R. Verhoeven, L. Van Poucke, M. Huygens en R. Banasiak
Vakgroep Civiele Techniek, Laboratorium voor Hydraulica, Universiteit Gent

Sedimentbalansen in rivieren

Via intensieve hydrodynamische en sedimentologische meetcampagnes in het stroomgebied van de Zwalm rivier is duidelijk aangetoond dat hoogwaterperiodes verantwoordelijk zijn voor het overgrote gedeelte van het sedimenttransport. Het Zwalmbekken wordt gekenmerkt door snel opkomende wassen, ernstige landerosie en soms groot transport van zand – slib sedimenten. De terreinmetingen geven duidelijk de impact aan van de afvoer op het sedimenttransport. De combinatie van relatief sterke hellingen, bedekt met gemakkelijk erodeerbaar materiaal en intensieve landbouwactiviteiten verklaren het belangrijke aandeel van landerosie in het totale transport van vast materiaal. Vooral bij hevige neerslag bestaat het door de beken getransporteerde materiaal nagenoeg uitsluitend uit wash load, afkomstig van de hellingen langs de rivier. In deze studie is in het bijzonder aandacht besteed aan de verdeling in ruimte en tijd van het sedimenttransport en aan het relatieve belang van het suspensietransport ten opzichte van het langs de bodem vervoerde materiaal.

Inleiding

Het stroomgebied van de Zwalm situeert zich in het zuidwestelijk deel van Vlaanderen. Gezien de specifieke lokale geomorfologische omstandigheden is het beheersen van het sedimenttransport een bijzonder aandachtspunt in het integraal waterbeheer van het bekken. De combinatie van een rivierbedding, bestaande uit zand en slib, met zware landerosie bij hevige neerslag en de daarop volgende steile wasgolven dwingt het bekkenbeheer in de richting van het controleren en beheersen van het sedimenttransport. Gezien polluenten zich hechten aan sedimentdeeltjes en gezien de fijne fractie van deze deeltjes in zijn totaal een zeer grote oppervlakte vertegenwoordigen, leveren de sedimentatie en het transport van fijne deeltjes (suspensietransport) een belangrijke bijdrage in de vervuiling van zowel het water als de rivierbodem in de afwaartse delen van de rivier. Bijgevolg draagt de Zwalm eveneens bij tot de vervuiling van de Schelde, waarin zij uitmondt. Uit de resultaten van deze studie is gebleken dat nabij de monding het suspensietransport (15600 ton/jaar) met een factor meer dan 100 het bodemtransport (140 ton/jaar) overtreft.
De opwaartse steilere gedeelten vertegenwoordigen ongeveer 45% van het stroomgebied, maar leveren wel 65% van het totale sedimenttransport. Tevens gebeurt het leeuwenaandeel van het sedimenttransport gedurende de korte periodes van was. Daarom zijn de inspanningen voor het bemeten van het transport vooral gefocust op deze korte periodes van snel variërende stroming.
Samen met de lange termijn registratie van de hydrodynamische karakteristieken en een beperkt aantal waterkwaliteitsmetingen is een gedetailleerde bemonstering van het sedimenttransport in ruimte en tijd uitgevoerd gedurende meerdere periodes van was.
Uiteraard werden ook de periodes van normale en van lage afvoer bemonsterd.

