



Vlaanderen
is milieu

Sedimentmeetnet onbevaarbare waterlopen 2020

Rapport - versie 2021

DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Rapport sedimentmeetnet onbevaarbare waterlopen 2020

Samenstellers

Afdeling Operationeel Waterbeheer, VMM
Dienst Beheer Onbevaarbare Waterlopen

Inhoud

Samenvatting van het rapport sedimentmeetnet onbevaarbare waterlopen 2020.

Wijze van refereren

Vlaamse Milieumaatschappij (2021), Rapport sedimentmeetnet onbevaarbare waterlopen 2020

Verantwoordelijke uitgever

Bernard De Potter, Vlaamse Milieumaatschappij

Vragen in verband met dit rapport

Vlaamse Milieumaatschappij
Dokter De Moorstraat 24-26
9300 Aalst

Tel: 053 72 62 10

info@vmm.be

Depotnummer

D/2021/6871/012

INHOUD

1	INLEIDING	4
2	METHODOLOGIE	7
2.1	Meetnet.....	7
2.2	Parameters	8
2.3	Dataverwerking	9
3	RESULTATEN EN DISCUSSIE	10
3.1	Sedimentconcentratie	10
3.1.1	Piekconcentraties	10
3.1.2	Laagwater sedimentconcentratie.....	19
3.2	Sedimentvracht per event	21
3.2.1	Trend in de tijd	23
3.2.2	Verklarende factoren	25
3.3	Jaarvrachten	27
3.3.1	Trend in de tijd	28
3.3.2	Verklarende factoren	29
3.3.3	Sedimentvracht bij laagwater	33
3.4	Regressiemodel	34
3.5	Impact van klimaatverandering op de sedimentaanvoer naar de onbevaarbare waterlopen 36	
4	CONCLUSIES	39
5	AANBEVELINGEN	40
6	TOEKOMST SEDIMENTMEETNET	42
7	REFERENTIES	43
8	BIJLAGEN	45

1 INLEIDING

De VMM is de beheerder van de onbevaarbare waterlopen van de eerste categorie. Het voorkomen en verwijderen van ongewenst slib is een van de doelen van de waterbeheerder. We streven naar een evenwichtige sedimentbalans in de waterloop en een goede sedimentkwaliteit zodat we op lange termijn de doelstellingen voor waterveiligheid en de goede ecologische toestand volgens de Kaderrichtlijn Water kunnen halen. Sediment is van nature aanwezig in de waterloop en is, in beperkte hoeveelheden, een essentieel onderdeel van het aquatische stelsel. Door de grote aanvoer van sediment door externe factoren is de sedimentbalans vaak uit evenwicht.

De belangrijkste aanvoer van sediment naar de grachten en waterlopen (het waterloopstelsel) wordt veroorzaakt door watererosie in landbouwgebied, industriële en huishoudelijke lozingen, en oevererosie. Kwantitatief gezien is watererosie de belangrijkste bron van sedimentaanvoer naar de waterloop. Sedimentaanvoer naar het waterlopenstelsel heeft een impact op de biochemische en ecologische status van de waterloop. Sedimentaanvoer vormt een bedreiging voor de afvoer- en bergingscapaciteit van het stroomgebied. Wordt er veel sediment aangevoerd, dan moeten waterlopen en sedimentvangen vaak geruimd worden. Dat brengt een grote kost en ecologische impact met zich mee. Daarnaast zorgen sedimentgebonden nutriënten, pesticiden en zware metalen voor bijkomende vervuiling in de waterloop, wat nefast is voor de ecologie van de waterloop. De aanwezigheid van historische verontreiniging in de waterbodem zorgt voor een negatieve impact op de waterkwaliteit en vertraagt het ecologisch herstel van waterlopen.

Oplossingsgericht sedimentbeheer

Om de sedimentbalans van een waterloop op te maken en een gericht beheer uit te voeren, zijn er verschillende data nodig. De aanvoer van de diverse sedimentbronnen gekend zijn, waarbij niet alleen de bron, maar ook het traject dat het sediment aflegt (het sedimenttransport) in beeld komt. Op basis hiervan kunnen de grootste knelpunten geïdentificeerd en gekarteerd worden om specifieke oplossingen te zoeken.

De voorbije 20 jaar heeft de VMM heel wat werk geleverd om de sedimentbalans van een stroomgebied in kaart te brengen. We startten een sedimentmeetnet op. Hierin wordt sediment in onze waterlopen continu gemeten en de sedimenttoevoer naar de waterlopen ingeschat. Een uitgebreid meetnet over heel Vlaanderen is onhaalbaar. Daarom startten we in 2013, in samenwerking met het Departement Omgeving, met de bouw van een sedimentmodel over heel Vlaanderen dat het sedimenttransport naar en sedimentatie in onze waterlopen in kaart brengt.

Maatregelen – brongericht

De meest voor de hand liggende maatregel voor erosiebestrijding is de brongerichte aanpak. De afgelopen jaren zijn een hele reeks maatregelen genomen om erosie vanop de landbouwpercelen tegen te gaan, variërend van teelttechnische tot structurele maatregelen. Sinds de invoering van de randvoorwaarden erosie in 2005, zijn landbouwers verplicht om voor het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid op percelen met een zeer hoge erosiegevoeligheid maatregelen te treffen om erosie te voorkomen (Departement Landbouw en Visserij, 2016). Aangezien het beleid ter bestrijding van bodemerosie onvoldoende resultaat opleverde, heeft de Vlaamse Regering gekozen voor een verstrengde aanpak vanaf 2016. Sinds dan moeten naast de zeer hoog erosiegevoelige percelen ook op de hoog erosiegevoelige percelen verplicht maatregelen genomen worden. De landbouwer heeft hierbij keuze uit een pakket maatregelen.



Via het Erosiebesluit zijn er sinds 2001 ook subsidies ter beschikking voor de lokale besturen om een gemeentelijk erosiebestrijdingsplan op te maken, een erosiecoördinator aan te stellen en structurele erosiebestrijdingsmaatregelen uit te voeren (omgeving.vlaanderen.be/erosie). De provincies en wateringen nemen ook initiatieven om op knelpunten maatregelen te implementeren.

In 2020 werd de bodemerosierisico-indicator voor de eerste keer gepubliceerd door Dep. Omgeving. Deze indicator modelleert het risico op bodemverlies door watererosie rekening houdend met de erosiegevoeligheid van het perceel en de teelt (<https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/erosierisico>).

De landbouwer kan ook op vrijwillige basis maatregelen nemen via een beheerovereenkomst met de VLM. Op basis van de modellering voor de bodemerosierisico-indicator werd vastgesteld dat de invloed van de vrijwillige beheerovereenkomsten toeneemt tot 2014 om vervolgens weer af te nemen, samen met de uitdovende brongerichte beheerovereenkomsten voor niet-kerende bodembewerking en directe inzaai (Swerts et al., 2020). Op dit moment worden via beheerovereenkomsten voornamelijk grasstroken aangelegd. Deze hebben vooral een impact op het verminderen van run-off en sedimenttransport door het landschap.

In 2020 eindigt ook het huidige Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB). Dit is het beleid dat op Europees niveau de land- en tuinbouwsector reguleert. De Europese Unie heeft vooropgesteld het toekomstige GLB ambitieuzer aan te pakken wat betreft milieu en klimaat.



Figuur 1: Grasstrook als erosiebestrijdingsmaatregel in het stroomgebied van de Maarkebeek.

Maatregelen – end-of-pipe

De VMM legde al verschillende sedimentvangen aan langs de waterloop. Een sedimentvang is een verbreding van de waterloop die ervoor zorgt dat de stroomsnelheid daalt waardoor sedimentdeeltjes lokaal bezinken. Een sedimentvang zorgt voor een verminderde sedimentlast in de waterloop stroomafwaarts, zodat de ecologische en economische impact (ruimingskost) significant daalt.



In 2011 werd voor Vlaanderen een eerste sedimentvangplan opgemaakt. Ondertussen zijn er in Vlaanderen meer dan 70 sedimentvangen gerealiseerd.



Figuur 2: Sedimentvang Egenhoven aan de Dijle te Heverlee.

Wat voor de toekomst? Impact klimaatsverandering (neerslag, droogte) op de sedimentaanvoer

Neerslag is een van de bepalende factoren in het erosieproces en sedimenttransport. Hoewel de impact van de klimaatsverandering niet exact kan voorspeld worden, zijn de trends duidelijk: toenemende neerslagintensiteit, meer droogteperiodes en temperatuurrecords die gebroken worden. Vooral de neerslagevents met een hoge neerslagintensiteit kunnen zorgen voor een verhoogde sedimentlast naar de waterloop.

De impact van neerslagintensiteit op de bodemerosie in Vlaanderen is al uitgebreid bestudeerd door Verstraeten et al. (2000, 2006), Mullan et al. (2018). Een veelgebruikte maat is de neerslagerosiviteit die berekend wordt op basis van de neerslagintensiteit en neerslaghoeveelheid tijdens een event.



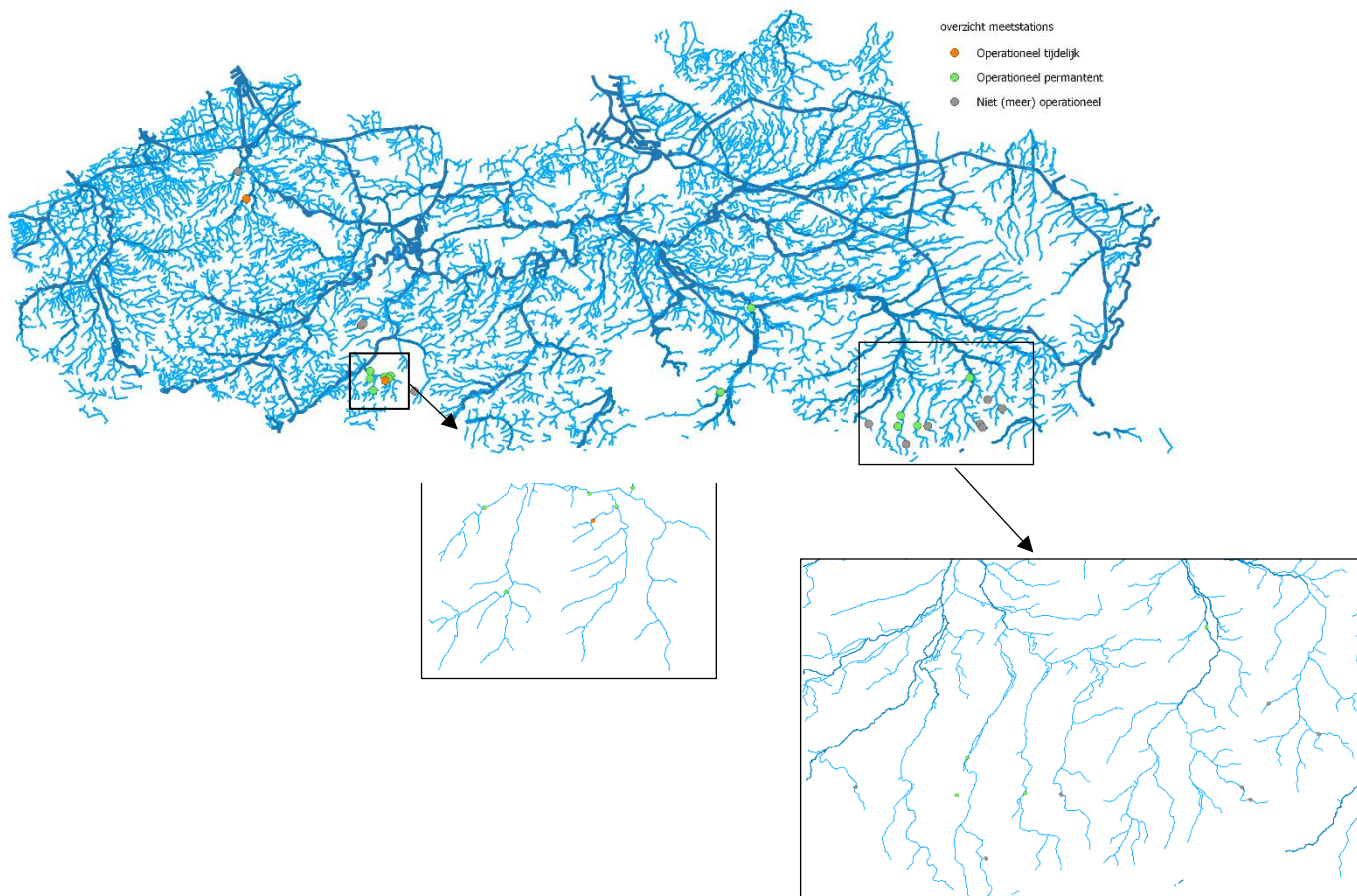
2 METHODOLOGIE

Dit rapport bundelt de inzichten die we voorbije jaren kregen over het sediment in de onbevaarbare waterlopen op basis van de metingen in het sedimentmeetnet. Dit hoofdstuk beschrijft beknopt welke gegevens hiervoor gebruikt werden.

