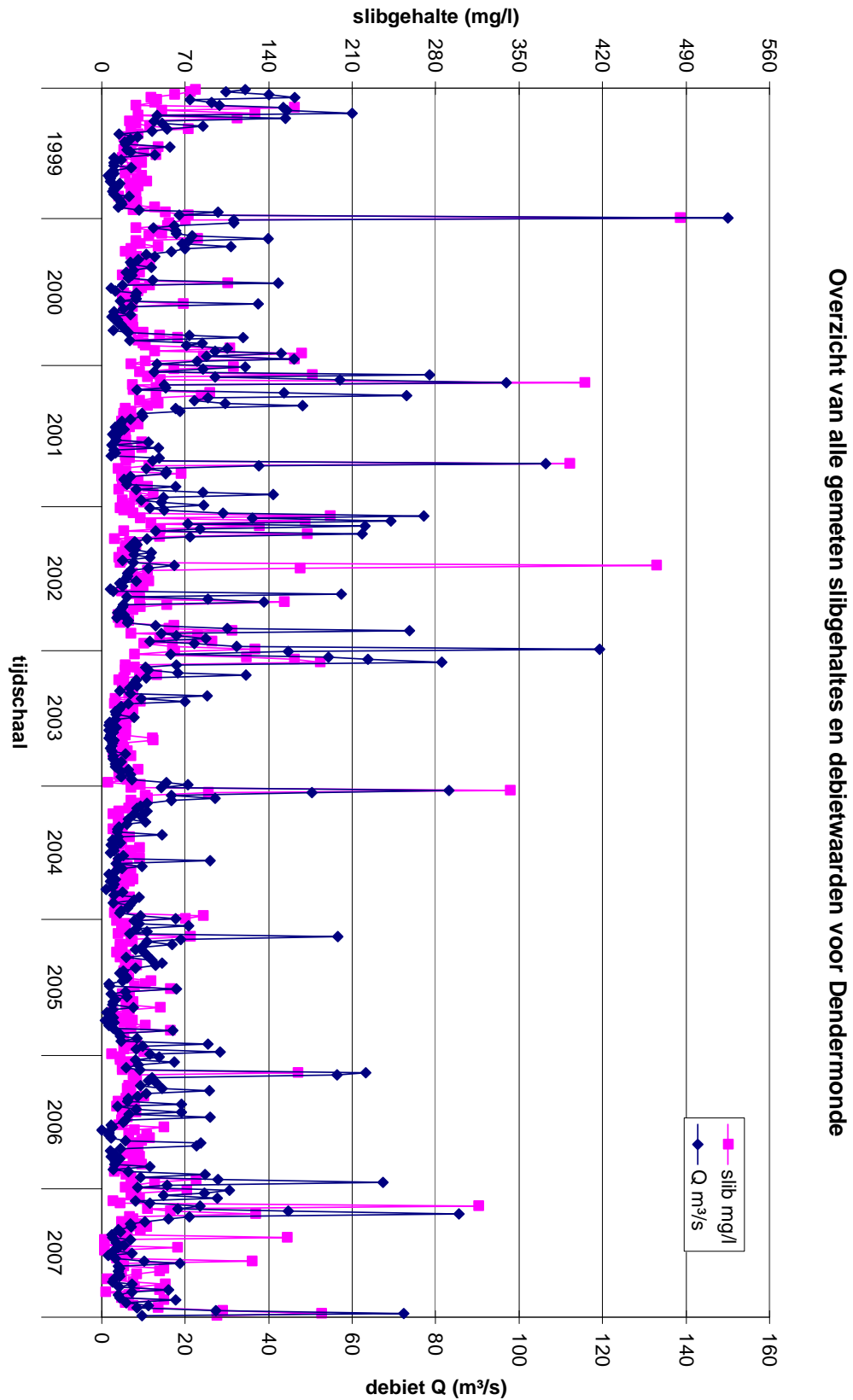
Figuur 18 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Itegem.



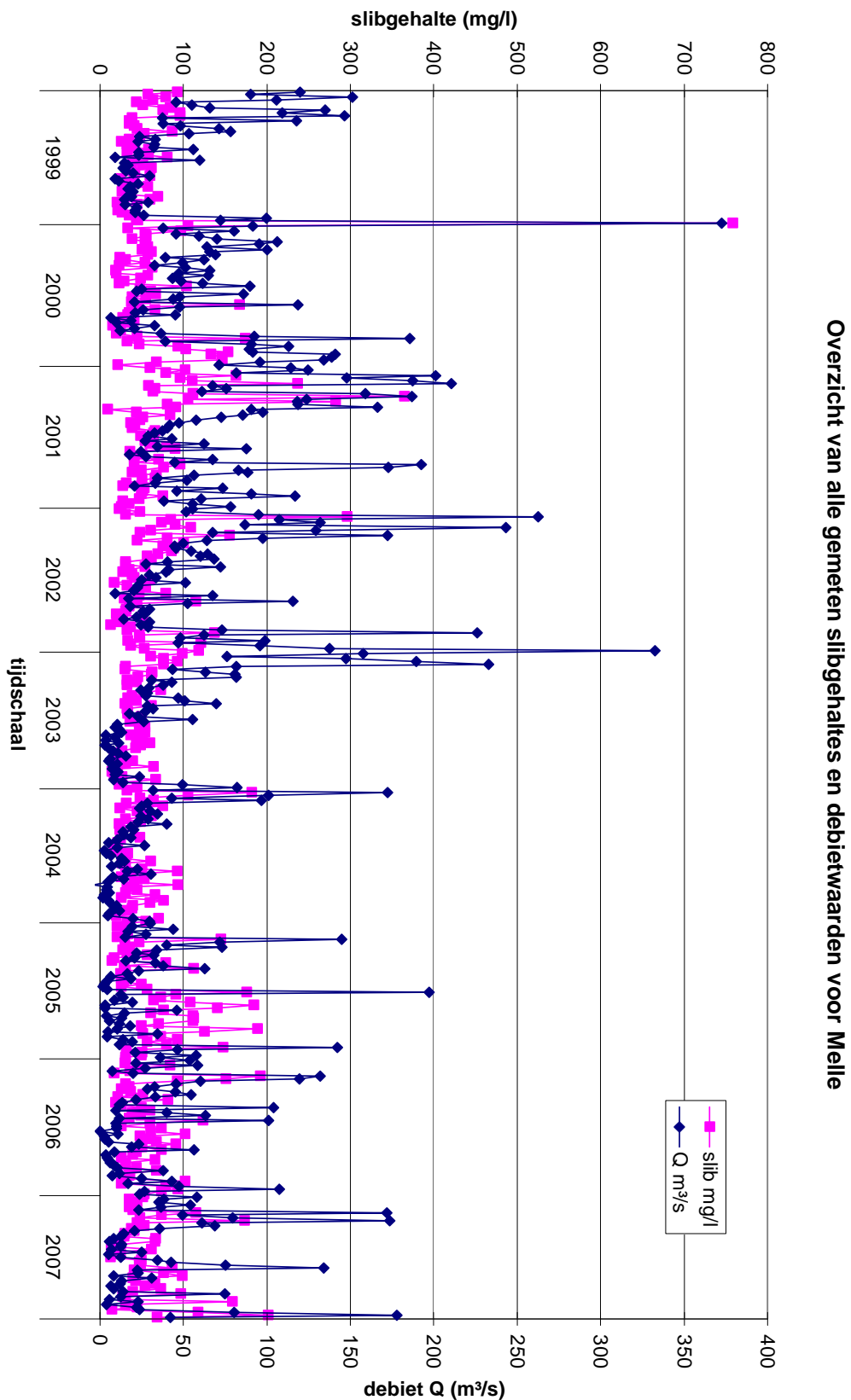
Figuur 19 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Epepegem.



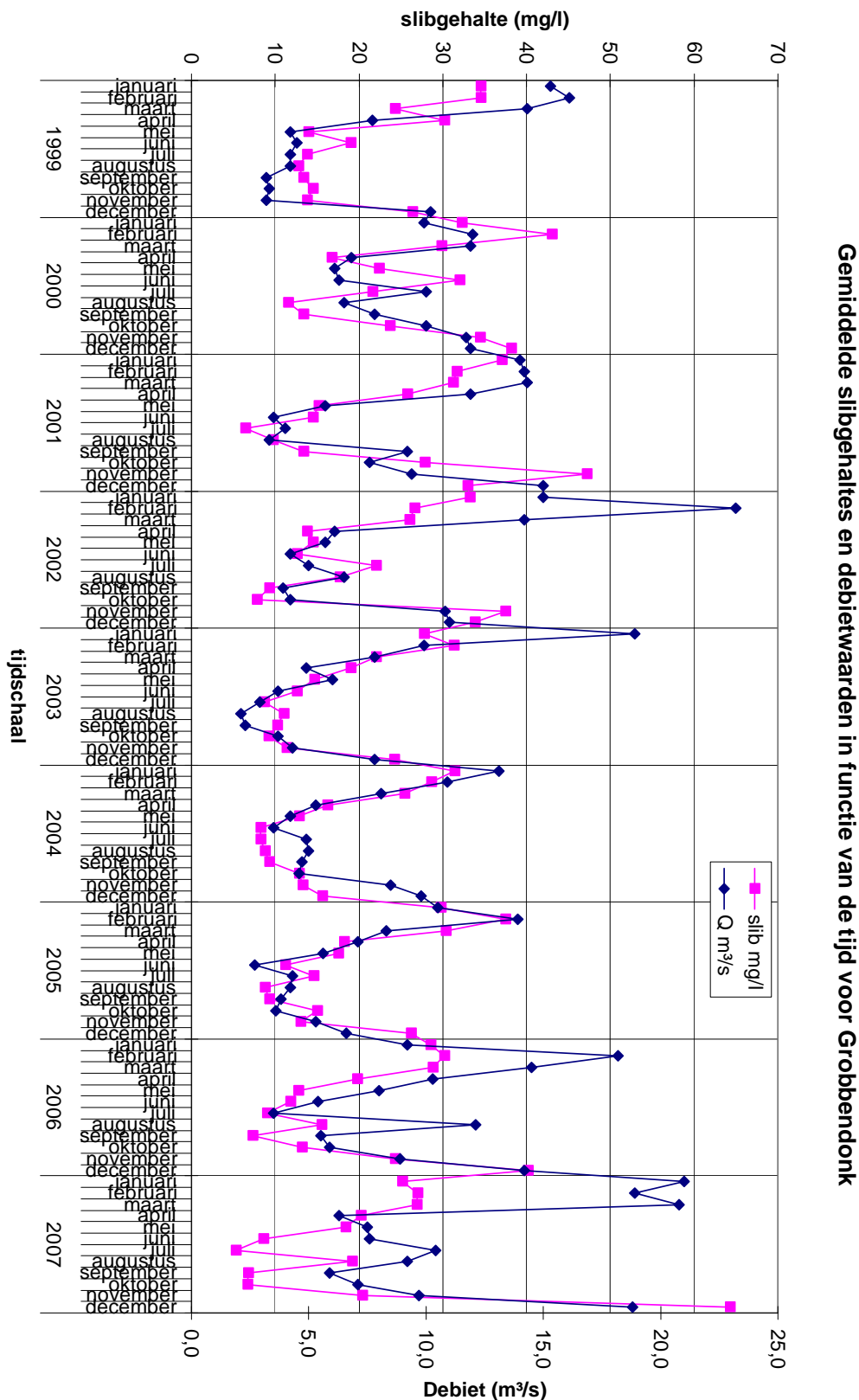
Figuur 20 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Haacht.



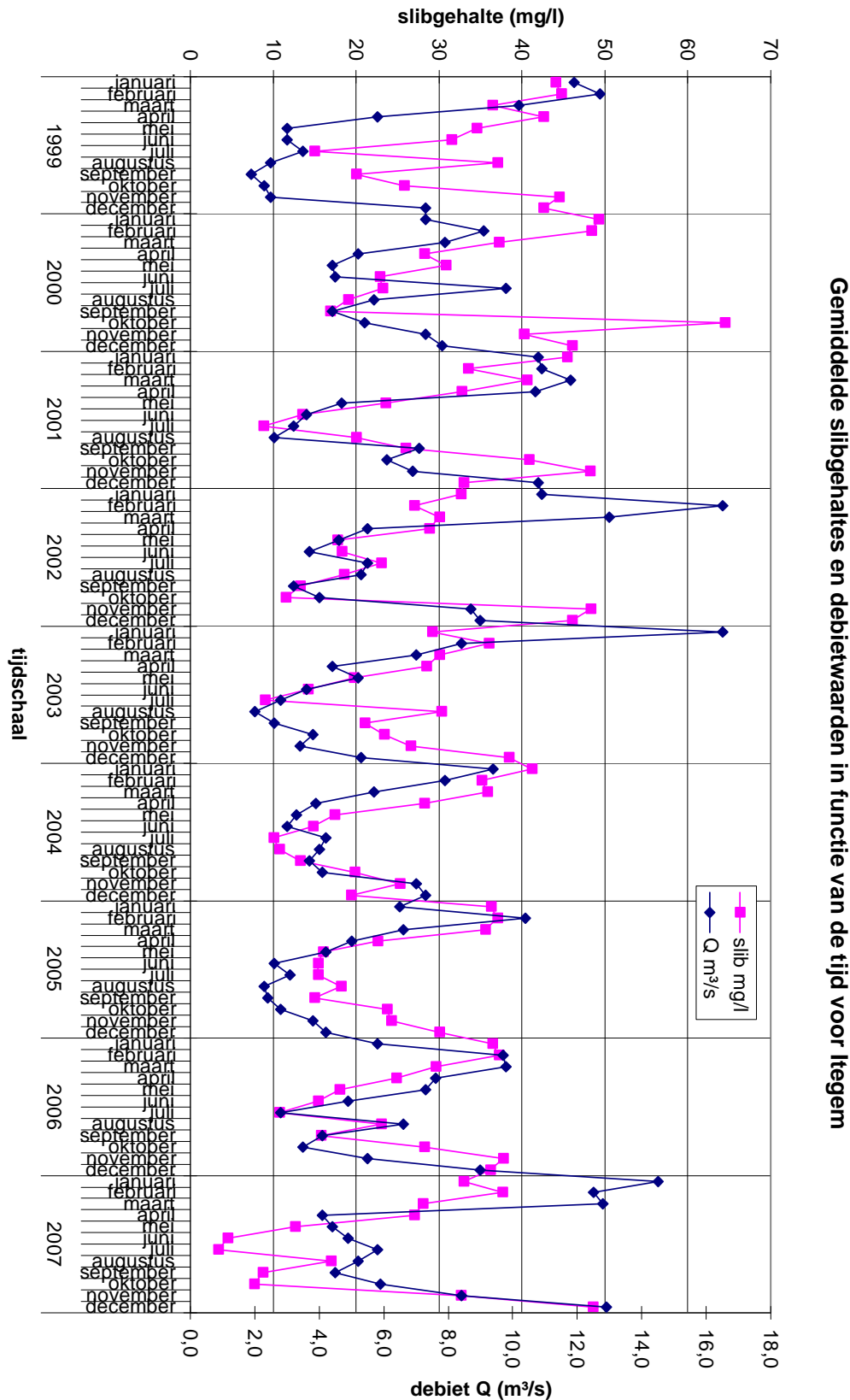
Figuur 21 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Dendermonde.