Het Zwalmbekken

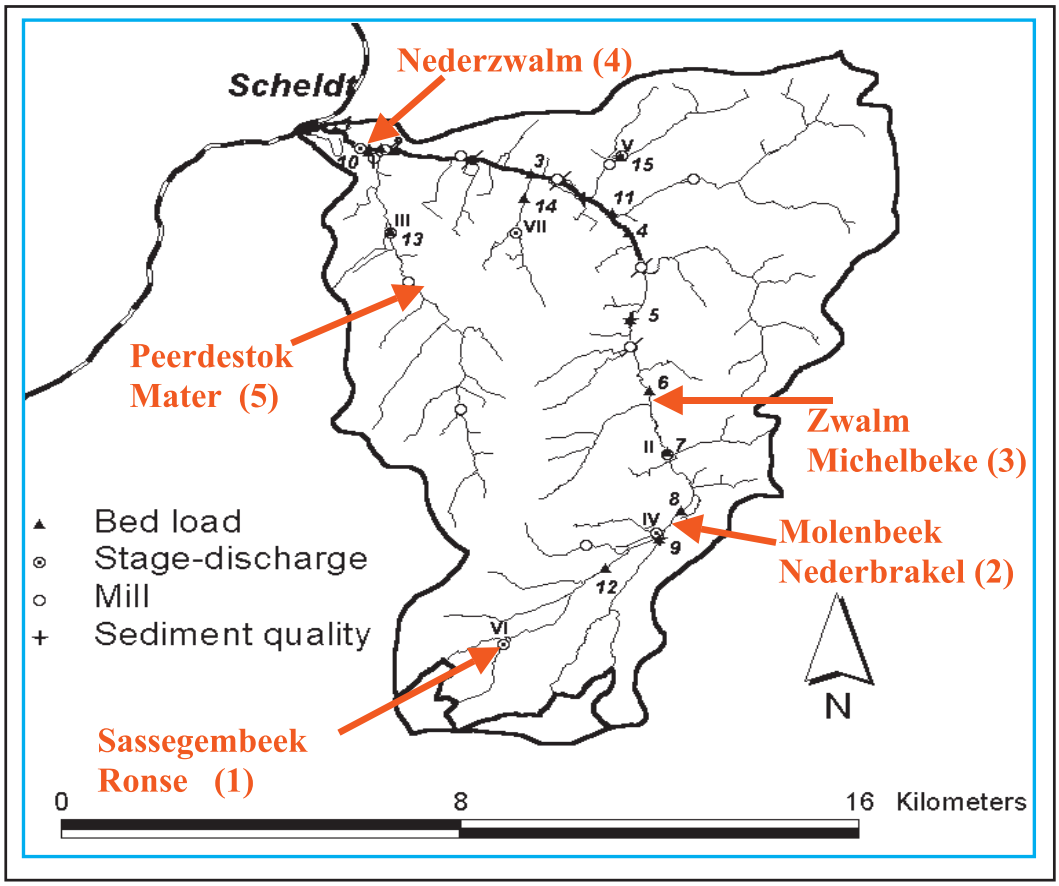
De Zwalm is een kleine zijrivier van de Schelde gelegen in het zuidwestelijk deel van Vlaanderen in het interfluvium tussen de Bovenschelde en de Dender (Figuur 1). De beek ontspringt in de heuvels rond Ronse op een hoogte van 146 m boven zeeniveau en mondt uit in de Schelde op een hoogte van 8 m, ongeveer 20 km opwaarts van Gent. De rivier is 22 km lang en het stroomgebied heeft een oppervlakte van 116 km^2. Het feit dat in het stroombekken reeds enkele tientallen jaren waterkwantiteit en –kwaliteitsgegevens verzameld worden, dat gedetailleerde topografische gegevens beschikbaar zijn en dat de vrij steile hellingen in het opwaarts deel van het bekken erg erosiegevoelig zijn, vormden de doorslaggevende elementen om het gebied uit te kiezen voor een gedetailleerde sedimenttransport studie. Behalve enkele puntmetingen op een 20-tal plaatsen verspreid over het bekken zijn gedetailleerde metingen uitgevoerd in volgende locaties (Figuur 1):

- bovenstrooms gebied: Sassegembeek en Molenbeek te Nederbrakel (1) en (2)
- middengebied: Zwalm te Michelbeke (3)
- stroomafwaarts gedeelte: Zwalm te Nederzwalm (4)
- belangrijkste zijbeek: Peerdestokbeek te Mater (5)

Sedimenttransport metingen

Naast de reeds langlopende traditionele metingen van waterpeil, debiet en neerslag is een specifiek programma uitgewerkt voor het bemonsteren van het sedimenttransport. Hierbij werden in 25 locaties, verdeeld over het bekken discrete metingen van zowel bodem- als suspensietransport uitgevoerd. Tevens zijn hierbij de fysische en chemische karakteristieken van het sediment bepaald. Als resultaat hiervan zijn vervolgens meetcampagnes opgezet waarbij in de zes hoger vermelde punten gedurende het optreden van was het suspensietransport gemeten is. Uit de eerste metingen is immers gebleken dat het bodemtransport, zelfs bij kleinere afvoer nagenoeg verwaarloosbaar is ten opzichte van het suspensietransport.
De verdeling van de concentratie aan gesuspendeerd materiaal over de dwarsdoorsnede is bepaald met behulp van geijkte turbiditeitsmeters. Daarnaast zijn tijdens de wassen monsters geno-