2.1 Meetnet

In 2000 startten we met de bouw van verschillende sedimentstations in de hellende, erosiegevoelige gebieden in het Bovenscheldebekken en later ook in het Demerbekken (VMM, 2008). Later kwamen er ook 2 meetstations in het Dijlebekken. Figuur 3 toont een overzichtskaart van de ligging van de meetstations. De metingen werden onderbroken tussen 2010 en 2013. In 2017 en 2018 werden de meetstations ook omgebouwd, wat de metingen in een aantal meetstations onderbrak.

Tabel 1 geeft een overzicht van de beschikbare data in de verschillende stations, met enkele belangrijke stroomgebiedskennmerken. De meetstations genereren continue meetdata met een meetfrequentie van 15 minuten. De stations functioneren zo autonoom mogelijk, waarbij de data elk uur automatisch verzonden wordt naar een centrale databank. De gegevens van de sedimentmeetstations (debieten en sedimentconcentraties) zijn publiek en real-time beschikbaar via waterinfo.be.



Figuur 3: Overzicht sedimentmeetnet status 2019.

Tabel 1: Overzicht meetstations sedimentmeetnet (selectie meetlocaties die opgenomen zijn in het rapport).

Naam	Waterloop	Nummer	Grootte toestroomgebied (ha)	% landbouwareaal (tov opp stroomgebied)*	Meetperiode
Leupegem	Maarkebeek	LS06_347	5009	76	2002-lopente
Etikhove	Marie-Borrebeek	LS06_348	279	72	2002-lopente
Nukerke	Molenbeek	LS06_34D	875	77	2002-lopente
Maarke-Kerkem	Broekbeek	LS06_34E	218	68	2002-lopente
Piringen	Fonteinbeek	LS09_16D	716	58	2006-2017
Velm	Molenbeek	LS09_15B	3035	79	2006-lopente
Muizen	Cicindria	LS09_15D	1609	70	2006-lopente
Mielen-Boven-Aalst	Melsterbeek	LS09_15E	951	79	2006-2017
Wellen	Herk	LS09_165	10717	68	2007-lopente
Rotselaar	Dijle	LS08_091	89990 (32165 (VI))	32	2016-lopente
Huldenberg	Langegracht	LS08_11U	843	76	2017-lopente

*gemiddelde % landbouwooppervlakte t.o.v.. de totale stroomgebiedsooppervlakte, gemiddelde over de meetperiode

Bijlage 1 geeft een meer gedetailleerd overzicht van een aantal kenmerkende factoren per stroomgebied die de sedimentconcentratie en -vracht kunnen beïnvloeden, waaronder de oppervlakte, het landgebruik en de erosiebestrijdingsmaatregelen. De evolutie van deze factoren werd geanalyseerd.

2.2 Parameters

Op elke meetlocatie wordt de turbiditeit, de sedimentconcentratie en het waterdebiet gemeten (Figuur 4).



Figuur 4: Meetstation aan de Broekbeek te Maarke-Kerkem.

De **turbiditeit (NTU) of troebelheid van het water** wordt gemeten via turbiditeitsensoren. Deze werken via een optische lichtstraal die verstuurd wordt in het water. De mate van reflectie op gesuspendeerd materiaal (sediment) in de waterkolom is een maat voor de troebelheid van het water.

Turbiditeit is sterk gelinkt aan de zwevende sedimentconcentratie in de waterloop. Daardoor kan via staalnames een kalibratiecurve opgesteld worden om de sedimentconcentratie te bepalen uit de gemeten turbiditeit. Bij het opstarten van een meetstation worden frequent stalen genomen om deze correlatie nauwkeurig te bepalen. Nadien worden alleen nog stalen genomen bij hoog water (wanneer de sedimentconcentraties hoog en de geëxporteerde vrachten significant zijn), om de curve te verifiëren.

De sedimentconcentraties (g/l) die in dit rapport beschreven worden, omvatten de **totale fractie zwevende stof** in de waterkolom, zowel organisch als anorganisch sediment. Anorganisch sediment is het sediment dat niet afkomstig is van levende organismen. De zwevende stoffractie in de bemeten onbevaarbare waterlopen bestaat voornamelijk uit geërodeerd, anorganisch materiaal.

Het **sedimentdebiet** van een waterloop (hoeveel sediment passeert op een bepaald moment) wordt bepaald door de sedimentconcentratie (hoeveel sediment per liter water – eenheid gram/liter) en het waterdebiet (hoeveel water passeert er op een bepaald moment – eenheid m³/s). De **sedimentvracht** (ton droge stof (DS)) of sedimentexport in de waterloop voor een bepaalde tijdsperiode is de som van de sedimentdebieten van de waterloop over deze periode. De sedimentexport per oppervlakte-eenheid van stroomgebied wordt ‘specifieke sedimentexport’ (SSE, eenheid ton DS/ha) genoemd.

2.3 Dataverwerking

De analyse van de sedimentconcentratie en -vracht per event werd uitgevoerd op 7 meetlocaties die al lang operationeel zijn: de Broekbeek, de Marie Borrebeek, de Molenbeek Nukerke, de Maarkebeek Leupegem, de Molenbeek Velm, de Cicindria en de Herk. Vier meetlocaties werden niet meegenomen omdat er een onvoldoende lange meetreeks (Dijle, Langegracht, Melsterbeek, Fonteinbeek) beschikbaar is. Bij de berekening van de jaarvrachten, zijn ook de relevante jaarvrachten weergegeven van stations die niet meer operationeel zijn.

Voor de analyse werden ook neerslagmetingen gebruikt. De VMM heeft verschillende pluviografen. Er staan 2 pluviografen in de buurt van de beschouwde meetstations. Dit zijn de pluviografen in Maarke-Kerkem en in Niel-Bij-Sint-Truiden. We gebruiken de pluviograaf in Ukkel als referentie voor Vlaanderen.

De totale kinetische energie van een neerslagevent en de neerslagerosiviteit per maand en op jaarbasis werden berekend op basis van de methode van Verstraeten et al. (2006).

Er werd een analyse van de data per meetlocatie en per event uitgevoerd. Een event werd beschouwd als een gemeten sedimentconcentratie in de waterloop als gevolg van neerslag, waarbij de waterhoogte stijgt en de turbiditeit hoger is dan de achtergrondwaarde. Een neerslaginterval van meer dan 6 uur werd beschouwd als een nieuw event. Bij laagwater is de sedimentconcentratie verwaarloosbaar (zie verder laagwater sedimentconcentratie in de waterloop).



3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

Meer dan 90% van de sedimentvrucht wordt tijdens de hoogwaterevents gemeten, dat rapporteerden we ook voor de meetperiode 2003-2007 (VMM, 2008). De focus van de analyse in dit rapport ligt dan ook op de hoogwaterevents.

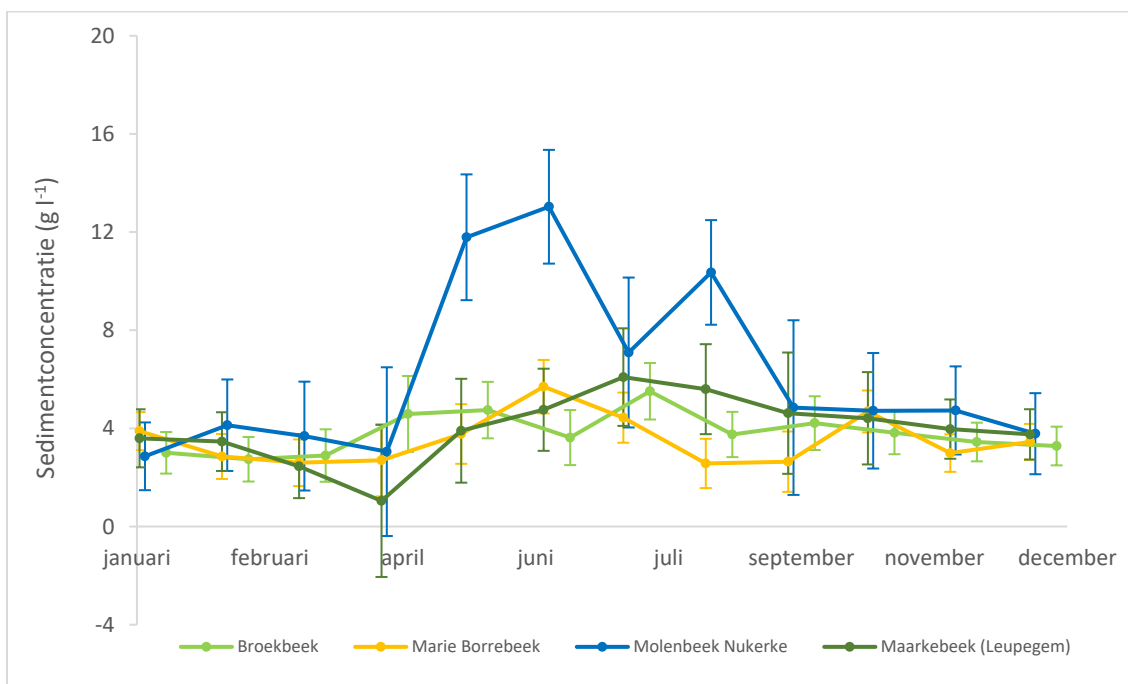
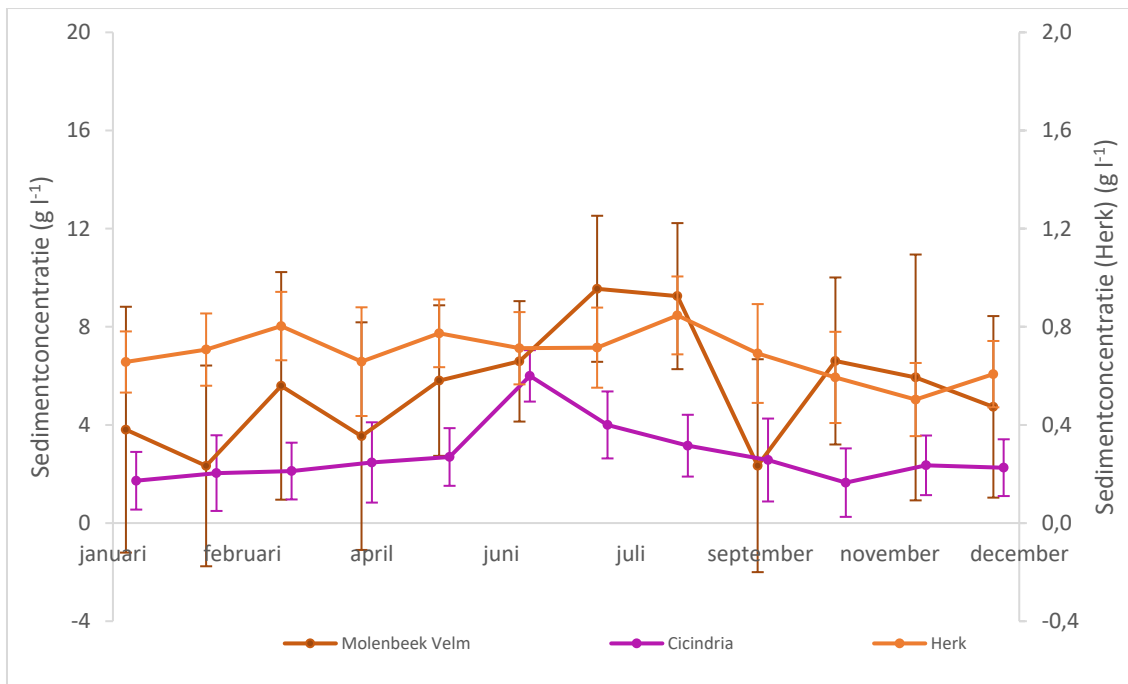
3.1 Sedimentconcentratie

3.1.1 Piekconcentraties

De hoogst gemeten concentratie tijdens een event wordt gedefinieerd als de piekconcentratie. Figuur 5 toont de gemiddelde sedimentpiekconcentratie bemeten tijdens events per maand. De hoogste sedimentconcentraties werden gemeten na neerslagevents in de zomerperiode. De gemiddelde piekconcentratie per event was het laagst in de Herk in november (0,5 g/l) en het hoogst in de maand juni voor het stroomgebied Molenbeek Nukerke (13 g/l). Voor de meetstations in het Bovenscheldegebied (Broekbeek, Marie Borrebeek, Molenbeek Nukerke, Maarkebeek) was de piekconcentratie in de zomerperiode (juni, juli, augustus) significant hoger dan in de andere bemeten maanden (op basis van de gemiddelde eventpiekconcentratie). De variantie kan verklaard worden door de grote neerslagevents in de zomerperiode in combinatie met snelle afvoer (combinatie dichtheid waterlopenstelsel en helling) van neerslag in het Bovenscheldebekken. In het Demerbekken (Molenbeek Velm, Cicindria en Herk) stelden we geen significant verschil vast.

Bij laagwater is de sedimentconcentratie verwaarloosbaar (zie verder [3.1.2](#)).

Er is een groot verschil in de gemeten piekconcentratie tussen de bemeten stroomgebieden. De hoogst bemeten sedimentconcentraties werden gemeten in het stroomgebied van Nukerke, met piekconcentraties hoger dan 40 g/l. Ook op de Marie-Borrebeek werden gelijkaardige concentraties vastgesteld. De sedimentconcentraties op de Herk lagen beduidend lager dan de andere stroomgebieden. Ook bij de gemeten sedimentconcentraties in grotere stroomgebieden zoals de Maarkebeek en de Herk zagen we een beperktere variatie gedurende het jaar.



