

Sedimenttransport meten in onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen

Het sedimentmeetnet van de afdeling Water (VMM) bestaat uit 18 meetstations in het hellend gebied van Vlaanderen. De resultaten worden gegeven van de 8 meetstations die reeds 4 jaar continu de sedimentexport uit stroomgebieden met oppervlakten tussen ca. 200 en 5000 ha in het Bovenscheldebekken bemeten.

Het gebruik van turbiditeitsensoren om de sedimentconcentratie van de waterloop te meten wordt geëvalueerd. De goede werking van de sensoren hangt af van het uitschakelen van storende elementen voor de metingen en het bemonsteren van voldoende hoogwaterevents tijdens de calibratieperiode. Eenmaal voldoende gecalibreerd, kunnen de sensoren met grote nauwkeurigheid sedimentconcentraties en sedimentrachten meten.

De gemiddelde jaarlijkse sedimentvracht voor de laatste 4 jaar van de bemeten stroomgebieden in het Bovenscheldebekken varieert van 1,5 tot 4,7 ton.(ha.j)-1. Er is daarbij geen afname van de specifieke sedimentvracht met toenemende stroomgebiedsoppervlakte. Door het grote verhang van de Maarkebeek is er weinig sedimentstockage in de rivierbedding. Extreme zomerevents geven de grootste sedimentrachten per event, maar winterstormen met kleinere sedimentrachten komen meer voor. Gemiddeld genomen over de periode 2003-2006 hebben zomer- en winterstormen ongeveer een even groot aandeel in de totale sedimentexport. Het is dan ook belangrijk langere tijdreeksen te hebben, zodat niet alleen jaren met of zonder extreme stormen worden bemeten.

1. Inleiding

Door het toenemend belang van de slibproblematiek is de toenmalige afdeling Water van AMINAL, nu de afdeling Water van VMM, begonnen met de uitbouw van een sedimentmeetnet in het zuidelijk (hellend) deel van Vlaanderen. Met dit sedimentmeetnet wenst men meer zicht te krijgen op de hoeveelheid erosie, op het aandeel van het geërodeerd materiaal dat de waterlopen bereikt en op de processen die hierin een rol spelen.

Het ontbreken van meetgegevens over sedimentbewegingen is de rechtstreekse aanleiding voor de uitbouw van het sedimentmeetnet. Het inschatten van sedimentatie in wachtbekkens of het begroten van erosiewerende maatregelen dient gefundeerd te worden door langere tijdreeksen van sedimentdebieten. Deze debieten kunnen vervolgens als input dienen voor modellen voor de begroting van sedimentexporten in een willekeurig stroomgebied. De verkregen inzichten in sedimenttransport moeten tevens bijdragen tot de evaluatie van erosiewerende maatregelen op het veld en uiteindelijk resulteren in een vermindering van de kosten voor de ruiming van slib in waterlopen.

2. Overzicht sedimentmeetnet VMM, afdeling Water

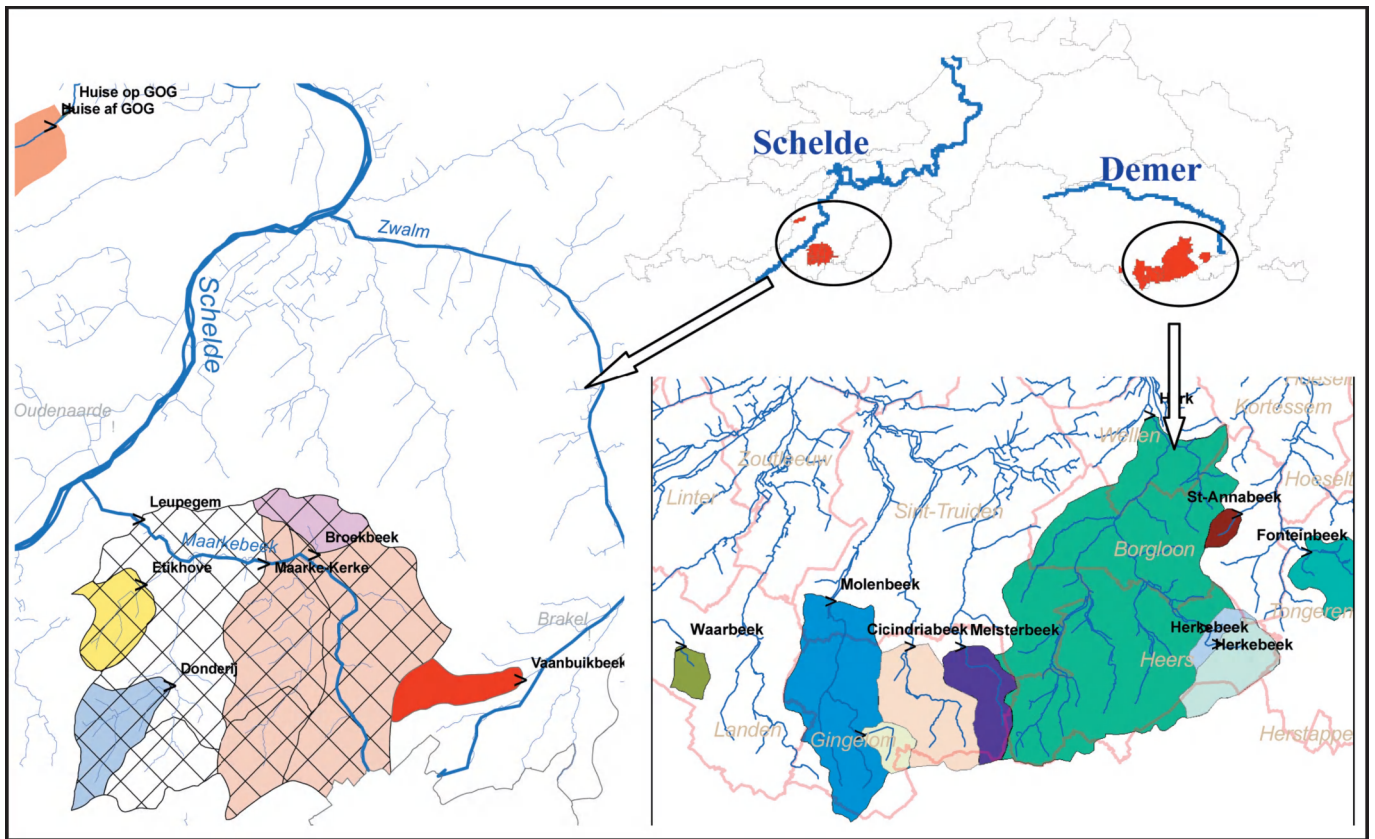
a. Situering

Het sedimentmeetnet van de afdeling Water (VMM) bestaat uit 18 meetstations in het zuidelijk deel van Vlaanderen (fig 1). Elke 15 minuten zijn