Figuur 1: Het Zwalmbekken en meetplaatsen



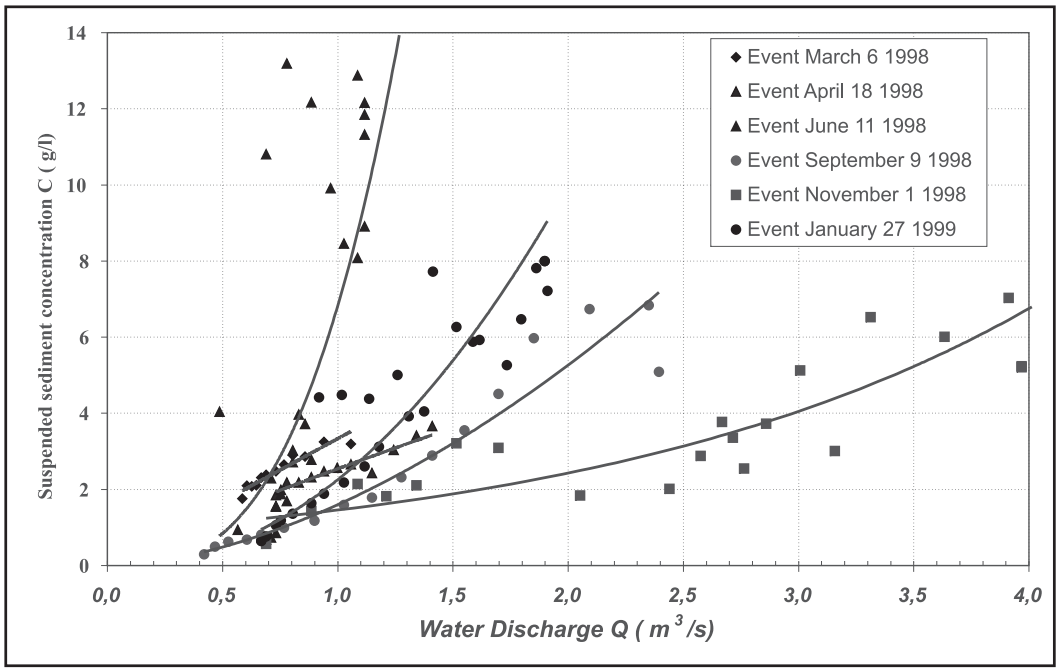
men met automatische pomp bemonsteringstoestellen. Elke meetpost was uitgerust met twee in serie geplaatste toestellen. Telkens een vooraf ingesteld waterpeil overschreden werd, zijn de toestellen gestart en zijn om de 10 à 15 minuten monsters genomen. Bij het opstarten van een toestel werd een signaal gestuurd naar de verantwoordelijke onderzoeker, die ervoor zorgde dat de monsters tijdig werden opgehaald en dat het bemonsteren zolang als nodig kon doorgaan. Samen met de veldmetingen is in het laboratorium een fundamentele studie uitgevoerd naar de betrouwbaarheid en het praktische gebruik van de betreffende meettechnieken. Hieruit is gebleken dat, wanneer de turbiditeitssensoren degelijk geijkt zijn voor het specifieke sedimentmateriaal, de bepaling van het suspensietransport kan uitgevoerd worden met een nauwkeurigheid die beter is dan 10%. (De Sutter et al., 1999). Gezien het suspensiemateriaal hoofdzakelijk bestaat uit zeer kleine deeltjes (d_{50} = 25 mm), werd in alle meetlocaties een zeer uniforme verdeling van het suspensiemateriaal over de dwarsdoorsnede vastgesteld. Daardoor was het mogelijk een betrouwbare meting van het transport uit te voeren via het oppompen van monsters in een enkel punt van de dwarsdoorsnede (in het midden op ongeveer 40% van de diepte boven de bodem) (Horowitz et al., 1992).