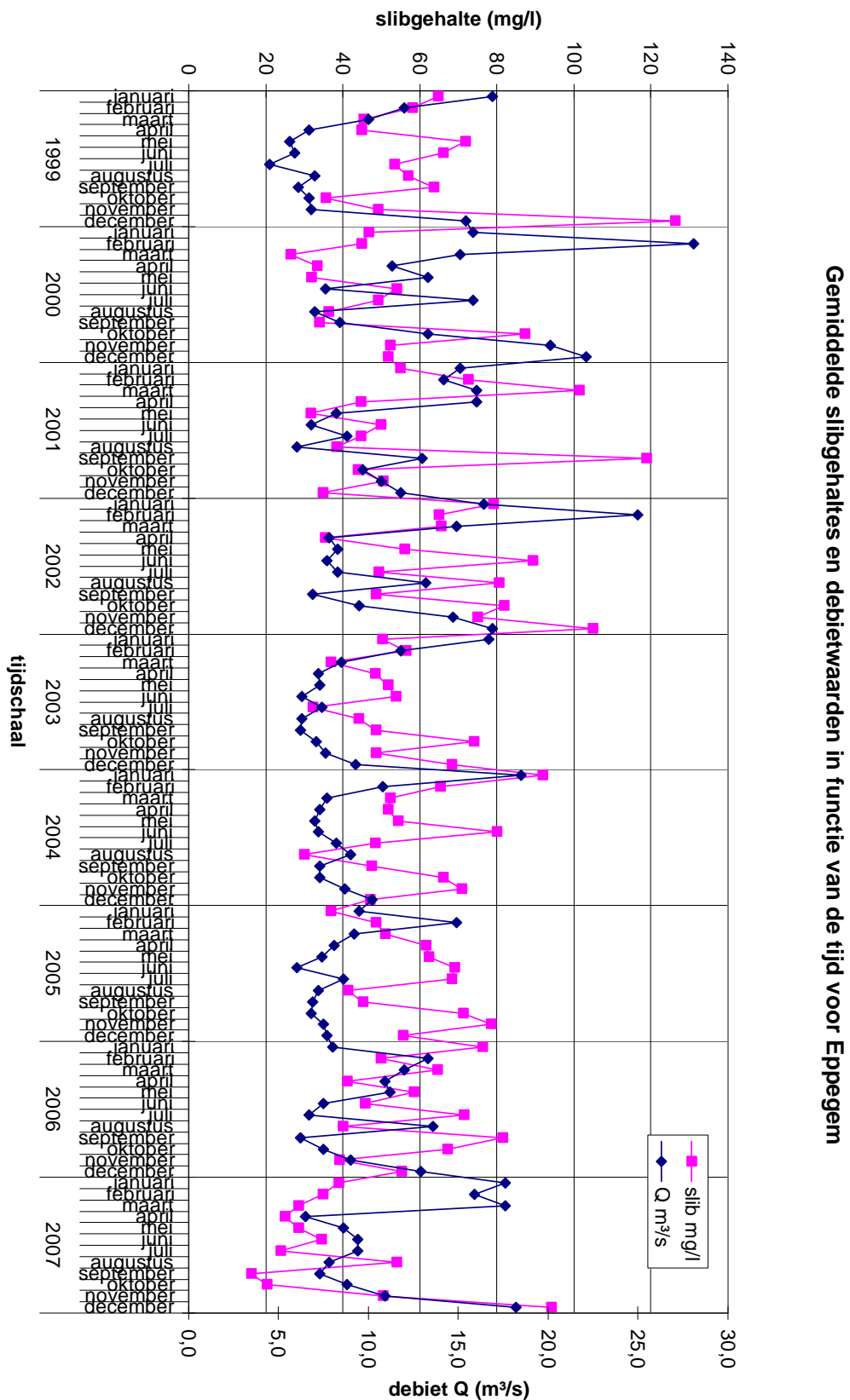
Figuur 22 - Overzicht van alle gemeten slibgehaltenes en debietwaarden voor Melle.



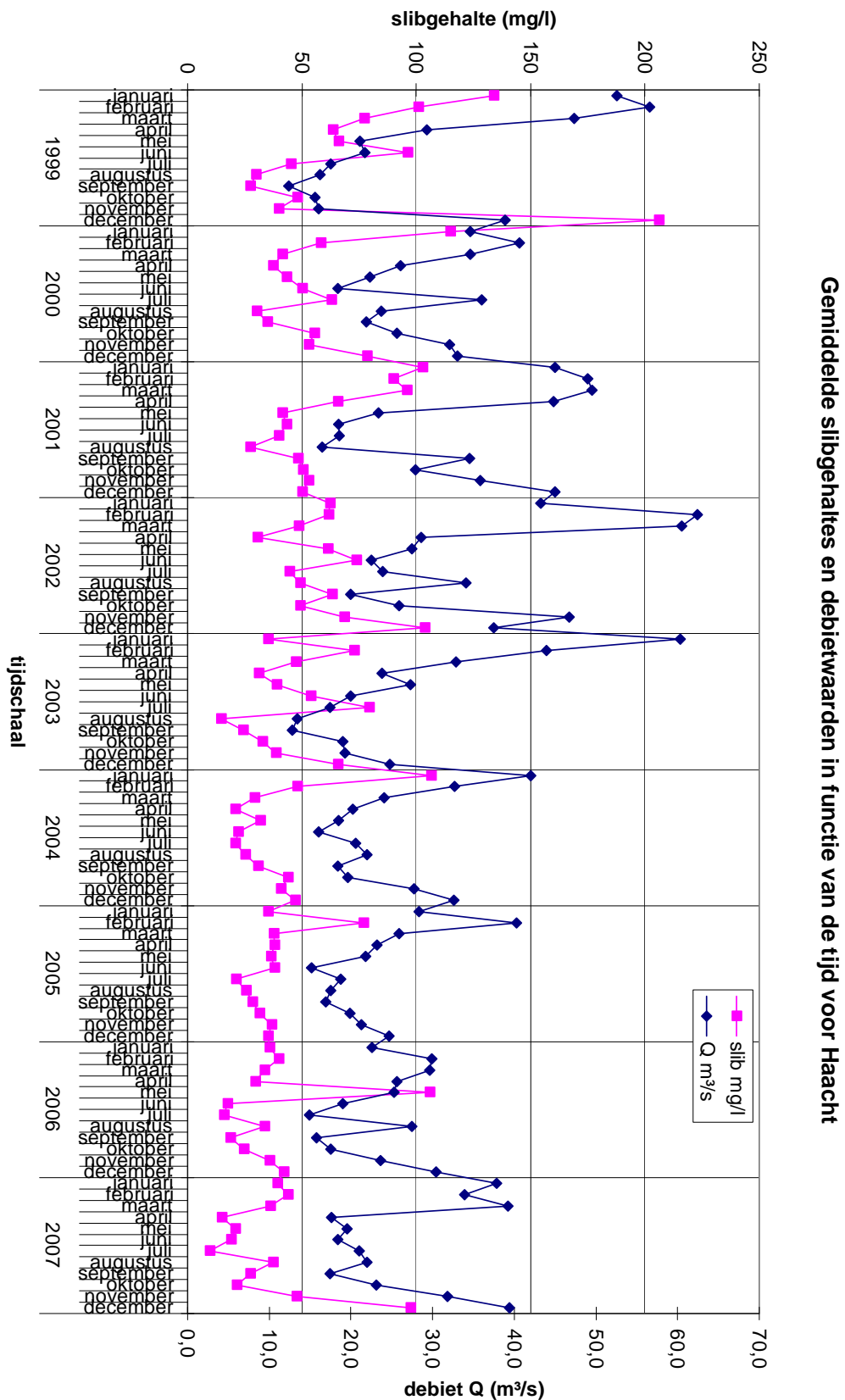
Figuur 23 - Maandgemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Grobbendonk.



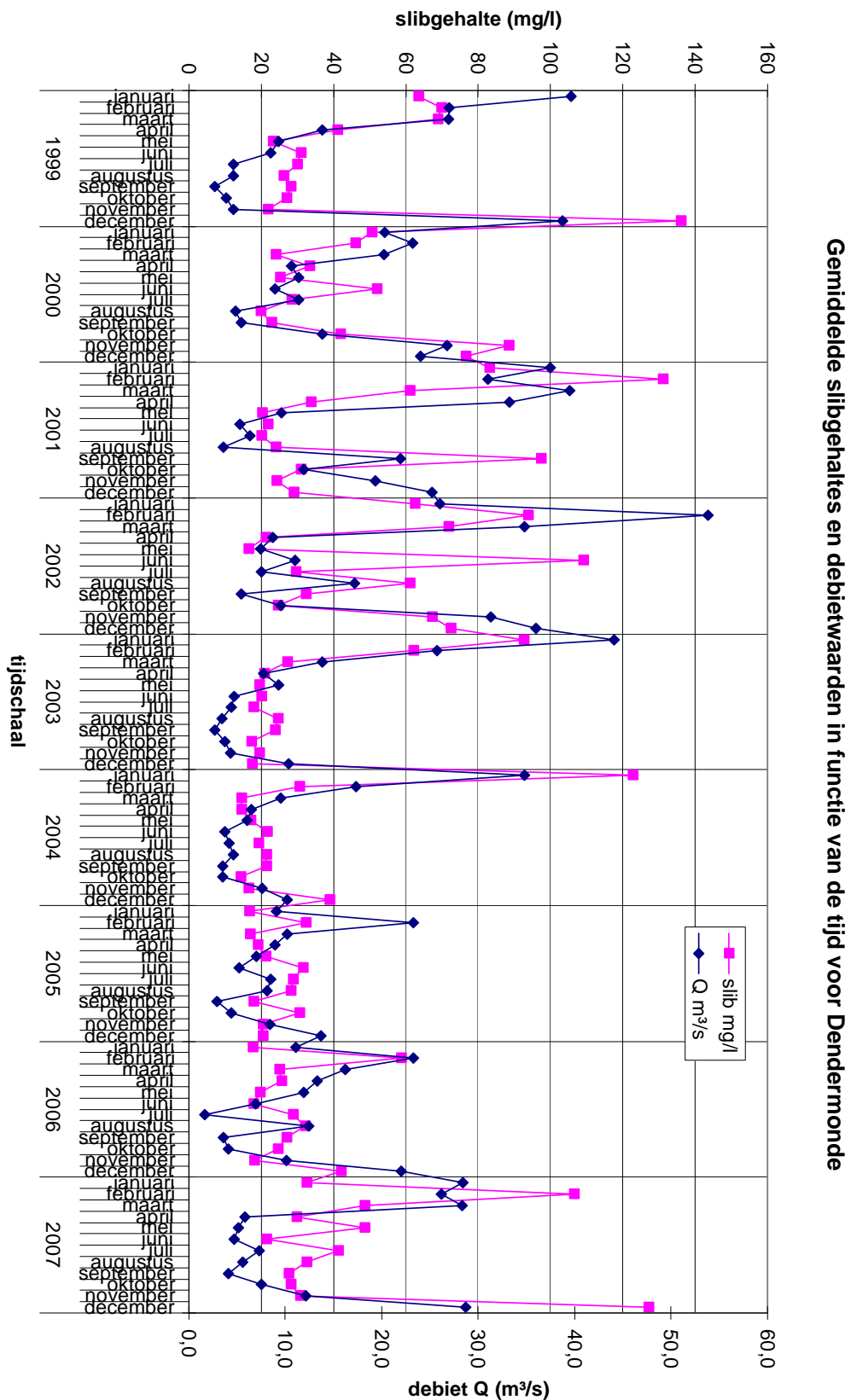
Figuur 24 - Maandgemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Itegem.



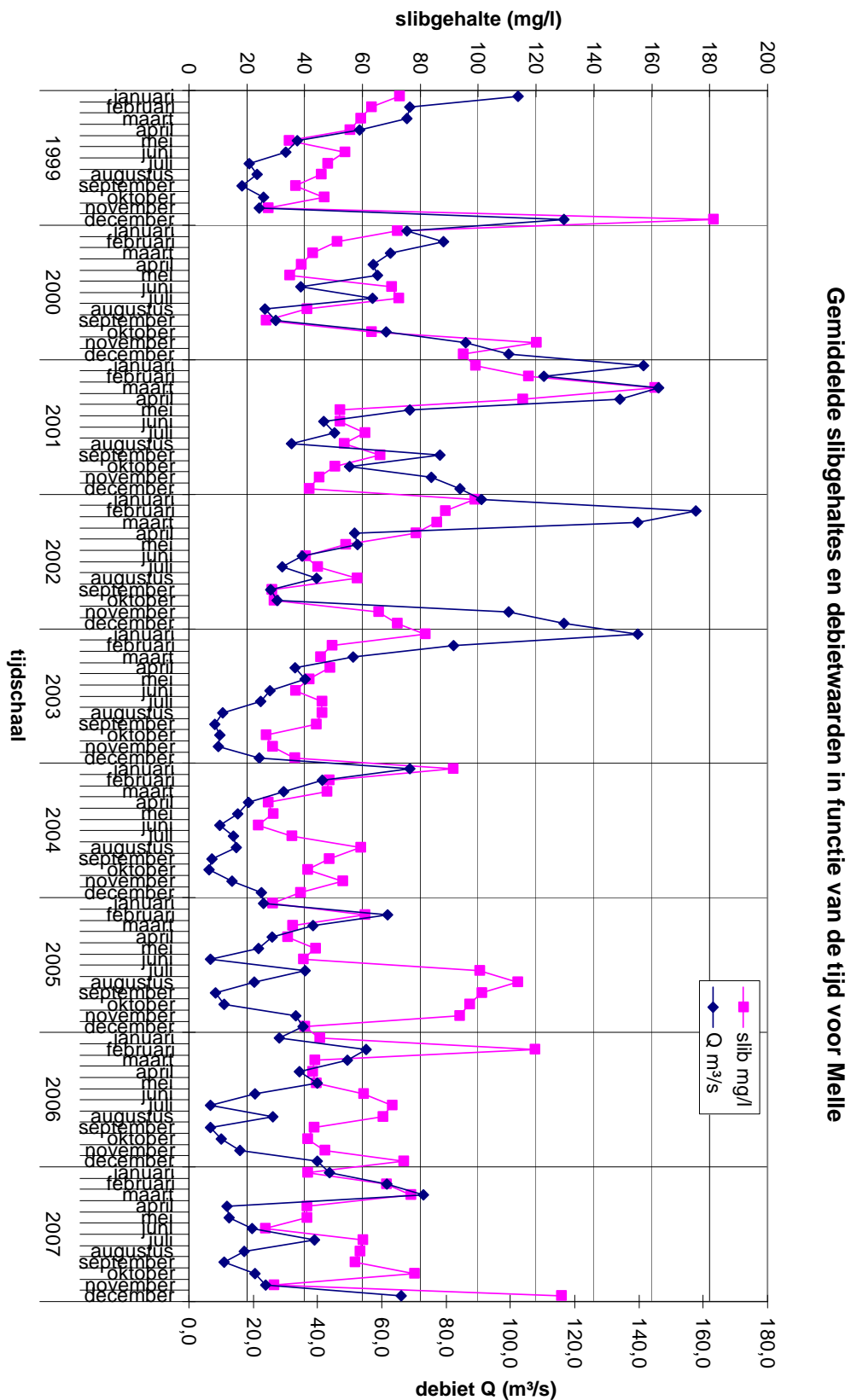
Figuur 25 - Maandgemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Epegem.



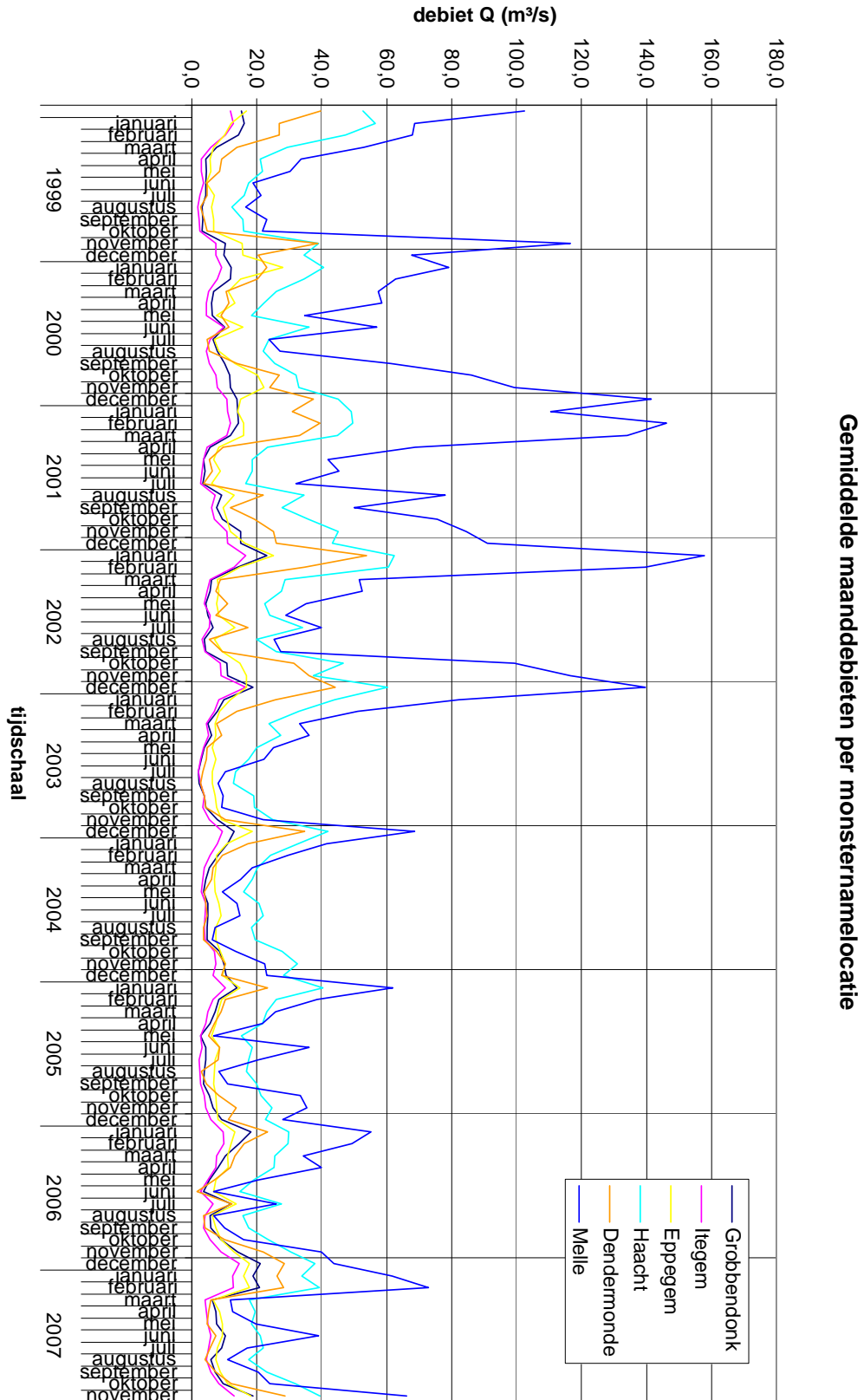
Figuur 26 - Maandgemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Haacht.