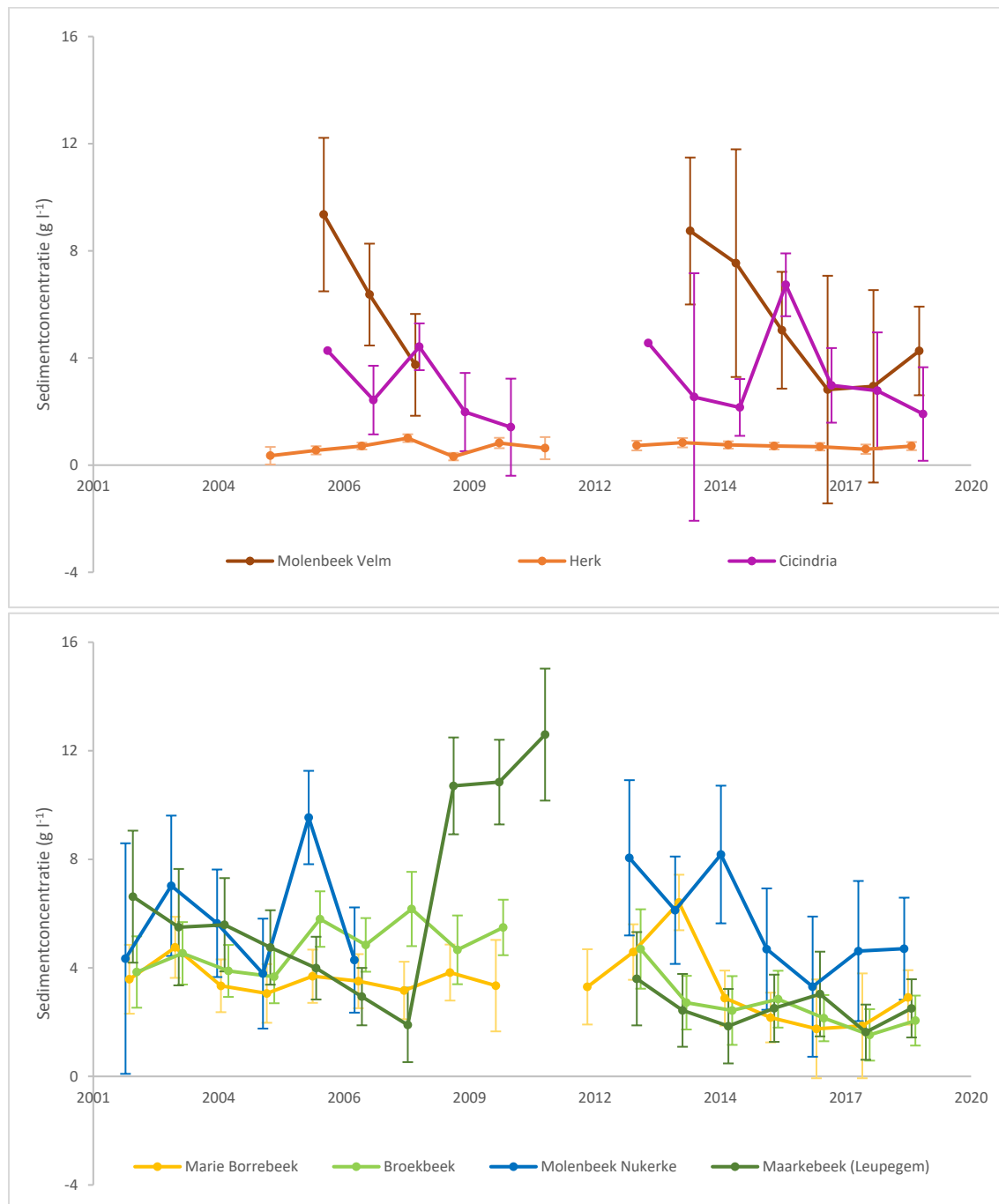
Figuur 5: Gemiddelde sedimentpiekconcentratie ($g\ l^{-1}$) en standaarddeviatie bemeten tijdens events per maand.

3.1.1.1 Trend in de tijd

Op basis van een multivariabele regressieanalyse werd de evolutie van de piekconcentratie gemeten tijdens een event geëvalueerd. Figuur 6 geeft de gemiddelde sedimentpiekconcentratie en standaarddeviatie per jaar. We zagen maar voor 2 meetlocaties een dalende trend: Molenbeek Velm en Broekbeek. De gemiddelde piekconcentratie ter hoogte van de Molenbeek Velm daalde van 7 g/l voor de volledige meetperiode 2006-2019 naar 4,3 g/l in de periode 2016-2019. Hoewel er voor de Broekbeek een dalende trend werd vastgesteld, was er geen significant verschil in bemeten piekconcentraties tussen de eerste bemeten jaren 2002-2005 en de laatste jaren 2014-2019. De dalende trend wordt veroorzaakt door de grote events in de periode 2008-2010. Op de Maarkebeek

in Leupegem werden in de periode 2009-2011 maar een beperkt aantal events bemeten, waarbij de sedimentconcentratie relatief hoog was (grote events o.a. overstromingen van 2010 in de regio). Dit leidde tot een hoge gemiddelde piekconcentratie. Als deze 3 jaar niet worden meegenomen, zien we een licht dalende trend in de gemiddelde piekconcentratie.

De gemeten sedimentpiekconcentratie varieert het meest bij kleine stroomgebieden en is voor het relatief groot stroomgebied van de Herk nagenoeg constant over de jaren.



Figuur 6: Gemiddelde sedimentpiekconcentratie (g l⁻¹) en standaarddeviatie bemeten tijdens events per jaar.

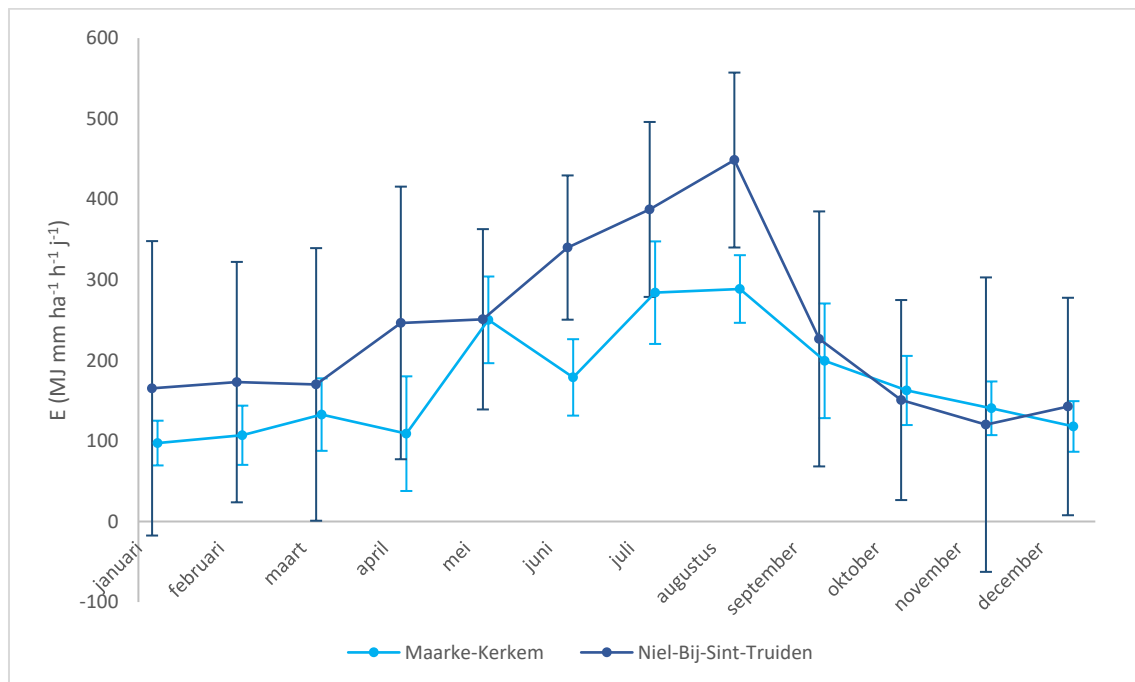
3.1.1.2 Verklarende factoren

De sterkst gecorreleerde factor met de sedimentconcentratie is de neerslagerosiviteit (E , MJ mm/(ha h j)). Deze geeft de totale erosiviteit van een neerslagbui en wordt berekend op basis van de maximale neerslagintensiteit en de totale neerslaghoeveelheid van een bui. Figuur 7 toont het gemiddelde en de variatie in die neerslagerosiviteit per maand voor de 2 pluvio's in de omgeving van de meetlocaties. Over het hele jaar ligt de gemiddelde neerslagerosiviteit in Maarke-Kerkem beduidend lager dan deze in Niel-Bij-Sint-Truiden, behalve in het najaar. De lagere E gemeten in het stroomgebied met de hoogst bemeten piekconcentraties tonen aan dat niet alleen de neerslagerosiviteit een belangrijke invloed heeft op de sedimentconcentratie.

In Niel-Bij-Sint-Truiden waren er de laatste jaren verschillende zeer zware onweersbuien, waarbij de hoogste waterstanden sinds de start van de metingen waargenomen werden (Herk 2016, Molenbeek (Velm) 2019). Een vergelijking van de jaarlijkse neerslagerosiviteit berekend op basis van 49 pluviografen in België (Gobeyn et al., 2021) toonde aan dat er een grote ruimtelijke variabiliteit bestaat in jaarlijkse neerslagerosiviteit.

De hoogste neerslagerosiviteit komt voor in de zomermaanden (van mei tot augustus), wanneer we ook de hoogste sedimentconcentraties zien. Vooral in mei en juni wordt dit fenomeen mee versterkt door de bedekkingsgraad van de gewassen op de percelen die nog niet volledig ontwikkeld zijn. Voor de pluvio in Maarke-Kerkem is het verschil tussen de zomermaanden en andere maanden van het jaar significant, te Niel-Bij-Sint-Truiden niet. Hoewel de gemiddelde neerslagerosiviteit in het Demerbekken in de zomermaanden tot bijna 4 keer hoger is dan de winterperiode. In het Bovenscheldebekken werd een minder groot verschil tussen seizoenen waargenomen in de bemeten periode.

De hogere neerslagerosiviteit in de zomerperiode werd al vastgesteld in eerdere studies (Verstraeten et al., 2006). De typische zomerse (onweers-)buien als gevolg van convectieve wolkenvorming verklaren ook de hogere neerslagerosiviteit. In de winterperiode is er vaker minder intense neerslag uit frontaal gevormde wolken (De Lannoy, 2000).



Figuur 7: Gemiddelde neerslagerosiviteit (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ j⁻¹) per maand tijdens de bemeten events op basis van de neerslag gemeten in Maarke-Kerkem en Niel-Bij-Sint-Truiden.

Naast neerslagerosiviteit zijn er nog een aantal andere belangrijke stroomgebiedskenmerken die de sedimentconcentratie in de waterloop beïnvloeden. Tabel 8 en 9 (zie 7 Bijlagen) geven een overzicht van de geanalyseerde kenmerken van de bemeten stroomgebieden.

In alle bemeten stroomgebieden was er tijdens de meetperiode een significante daling van de landbouwoppervlakte. In het stroomgebied van de Molenbeek Nukerke en de Herk was er een significante toename van het aandeel grasland. Bij de stroomgebieden van de Molenbeek Velm en de Herk nam het aardappelareaal en de oppervlakte bedekt met bomen (vooral kleinfruit) duidelijk toe.

De toename van het aandeel oppervlakte van landbouwpercelen met een erosiebestrijdingsmaatregel (EBM) is significant gestegen in het stroomgebied van de Marie Borrebeek, (hoewel het aandeel nog altijd marginaal is (0 naar 9%), de Molenbeek Velm (31 naar 48%) en de Herk (13 naar 27%). In het stroomgebied van de Molenbeek Velm is er op bijna de helft van de akkerpercelen een erosiebestrijdingsmaatregel van toepassing anno 2019. Een groot aandeel van de EBM was al aangelegd voor de opstart van de metingen in het stroomgebied.