Studie van het sedimenttransport tijdens periodes van was

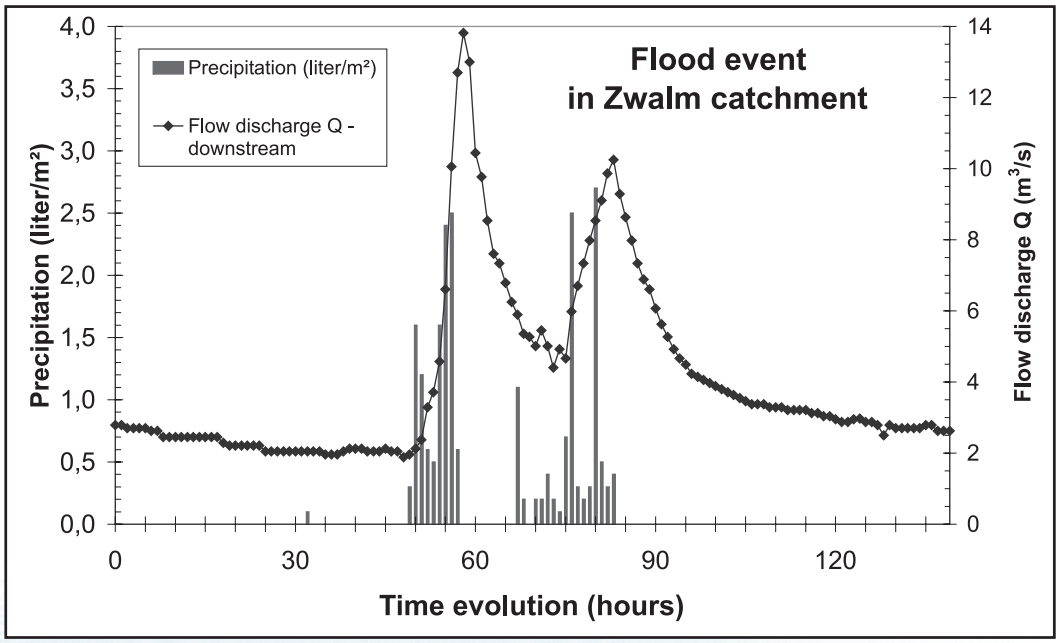
Voor elk van de bemeten wasgolven is telkens de relatie tussen debiet en suspensietransport onderzocht (Figuur 2). Hieruit is gebleken dat voor elke afzonderlijke was er een vrij duidelijke exponentiële relatie bestaat tussen beide gegevens, maar ook dat de curve die het verband weergeeft zeer sterk kan variëren in functie van de betreffende wasgolf. Uit de curven in figuur 2 blijkt heel duidelijk deze gevalsafhankelijkheid.

Zoals blijkt uit figuur 3 reageert het stroomgebied erg snel op het optreden van neerslag. Mede als gevolg hiervan is een duidelijke hysteresis in uurwijzerzin vastgesteld in het verband sedimentconcentratie C (g/l) – debiet Q (m^3/s) in het opwaartse gedeelte van het stroomgebied. De grote terreinhellingen en de hoge afvoergevoeligheid verklaren de directe impact op het suspensietransport in de rivier. De intensieve afstroming van het erosiegevoelige land is hier erg dominant, zodat bij hevige neerslag een directe sedimentaanvoer naar de rivier wordt gegenereerd (Steegen et al., 1998). De oorsprong van het getransporteerde materiaal is ook onmiddellijk af te leiden uit de zeefcurve (Figuur 4). De dominante slibfractie ((d_{50} = 25 - 30 mm) is het gevolg van intense landerosie en de daaruit volgende wash-load aanvoer naar de rivier. Deze aanvoer wordt enkel in beperkte mate beïnvloed door factoren als aard van de vegetatie, bebossing en seizoenen.

Figuur 2: Verband debiet – suspensietransport voor verschillende wasgolven (Molenbeek te Nederbrakel)



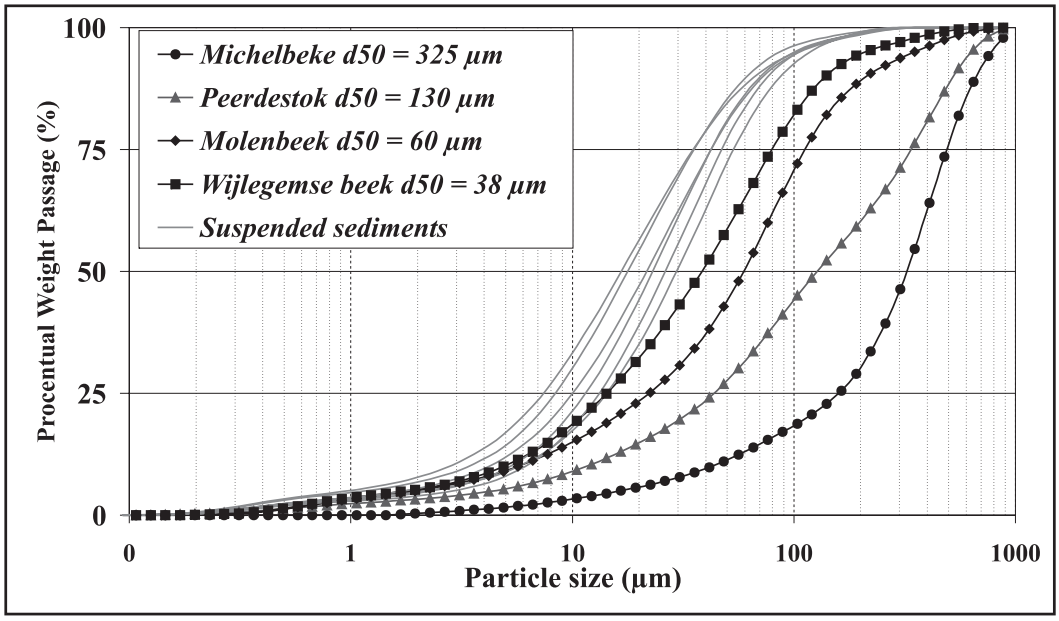
Figuur 3: reactie van de rivier op intense neerslag