meetwaarden beschikbaar van het sedimentdebiet in de waterloop die het stroomgebied draineert. Het sedimentdebiet van een waterloop is de hoeveelheid sediment die per tijdseenheid door de waterloop wordt getransporteerd. Sinds 2002/2003 worden 8 stroomgebieden met stroomgebiedsoppervlakten tussen ca. 200 en 5000 ha continu bemeten in het Bovenscheldebekken. Vijf meetstations zijn gesitueerd in het stroomgebied van de Maarkebeek, 1 station bemeten een bovenloop van de Zwalm en 2 stations bemeten de Plankbeek op- en afwaarts een GOG (Gecontroleerd OversromingsGebied). In de loop van 2005/2006 zijn 10 stations operationeel geworden in de zuidelijke bovenlopen van het Demerbekken, met stroomgebiedsoppervlakten tussen 200 en 10 000 ha. Een overzicht van de ligging van de stations in Vlaanderen is in fig 1 weergegeven. Bij de selectie van de stroomgebieden werd binnen eenzelfde hydrologische regio gestreefd naar een zo groot mogelijke verscheidenheid in stroomgebiedsoppervlaktes en stroomgebiedskennmerken.

De bemeten stroomgebieden zowel in het Bovenscheldebekken als in het zuidelijk Demerbekken bestaan grotendeels uit leembodems (bodemtypes A of L). De gemiddelde korrel diameter van het sediment ligt tussen 10 en 30 μm .

Fig 1. Situering van de sedimentstations in Vlaanderen. De stations zijn genoemd naar ofwel de naam van de bemeten waterloop ofwel de naam van de gemeente waarin het meetstation is gelegen. De stroomgebieden van de meeste stations zijn ingekleurd, het stroomgebied van het station 'Leupegem' in het Bovenscheldebekken is gearceerd



b. Meetmethode

Het sedimentdebiet van een waterloop wordt verkregen door gemeten waterdebieten en sedimentconcentraties met elkaar te vermenigvuldigen. De sedimentvrucht van een waterloop is de som van het sedimentdebiet over een bepaalde tijdsperiode. Het waterdebiet wordt gemeten met een peilmeter in combinatie met ofwel een meetgoot ofwel een meetkanaal met snelheidsmeter. Twee voorbeelden van sedimentmeetstations zijn in fig 2 weergegeven.

De sedimentconcentratie van de waterloop wordt indirect gemeten door een turbiditeitsensor, die de relatieve helderheid van het water meet. Dit is mogelijk omdat het sedimenttransport in de bemeten stroomgebieden hoofdzakelijk bestaat uit suspensietransport van lemig bodemmateriaal. De turbiditeit is een indirecte maat voor sedimentconcentratie: naast de concentratie van het sediment is de turbiditeit van het water eveneens afhankelijk van andere parameters van het sediment zoals de korrelgrootte, de kleur, het gehalte aan organisch materiaal, ea. Om de sedimentconcentratie uit de turbiditeit te kunnen afleiden, moet dan ook per meetlocatie de relatie tussen sedimentconcentraties en turbiditeiten bepaald worden. Dit gebeurt door de sedimentconcentraties afkomstig van geautomatiseerde staalnames (staal wordt genomen in functie van veranderend waterpeil of turbiditeit) te vergelijken met turbiditeiten op het moment van iedere staalname.

Het regressieverband tussen sedimentconcentratie en turbiditeit is dan de calibratiecurve van de sensor. Een voorbeeld van een dergelijke calibratiecurve wordt in fig 3 weergegeven voor het station 'Huisse opwaarts GOG'. De staalnameplaats wordt zodanig gekozen dat er geen concentratiegradiënt in het dwarsprofiel aanwezig is, bvb na een intense menging afwaarts een bodemval (fig 2).

Het voordeel van het gebruik van de turbiditeitsensor is dat ze continu meten. In kleine hellende stroomgebieden kan de sedimentconcentratie zeer snel veranderen, waardoor zelfs met frequente staalnames belangrijke concentratiewijzigingen worden gemist. In het sedimentmeetnet meten de turbiditeitsensoren elke 15 minuten.

Er wordt gebruik gemaakt van verschillende types optische turbiditeitsensoren, afhankelijk van de maximum sedimentconcentratie die in de waterloop voorkomt. Bij een overwogen plaatsing van de sensor is de puntmeting representatief voor het volledige dwarsprofiel. Storende elementen voor de turbiditeitsmetingen worden uitgeschakeld. Zo worden luchtballen in de waterkolom vermeden door de sensor te plaatsen in weinig turbulent water, bedekking van de sensor door debris wordt vermeden door het plaatsen van een afschermkap (fig 2), fouling van de sensor door algae wordt vermeden door uurlijkse reiniging met perslucht.

Fig 2. Twee voorbeelden van sedimentstations. Links het station op de Vaanbuikbeek in het Bovenscheldebekken (zicht naar opwaarts tijdens laagwater), rechts het station op de Herk te Wellen in het zuidelijk Demerbekken (zicht naar opwaarts tijdens hoogwater)