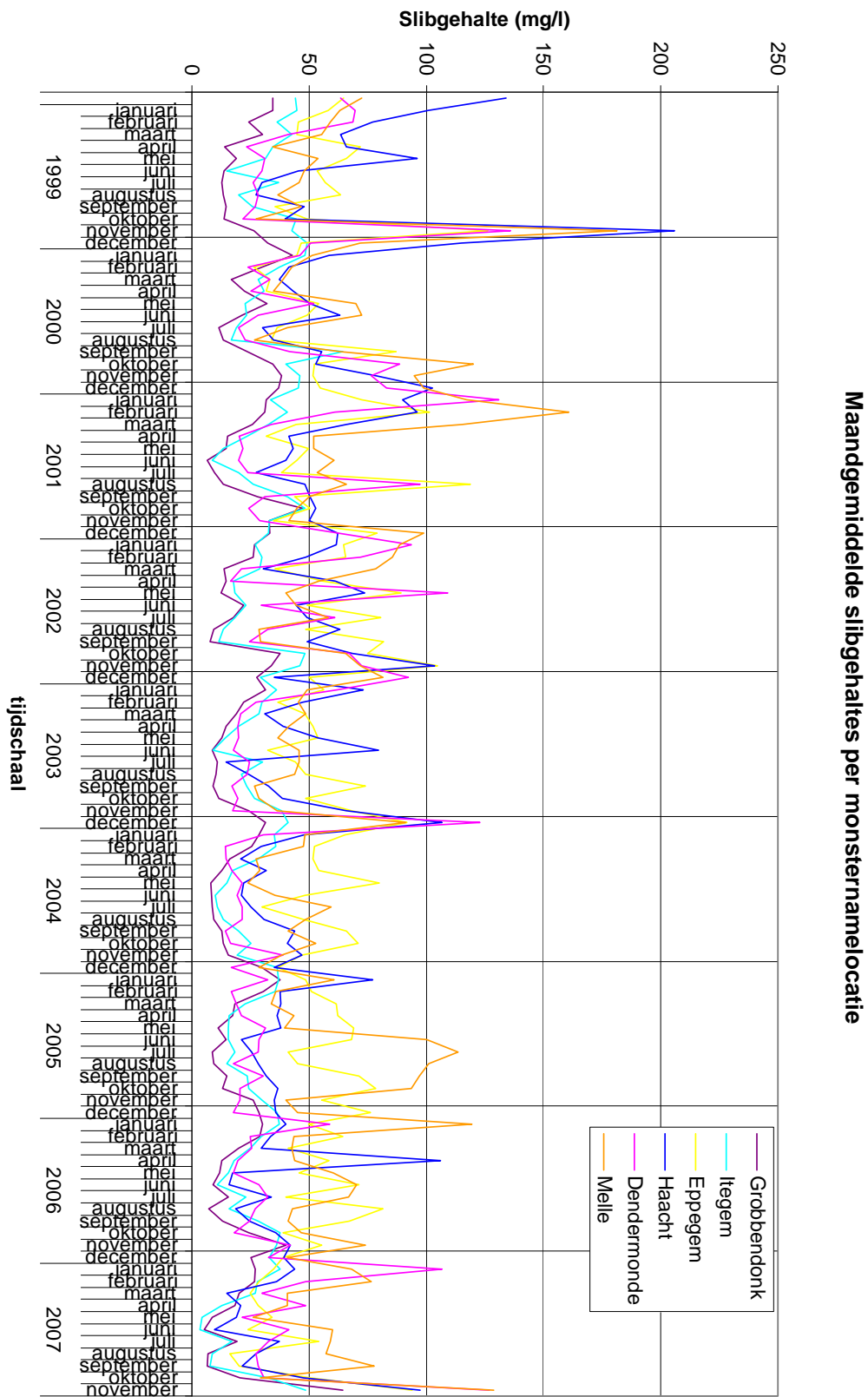
Figuur 27 - Maandgemiddelde slibgehalten en debietwaarden in functie van de tijd voor Dendermonde.



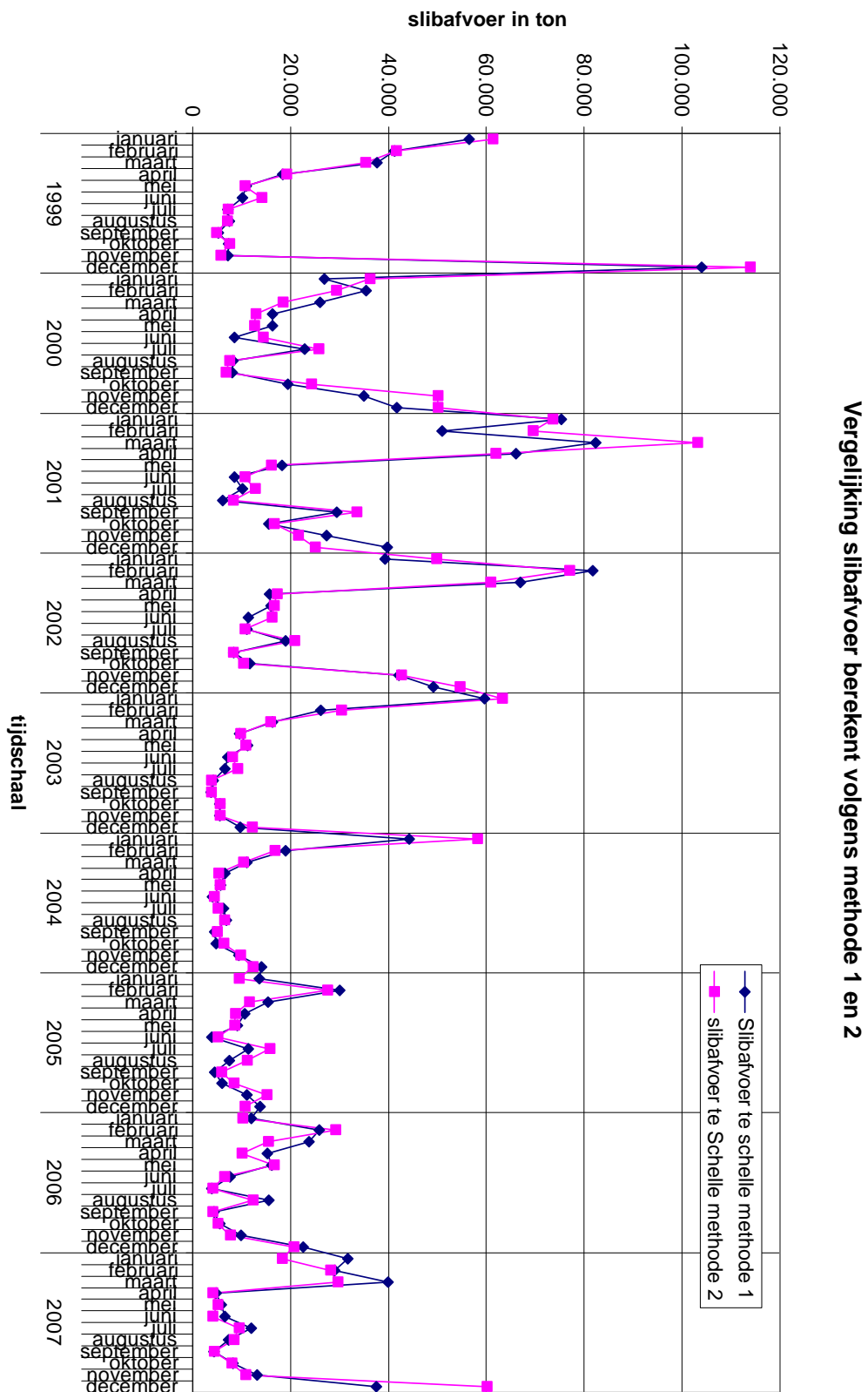
Figuur 28 - Maandgemiddelde slibgehaltenes en debietwaarden in functie van de tijd voor Melle.



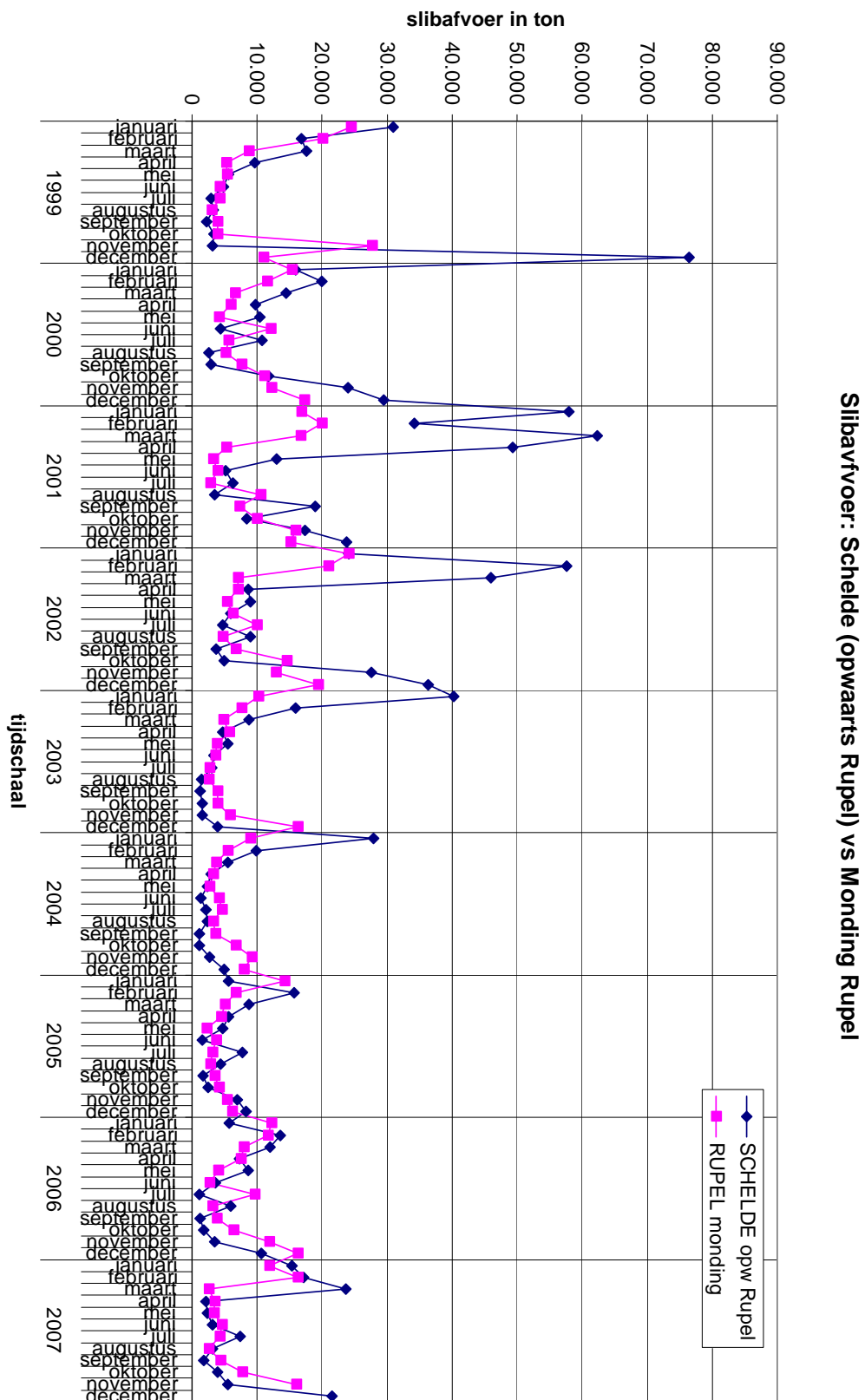
Figuur 29 - Gemiddelde maanddebieten per monsternameloctie.



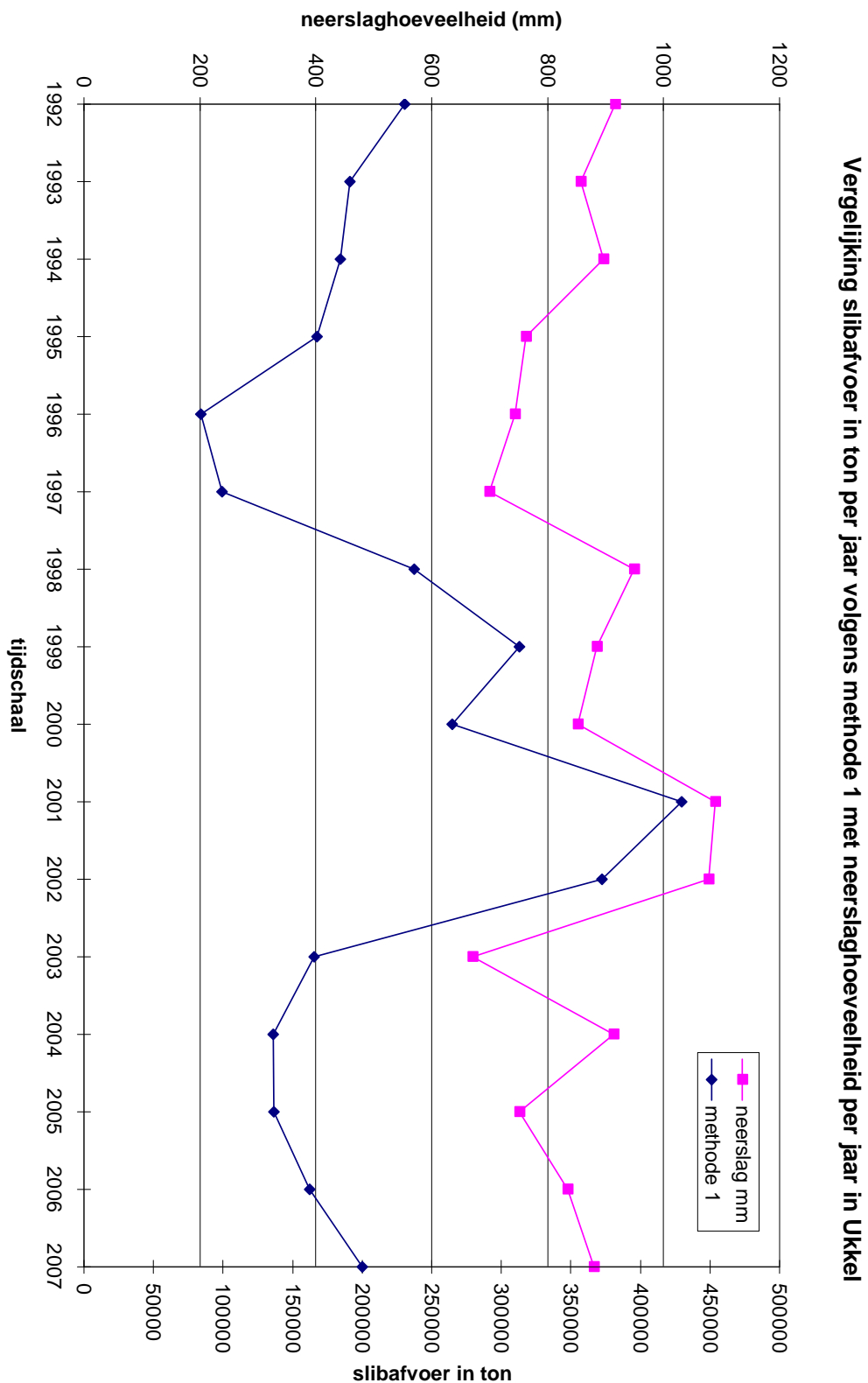
Figuur 30 - Maandgemiddelde slibgehaltenes per monsternamelocatie.