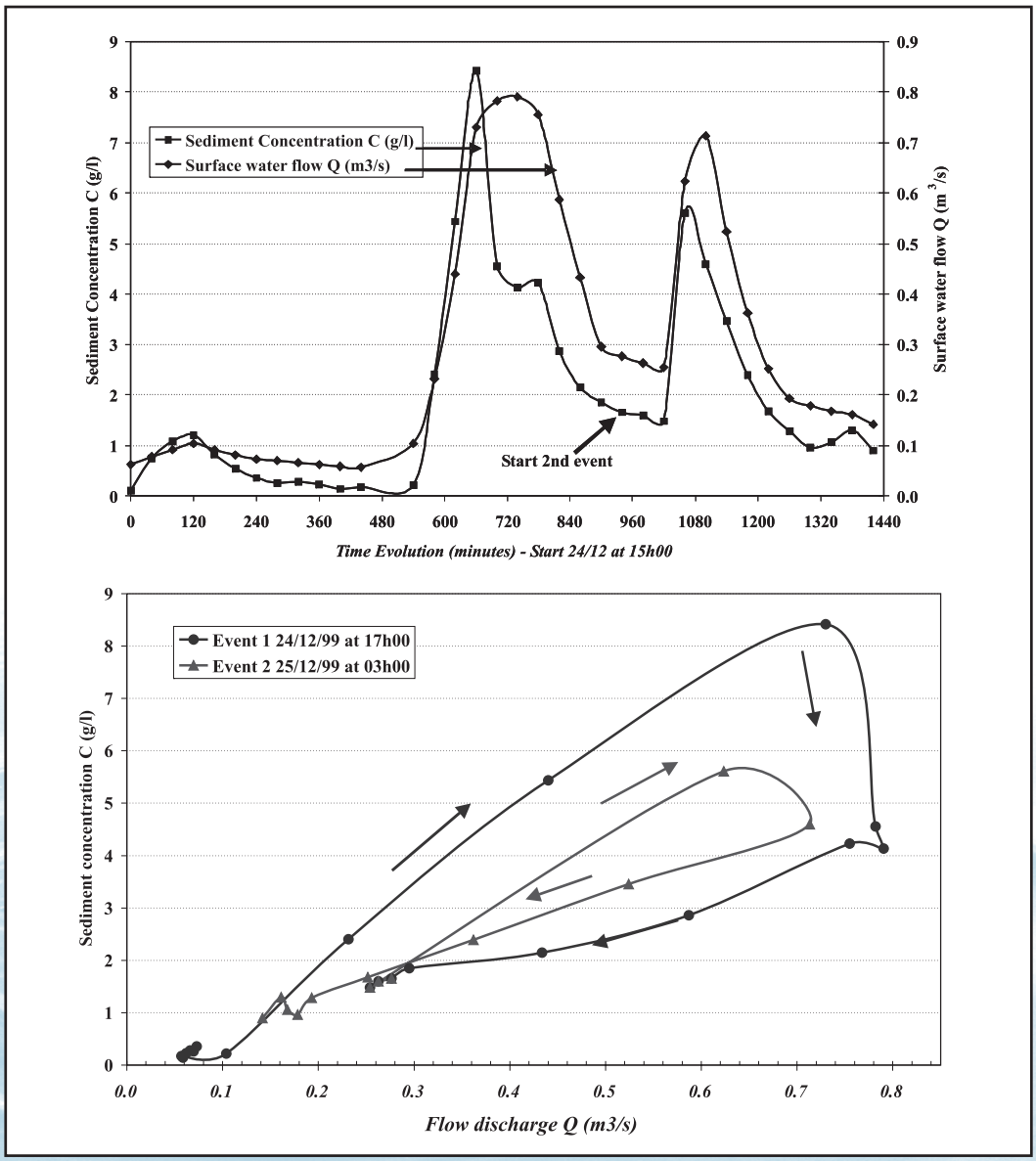
De hysteresis in uurwijzerzin kan enigszins verklaard worden vanuit het feit dat na een zekere tijd minder sediment aangevoerd wordt ten gevolge van het uitspoelen van het fijn materiaal en het ontstaan van een meer resistente toplaag, hetzij vanuit de visie dat door het verminderen of verdwijnen van de neerslag de impact op het landoppervlak en bijgevolg ook de erosie en afspoeling verminderen. De tijdsverschuiving tussen maximum sedimentconcentratie en piekdebiet wordt verklaard door deels de grote uitspoeling van fijn materiaal bij het begin van de bui en deels het in suspensie komen van afgezet materiaal wanneer bij het begin van de was de stroomsnelheid (en dus de turbulentie) in de rivier toeneemt. Naargelang de bui aanhoudt is minder fijn materiaal aan het landoppervlak beschikbaar en worden dus ook relatief minder deeltjes uitgespoeld.