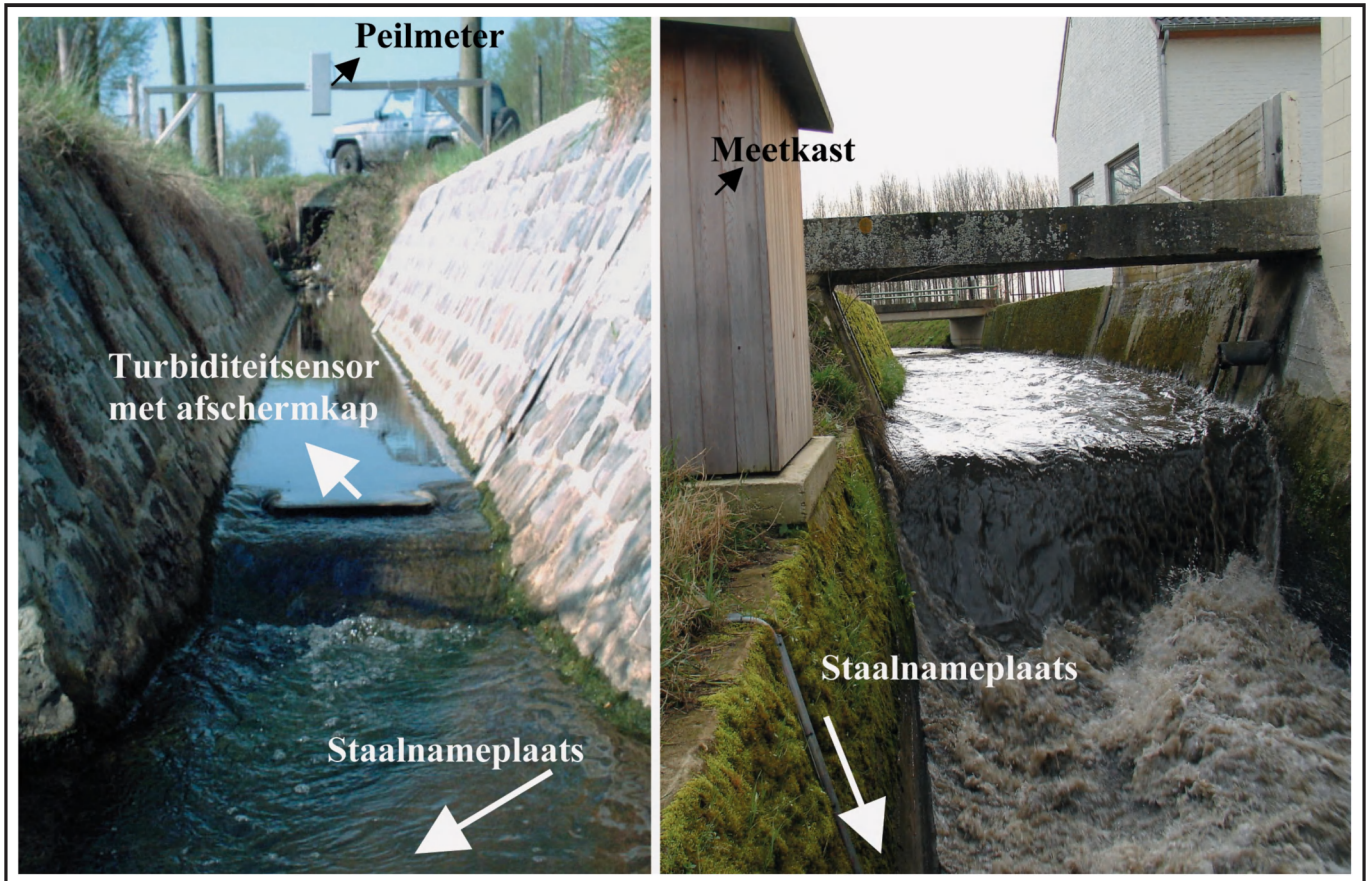
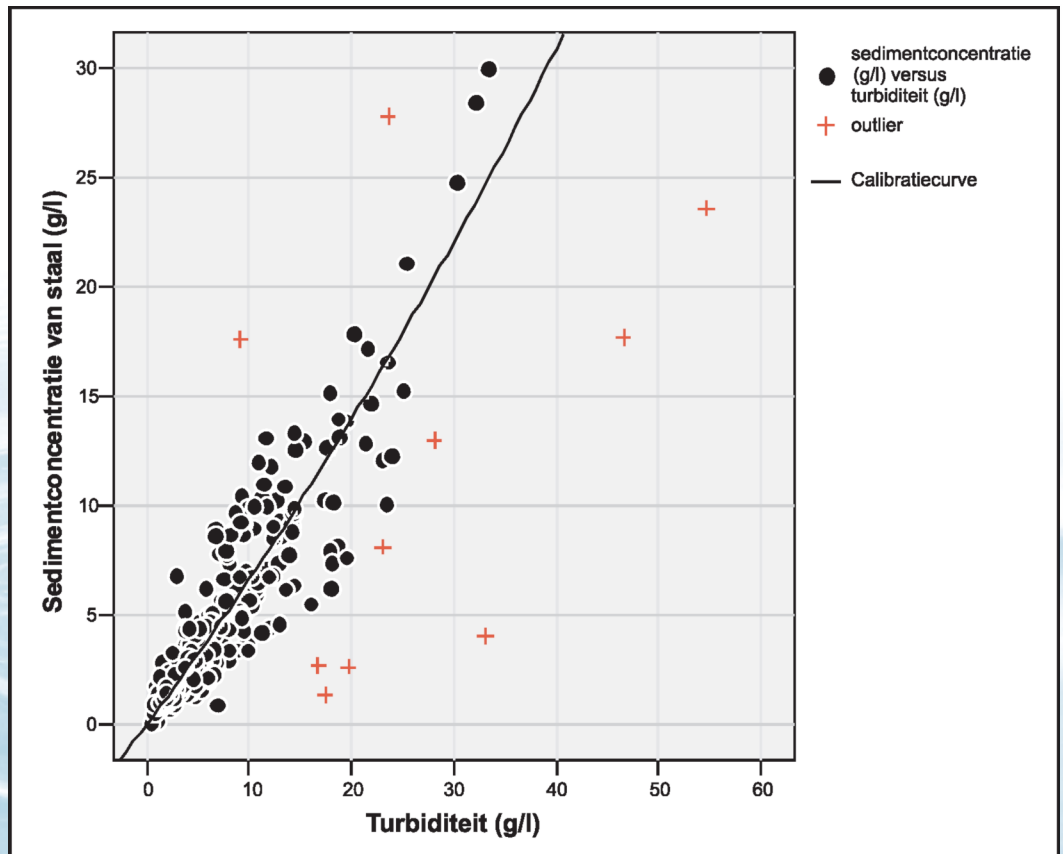


Fig 3. Puntenkoppels en calibratiecurve 'sedimentconcentratie-turbiditeit' voor de huidige sensorconfiguratie van het station 'Huis opwaarts GOG'. De puntenkoppels aangeduid door kruisjes werden via regressietechnieken verwijderd ('outliers').