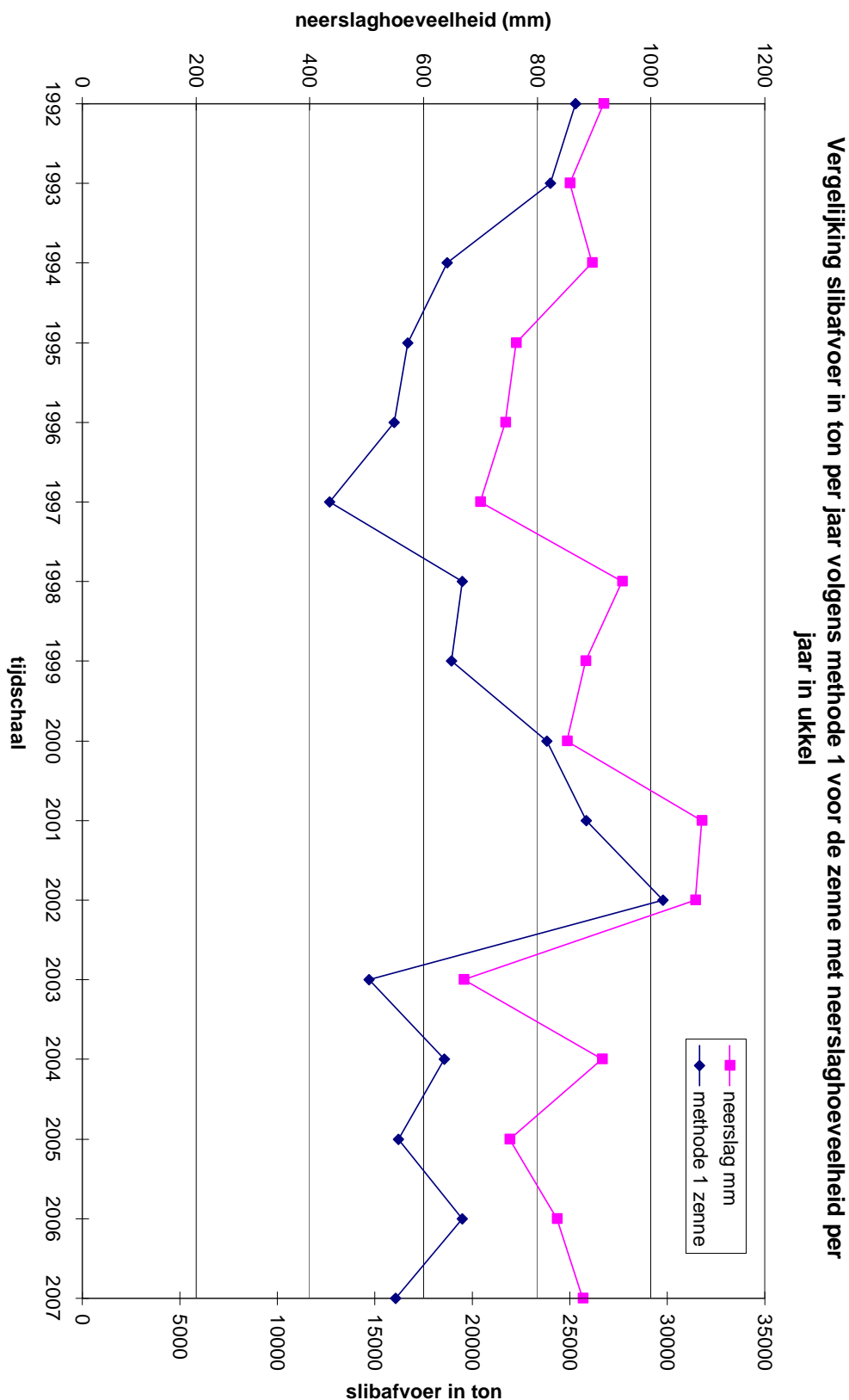
Figuur 31 - Vergelijking totale slibtoevoer in ton berekend volgens methode 1 en 2.



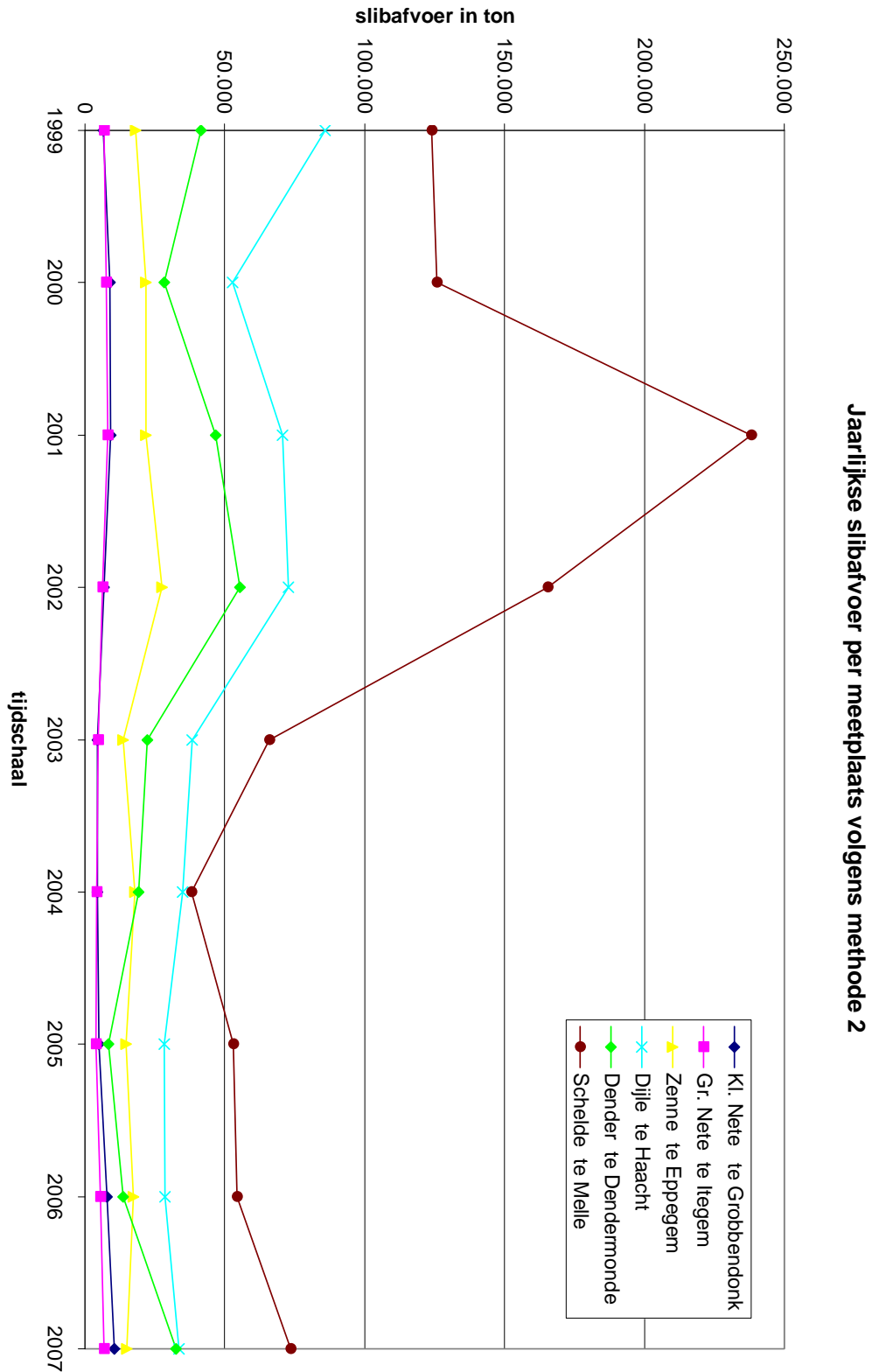
Figuur 32 - Slibafvoer Scheldebekken (opwaarts Rupelmonde) versus slibafvoer Rupelbekken



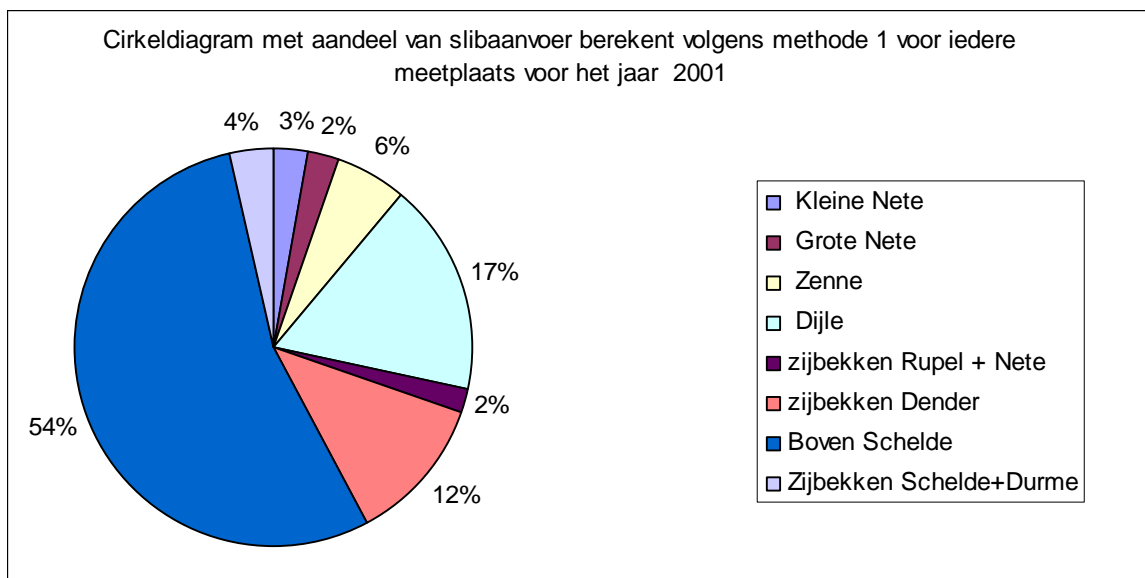
Figuur 33 - Vergelijking slibafvoer in ton per jaar volgens methode 1 met de neerslaghoeveelheid per jaar in Ukkel.



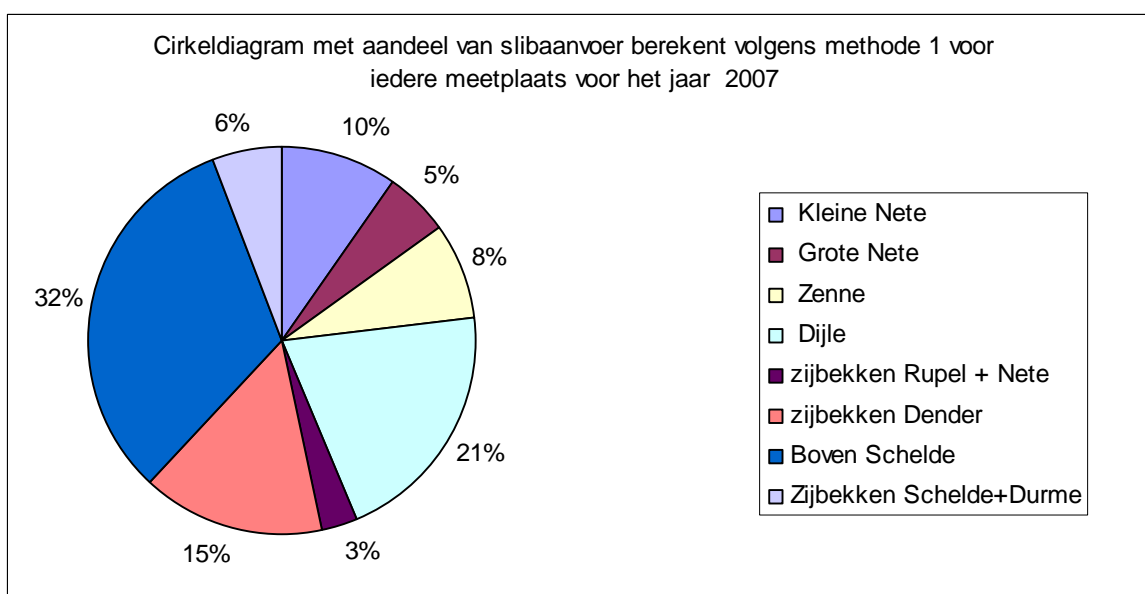
Figuur 34 - Vergelijking slibafvoer in ton per jaar voor rivier Zenne volgens methode 1 met de neerslaghoeveelheid per jaar in Ukkel.



Figuur 35 - Jaarlijkse slibafvoer per meetlocatie volgens methode 2.



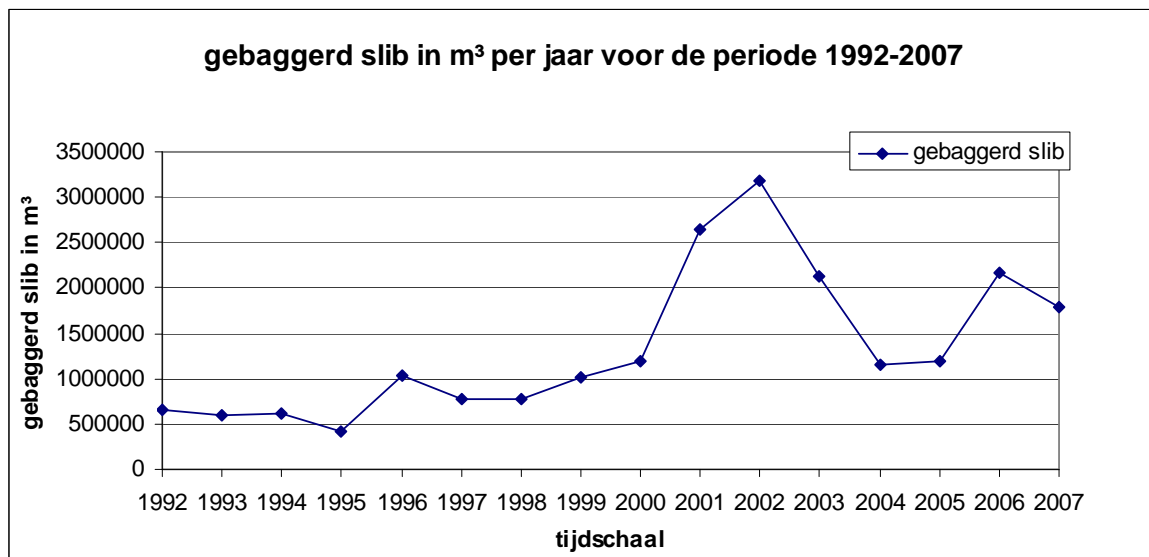
Figuur 36 - Cirkeldiagram met aandeel van slibaanvoer berekend volgens methode 1 voor iedere meetplaats voor het jaar 2001.



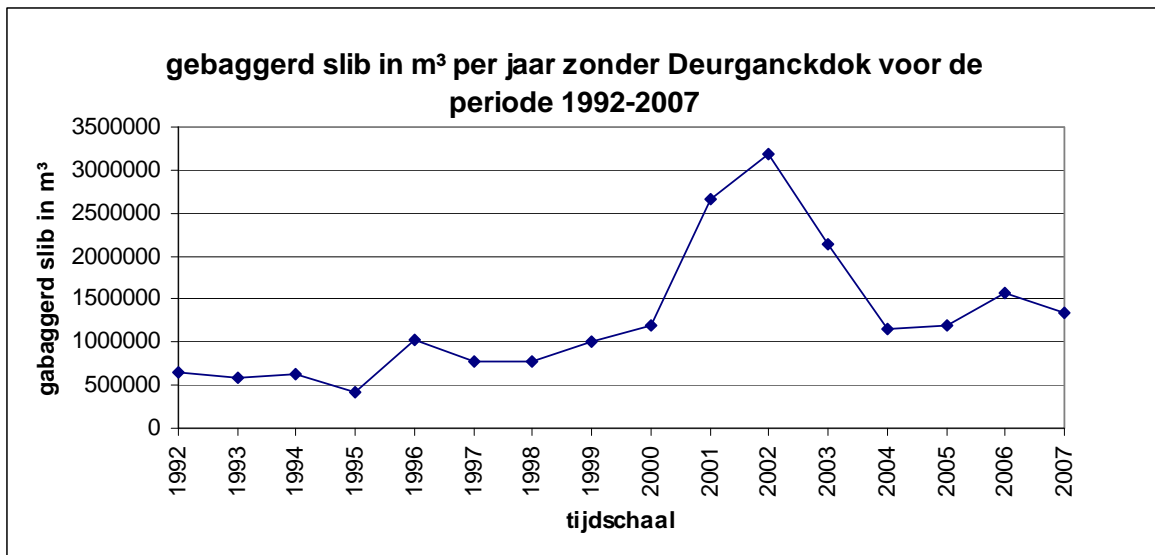
Figuur 37 - Cirkeldiagram met aandeel van slibaanvoer berekend volgens methode 1 voor iedere meetplaats voor het jaar 2007.