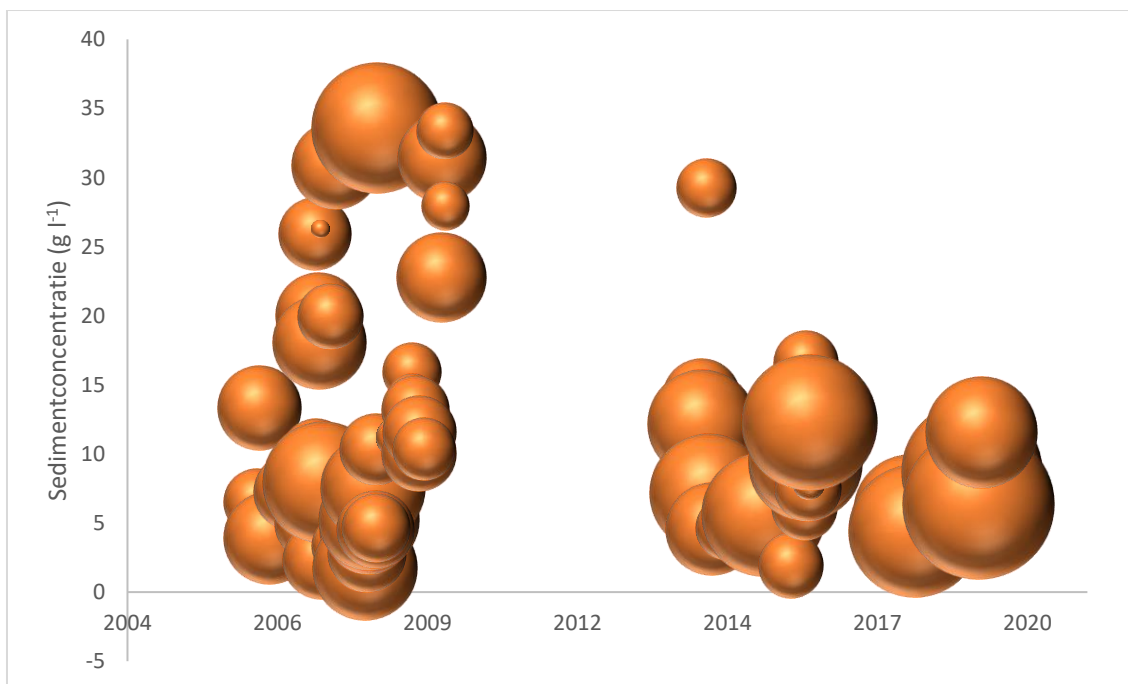
Sinds 2016 zijn er strengere randvoorwaarden van toepassing voor de hoge en zeer hoge erosiegevoelige percelen. De maatregelen die de landbouwer verplicht moet nemen voor de randvoorwaarden, zijn niet opgenomen in de analyse van het aandeel erosiebestrijdingsmaatregelen omdat niet geregistreerd wordt welke verplichte maatregelen landbouwers op welke percelen toepassen. Zo zal het reële aantal erosiebestrijdingsmaatregelen in de stroomgebieden hoger liggen dan in de tabel 9 (zie 7 Bijlagen) is aangegeven.

3.1.1.2.1 Stroomgebieden Demerbekken

De bemeten sedimentpieken per event in de Molenbeek te Velm dalen significant met een toenemend aantal erosiebestrijdingsmaatregelen. Deze trend is niet significant bij de grootste sedimentvrachten (25% grootste vrachten) (vermoedelijk als gevolg van de grote spreiding in de eerste meetjaren), maar kan je wel zien in figuur 8. Ondanks de events met grote neerslagerosiviteit de afgelopen jaren, zie je een afvlakking van de piekconcentraties.

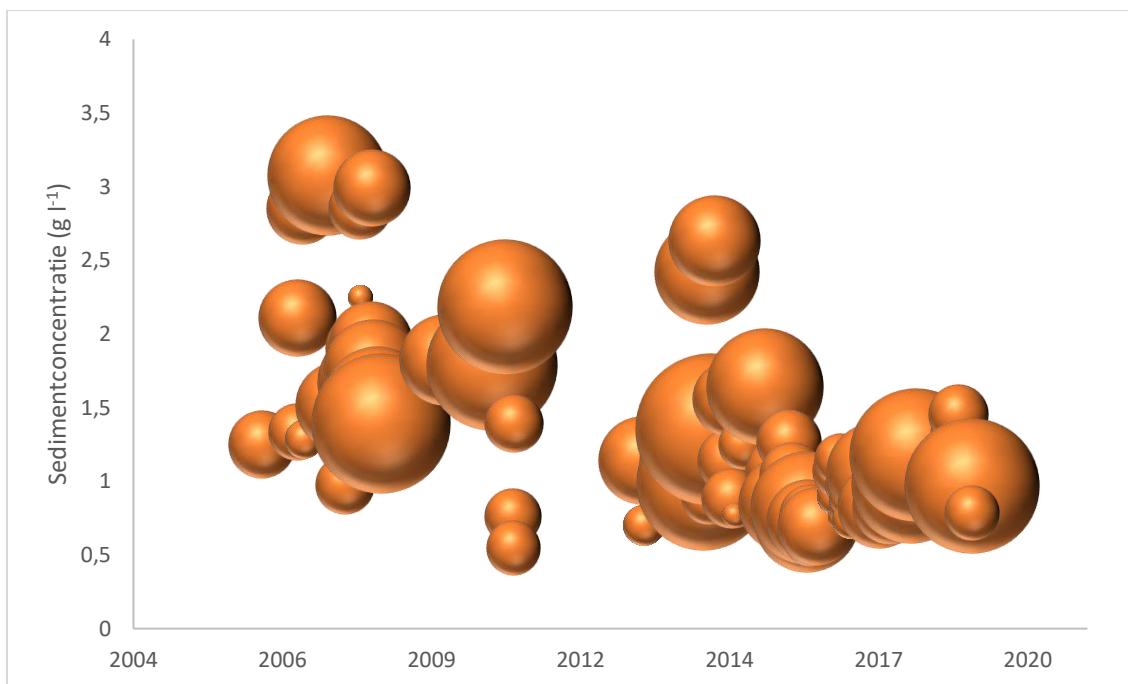
Aangezien een deel van de erosiebestrijdingsmaatregelen al geïmplementeerd was bij de start van de metingen, kan de totale impact niet begroot worden. Het effect tijdens de meetperiode is al aanzienlijk en zal dus nog groter geweest zijn.





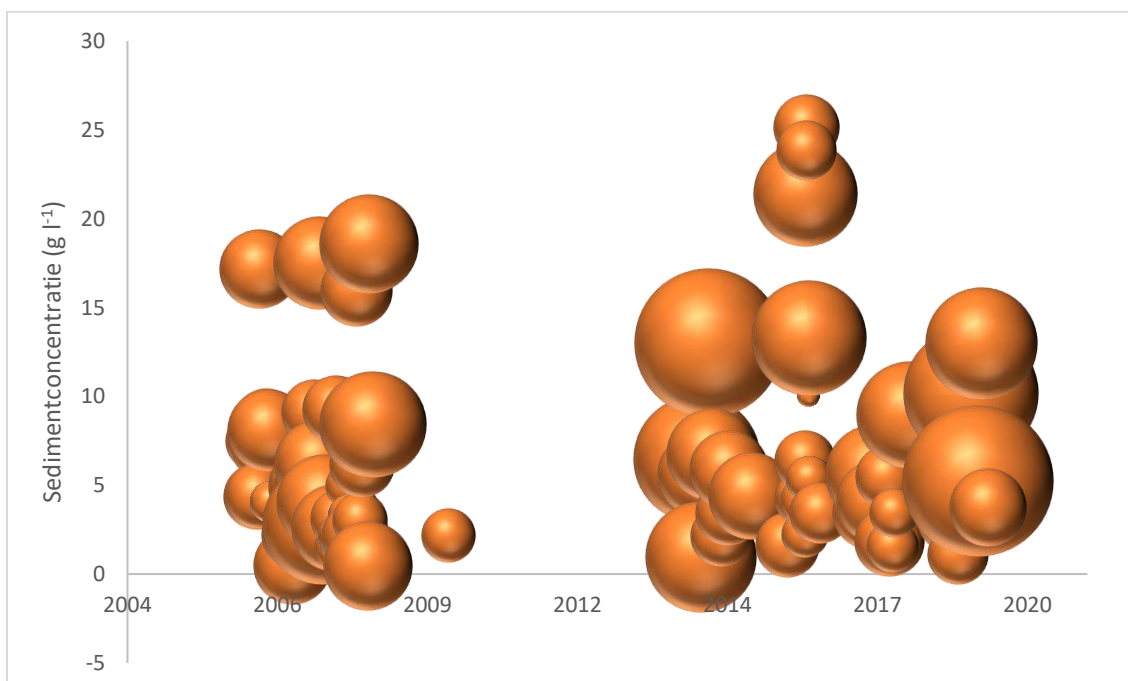
Figuur 8: Gemeten pieksedimentconcentraties ($g\ l^{-1}$) tijdens de events met de grootste sedimentvrachten (P75) op de Molenbeek te Velm, de grootte van de bubbels geeft de neerslagerosiviteit ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ j^{-1}$) van de events weer.

Ook op de Herk is er een duidelijk dalende trend van de piekconcentratie tijdens de events. Figuur 9 toont de duidelijk dalende trend bij de grootste events (>P75 sedimentvrachten). Deze trend is minder duidelijk als alle events worden meegenomen, deels door de grote variantie. Als alleen de grootste sedimentvrachten bekeken worden (P75), is, statistisch gezien, het aandeel EBM de meest bepalende factor op de piekconcentraties en niet meer de neerslagerosiviteit. Ook hier stellen we vast dat de erosiebestrijdingsmaatregelen dé belangrijkste invloed hebben op de sedimentconcentraties in de waterloop.



Figuur 9: Gemeten pieksedimentconcentraties ($g\ l^{-1}$) tijdens de events met de grootste sedimentvrachten (P75) op de Herk te Wellen, de grootte van de bubbels geeft de neerslagerosiviteit ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ j^{-1}$) van de events weer.

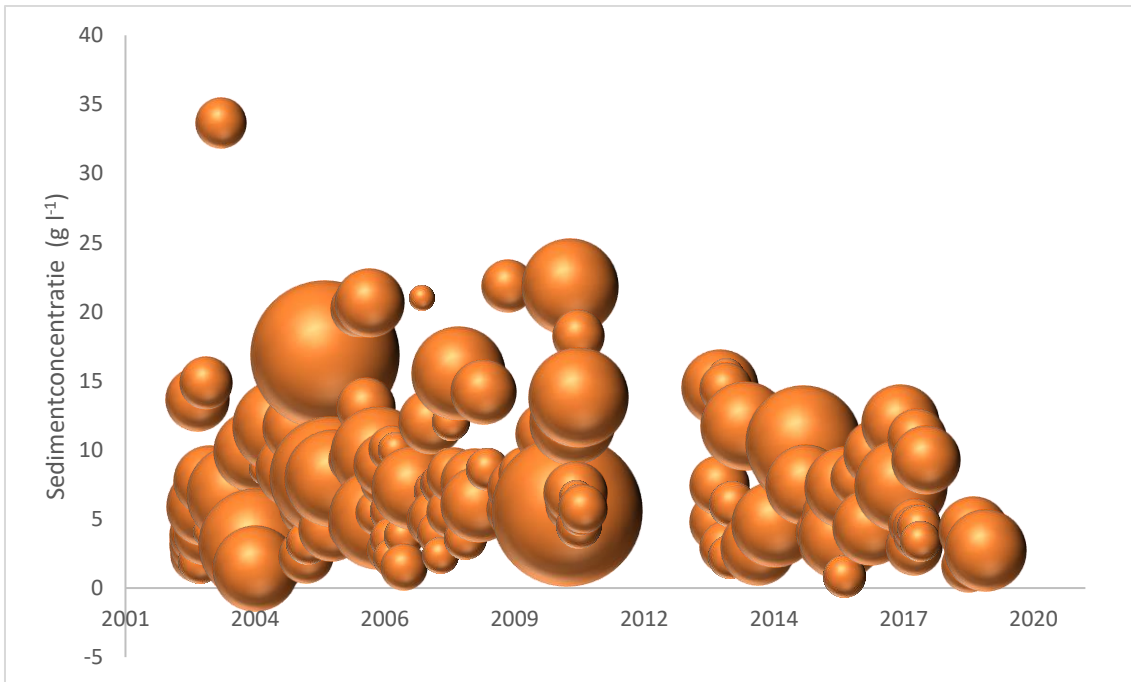
De piekconcentratie op de Cicindria vertoonde een minder dalende trend. De impact van de EBM in dit stroomgebied is beduidend minder, het aandeel is dan ook beperkter (14% in 2006 tot 18% in 2019) dan in de andere stroomgebieden van het Demerbekken. Hier blijkt de neerslagerosiviteit opnieuw de doorslaggevende factor in het verklaren van de variantie in de piekconcentraties.



Figuur 10 Gemeten pieksedimentconcentraties ($g\ l^{-1}$) tijdens de events met de grootste sedimentvrachten (P75) op de Cicindria in Wellen, de grootte van de bubbels geeft de neerslagerosiviteit ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ j^{-1}$) van de events weer.

3.1.1.2.2 Stroomgebieden Bovenschelde

In de stroomgebieden van de Broekbeek, de Molenbeek Nukerke en de Marie Borrebeek wordt de piekconcentratie bijna volledig verklaard door de neerslagerosiviteit. In het stroomgebied van de Broekbeek (Fig. 11) is de significant dalende trend van de piekconcentratie ook te verklaren door het afnemende landbouwoppervlak van 84% in 2002 naar 64% in 2019. Er werd in deze meetstations geen impact van aangelegde erosiebestrijdingsmaatregelen vastgesteld en ook niet van de verstrengde randvoorwaarden vanaf 2016.



Figuur 11 Gemeten pieksedimentconcentraties ($g\ l^{-1}$) tijdens de events met de grootste sedimentvrachten (P75) op de Broekbeek in Maarke-Kerkem, de grootte van de bubbels geeft de neerslagerosiviteit ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ j^{-1}$) van het events weer.

3.1.1.2.3 Overkoepelende analyse

De variatie in oppervlakte aardappelareaal, mais en gras hebben geen significante impact op de verandering in sedimentconcentratie in geen enkel bemeten stroomgebied.