3. Resultaten

Enkel de resultaten van de stations in het Bovenscheldebekken worden besproken. De beperkte meetperiode en het ontbreken van hoogwater-events laten nog geen uitspraken toe voor het zuidelijk Demerbekken.

a. Calibratiecurves turbiditeitsensoren

Voor alle stations is de meetperiode minstens 4 jaar (tabel 1). Er gebeurden in die periode voor elk station honderden staalnames, die gebruikt werden ter calibratie van de turbiditeitsensor. Tijdens de meetperiode gebeurden verschillende wijzigingen aan de meetopstelling of sensor-configuratie. De datum van de laatste wijziging van de sensorconfiguratie is in tabel 1 weergegeven. Voor elke sensorconfiguratie moet een aparte calibratiecurve opgesteld worden, aangezien de turbiditeiten voor eenzelfde sedimentconcentratie veranderen. Voor de calibratie van de sensor met de huidige sensorconfiguratie kunnen enkel de stalen gebruikt worden die genomen zijn sinds de laatste configuratiewijziging. Voor het station 'Broekbeek' zijn zo 84 stalen genomen sinds de laatste wijziging van de sensorconfiguratie in maart 2005. Met die 84 stalen is een calibratiecurve opgesteld met een RMSE of gemiddelde fout van 2,02 g/l. Deze curve is geldig voor de omzetting van turbiditeiten naar sedimentconcentratie vanaf maart 2005.

De calibratie van de turbiditeitsensoren steunt op minstens 84 ijkingskoppels 'staalconcentratie-turbiditeit'. Een eenvoudige lineaire regressie werd toegepast op deze ijkingskoppels. Extra hydrogramkenmerken zoals waterpeil of seizoen werden niet in de regressie betrokken. De maximum bemeten sedimentconcentratie is in elk station groter dan 25 g/l, in een aantal stations zelfs meer

dan 100 g/l. De RMSE van de calibratiecurve bedraagt maximaal 3.7 g/l. Een voorbeeld van een dergelijke calibratiecurve voor het station 'Huisse opwaarts GOG' wordt in fig 3 weergegeven. Via regressietechnieken zijn een aantal calibratiekoppels niet weerhouden bij het opstellen van de calibratiecurve, deze 'outliers' worden in de figuur door kruisjes aangeduid.

b. Accuraatheid turbiditeitsensoren

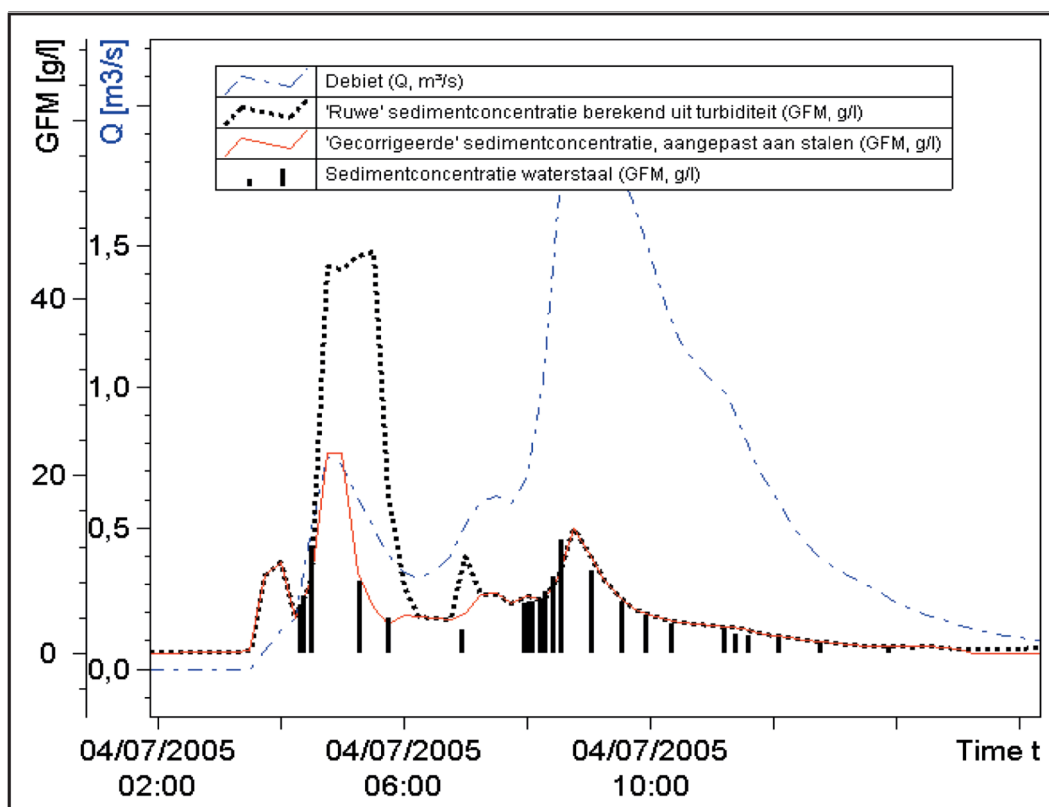
Door turbiditeiten om te zetten met de calibratiecurve van de sensor, worden 'ruwe' sedimentconcentraties bekomen. De 'best beschikbare' sedimentconcentraties worden bekomen door de 'ruwe' sedimentconcentraties te corrigeren indien deze teveel afwijken van de staalnameconcentraties (fig 4). Door de grote hoeveelheid stalen tijdens praktisch alle hoogwater-events kan ervan uitgegaan worden dat de 'best beschikbare' sedimentconcentraties zeer betrouwbaar zijn.

Het doel van het gebruik van de turbiditeitsensoren is, éénmaal deze voldoende zijn gecalibreerd, de frequente en intensieve waterstaalnames bij hoogwater-events te kunnen stoppen. Belangrijk is te weten wanneer een sensor 'voldoende' is gecalibreerd. Wat bepalend is voor een geslaagde calibratie, is dat er voldoende stalen genomen zijn voor het volledige bereik van turbiditeiten. Voor de maximum turbiditeiten, die enkel voorkomen bij de grootste stormen ('storm' in de zin van neerslagevenement), is staalname het moeilijkst. Uit fig 3 kan afgeleid worden dat er voor het station 'Huisse opwaarts GOG' veel monsters zijn genomen tot turbiditeiten van ongeveer 20 g/l, maar dat stalen bij grotere turbiditeiten zeldzaam zijn.