Hoewel ook duidelijk aanwezig, wordt in de meer afwaartse delen van het bekken het hysteresisverschijnsel verstoord door de ongelijkmatige spreiding in ruimte en tijd van het debiet en het suspensietransport (afkomstig van meerdere zijrivieren).
De hoge sedimentaanvoer in de opwaartse gebieden resulteert hier in een hoge sedimentconcentratie – afvoer relatie. In de afwaartse gebieden wordt minder sediment aangevoerd, zodat de concentratie hier lager is, hoewel ten gevolge van het groter debiet de totale afvoer aan

Figuur 4: karakteristieken van het suspensiemateriaal in vergelijking met het bodemmateriaal van de rivier



Figuur 5: hysteresis verschijnsel gedurende een wasgolf in het stroomopwaartse gedeelte van het stroomgebied – Sassegembeek



sedimenten uiteraard groter is. Eveneens is vastgesteld dat wanneer meerdere wasgolven kort na elkaar optreden de relatie sedimentconcentratie – debiet minder duidelijk wordt met het toenemende aantal wasgolven.

Sedimentbalansen – een schatting

Uit de analyse van bovenvermelde metingen blijkt duidelijk dat er geen eenduidig verband bestaat tussen het debiet en het sedimenttransport. Dit betekent dat voor het opstellen van een correcte sedimentbalans continue bemonstering noodzakelijk is. Daar dit noch financieel, noch materieel realistisch is, is voor het opstellen van de sedimentbalansen gewerkt met Q-C relaties in de diverse meetlocaties die een gemiddelde zijn van alle uitgevoerde waarnemingen. Mogelijke correcties voor het niet permanent regime of de intensiteit en spreiding in de tijd van de neerslag zijn hierbij niet in aanmerking genomen, gezien de te beperkte periode waarover de metingen uitgevoerd zijn. Deze eenduidige relatie is dan ook gebruikt om de statistische jaarlijkse debietverdeling (percentiel debieten) voor elk van de meetpunten te koppelen aan het sedimenttransport. Op basis van de statistisch bepaalde gemiddelde debieten over een periode van tien jaar is in tabel 1 aldus een sedimentbalans opgesteld voor een "gemiddeld" jaar, resulterend in een sedimentaanvoer van 1,5 ton/jaar,ha voor het volledige stroomgebied van de Zwalm. Deze waarde is volkomen in overeenstemming met de resultaten van de studie van T. Van Hoestenberghe uitgevoerd op 6 meetstations in het hellende gebied van Zuidelijk Oost-Vlaanderen. Deze studie bevestigt tevens de bovenstaande bevindingen wanneer gesteld wordt dat "goede correlaties tussen sedimenttransporten en eenvoudige stroomgebieds- en hydrogramkenmerken zoals stroomgebiedsgrootte en debiet" niet gevonden werd.