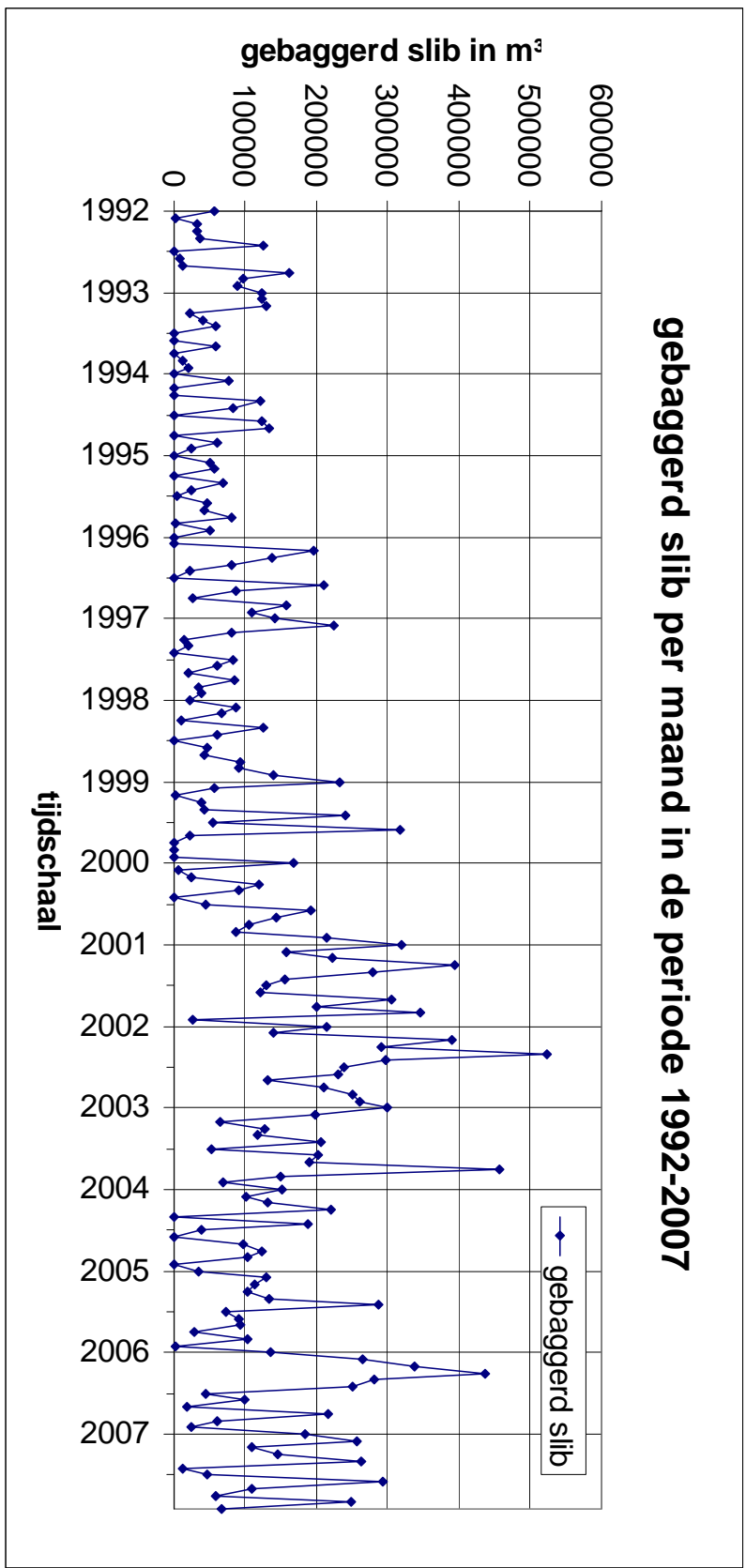
Figuur 38 - Kaart van Westerschelde en Beneden Zeeschelde met aanduiding van de gekozen zones + aanduiding Deurganckdok. Bron: <http://maps.google.be> (eigen bewerking).



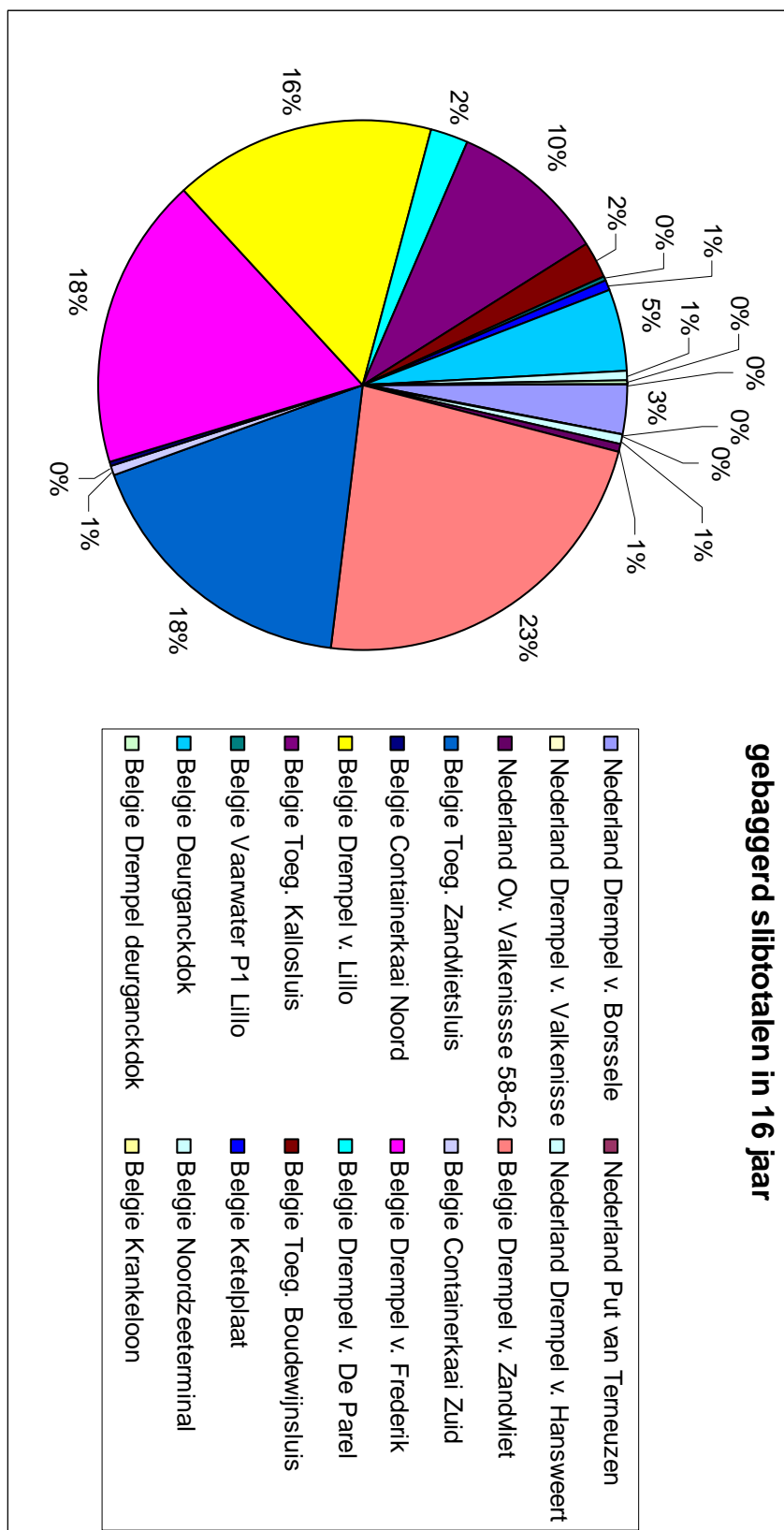
Figuur 39 - Gebaggerde hoeveelheid slib in m³ per jaar voor de periode 1992-2007



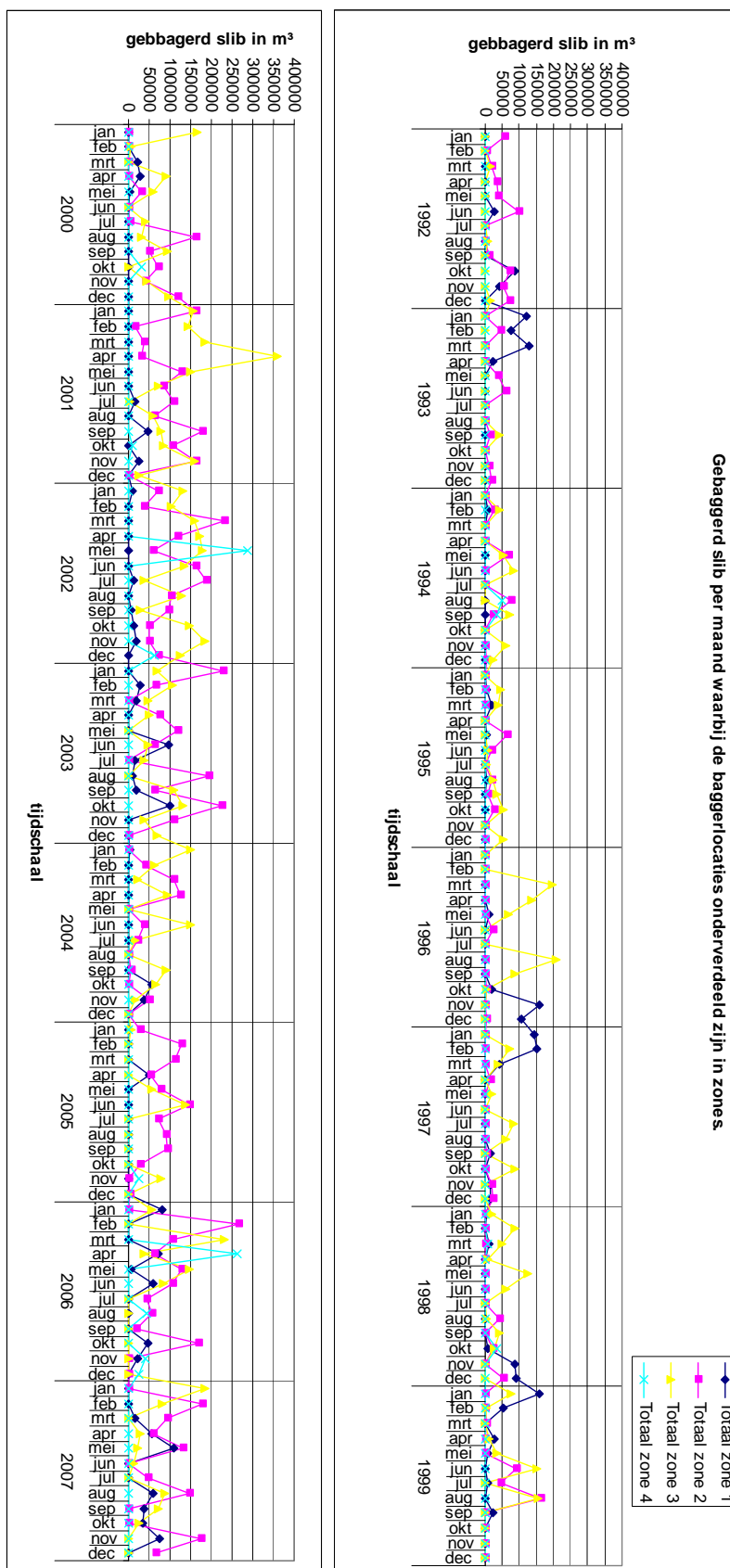
Figuur 40 - Gebaggerde hoeveelheid slib in m³ per jaar zonder Deurganckdok voor de periode 1992-2007



Figuur 41 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand in de periode 1992-2007.

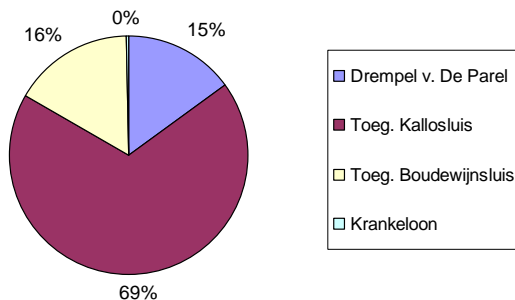


Figuur 42 - Gebaggerde slibtotalen over 16 jaar (1992-2007) in taartdiagram per baggerplaats.

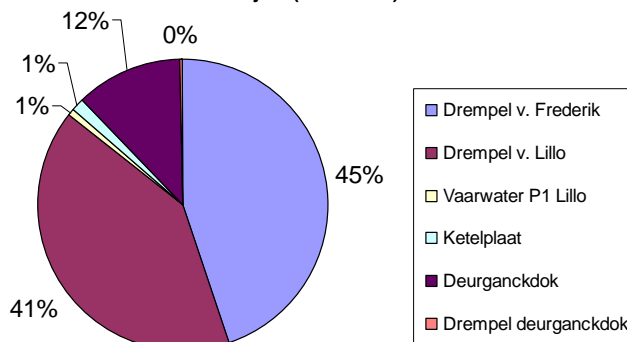


Figuur 43 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand per zone

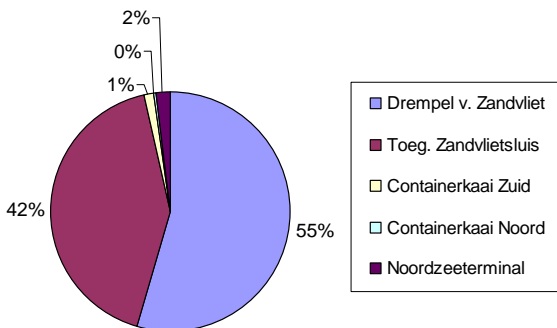
Aandeel van de baggerlocaties tot zone 1 over een periode van 16 jaar (1992-2007)



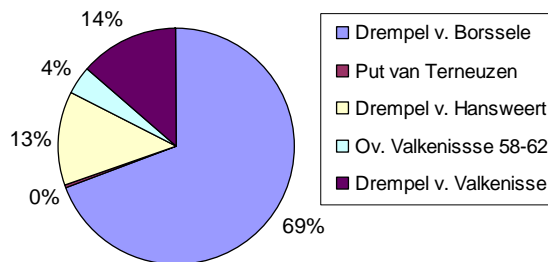
Aandeel van de baggerlocaties tot zone 2 over een periode van 16 jaar (1992-2007)



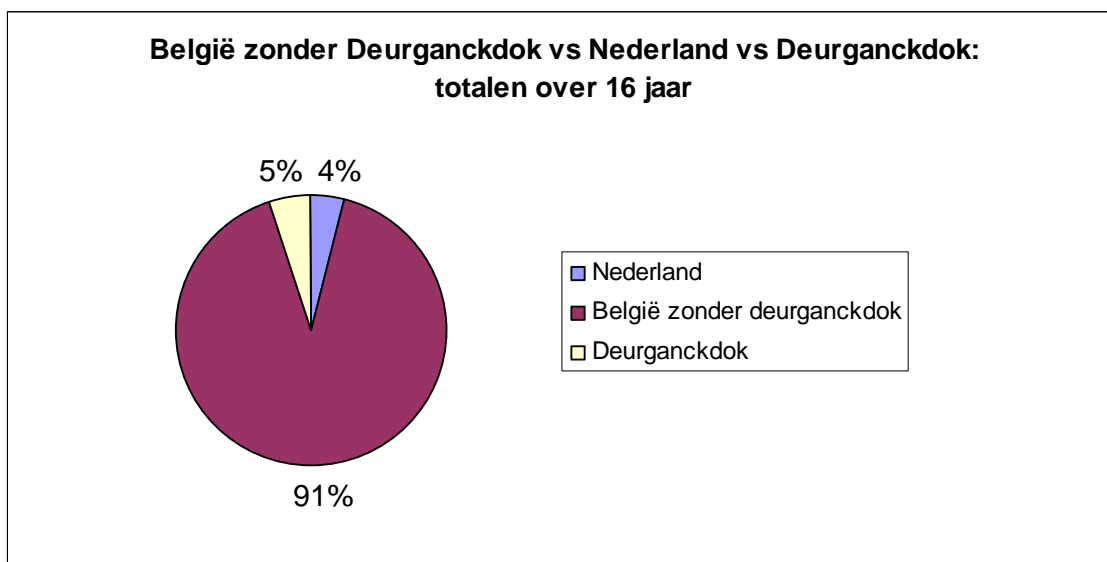
Aandeel van de baggerlocaties tot zone 3 over een periode van 16 jaar (1992-2007)