Tabel 1. Meetperiode, aantal stalen en calibratiegegevens van de turbiditeitsensoren voor de verschillende stations in het Bovenscheldebekken

Station	Start metingen	Totaal aantal stalen	Laatste wijziging sensor-configuratie	Aantal stalen sinds laatste wijziging sensor-configuratie	RMSE calibratie-curve (g/l)	Maximale concentratie (g/l)
Broekbeek	07/2002	348	03/2005	84	2,02	27
Etikhove	07/2002	791	08/2005	143	0,73	85
Donderij	10/2002	484	07/2005	189	1,09	46
Maarke-Kerkem	01/2003	422	01/2003	365	1,52	68
Leupegem	11/2002	383	08/2004	124	1,43	29
Huisse opwaarts GOG	06/2002	595	12/2004	244	1,97	58
Huisse afwaarts GOG	06/2002	411	12/2004	103	1,08	122
Vaanbuik-beek	12/2002	405	12/2004	114	3,70	111

Fig 4. Correctie van 'ruwe' sedimentconcentratie (turbiditeitsmeting omgezet met calibratiecurve) voor het hoogwaterevent van 4/7/2005 voor het meetstation 'Huisse opwaarts GOG'. Tussen 4h en 6h is er een groot verschil tussen ruwe sedimentconcentratie en staalnameconcentratie, mogelijk door verstoring van de turbiditeitsensor door vuil in de waterloop. Voor de berekening van 'best beschikbare' sedimentconcentraties werden de ruwe sedimentconcentraties tussen 4h en 6h herschaald tot dat betere overeenkomst met staalnameconcentraties werd verkregen.



Eenmaal stalen zijn genomen voor het volledige turbiditeitsbereik, kan aan de hand van regressietechnieken de calibratiecurve worden opgesteld (fig 3). De kwaliteit van de regressie en bijgevolg de mate van calibratie van de sensor kan geëvalueerd worden aan de hand van statistische parameters zoals RMSE, breedte van het betrouwbaarheidsinterval,

Daarnaast moet de calibratie van de sensor ook geëvalueerd worden door na te gaan hoe nauwkeurig de sedimentvracht wordt gemeten met behulp van de sensor. De sedimentvracht wordt immers niet alleen bepaald door de sedimentconcentratie, maar ook door het debiet van de waterloop. Om dit na te gaan, worden de gecorrigeerde of ruwe sedimentvrachten (d.i. ruwe sedimentconcentraties vermenigvuldigd met debieten) vergeleken met de 'best beschikbare' sedimentvrachten (d.i. 'best beschikbare' sedimentconcentraties vermenigvuldigd met debieten) voor eenzelfde periode. De afwijking tussen beide sedimentvrachten moet zo klein mogelijk zijn. Deze berekening gebeurde voor de periode vanaf de laatste wijziging aan de sensorconfiguratie (tabel 1). In fig 5 wordt de afwijking van de ruwe sedimentvracht ten opzichte van de 'best beschikbare' sedimentvracht weergegeven ('best beschikbare' sedimentvracht = 100%). De afwijking bedraagt maximaal 22% voor het station 'Vaanbuikbeek'.

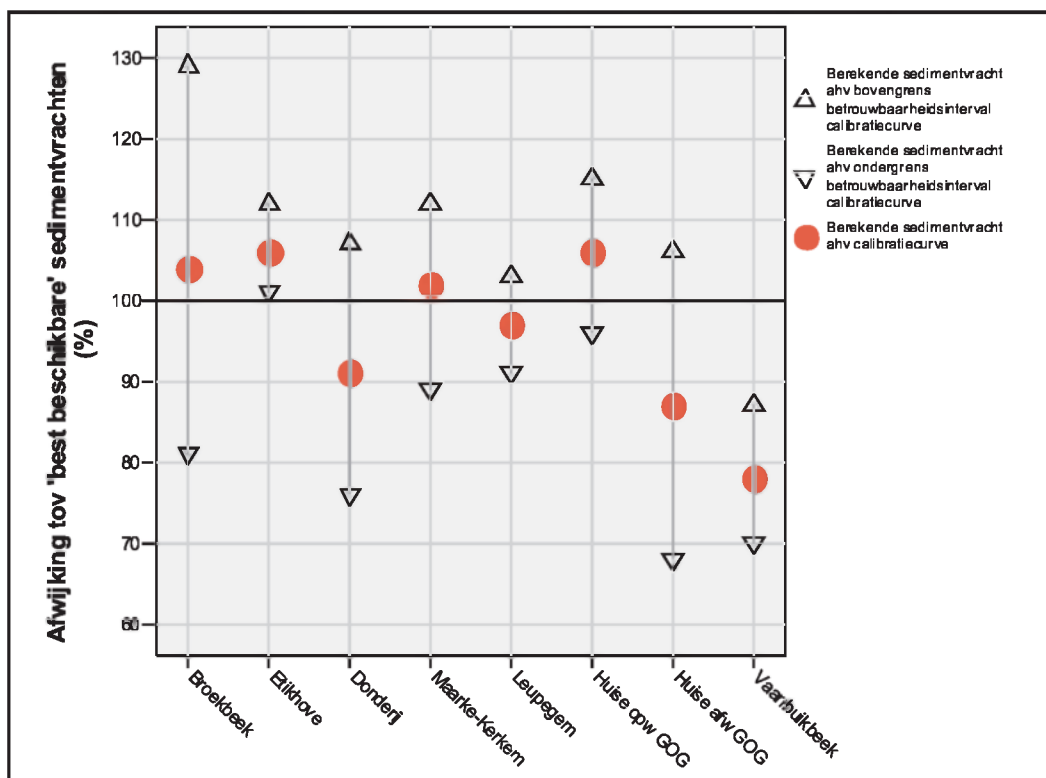
De sedimentvracht werd eveneens berekend met boven- en ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de calibratiecurve (fig 5). Men bekomt aldus een betrouwbaarheidsinterval van de ruwe sedimentvrachten. De grootte van dit interval geeft de mogelijke fout op de sedimentvracht aan bij het gebruik van de calibratiecurve.

Uit vergelijking tussen ruwe en 'best beschikbare' sedimentvrachten kunnen 2 extra criteria afgeleid worden om na te gaan in hoeverre de calibratie van de sensoren voldoet: het verschil tussen de ruwe sedimentvrachten en de 'best beschikbare' sedimentvrachten en de grootte van het betrouwbaarheidsinterval van de ruwe sedimentvracht.

Bij 6 van de 8 stations is de verbetering van de 'ruwe' sedimentvrachten naar de 'best beschikbare' vrachten marginaal (verschil kleiner dan 10%). De turbiditeitsensor is dus voor de meeste stations in staat om met grote nauwkeurigheid de sedimentvrachten te voorspellen. Deze nauwkeurigheid geldt enkel voor schattingen van sedimentvrachten van langere periodes. Door de calibratiecurve van de turbiditeitsmeter te gebruiken wordt de spreiding in sedimentconcentratie voor eenzelfde turbiditeit immers uitgemiddeld. Bij schatting van sedimentvrachten voor aparte stormen kan de fout veel groter dan 10% zijn.