Er werd bij geen enkele meetstation een significante daling vastgesteld specifiek in de laatste jaren (Fig. 6) die een gevolg kan zijn van de verstrenging van de randvoorwaarden in 2016.

Bepaalde events hebben een grote neerslagerosiviteit, hoewel de piekconcentratie relatief laag blijft. Antecedente neerslag en gewasbedekking spelen hierbij ook een belangrijke rol. De grootste piekconcentraties worden gemeten bij hevige neerslagevents in de zomer waarbij de voorafgaande dagen geen neerslag gevallen is. Ook de gewasbedekkingsgraad speelt een belangrijke rol in de gemeten piekconcentratie. Hoewel de neerslagerosiviteit beduidend lager is in de periode oktober tot februari, worden nog altijd heel hoge concentraties gemeten in de waterloop als gevolg van het ontbreken van gewasbedekking.

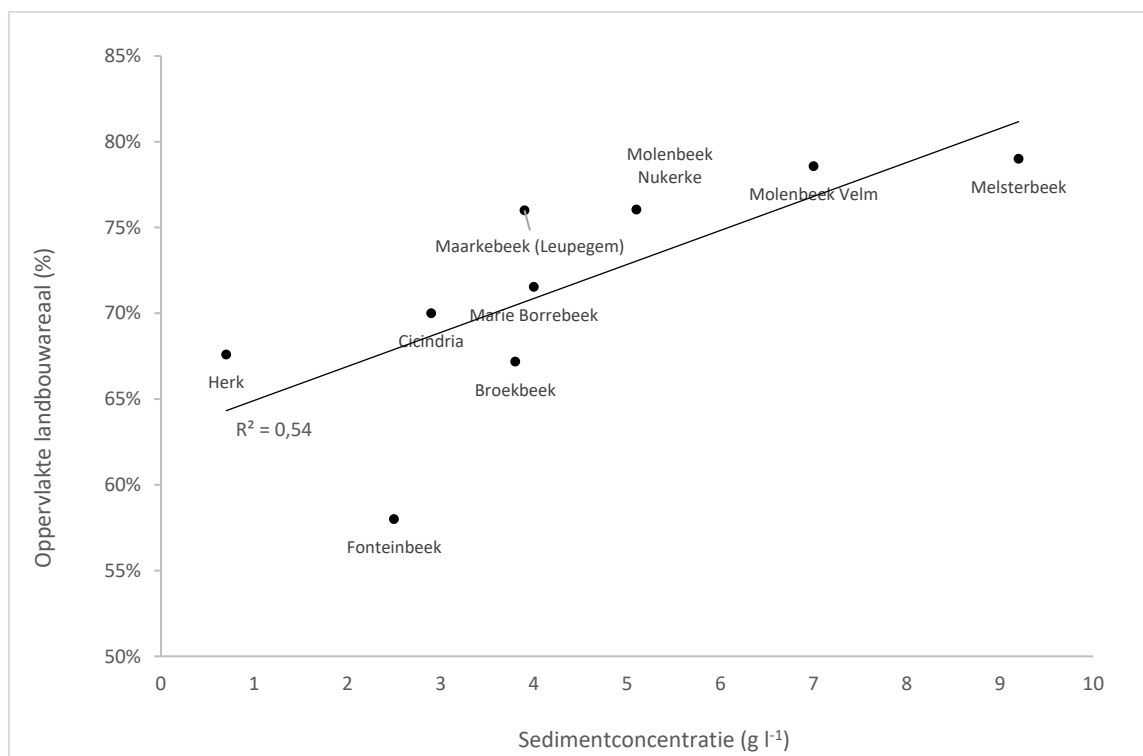
De gemiddeld gemeten piekconcentratie kan duidelijk gelinkt worden met het oppervlakte landbouwareaal in het stroomgebied (Fig. 12). De grootste piekconcentraties tijdens events worden gemeten in de stroomgebieden met het grootste landbouwareaal.



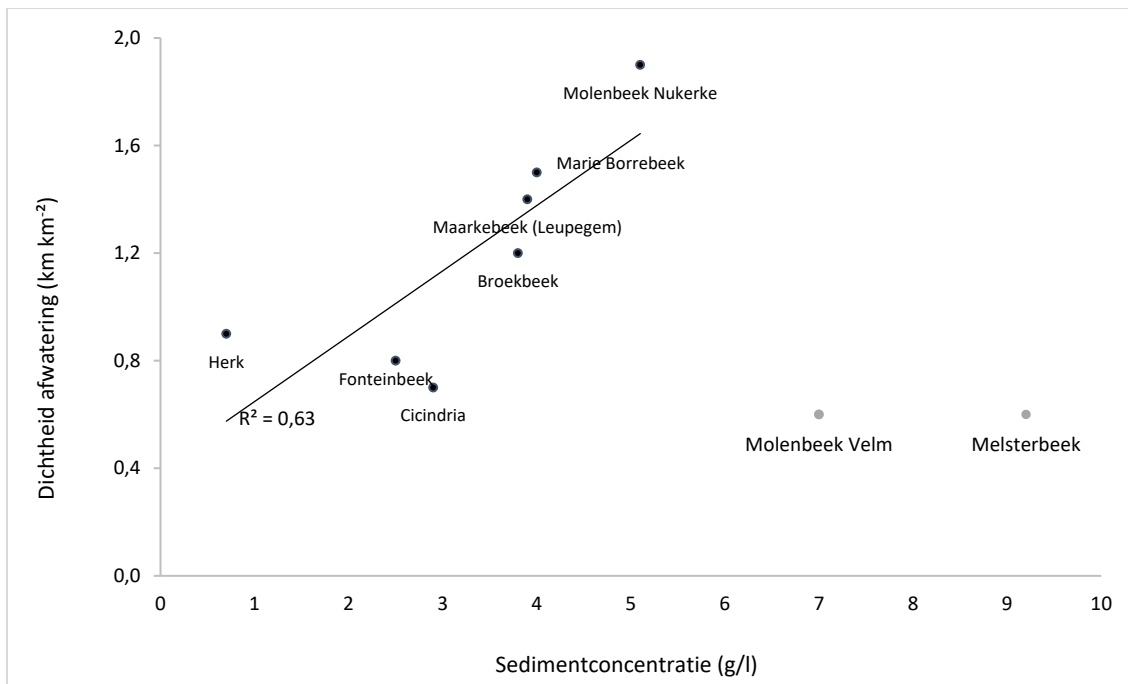
Er is ook een correlatie tussen de gemeten piekconcentraties en de connectiviteit of dooradering van het stroomgebied (Fig. 13). De sedimentconcentratie neemt toe met toenemende dichtheid van de afwatering. Hoe dichter het afwateringsstelsel, hoe meer erosiegevoelige percelen in de nabijheid van een waterloop/gracht liggen en hoe groter de kans dat het sediment in het watersysteem terechtkomt en hoe minder kans dat het nog kan sedimenteren op het land.

Opvallend is dat voor de 2 stroomgebieden met het grootste aandeel landbouwoppervlakte (Molenbeek Velm en Melsterbeek) deze correlatie niet geldig is. Hoewel deze niet significant was, is er een duidelijke afname in gemiddelde piekconcentratie gemeten in Velm sinds 2016 (gemiddeld 4,3 g/l in de periode 2016-2019 ipv 7 g/l over de hele meetperiode). Toch ligt de lagere waarde van de afgelopen jaren nog altijd niet in de lijn van de andere meetstations. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het hoge aandeel landbouwoppervlakte in dit stroomgebied en het lage aandeel grasland (respectievelijk 9 en 7% voor het stroomgebied van Molenbeek Velm en Melsterbeek). Dit desondanks het grote aandeel EBM in het stroomgebied Molenbeek Velm.

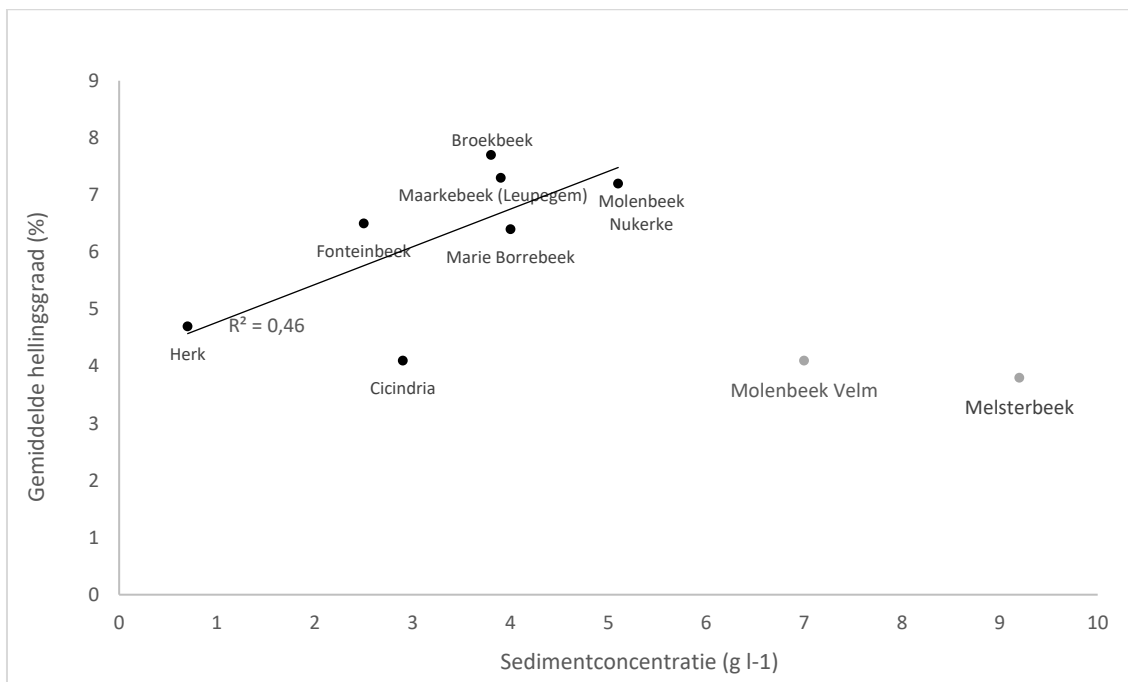
De sedimentconcentratie neemt ook toe met een toenemende hellingsgraad in het stroomgebied (Fig. 14). Opnieuw geldt deze correlatie niet voor het stroomgebied van de Molenbeek Velm en de Melsterbeek. Het stroomgebied van de Broekbeek heeft de hoogste hellingsgraad, maar niet de hoogste piekconcentratie. Dit komt waarschijnlijk door het hoger aandeel grasland in het stroomgebied.



Figuur 12 Gemiddelde piekconcentratie (g l⁻¹) gemeten tijdens de events per stroomgebied i.f.v. de oppervlakte van het landbouwareaal (%).



Figuur 13 Gemiddelde piekconcentratie (g l-1) gemeten tijdens de events per stroomgebied t.o.v. de dichtheid van afwatering in het stroomgebied (km waterloop km⁻²).



Figuur 14 Gemiddelde piekconcentratie (g l-1) gemeten tijdens de events per stroomgebied i.f.v. de gemiddelde hellingsgraad (%) van het stroomgebied.

3.1.2 Laagwater sedimentconcentratie

Het sedimentmeetnet focust op hoogwaterevents. Naast erosie, zijn vooral natuurlijke processen zoals oeverafkalving, huishoudelijke en industriële lozingen die de sedimentconcentratie in de waterloop doen toenemen. Vooral de lozingen hebben een impact op de laagwaterconcentratie.



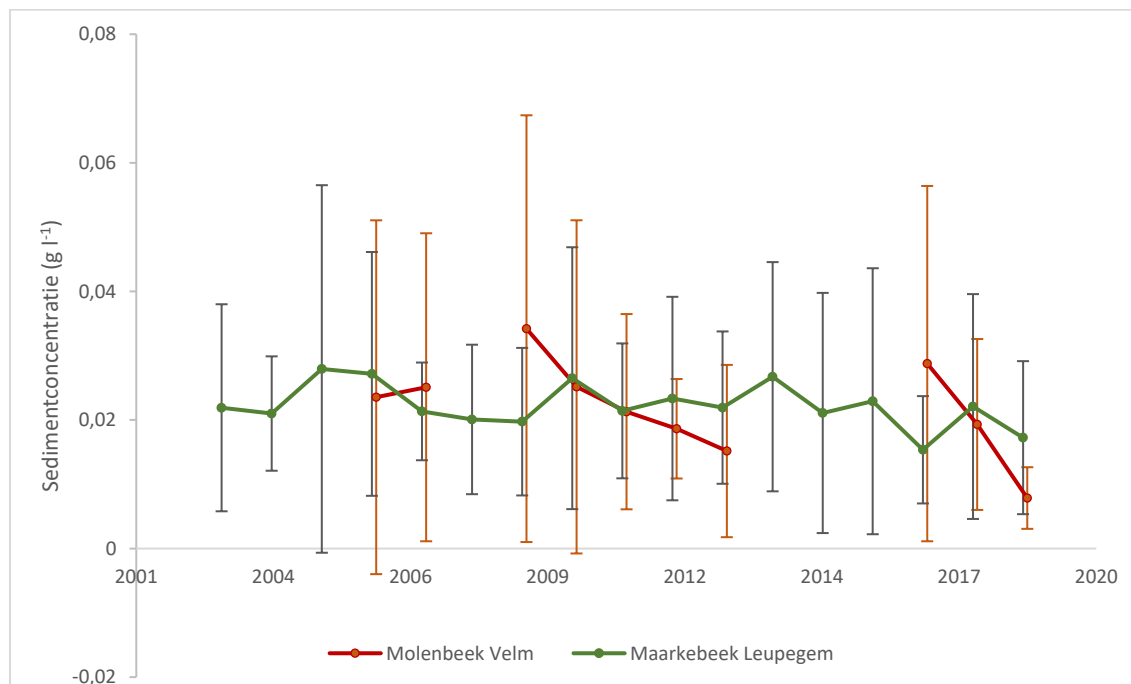
Het meetnet oppervlaktewater (VMM) neemt frequent (maandelijks) schepstalen die ook geanalyseerd worden naar zwevende stofconcentratie. Tabel 2 geeft een overzicht van de gemiddelde gemeten concentraties bij laagwater, het nummer van de meetlocatie en de meetperiode. De gemiddelde concentratie bij laagwater was heel laag in vergelijking met de bemeten concentratie tijdens hoogwaterevents en had een beperkte variatie.