Uit de tabel blijkt duidelijk het relatief belang van elk deelstroomgebied in de bijdrage tot het totale sedimenttransport. De opwaartse, steilere delen van het stroomgebied (Zwalm te Michelbeke en Peerdestokbeek te Mater) vertegenwoordigen slechts 45% van de totale oppervlakte van het bekken, maar leveren wel 64,6 % van het totale sedimenttransport. Nog belangrijker is het vast te stellen dat het hoofdaandeel van het sedimenttransport gebeurt tijdens de wasgolven. Inderdaad, zoals blijkt uit figuur 6, opgesteld voor het meest afwaartse punt te Nederzwalm, wordt 45 % van het totale sedimenttransport afgevoerd door de 1% grootste debieten. De 2% grootste debieten zijn al verantwoordelijk voor 63% van het transport aan vast materiaal en 88% van de vaste afvoer gebeurt via de 10% grootste debieten. Dit laat toe te besluiten dat om de sediment- en bijgevolg ook de polluentenafvoer naar de Schelde te beperken de acties zich moeten concentreren op de periodes van hoge afvoer. De waarden vermeld in tabel 2 met betrekking tot de sedimentafvoer gedurende een enkele storm, bevestigen deze conclusie.

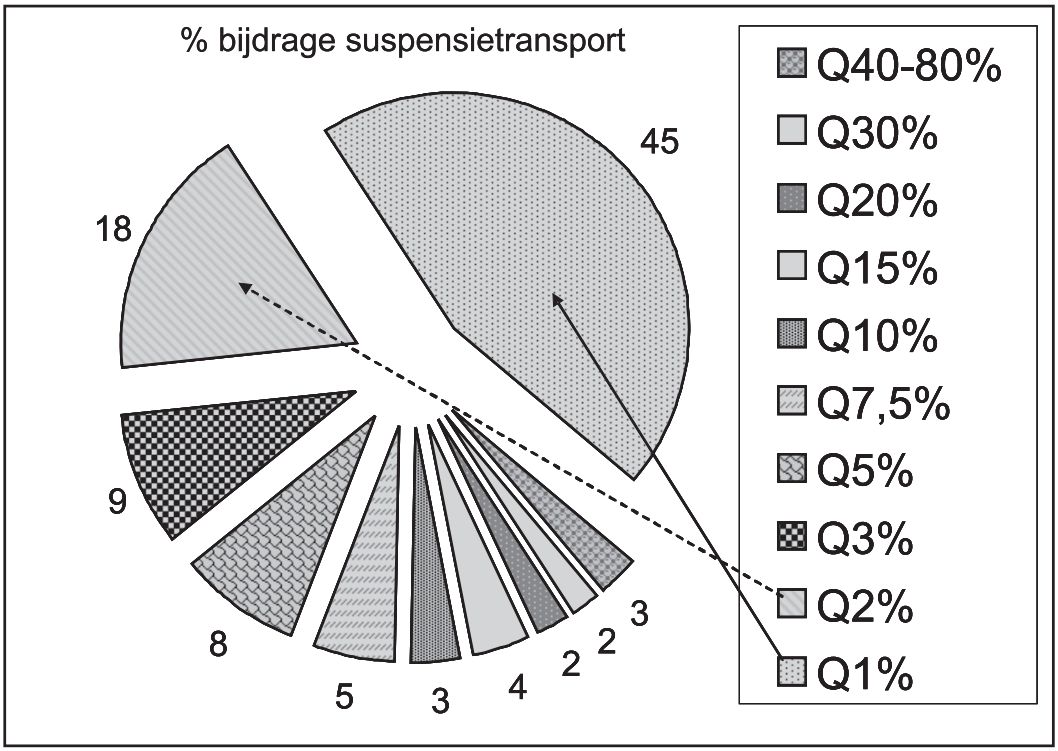
Tabel 1: sedimentbalans voor de Zwalm

meetpunt	*Opp. stroomgebied (km²)*	*Procentuele Opp. (%)*	*Suspensie transp. (ton/jaar)*	*Procentueel Transport (%)*	*Bodemtrsp. (ton/jaar)*
Molenbeek Brakel (2)	16	13.9	2741	17.5	-
Zwalm Michelbeke (3)	31	26.9	5302	34.0	-
Peerdestok Mater (5)	21	18.1	4769	30.6	32
Zwalm Nederzwalm (4)	115	100	15605	100	142

Tabel 2: Sedimenttransport tijdens de storm van 24 – 25 december 1999.

Locatie	aanvoer bij 1 enkele wasgolf		Synthetisch jaar	Procentuele bijdrage
	duur (uren)	Suspensie transp. (ton)	Suspensie transp. (ton)	
Sassegembeek	48	186	900	21 %
Molenbeek	24	710	2750	26 %
Michelbeke	24	620	5300	12 %

Figuur 6: relatie suspensietransport – percentiel debiet



Beheersing van het sedimenttransport met behulp van overstromingsgebieden

Daar het meeste materiaal wordt aangevoerd vanuit de opwaarts gelegen gebieden en gezien de hoge pollutiegraad is het vanuit oogpunt van degelijk waterbeheer aangewezen maatregelen te treffen die enerzijds de wash-load beperken en anderzijds het sediment aan de rivier onttrekken, bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de instroom. Aangezien bovendien het meeste sediment tijdens wasgolven wordt afgevoerd is de inplanting van overstromingsgebieden met laterale instroom de aangewezen oplossing, waarbij de functie als retentiegebied voor het water ter beveiliging tegen overstroming gecombineerd wordt met sedimentopvang (Anderson et al., 1996).