Voor vier van de 6 hierboven vermelde stations is het 95% betrouwbaarheidsinterval van de ruwe sedimentvracht opvallend smal nl. kleiner dan

Fig 5. Vergelijking van ruwe sedimentvrachten en sedimentvrachten bekomen door toepassing van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de calibratiecurve met 'best beschikbare' sedimentvrachten ('best beschikbare' sedimentvrachten = 100%)



15%. Voor deze 4 stations kan de staalname beperkt worden tot controlestalen. Controlestalen moeten wijzigingen in sedimentkenmerken of sensorinstellingen (bv. drift van meetsignaal door veroudering toestel) aantonen. Indien de calibratiecurve significant verschilt bij het in rekening brengen van de controlestalen, kan de calibratiecurve aangepast worden. Als frequentie van controlestaalname kan bv. bemonsteren van 1 storm per seizoen én alle extreme stormen gekozen worden.

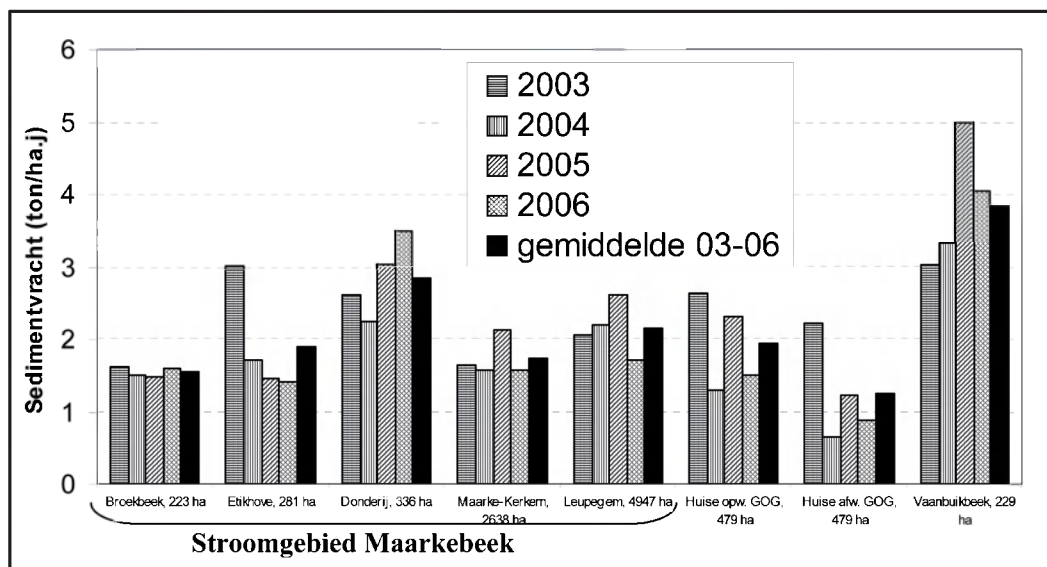
Voor het station 'Vaanbuikbeek' is het 95% betrouwbaarheidsinterval kleiner dan 15%, maar onderschat de ruwe sedimentvracht de 'best beschikbare' sedimentvracht met ruim 20%. Dit is wellicht te wijten aan een onderschatting door de calibratiecurve van de sedimentconcentratie van enkele grote stormen. Extra stalen bij hoogwatercondities zijn noodzakelijk voor dit station. Enkele stations hebben een groot betrouwbaarheidsinterval van sedimentvrachten: Broekbeek, Donderij, Huise afwaarts GOG. Ook voor deze stations kunnen de staalnames nog niet gereduceerd worden tot controlestalen.

c. Overzicht sedimentvrachten

Een overzicht van de sedimentvrachten (per oppervlakte-eenheid van stroomgebied) van de laatste 4 jaar wordt voor de verschillende stations in fig 6 weergegeven. In tabel 2 staat naast de gemiddelde specifieke sedimentvracht (d.i. sedimentvracht per oppervlakte-eenheid van stroomgebied) van de periode 2003-2006 tevens het aandeel

van de sedimentvracht van het zomerseizoen (april tot en met september) gegeven ten opzichte van de sedimentvracht van het volledige jaar, en dit zowel als gemiddelde van de laatste 4 jaar als van een jaar met extreme zomerstormen nl 2005. Ook de 'top-3' van stormen van de afgelopen 4 jaar wordt in de tabel weergegeven, met het aandeel van de gecumuleerde sedimentvracht van de storm in de jaarlijkse sedimentvracht van het jaar waarin de storm zich voordoet.

Fig 6. Overzicht van de specifieke sedimentvrachten (ton.(ha.j)⁻¹) van de laatste 4 jaar voor de verschillende sedimentstations in het Bovenscheldebekken. Vijf van deze sedimentstations liggen in het stroomgebied van de Maarkebeek



Gesteld dat de bemeaten periode representatief is voor de lange-termijnswaarden, kunnen volgende bevindingen uit de analyse van sedimentvrachten van 2003 tot en met 2006 worden gehaald:

- Er zijn sterke verschillen in specifieke sediment-export tussen de stroomgebieden. Deze verschillen zijn deels te verklaren door stroomgebiedskennmerken zoals hellingsgraad, bodemtypes, bodemgebruik,.... Zo hebben de stroom-

gebieden met de grootste specifieke sediment-export (nl. de stations Donderij en Vaanbuikbeek) ook de grootste gemiddelde helling van het stroomgebied. De relatie tussen sediment-export en stroomgebiedskennmerken moet nog meer in detail worden onderzocht.

- Het is opvallend hoe de bemeaten stroomgebieden onafhankelijk van elkaar reageren voor de hoogste sedimentgolven, ondanks hun geo-

Tabel 2. Gemiddelde specifieke sedimentvrachten voor de periode 2003-2006 (ton.(ha.j)⁻¹), aandeel sedimentvracht van het zomerseizoen (april tot en met september) in totale jaarvracht voor het jaar 2005 en aandeel van de sedimentvracht van de zomerseizoenen in de totale jaarvracht voor de periode 2003-2006. Rechterkolommen: 3 stormen met grootste aandeel in sedimentvracht voor de periode 2003-2006 (tussen haakjes: aandeel in % van de gecumuleerde sedimentvracht tijdens storm in de jaarvracht van het jaar waarin de storm voorkomt)