Tabel 2 Gemiddelde achtergrondconcentratie sediment gemeten op de dichtstbijzijnde meetplaats meetnet oppervlaktewater (VMM).

Waterloop	Nummer meetplaats	Naam meetplaats	Meetperiode	Gemiddelde achtergrondconcentratie (g/l)	Gemiddelde Piekconcentratie events (g/l)
Maarkebeek (Leupegem)	731000	Ladeuze	2002-2019	0,022	3,9
Marie Borrebeek	734200	Nukerke	2012	0,015	4,0
Molenbeek (Nukerke)	734400	Nukerke	2013-2019	0,014	5,1
Broekbeek	732710	Maarke-Kerkem	2014-2019	0,023	3,8
Molenbeek (Velm)	436500	Runkelen	2006-2019	0,022	7,0
Cicindria	Geen meetplaats in de omgeving				2,9
Herk	448000	Wellen	2006-2019	0,026	0,7
Dijle (Rotselaar)	216600	Werchter	2011-2019	0,033	

3.1.2.1 Trend in de tijd

Figuur 15 geeft een overzicht van de gemiddelde gemeten concentratie per jaar in functie van de tijd ter hoogte van de meetplaats op de Maarkebeek Leupegem en de Molenbeek Velm. We zagen bij geen van beide meetplaatsen een significante daling of stijging van de laagwaterconcentratie.



Figuur 15 Verloop van de jaargemiddelde achtergrondconcentratie sediment (g l-1) ter hoogte van de meetplaats op de Maarkebeek Leupegem en de Molenbeek Velm.

3.2 Sedimentvrucht per event

Op basis van de sedimentconcentratie (g/l) en het debiet (m³/s) van de waterloop kan de sedimentvrucht (ton) berekend worden. De analyse van de sedimentvruchten gebeurde op de totale vrucht gemeten gedurende (en volgend) op een neerslagevent.

Tabel 3 geeft de grootste bemeten sedimentvruchten per event in de verschillende waterlopen weer. In het stroomgebied van de Bovenschelde zijn geen grote vruchten gemeten de afgelopen jaren, terwijl in het Demerbekken juist wel heel grote sedimentvruchten gemeten zijn. In de eerste meetjaren werd net het omgekeerde vastgesteld (VMM, 2008).

In het Bovenschelde gebied zijn de events van 4/7/2005, 8/11/2013 en november 2010 bij de grootste bemeten vruchten. Het event van november 2010 werd alleen bemeten op de Broekbeek en de Maarkebeek. Vermoedelijk was dit event ook in de andere stroomgebieden van de Bovenschelde een van de grootste geweest, gelet op de grote overstromingsschade die deze neerslagperiode teweegbracht in het gebied. Bij het event van juli 2005 was er een enorme hoeveelheid neerslag in een korte tijdsperiode. Het is dan ook het event met de grootste neerslagerosiviteit gemeten in de Bovenschelde.

In het Demerbekken zijn vooral de events van juni 2016 en 2019 opvallend, met een heel grote sedimentvrucht. Het event van 2019 was vooral lokaal in de regio van Velm, de gemeten neerslag kende een retourperiode van 1000 jaar. Het event van juni 2019 staat niet in de top 5 grootst bemeten sedimentvruchten in het nabijgelegen stroomgebied van de Cicindria en de Herk.

Over de totale meetperiode en de beschouwde meetlocaties (Tabel 3), werden de grootste sedimentvruchten per event waargenomen in het stroomgebied van de Maarkebeek, hoewel de oppervlakte van dit stroomgebied maar de helft bedraagt van het stroomgebied van de Herk en ook de sedimentvrucht op jaarbasis niet de hoogste is van de bemeten stroomgebieden (zie verder 3.3).

De grootste bemeten sedimentvrucht komt niet altijd overeen met de hoogst gemeten sedimentconcentratie of grootste neerslaghoeveelheid. Zoals al eerder vermeld, spelen andere parameters zoals de gewasbedekkingsgraad en antecedente neerslag een belangrijke rol in de piekconcentratie van een event. Daarnaast ligt de pluviograaf niet altijd in de directe omgeving van het stroomgebied waardoor de reële neerslag over het stroomgebied kan verschillen. Dit is vooral zo in de zomerperiode, die wordt gekenmerkt door lokaal onweer.

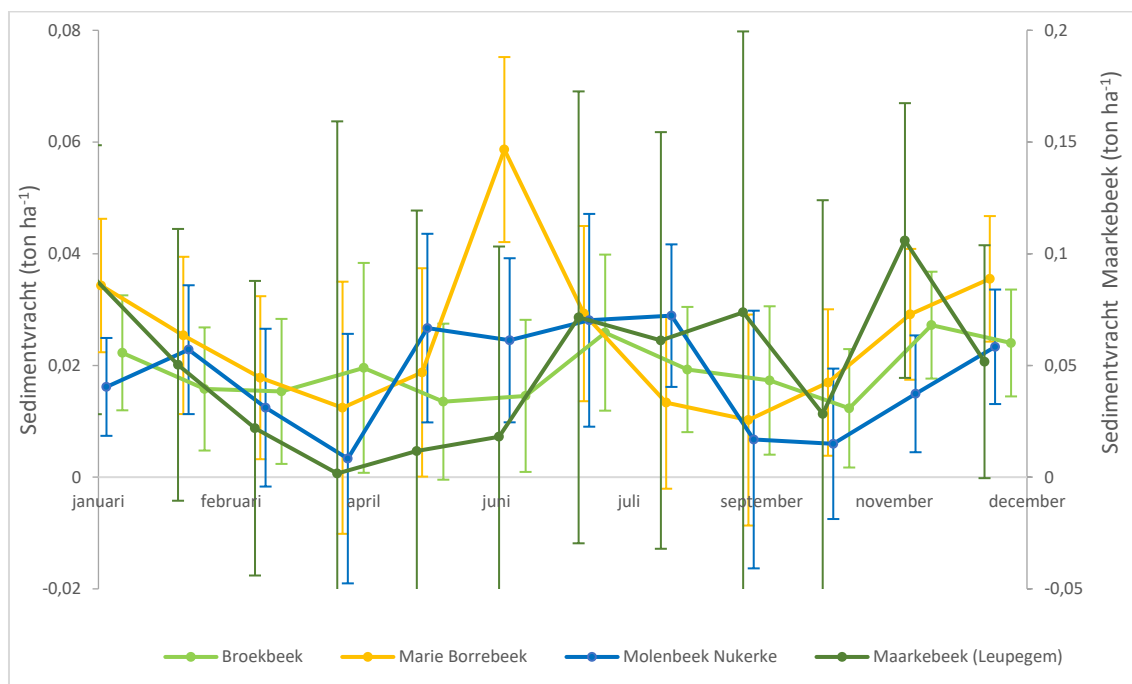
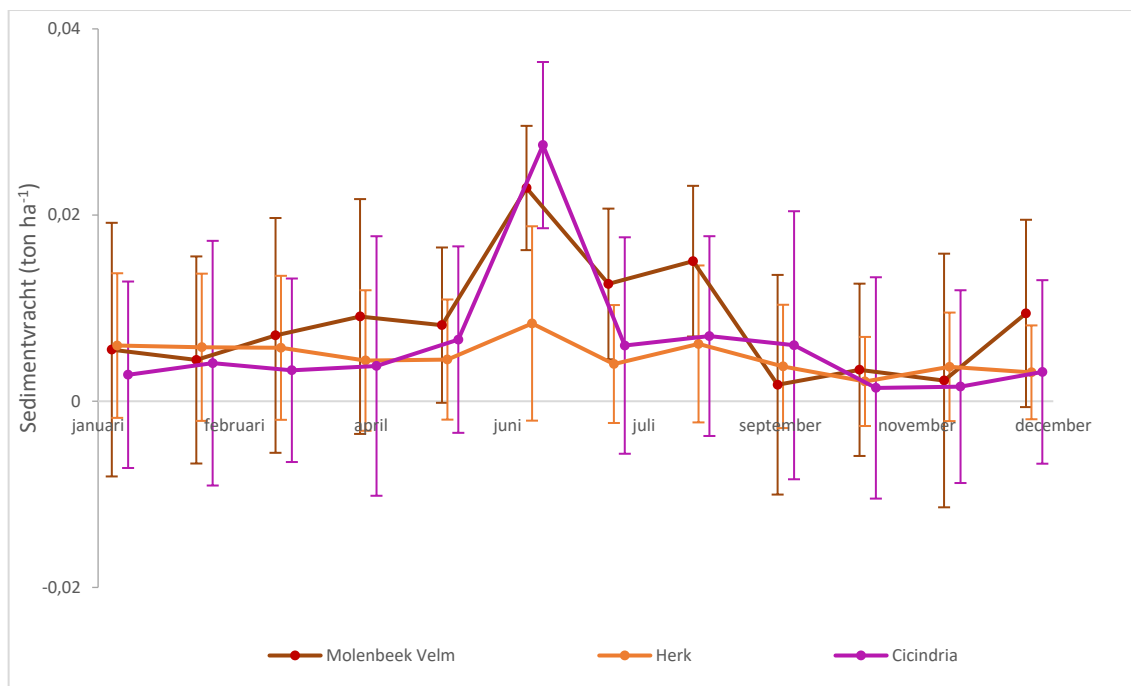
Tabel 3 Grootste gemeten sedimentvruchten, gemeten piekconcentratie (Max. C) en totale neerslag (N) gedurende een event voor de verschillende meetstations.

		1	2	3	4	5
Broekbeek	Datum	13/11/2010	4/07/2005	8/11/2013	8/09/2010	1/01/2003
	Vracht (ton)	132	81	72	70	51
	Max. C (g/l)*	13,8	16,9	14,5	12,6	5,9
	Som N (mm)	44,8	69,8	20,1	36	35,5
Marie-Borrebeek	Datum	8/06/2003	4/07/2005	12/01/2004	8/11/2013	4/06/2014
	Vracht (ton)	173	144	122	121	107
	Max. C (g/l)*	26,1	15,8	12,0	10,3	41,2
	Som N (mm)	16,8	69,8	21,7	20,1	11,9
Molenbeek Nukerke	Datum	2/01/2003	4/07/2005	21/08/2006	8/11/2013	19/08/2005
	Vracht (ton)	395	378	351	270	265
	Max. C (g/l)*	4,6	25,2	45,4	15,4	21,3

	Som N (mm)	18,7	69,8	29,4	20,1	48,1
Maarkebeek	Datum	11/11/2010	12/01/2011	29/12/2002	22/01/2009	4/07/2005
	Vracht (ton)	16 881	6 145	3 758	3 631	3 161
	Max. C (g/l)*	16,3	14,7	16,9	14,2	24,3
	Som N (mm)	74,5	30,8	37,4	26,1	69,8
Molenbeek Velm	Datum	1/06/2016	10/06/2019	16/04/2009	7/10/2009	3/08/2008
	Vracht (ton)	360	287	264	254	232
	Max. C (g/l)*	9,7	8,6	13,2	22,8	33,6
	Som N (mm)	40,1	69,8	21,7	20,1	11,9
Herk	Datum	1/06/2016	12/11/2010	25/08/2014	9/08/2007	2/06/2008
	Vracht (ton)	596	454	436	419	391
	Max. C (g/l)*	0,82	2,5	1,4	3,1	3,0
	Som N (mm)	40,1	42,2	29,2	24,0	35,2
Cicindria	Datum	1/06/2016	12/11/2010	25/08/2014	9/08/2007	2/06/2008
	Vracht (ton)	715	212	187	185	149
	Max. C (g/l)*	21,4	10,2	18,5	13,3	12,7
	Som N (mm)	40,1	42,2	29,2	24,0	35,2

*Max. C (g/l) Maximale gemeten sedimentconcentratie gedurende het event

De gemiddelde maandelijkse sedimentvracht zie je in figuur 16. Op drie meetlocaties werd een significant hogere gemiddelde sedimentvracht in de maand juni gemeten, nl. Marie Borrebeek, Molenbeek Velm en Herk. Voor de meetlocaties in het Bovenscheldebekken tonen de metingen een trend van gelijke vrachten in zomer en winter. In het Demerbekken zien we wel een verhoogde gemiddelde maandvracht in maanden juni, juli en augustus, maar door de grote variantie in de events gedurende de meetjaren, is dit verschil niet altijd significant. Andere studies (Steege, 2001; Vandaele en Poesen, 1995) toonden aan dat in het Demerbekken extreme zomerevents aanleiding geven tot uitzonderlijk hoge sedimentvrachten, wat ook te zien is in de hoogst bemeten sedimentvrachten in tabel 3 die vooral in de zomer plaatsvinden. Dit in tegenstelling tot het Bovenscheldebekken, waar de hoogst bemeten vrachten zowel in de zomer als in de winterperiode plaatsvinden. Dit verschil kan grotendeels verklaard worden door het verschil in neerslagerosiviteit (Fig. 30 en Fig. 31) waarbij een beduidend groter verschil tussen winter en zomer waargenomen wordt in het Demerbekken dan het Bovenscheldebekken.