Figuur 8: Natuurlijk overstromingsgebied langs de Zwalm te Michelbeke

Figuur 9: Sedimentatie op een voetbalterrein langs de Molenbeek te Nederbrakel na de storm van 24 – 25/12/1999

De laterale instroom, waarbij tot meer dan 80% van het sediment kan worden opgevangen, in combinatie met een degelijke inrichting voor gecontroleerde sedimentatie leiden tot een verbetering van de algemene waterkwaliteit in de rivier en dragen bij tot de verbetering van het leefmilieu (Verstraeten et al., 1999). De mogelijkheden van inplanting van dergelijke overstromingsvelden worden duidelijk geïllustreerd door de analyse van de resultaten van de storm van 24 -25/12/1999 voor de meetlocaties te Nederbrakel (opwaarts) en Michelbeke (afwaarts). Zoals te zien is op de foto van figuur 9 liepen tijdens deze storm heel wat aangelanden onder water, waarbij grote hoeveelheden sediment werden afgezet.

Vergelijking van de sedimentvracht gedurende deze storm voor de beide bovenvermelde locaties leidde tot een "verlies" aan sediment van 74 ton. Hiermee is aangetoond dat wanneer het sediment op daartoe ingerichte overstromingsvelden kan worden opgevangen, deze behalve een socio-economische waarde via het verhinderen van overstroming, ook een niet te onderschatten bijdrage tot de verbetering van het ecosysteem kunnen leveren (Biswas, 1997).

Besluit

Via intensieve veldmetingen is aangetoond dat in het stroomgebied van de Zwalm het sedimenttransport wordt beheerst door de aanvoer van fijn, vervuild erosiemateriaal van de hellingen in de opwaartse delen van het stroomgebied en dat het merendeel van het transport gebeurt bij de 10% grootste debieten. Het transport vertoont een zekere hysteresis, waardoor bij opkomende was meer sedimenten worden getransporteerd dan bij luwende was.
Het potentieel van natuurlijke overstromingsvelden als retentiegebied voor zowel water als sedimenten is duidelijk aangetoond. Mits degelijke inrichting en beheer vertegenwoordigen dergelijke gebieden niet alleen een niet te miskennen socio-economische waarde maar leveren zij bovendien een belangrijke bijdrage tot de algemene kwaliteit van het ecosysteem van de rivier en haar aangelanden.

Dankwoord

De auteurs houden eraan het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap te danken voor het ter beschikking stellen van de nodige fondsen om bovenvermeld onderzoek succesvol uit te voeren.

Referenties

- Anderson M.G., Walling D.E. & Bates P.D. (1996), Floodplain processes, John Wiley & Sons, Chichester

- Biswas A.K. (1997), Water resources: environmental planning, management and development, Mc Graw-Hill Inc, New York

- De Sutter e.a. (1999), Laboratory and field testing of an infrared turbidity sensor, Laboratory report, Hydraulics Laboratory, Ghent University

- Horowitz e.a. (1992), The use of automatically collected point samples to estimate suspended sediment and associated trace element concentrations for determining annual mass transport, IAHS publication N° 210

- Steegen A., Rovers G., Beuselinck L., Nachtergaele J., Takken I. & Poesen J. (1998), Variations in sediment yield from an agricultural drainage basin in central Belgium, IAHS publication N° 249, pp 177 – 185

- Van Hoestenberghe T. (2007), Sedimenttransporten meten in onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen, Water 26, nov.-dec. 2006

- Verstraeten G. & Poesen J., (1999), The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in Central Belgium, Geomorphology 29, pp 276 – 292

R. Verhoeven,
L. Van Poucke,
M. Huygens en
R. Banasiak

Vakgroep Civiele Techniek,
Laboratorium voor Hydraulica,
Universiteit Gent
Sint-Pietersnieuwstraat 41,
9000 – Gent
E-mail: ronny.verhoeven@ugent.be
Tel: 09 264 3281
Fax: 09 264 3595