Station	oppervlakte stroomgebied (ha)	gemiddelde sedimentvracht 2003-2006 (ton.(ha.j) ⁻¹)	aandeel zomer in 2005 (%)	aandeel zomer laatste 4 jaar(%)	storm 1	storm 2	storm 3
Broek-beek	223	1,54	73	55	08/06/2003 (30%)	21/01/2004 (30%)	4/07/2005 (29%)
Etikhove	281	1,89	71	50	02/06/2003 (30%)	08/06/2003 (20%)	14/01/2004 (32%)
Donderij	366	2,84	88	53	28/05/2006 (39%)	20/08/2005 (32%)	03/01/2003 (35%)
Maarke-Kerkem	2638	1,72	81	44	16/01/2004 (52%)	04/02/2003 (46%)	05/07/2005 (29%)
Leupegem	4947	2,13	84	45	05/07/2005 (46%)	04/01/2003 (48%)	13/01/2004 (44%)
Huise opwaarts GOG	546	1,93	85	57	08/06/2003 (46%)	20/08/2005 (27%)	03/05/2005 (20%)
Huise afwaarts GOG	546	1,24	80	53	09/06/2003 (29%)	03/06/2003 (16%)	30/01/2003 (15%)
Vaanbuik-beek	235	3,84	96	63	04/07/2005 (60%)	03/01/2003 (56%)	13/01/2004 (37%)

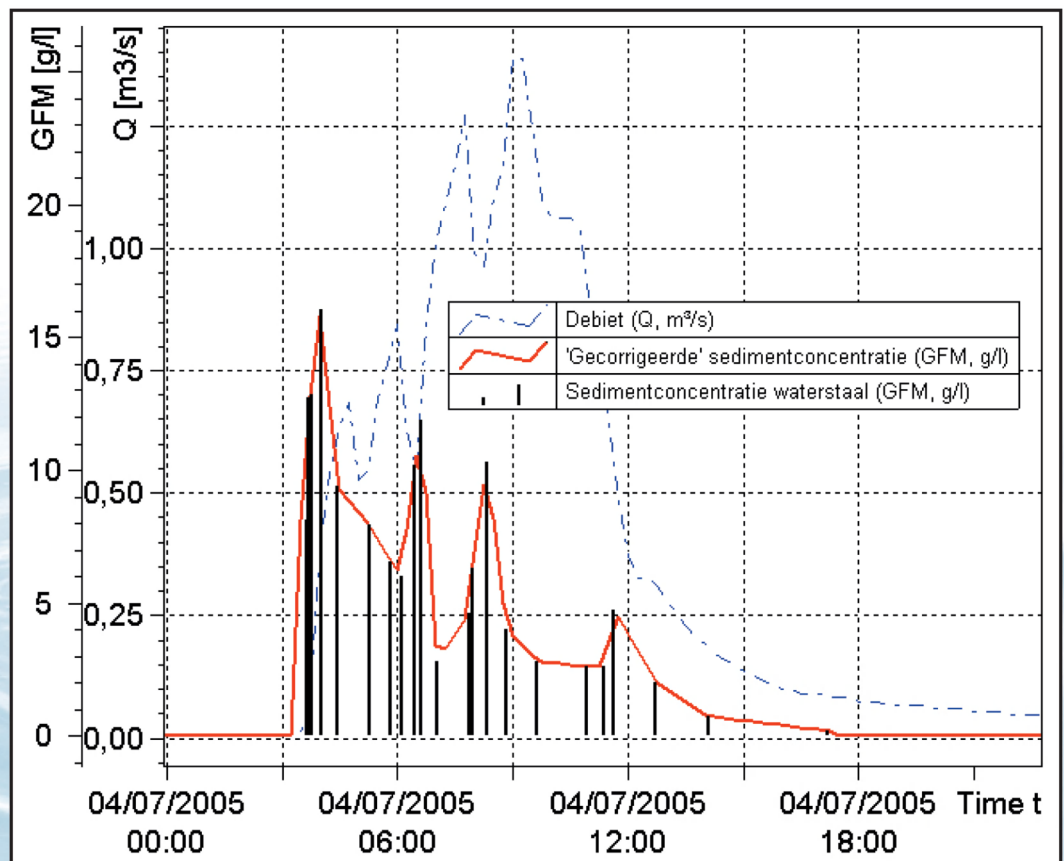
grafische nabijheid. Zowel het verschil in tijdstip van maximum sedimentgolven als hun relatieve bijdrage tot het jaartotaal bewijzen hun geringe onderlinge afhankelijkheid. Dit laat toe voor globale studies de jaren van ieder station voor een bepaald percentage samen te voegen om langere tijdreeksen te simuleren.

- In het station Leupegem werd in de periode 2003-2006 jaarlijks gemiddeld 2,1 ton/ha of ruim 10 000 ton sedimentvracht gemeten. Dit komt overeen met enkele tienden mm bodem-materiaal die jaarlijks over het hele stroomgebied van de Maarkebeek afspoelt tot in de Maarkebeek. Afwaarts het station 'Leupegem' bevindt de Maarkebeek zich ongeveer 1 km in de vlakke Scheldevallei, waar een deel van de sedimentvracht in de bedding van de Maarkebeek kan worden gestockeerd. Een kleine 10 000 ton komt echter jaarlijks in de Schelde terecht.
- In het stroomgebied van de Maarkebeek is er geen sprake van een afname van de specifieke sedimentvracht met toenemende stroomgebied-soppervlakte. Dit is in tegenstelling met de bevindingen van andere studies naar sediment-export in waterlopen (e.g. VERSTRAETEN, 2000). Zo is er zelfs een toename van specifieke sedimentexport van het station 'Maarke-Kerkem' (ca. helft stroomgebied Maarkebeek) naar het station 'Leupegem' (95% stroomgebied Maarkebeek), te verklaren door de monding van een zijloop afkomstig van zeer hellend gebied (oa. stroomgebied meetstation Donderij) in de Maarkebeek stroomafwaarts het

meetstation 'Maarke-Kerkem'. Dit houdt in dat er weinig sedimentstockage gebeurt in de Maarkebeek tot aan het meetstation Leupegem, wat eenvoudig kan verklaard worden door het grote verhang van de Maarkebeek van minstens 2m/km. Het feit dat de sedimentconcentratiepiek in alle stations voornamelijk vóór de waterafvoerpiek komt, wijst eveneens op een flush van het sediment bij elke storm van de bovenlopen tot in het meetstation Leupegem (fig 7).