Figuur 16 Gemiddelde sedimentvrucht (ton ha⁻¹) per event per maand voor de verschillende bemeten stroomgebieden.

3.2.1 Trend in de tijd

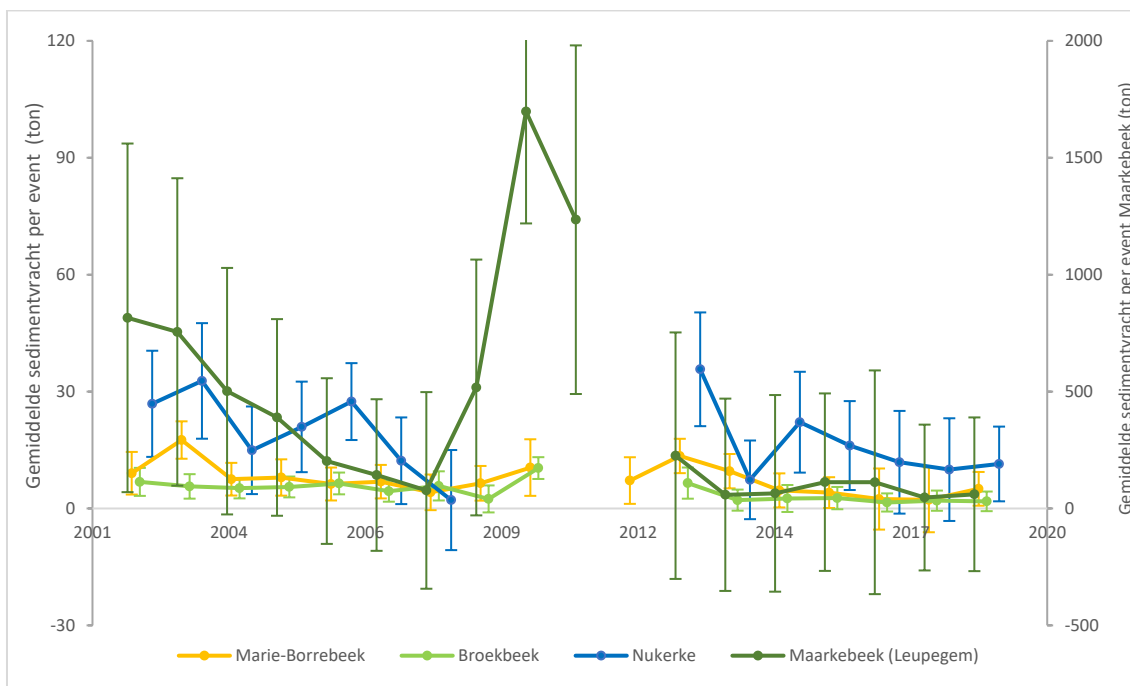
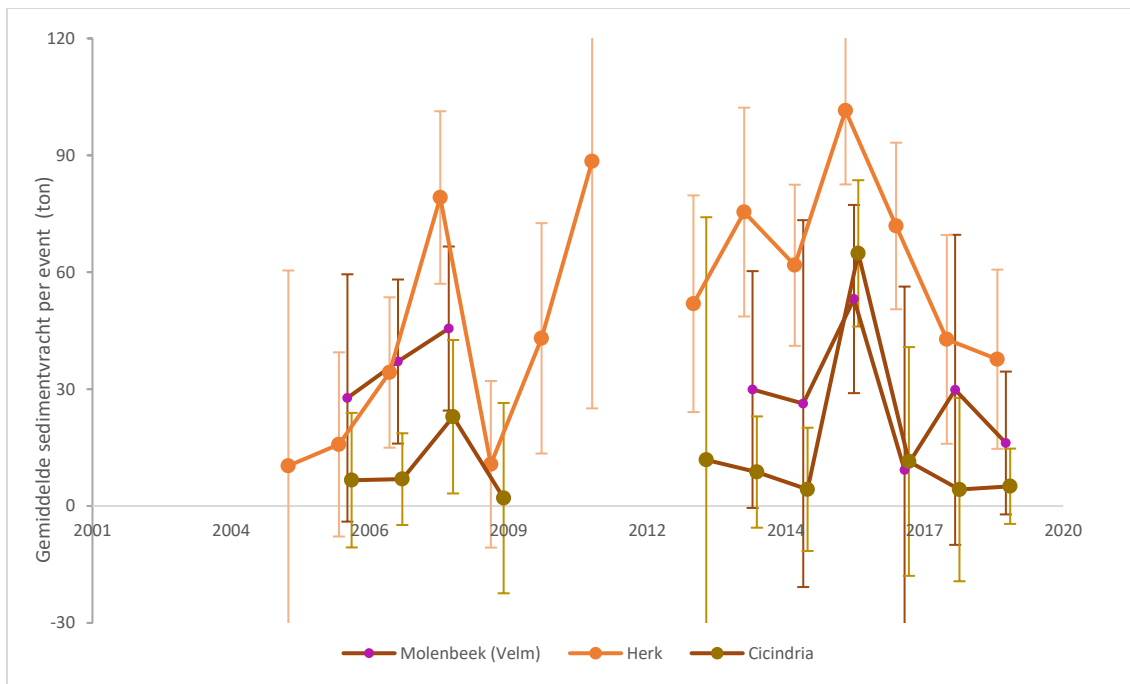
Figuur 17 geeft de gemiddelde sedimentvrucht bemeten tijdens events per jaar en per meetlocatie weer. Opvallend is dat de sedimentvrucht een gelijkaardige trend volgt als de sedimentconcentratie (Fig. 6), maar vanaf 2016 zien we een trendbreuk voor de Molenbeek Velm en de Herk.

Alle meetstations behalve de Herk en de Cicindria, kennen een dalende trend in de sedimentvrucht. Op de Molenbeek te Velm daalt de gemiddelde sedimentvrucht maar heel beperkt en is deze niet statistisch significant. Op de Herk in Wellen en de Cicindria zien we een significante (lichte) stijging in

sedimentvrucht in de loop van de jaren. Het Demerbekken kende in de eerste meetjaren een beperkt aantal grote events, terwijl de afgelopen jaren (2016-2019) een aantal heel grote events plaatsvonden. Dit verklaart waarom de daling van de sedimentvrucht per event niet significant dalend of zelfs stijgend is.

In het Bovenscheldegebied kenden de Marie Borrebeek en de Molenbeek Nukerke een lichte daling in sedimentvrucht per event (niet significant). De gemeten sedimentvrucht op de Broekbeek en de Maarkebeek is wel significant dalend. Op deze meetlocaties is er vooral een significant verschil tussen de gemiddelde gemeten vrucht in 2010 en de andere jaren. De gemiddelde vrucht was in de eerste meetjaren (2002-2006) ook significant hoger dan de laatste meetjaren (2017-2019). De Broekbeek en de Maarkebeek zijn de enige meetlocaties in het Bovenscheldegebied waar ook de extreme neerslagevents van het najaar 2010 zijn gemeten, waardoor 2010 significant hoger is dan de andere jaren.



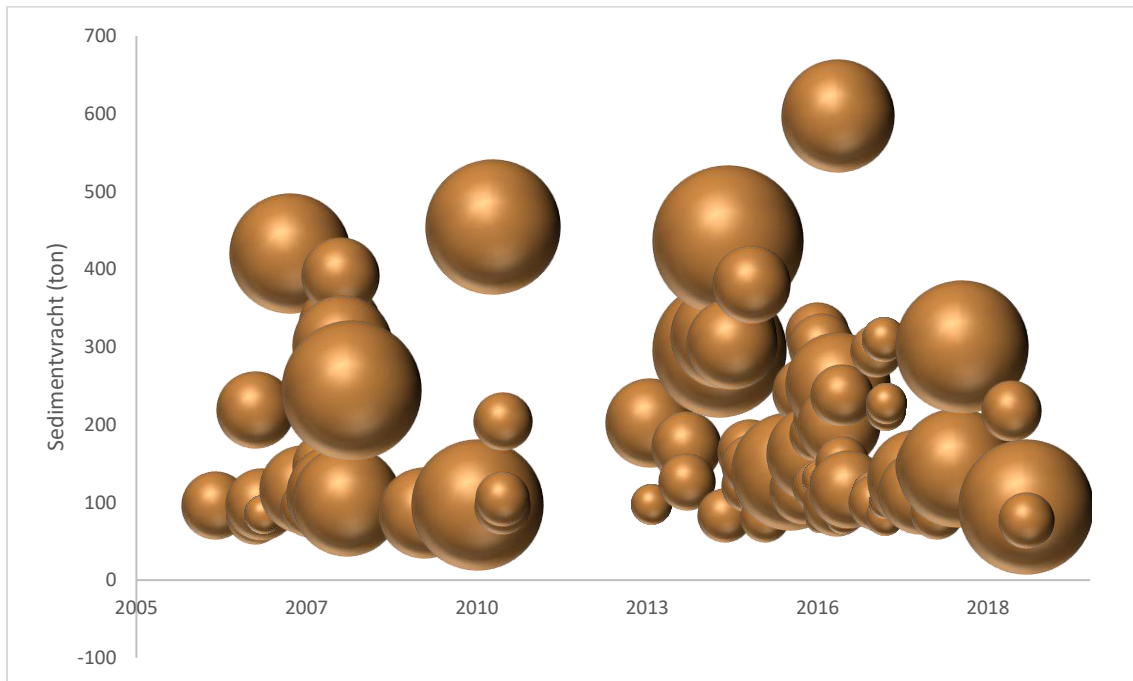


Figuur 17 Gemiddelde sedimentvrucht (ton ha⁻¹) en standaarddeviatie bemeten tijdens events per jaar (Maarkebeek Leupegem rechteras) (ton).

3.2.2 Verklarende factoren

Opvallend is dat de sedimentvruchten op de Herk en de Cicindria een toename in de tijd kennen. De multivariabele parameter analyse toonde aan dat enkel de neerslagerosiviteit een significante correlatie heeft met de vrucht in de Herk en de Cicindria. Er kon geen significante correlatie gevonden worden tussen het aandeel aangelegde EBM, % landbouwareaal, seizoen en de sedimentvrucht. De grote neerslagevents van de afgelopen jaren zorgden dus voor een toename van de sedimentvrucht

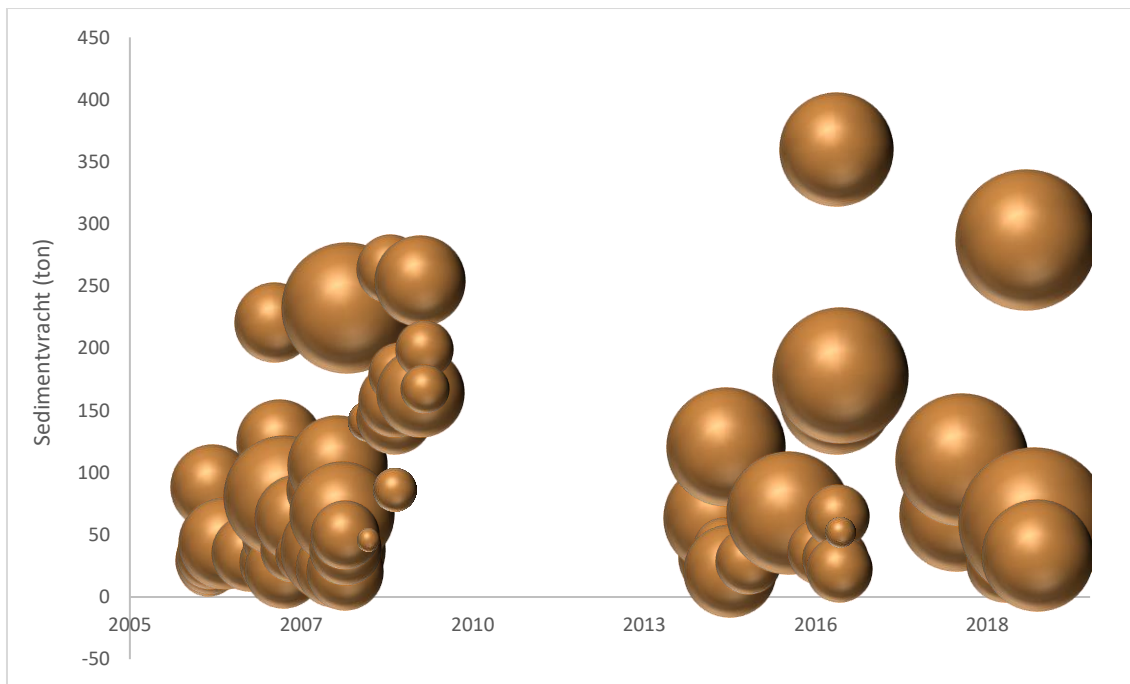
ondanks de (toe)genomen erosiebestrijdingsmaatregelen. De piekconcentraties werden wel afgevlakt dankzij de geïmplementeerde EBM, maar de vracht bleef toenemen door de toenemende neerslagersiviteit en het debiet in de waterloop. Figuur 18 geeft de sedimentvracht van de grootst bemeten events weer (>P75 vrachten) op de Herk. Dit laat duidelijk het verschil zien in trend tussen de dalende sedimentconcentraties (Fig. 9) en de licht stijgende trend in sedimentvracht op de Herk.