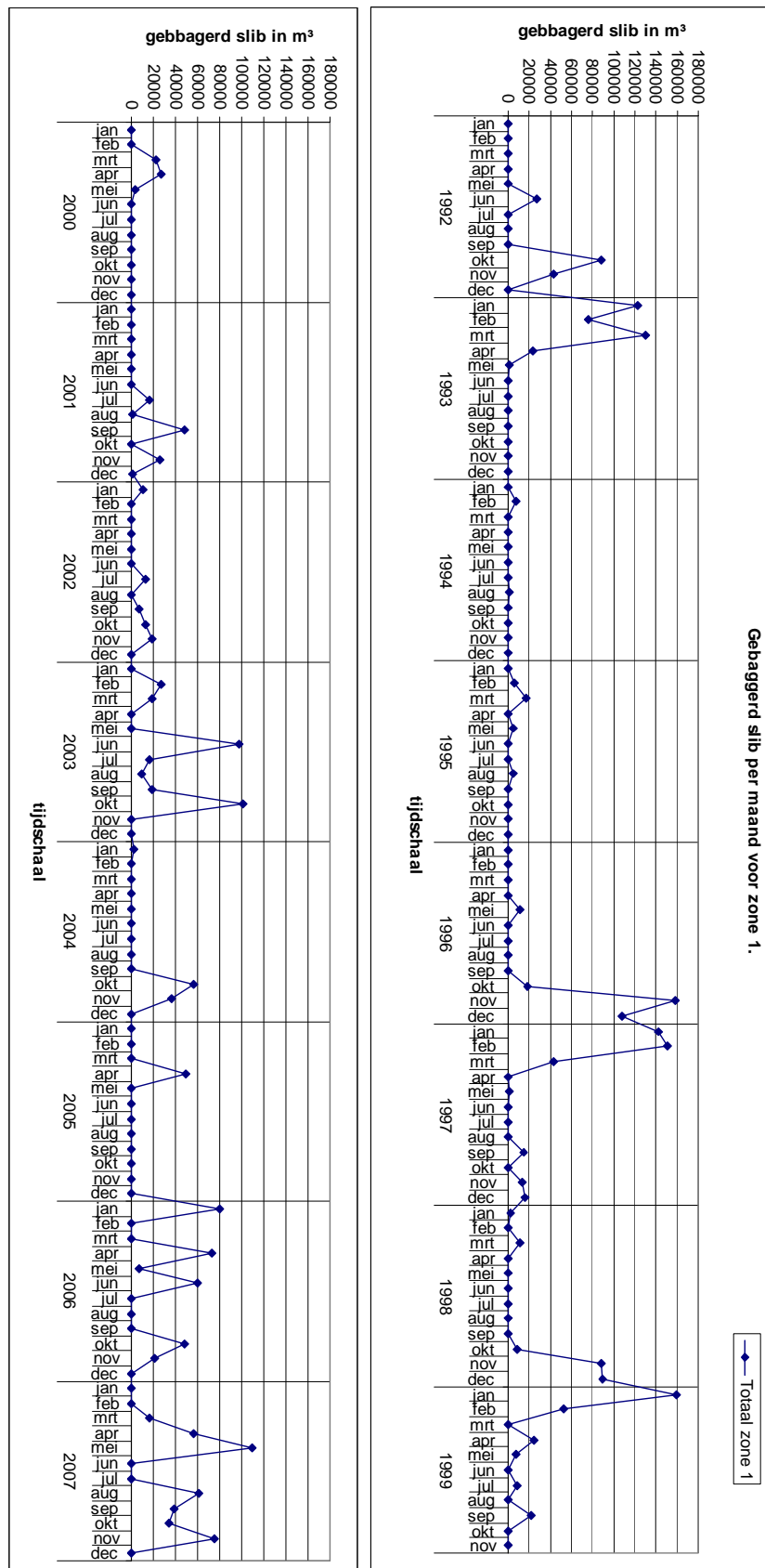
Aandeel van de baggerlocaties tot zone 4 over een periode van 16 jaar (1992-2007)



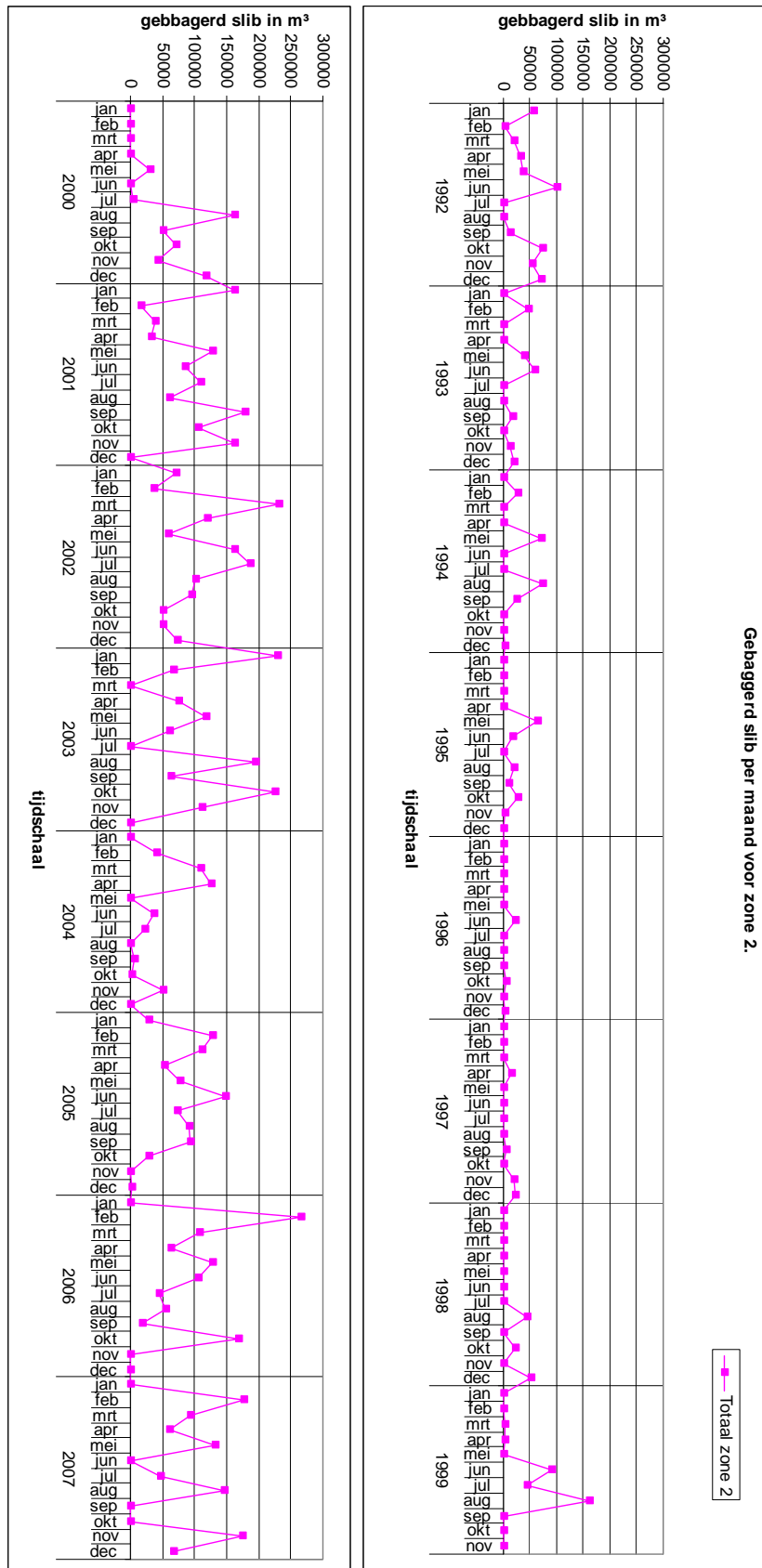
Figuur 44 - Aandeel van de baggerlocaties tot hun zone over een periode van 16 jaar (1992-2007).



Figuur 45 - Taartdiagram met totaal gebaggerde slibhoeveelheden waarin België zonder Deurganckdok, het Deurganckdok en Nederland zijn uitgezet.



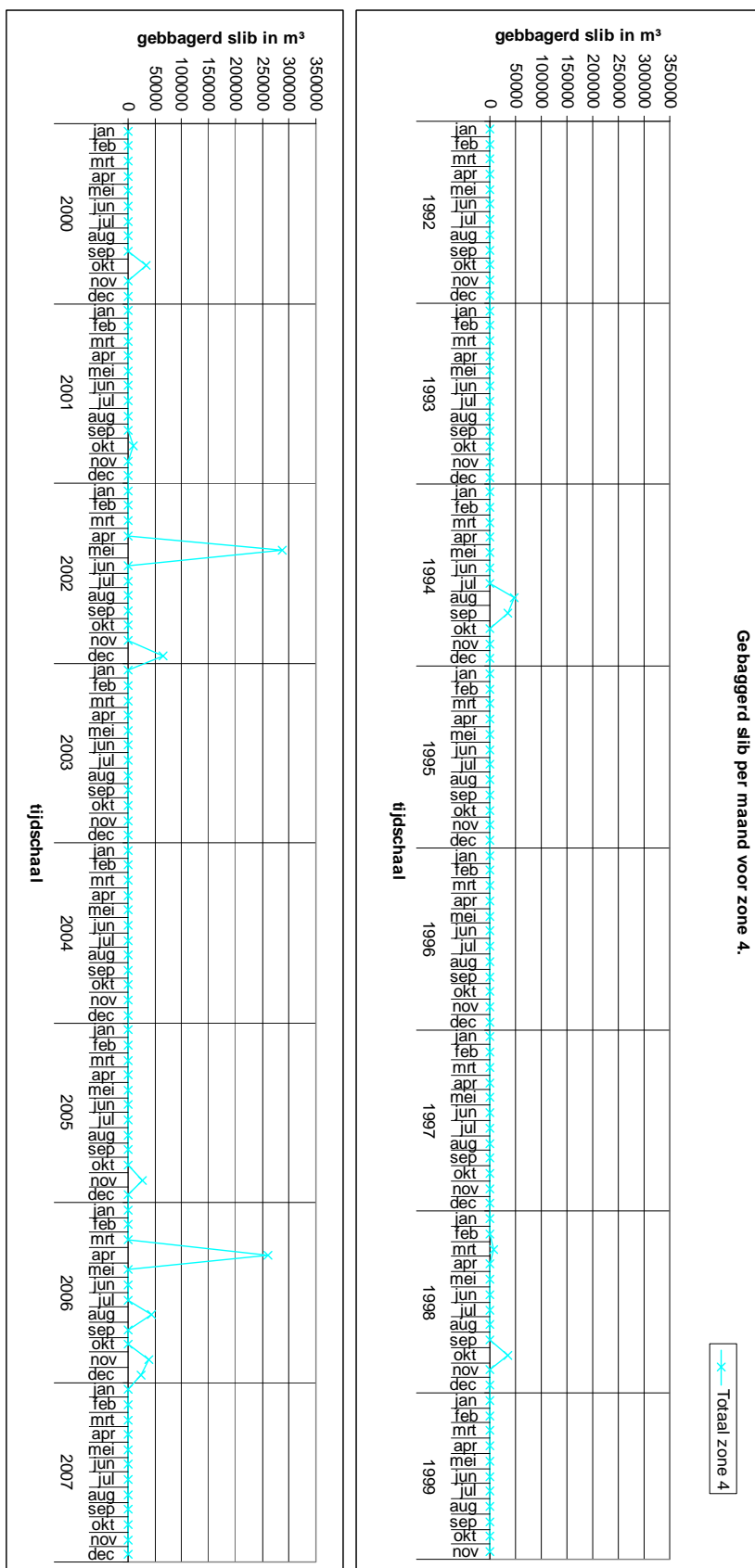
Figuur 46 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 1.



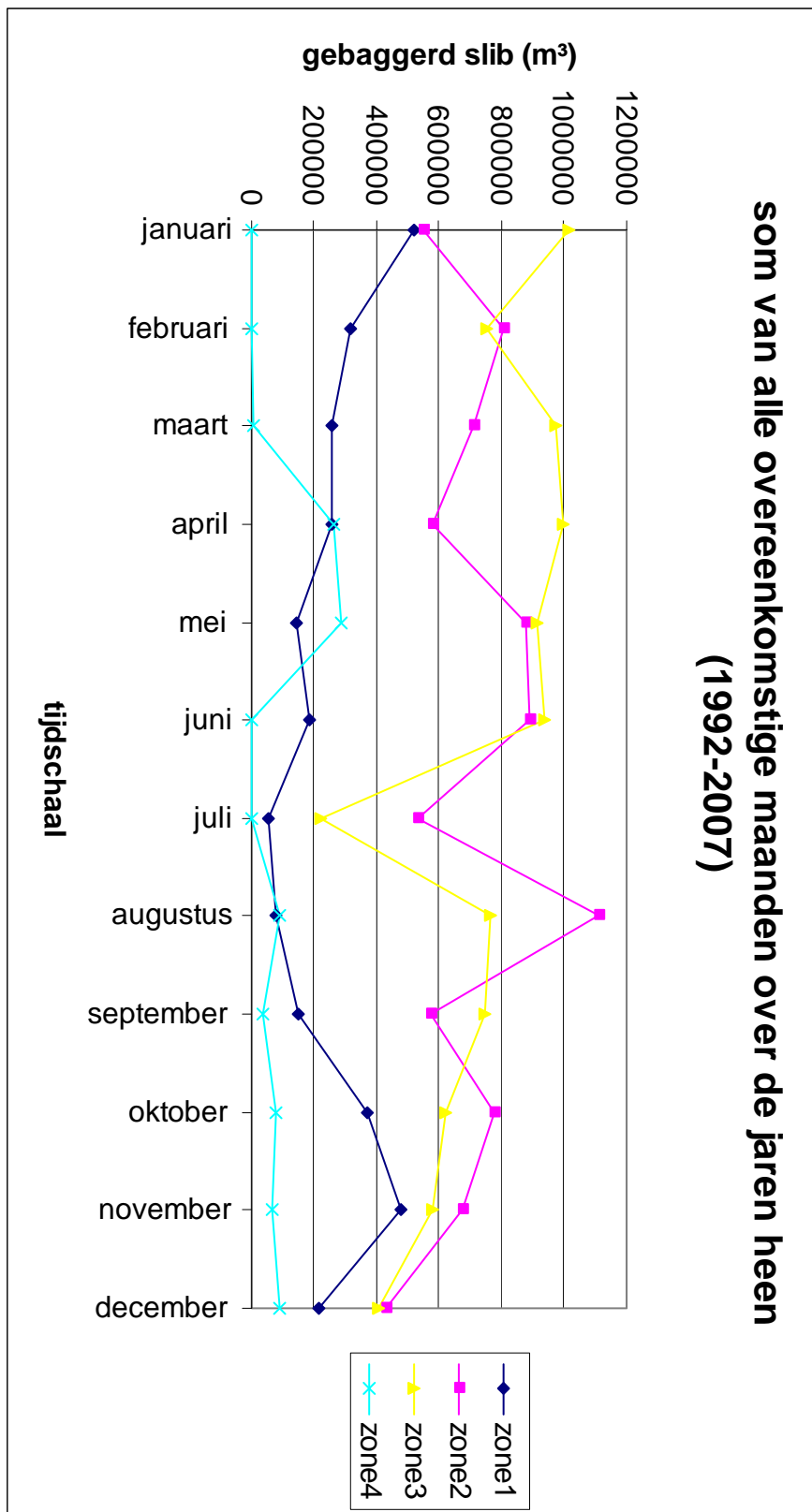
Figuur 47 - Gebaggerde hoeveelheid sliib per maand voor zone 2.