- Tijdens de periode 2003-2006 zijn de totale sedimentvrachten van de zomer- en wintermaanden ongeveer gelijk (tabel 2, kolom 5). Gemiddeld genomen is de som van de sedimentvrachten van de winterstormen dus even belangrijk als de som van de sedimentvrachten van de zomerstormen. Andere studies naar sedimentexport uit kleine stroomgebieden (STEEGEN, 2001) vonden voor het winterseizoen een aandeel in de jaarlijkse sedimentexport van slechts 25%. Zowel in deze studie als in de studie van Steegen (2001) komen de grootste sedimentconcentraties en -debieten voor tijdens de zomerstormen. In tegenstelling tot de studie van Steegen (2001) worden in deze studie de kleinere sedimentdebieten in de winter echter gecompenseerd door de hogere frequentie van voorkomen en de langere duur van de winterstormen. In tabel 2 worden in de kolommen 6 tot 8 de belangrijkste 3 stormen van de laatste 4 jaar opgesomd (met aandeel van de storm in de totale vracht van het jaar waarin de storm zich voordoet). De zomerstormen heb-

Fig 7. Sedimentconcentratiepiek komt voor waterafvoerpiek in station 'Etikhove' voor de storm van 4/7/2005



ben over het algemeen een groter aandeel in de jaarvrucht en komen dan ook meer voor in deze 'top 3'. Maar doordat er meer winterstormen voorkomen met weliswaar kleinere sedimentvruchten, is de som van sedimentvruchten van zomer- en winterstormen ongeveer gelijk. Bij erosiemodellering of erosiebestrijdingsmaatregelen moet dus aan beide types stormen aandacht worden geschonken.

- Het belang van tijdreeksen van meerdere jaren wordt duidelijk als men het aandeel van de sedimentvrucht van winter- en zomerseizoenen vergelijkt voor het jaar 2005 met het gemiddeld aandeel van sedimentvrucht van winter- en zomerseizoenen voor de voorbije 4 jaar (tabel 2, kolommen 4 en 5). In het jaar 2005 kwamen enkele zomerstormen voor, met de extreme zomerstorm van 4/7/2005 met een retourperiode van de regen van minstens 200 jaar (vergelijking regenhoogten meetstation Broekbeek met IDF-curve van Melle). In 2005 was het aandeel van de sedimentvruchten van de zomerstormen minstens 71% (tot 96%) in de totale jaarvrucht voor de verschillende sedimentstations. Gemiddeld is het aandeel van de zomerstormen in de jaarvrucht echter maar 50% voor de voorbije 4 jaar. Het is dus belangrijk ook te meten in jaren waarin dergelijke extreme stormen niet voorkomen om een representatief beeld te krijgen over verschillende jaren van de gemiddelde verdeling van de sedimentexport over de seizoenen.
- Tijdens de zomerstormen in juli en augustus van 2005 werden record-sedimentdebieten en -vruchten gemeten. Zo werd in de Maarkebeek ter hoogte van het station 'Leupegem' in 10h tijd 5000 ton sedimentexport of 1 ton/ha gemeten, in het station 'Vaanbuikbeek' was dit in dezelfde tijd ruim 3 ton/ha. De hoge vegetatiebedekkingsgraad hield duidelijk niet alle sediment tegen.
- De vangefficiëntie van het GOG te Huise (d.i. het percentage van de inkomende sedimentvrucht die in het GOG te Huise achterblijft) kan afgeleid worden uit het verschil in sedimentvrucht gemeten in het station 'Huise opwaarts wachtbekken' en 'Huise afwaarts wachtbekken'. Deze vangefficiëntie varieerde de laatste 4 jaar tussen 30 en 50%, met een gemiddelde vangefficiëntie van ongeveer 40%. Regelmatige topografische opmetingen, die een strenge controle zijn voor de sedimentberekeningen op- en afwaarts het GOG, bevestigen dit.

4. Conclusie

Turbiditeitsensoren kunnen met succes ingezet worden om sedimentvruchten te meten die bestaan uit suspensielading. Het voordeel van deze sensoren is dat zij continu meten, en dat na calibratie van de sensoren de staalnames kunnen beperkt worden tot controlestalen. De goede werking van de sensoren hangt af van het uitschakelen van storende elementen voor de metingen en het voorkomen van hoogwaterevents tijdens de calibratieperiode.

Voor de helft van de meetstations van het sedimentmeetnet van de afdeling Water staat de calibratie van de sensoren op punt en zijn de turbiditeitsensoren in staat de gecumuleerde sedimentvruchten van langere periodes nauwkeurig te meten. Voor de andere stations zijn extra staalnames nodig om de fout op de calibratiecurve van de sensor te verkleinen.

In het stroomgebied van de Maarkebeek varieert de gemiddelde specifieke sedimentvrucht van de verschillende meetstations voor de laatste 4 jaar van 1,5 tot 2,8 ton.(ha.j)⁻¹. Er is daarbij geen afname van de specifieke sedimentvrucht met toenemende stroomgebiedsooppervlakte. Door het grote verhang van de Maarkebeek wordt praktisch alle sediment die tijdens een storm in een bovenloop van de Maarkebeek terecht komt tot voorbij het meest afwaartse station (Leupegem) getransporteerd. Een kleine 10 000 ton komt jaarlijks in de Schelde terecht.

Extreme zomerstormen zoals de storm van 4/7/2005 geven de grootste sedimentvruchten per storm. Maar de winterstormen met kleinere sedimentvruchten komen meer voor. Gemiddeld genomen over de periode 2003-2006 hebben zomer- en winterstormen ongeveer een even groot aandeel in de totale sedimentexport. Het is dan ook belangrijk langere tijdreeksen te hebben, zodat niet alleen jaren met of zonder extreme stormen worden bemeaten. Het blijft een vraag of de 4 jaar metingen een representatief beeld van de sedimentvrucht en de verdeling van de sedimentvrucht over seizoenen geven. Langere meetperioden zullen dit uitwijzen.

Referentielijst:

VERSTRAETEN, G. (2000), Modderoverlast, sedimentatie in wachtbekkens en begroting van de sedimentexport naar waterlopen in Midden-België, Ph.D.Thesis, Leuven, 252 p.

STEEGEN, A. (2001), Sediment deposition in and export from small agricultural catchments, Ph.D.Thesis, Leuven, 220 p.

Auteurs:

Thomas Van Hoestenbergh, Johan Eylenbosch, Marcel Voet

Eerste auteur

Thomas Van Hoestenbergh
Sluizenweg 2
9050 Gentbrugge
09/210.83.62

Wetenschappelijk medewerker

Afdeling Water van de VMM,
Sluizenweg 2
9050 Gentbrugge
Tel: 09/210.83.60
Fax: 09/210.83.68