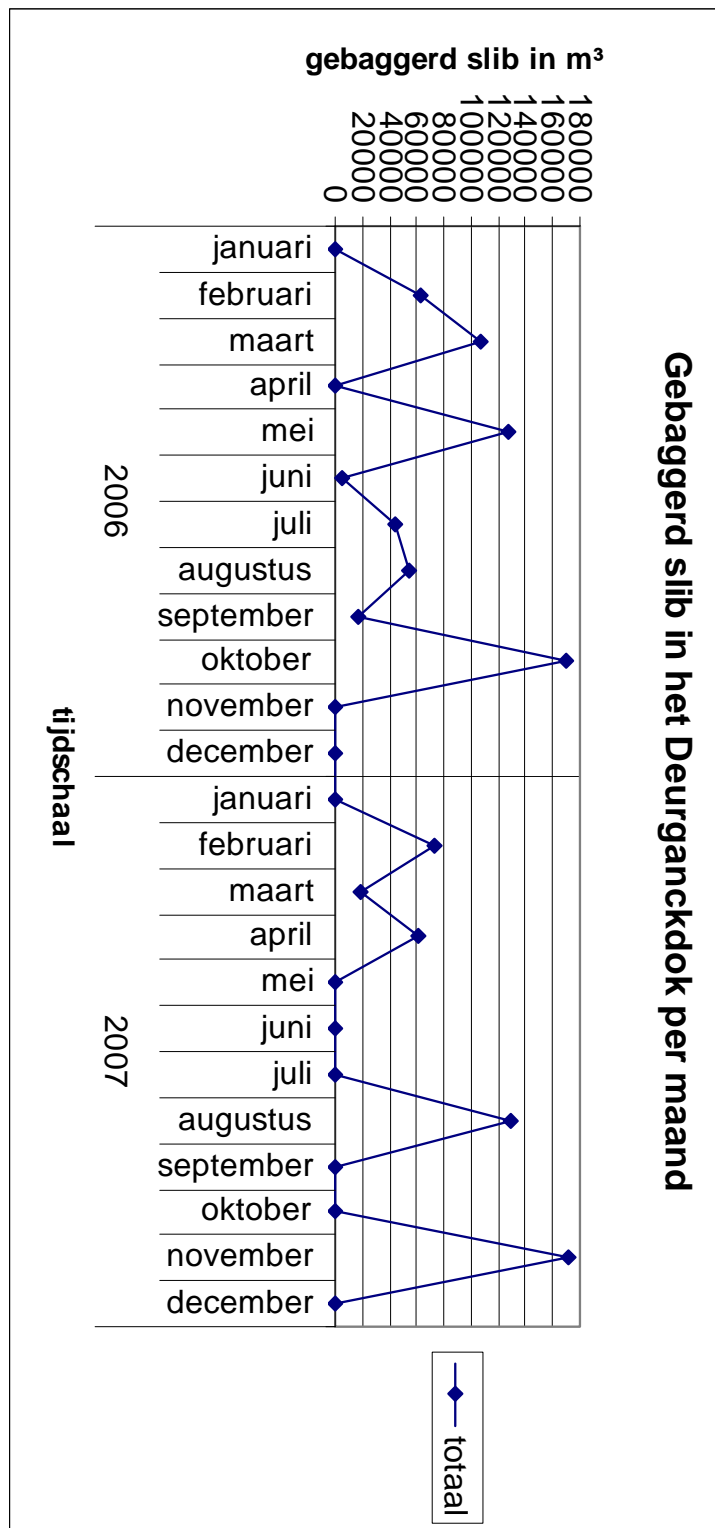
Figuur 48 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 3.



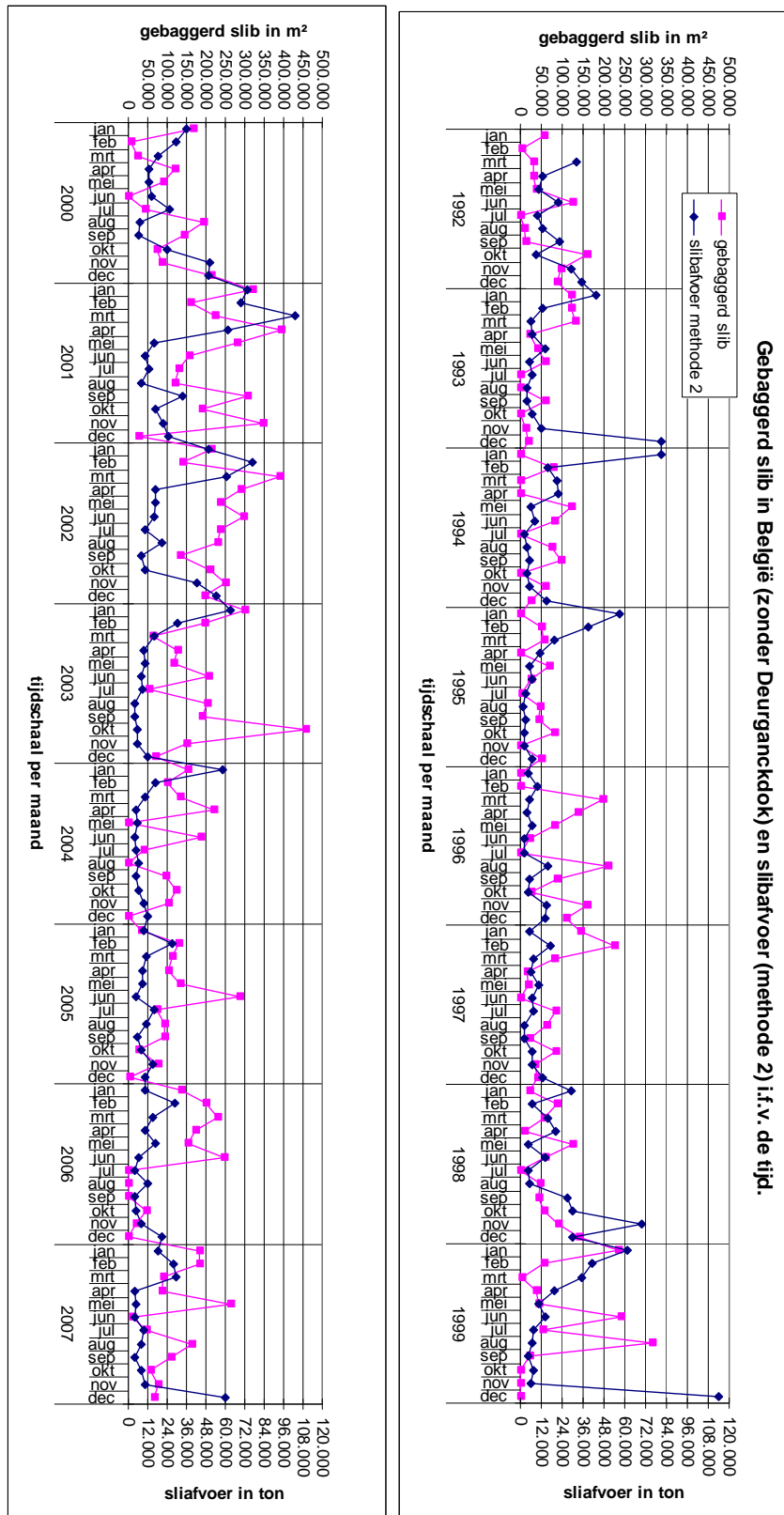
Figuur 49 - Gebaggerde hoeveelheid slib per maand voor zone 4.



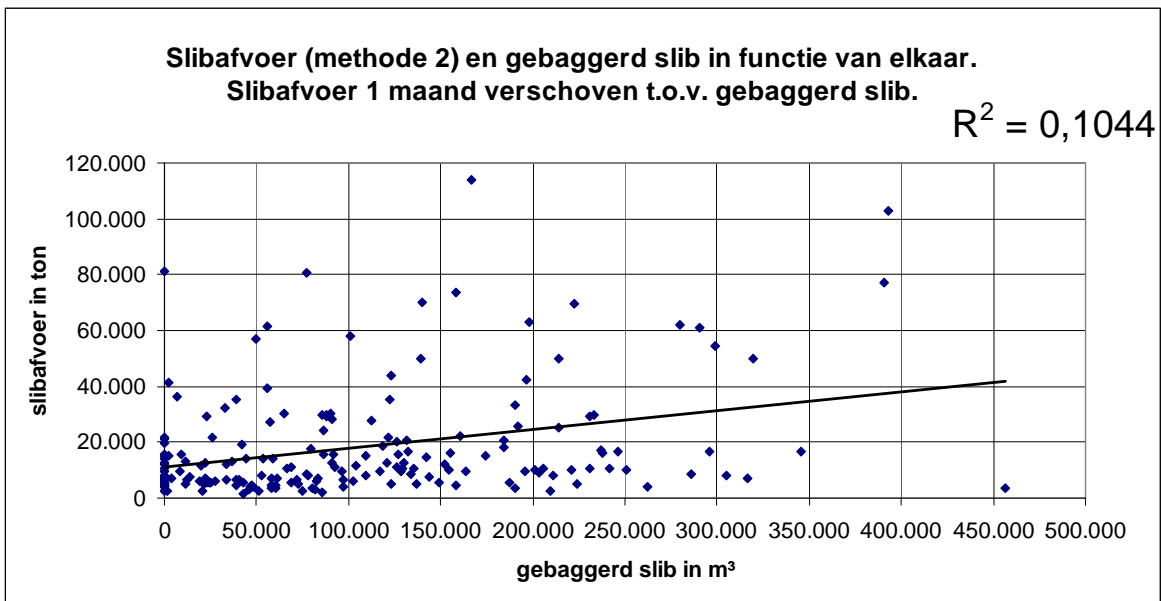
Figuur 50 - Som van alle overeenkomstige maanden over de jaren heen (1992-2007).



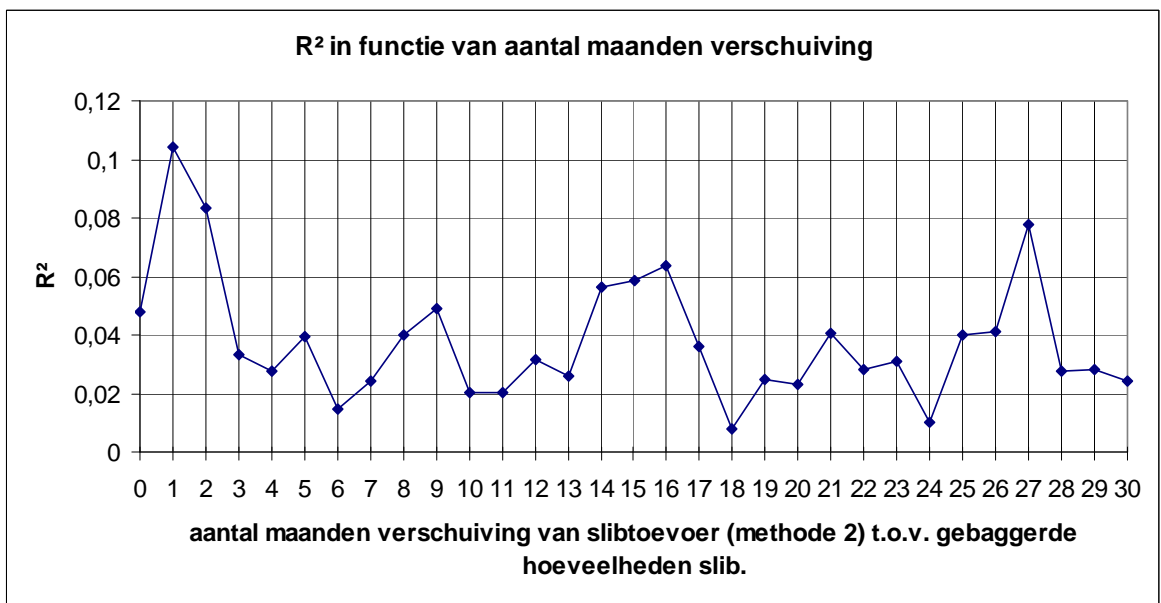
Figuur 51 - Gebaggerde hoeveelheid slib in het Deurganckdok per maand.



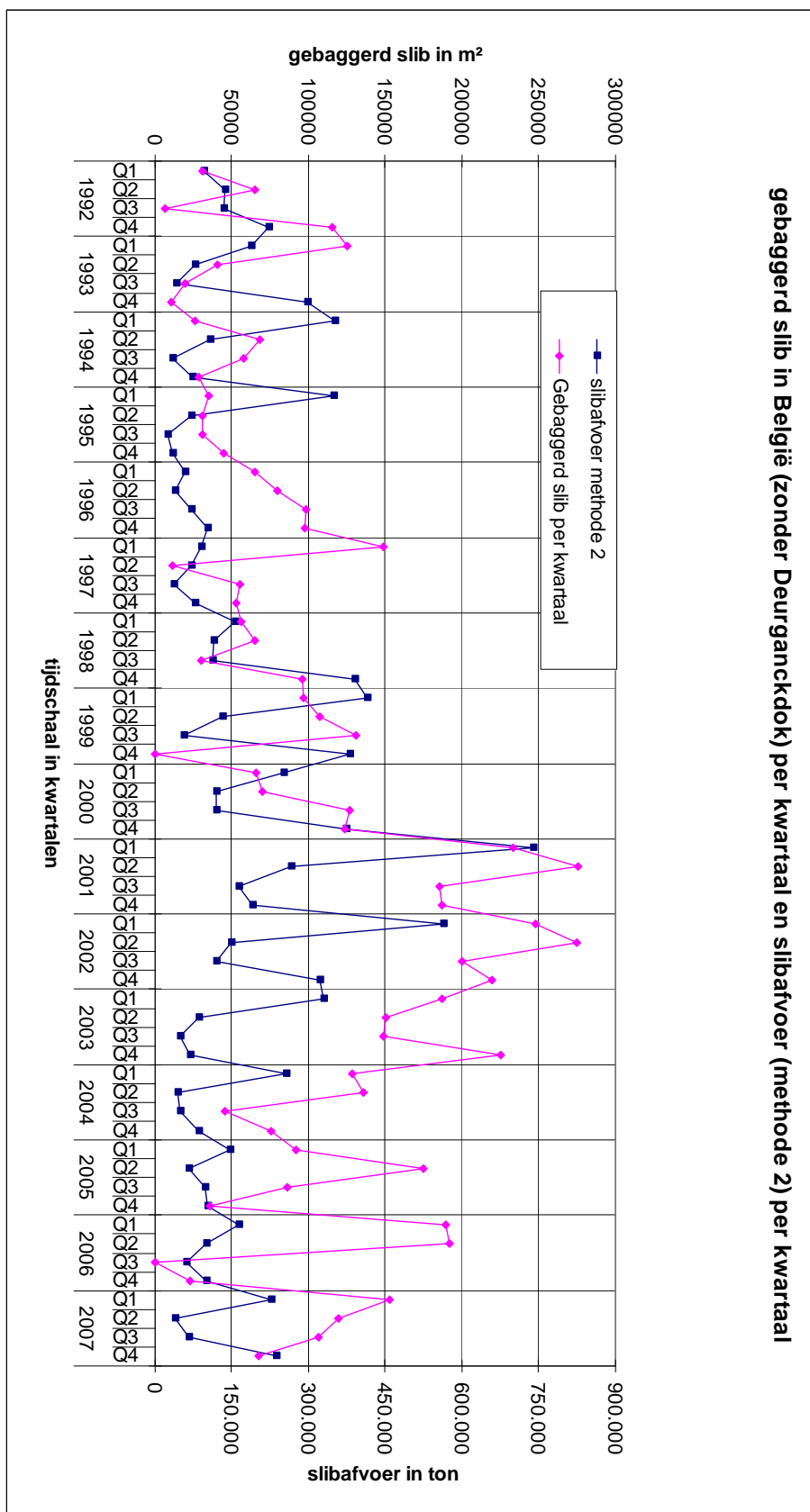
Figuur 52 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2



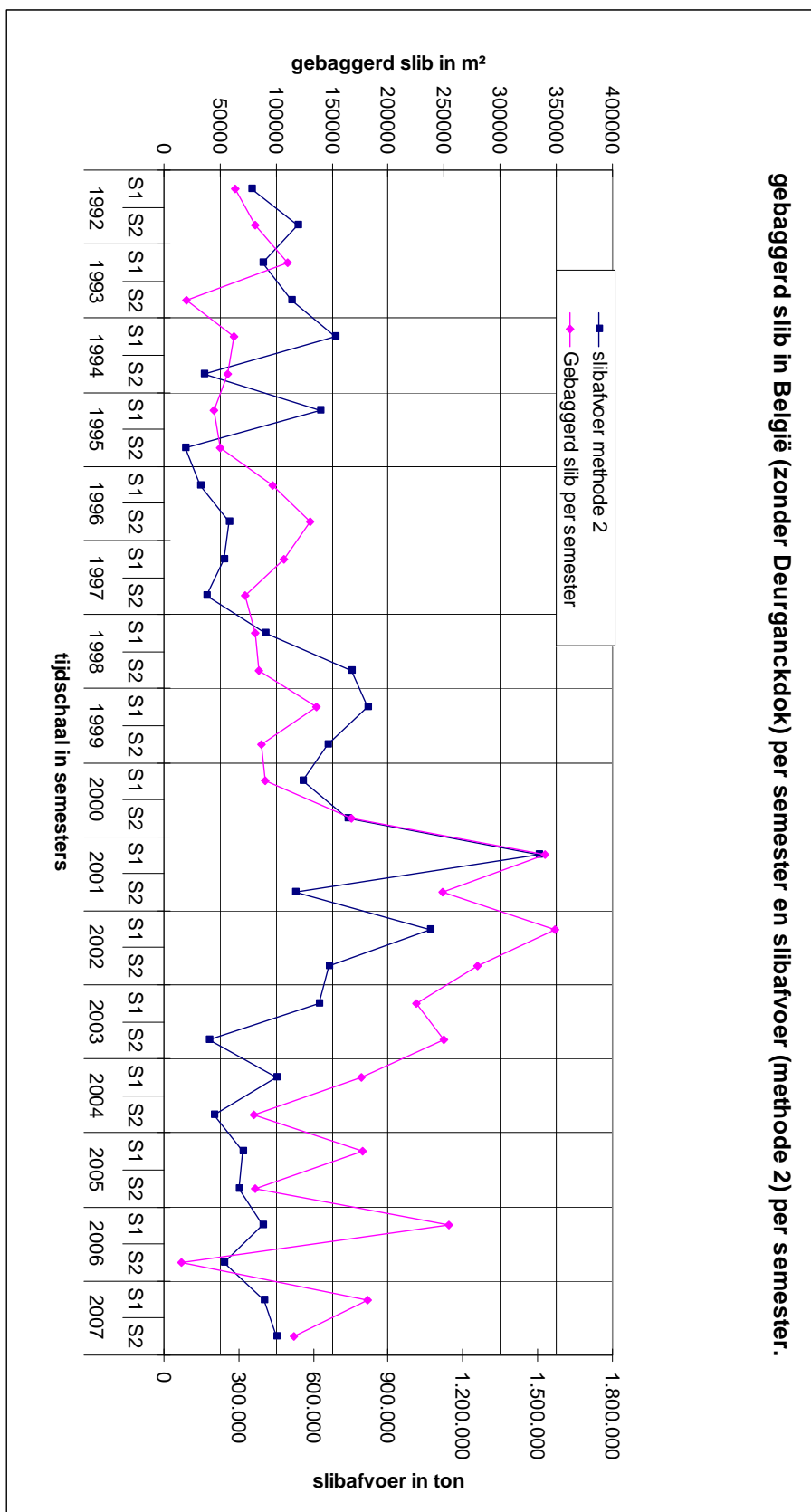
Figuur 53 - Slibafvoer (methode 2) en gebaggerde hoeveelheid slib in functie van elkaar. Slibafvoer 1 maand verschoven t.o.v. gebaggerde hoeveelheid slib.



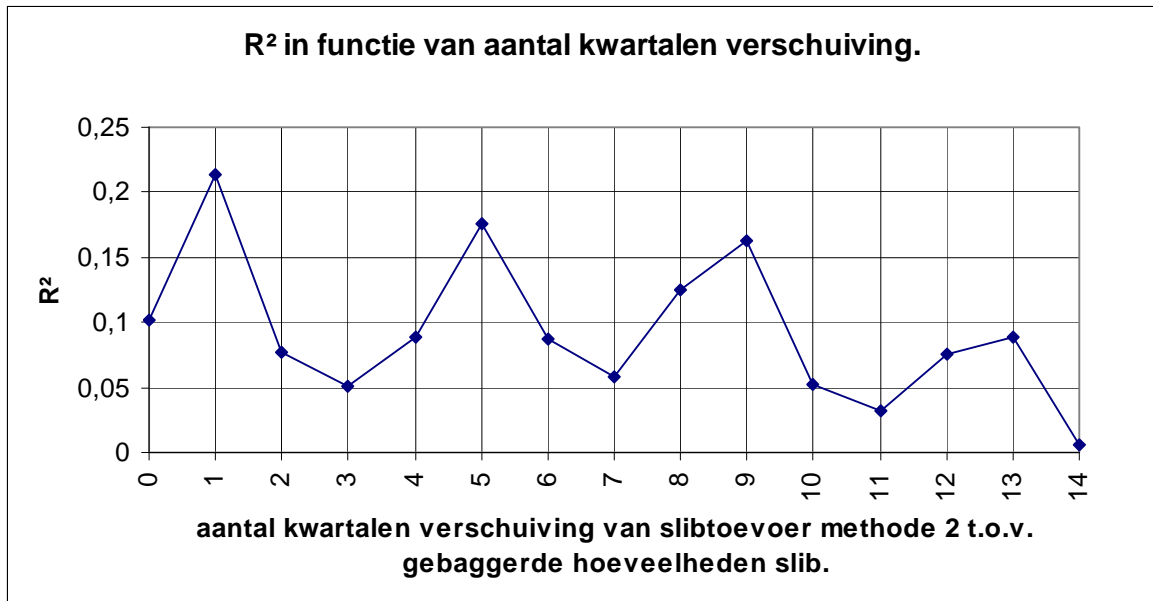
Figuur 54 - R^2 in functie van aantal maanden verschuiving.



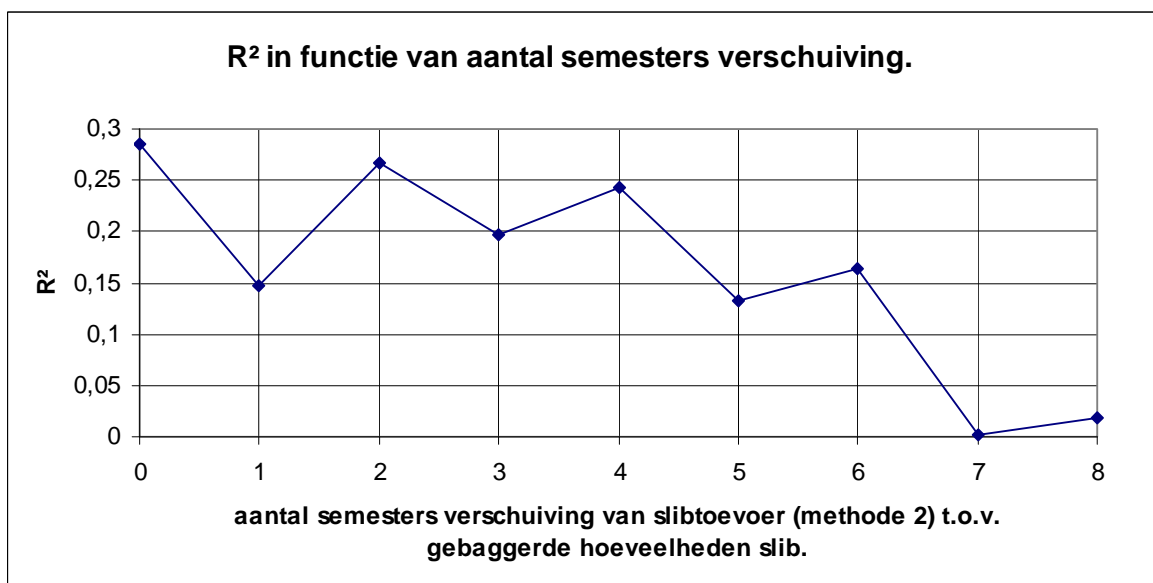
Figuur 55 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2 per kwartaal.



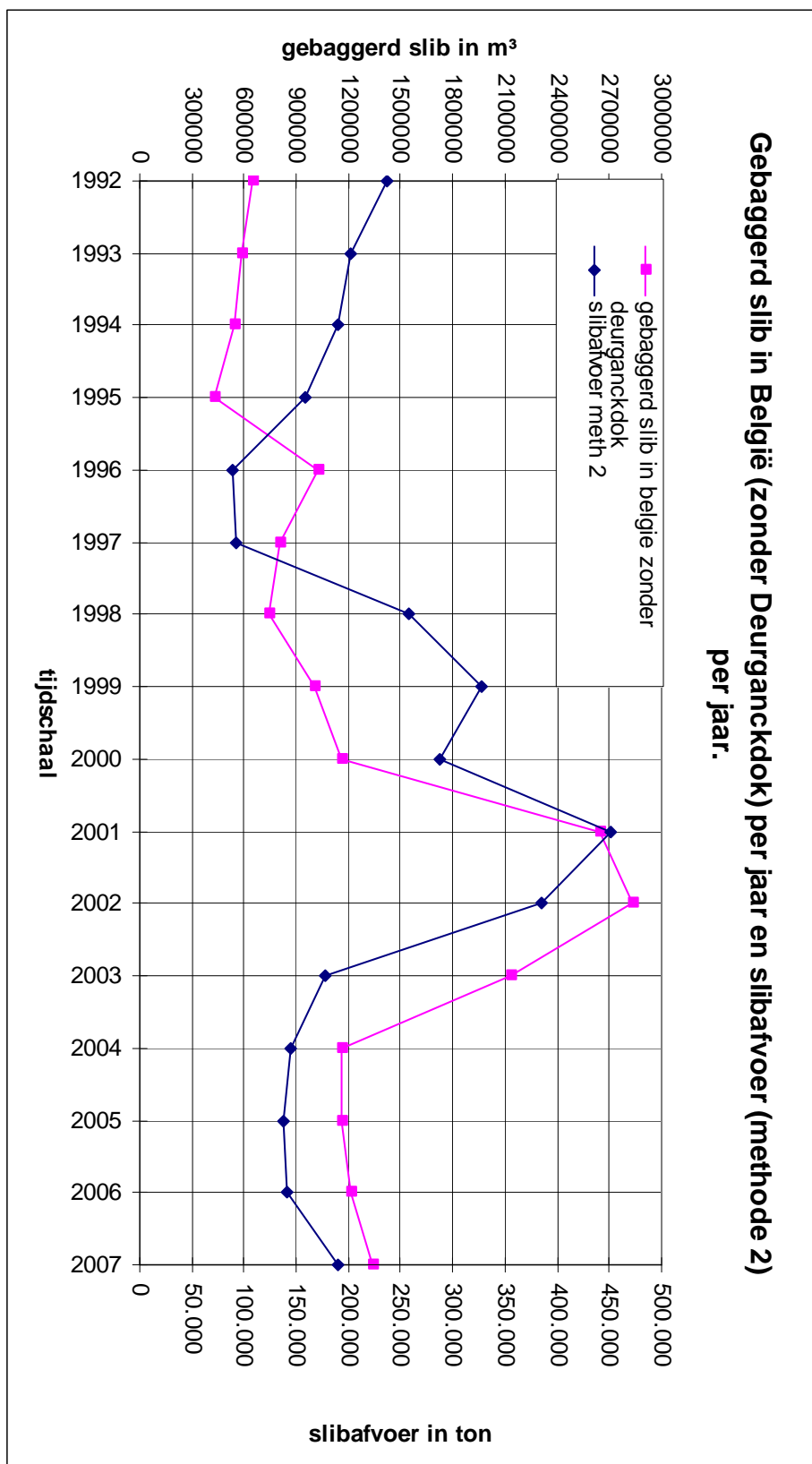
Figuur 56 - Gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer volgens methode 2 per semester.



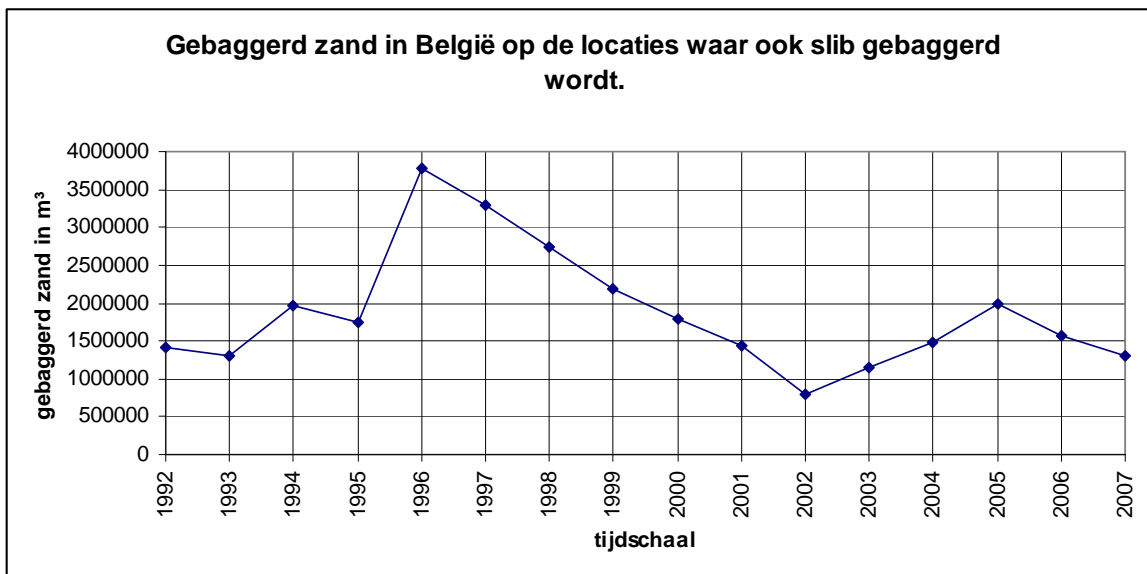
Figuur 57 - R² in functie van aantal kwartalen verschuiving.



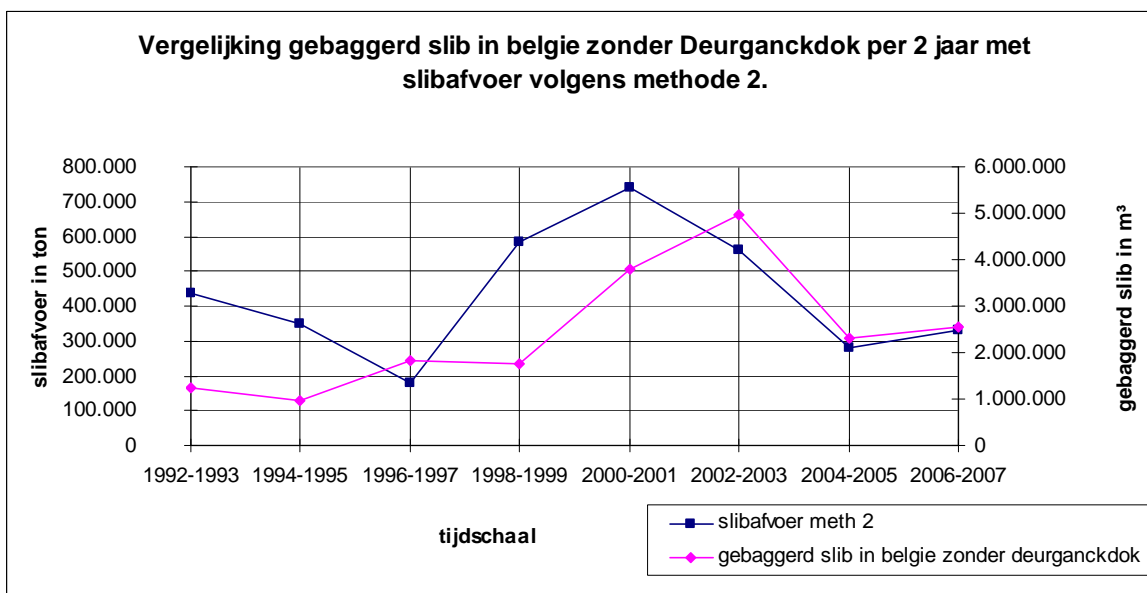
Figuur 58 - R² in functie van aantal semesters verschuiving.



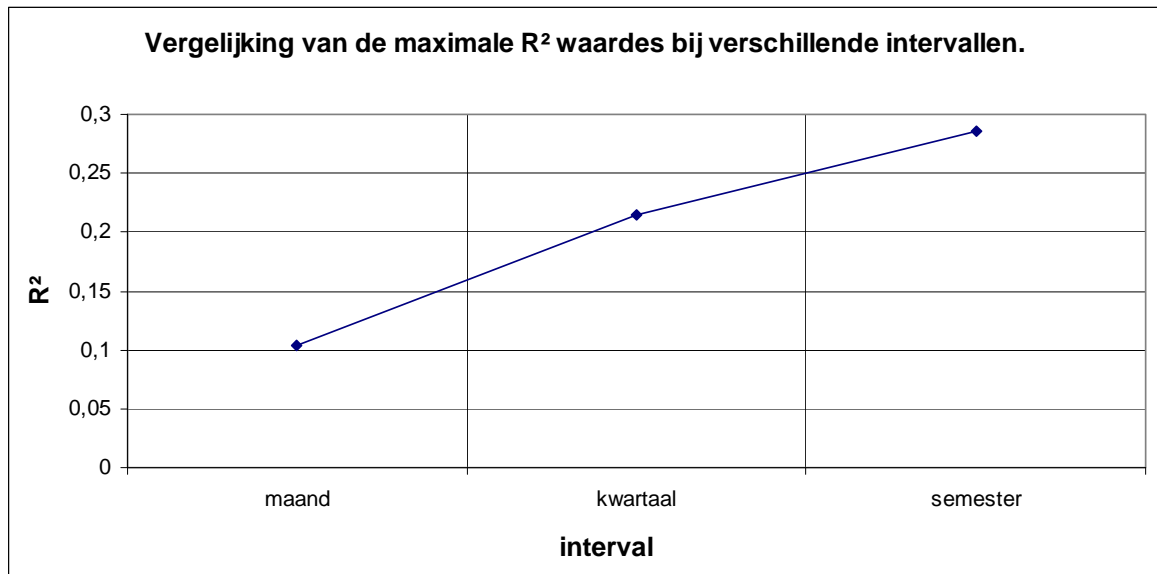
Figuur 59 - Vergelijking gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer (methode 2) per jaar.



Figuur 60 - Gebaggerde hoeveelheid zand in België op de locaties waar ook slib gebaggerd wordt.



Figuur 61 - Vergelijking gebaggerde hoeveelheid slib in België (zonder Deurganckdok) en slibafvoer (methode 2) per jaar.



Figuur 62 - Vergelijking van de maximale R^2 waarden bij verschillende intervallen.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.watlab.be