Figuur 18 Sedimentvracht (>P75) (ton ha-1) per events op de Herk in Wellen, de grootte van de bubbels geeft de neerslagersiviteit van de events weer.

De sedimentvracht in Velm wordt significant bepaald door de oppervlakte van het landbouwareaal, het aandeel erosiebestrijdingsmaatregelen en de neerslagersiviteit. Figuur 19 toont dat grote sedimentvrachten in de laatste jaren nog steeds voorkomen, maar tegelijk ook de grootste neerslagersiviteiten. Er is ook een duidelijk afname van het aantal grote events de afgelopen jaren als gevolg van de langere periodes van droogte.





Figuur 19 Sedimentvrucht (>P75) (ton ha-1) per event op de Molenbeek in Velm, de grootte van de bubbels geeft de neerslagerosiviteit van de events weer.

In tegenstelling tot de stroomgebieden in het Demerbekken, worden de stroomgebieden in het Bovenscheldebekken gekenmerkt door een zeer laag aandeel van erosiebestrijdingsmaatregelen. In de stroomgebieden van de Broekbeek, Molenbeek (Nukerke), Marie Borrebeek en Maarkebeek Leupegem varieert het oppervlakte landbouwpercelen met een EBM tussen de 1 en 9% t.o.v. het totale oppervlak van het stroomgebied (Tabel 9). De 9% oppervlakte in het stroomgebied van de Marie Borrebeek komt vooral door 1 groot perceel, maar eigenlijk dekt de maatregel niet het volledige perceel waardoor de inschatting van 9% te hoog is. In geen enkel van de bemeeten stroomgebieden werd dan ook een significante impact van de EBM op de sedimentvrucht vastgesteld.

Broekbeek in Maarke-Kerkem was er een daling van het landbouwoppervlak van 84 (2002) naar 64% in 2019 t.o.v. het totale oppervlak van het stroomgebied. Waarschijnlijk wordt er een deel van de percelen niet meer aangegeven als akkerland, maar dienen deze nu als particulier weiland. Er is geen significante toename van bebouwde oppervlakte. Er was ook een lichte stijging van de oppervlakte mais en een gelijkaardige daling in de oppervlakte aardappelteelt, maar beide hebben geen impact op de gemeten sedimentvrucht. De daling van het landbouwoppervlak heeft, naast de neerslagerosiviteit, wel een significante impact op daling van de sedimentvrucht.

Ook de sedimentvrucht gemeten in de Maarkebeek, Molenbeek Nukerke en Marie Borrebeek wordt significant bepaald door het aandeel landbouwareaal en de neerslagerosiviteit.

3.3 Jaarvrachten

Tabel 4 geeft een overzicht van de bemeeten jaarvrachten ter hoogte van de verschillende meetstations. De jaarvrucht werd berekend op alle metingen, niet alleen op basis van events.

De grootste gemiddelde sedimentvrucht werd gemeten op de Dijle (34.721 ton), het grootste stroomgebied. De laagste gemiddelde sedimentvrucht werd gemeten in de Broekbeek (231 ton), wat ook het kleinste bemeeten stroomgebied is. In de kleinere, hellende stroomgebieden zal er maar beperkte sedimentatie zijn op de rivierbedding (Antea, 2015). Bij grotere stroomgebieden zoals de Herk en de Dijle zal de totale sedimentaanvoer hoger liggen dan de bemeeten vrucht omdat een deel

onderweg op het land sedimenteert. Op basis van de sedimentbalans van de Dijle (VMM, 2020) bleek de reële sedimentaanvoer 48.320 ton per jaar. Hierbij werd rekening gehouden met de sedimentafzetting in de sedimentvang en overstromingsgebieden en de slibruiming.

Tabel 4 Gemiddelde, laagst en hoogste jaarlijks gemeten jaarvracht (ton jaar⁻¹), gemiddelde specifieke sedimentexport (ton ha⁻¹ jaar⁻¹) over de hele meetperiode en voor de meetperiode 2016 tot 2019.

	Gemiddelde jaarvracht (ton)	Laagste jaarvracht (ton)	Hoogste jaarvracht (ton)	Gemiddelde specifieke sedimentexport (ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	Gemiddelde Specifieke sedimentexport 2016-2019 (ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹)
Maarkebeek	6.201	2.247	12.905	1,20	0,66
Marie-Borrebeek	450	227	846	1,61	1,22
Molenbeek Nukerke	758	266	1.275	0,87	0,56
Broekbeek	231	105	407	1,06	0,57
Fonteinbeek	367	154	1.046	0,51	-
Molenbeek Velm	546	209	1.009	0,18	0,19
Melsterbeek	336	84	970	0,35	-
Cicindria	717	204	2.883	0,38	0,80
Herk	2.109	471	5.683	0,20	0,27
Dijle	34.721 ⁽¹⁾	11.986 ⁽¹⁾	67.296 ⁽¹⁾	0,39 ⁽¹⁾	0,24
Langegracht	643 ⁽¹⁾	257 ⁽¹⁾	1.712 ⁽¹⁾	0,76 ⁽¹⁾	0,49

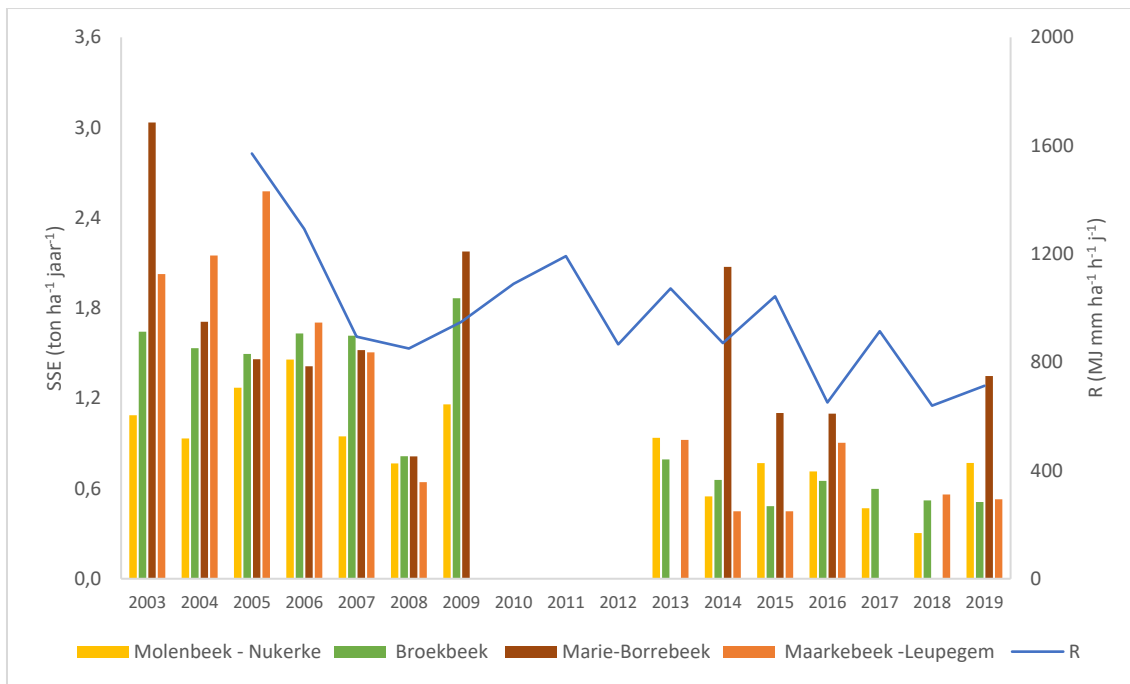
(1) Geschatte gemiddelde vracht van afgelopen 15 jaar, geïnterpoleerd op basis van neerslagersiviteit en debiet.

3.3.1 Trend in de tijd

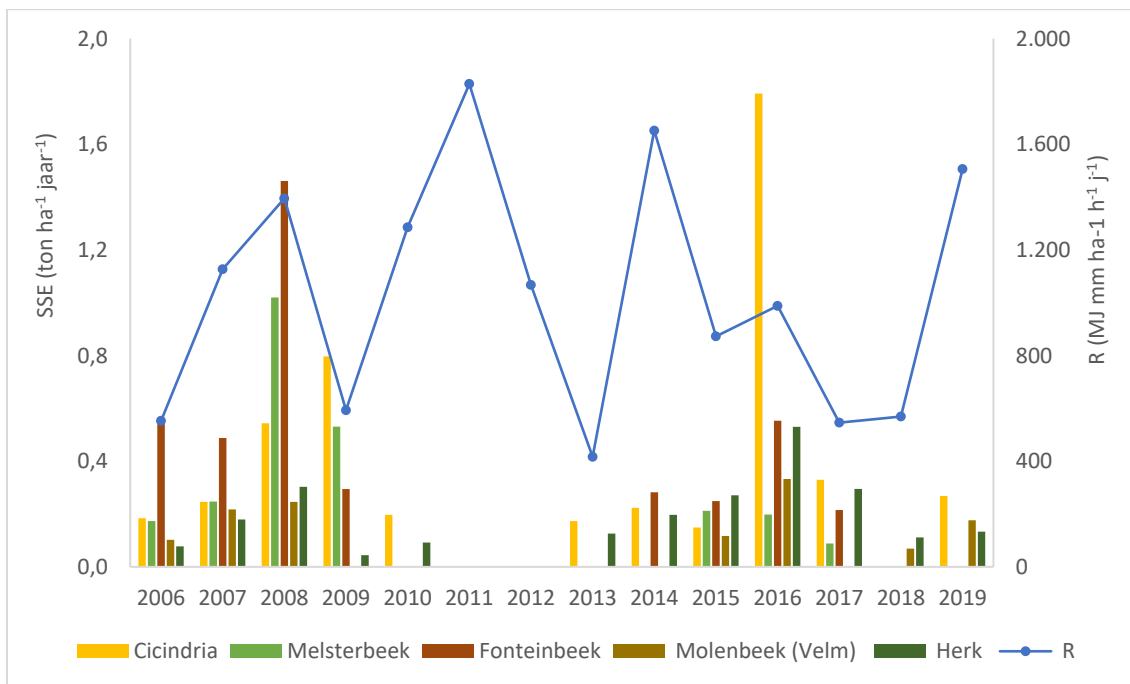
Om de vracht tussen verschillende stroomgebieden beter te kunnen vergelijken wordt de sedimentvracht ook vaak uitgedrukt in specifieke sedimentexport (SSE, ton/ha/jaar). Figuur 20 en 21 tonen de neerslagersiviteit, samen met de specifieke sedimentexport per jaar voor de respectievelijke meetstations van de Bovenschelde en het Demerbekken.

De SSE toont aan dat de sedimentaanvoer beduidend groter is in de stroomgebieden van de Bovenschelde dan het Demerbekken, hoewel het verschil kleiner wordt als alleen de laatste meetjaren worden bekeken. In het Bovenscheldegebied is de trend van de jaarlijkse neerslagersiviteit gelijkaardig aan de trend in de jaarlijkse sedimentvracht, wat de voornaamste verklaring voor de dalende trend is. In het Demerbekken is dit minder eenduidig.

De sedimentvracht in 2016 is in de meetstations van het Demerbekken relatief hoog tegenover de andere meetjaren. Hier zien we opnieuw de impact van de erosiebestrijdingsmaatregelen: op de Cicindria is de jaarvracht 4 keer hoger dan gemiddeld, voor de Herk en de Molenbeek Velm is deze respectievelijk 2,7 en 1,9 keer hoger dan gemiddeld. Dit staat duidelijk in relatie (R^2 0,84) tot het aandeel erosiebestrijdingsmaatregelen in het stroomgebied in 2016, respectievelijk 17, 24 en 45% voor de Cicindria, Herk en Molenbeek Velm.



Figuur 20 Specifieke sedimentexport (SSE) bemeaten in het stroomgebied van de Bovenschelde en de jaarlijkse neerslagersosiviteit (R) op basis van de pluvio in Maarke-Kerkem (in 2003 en 2004 was er nog geen pluvio data beschikbaar).



Figuur 21 Specifieke sedimentexport (SSE) bemeaten in het stroomgebied van het Demerbekken en de jaarlijkse neerslagersosiviteit (R) op basis van de pluvio in Niel-Bij-Sint-Truiden.

3.3.2 Verklarende factoren

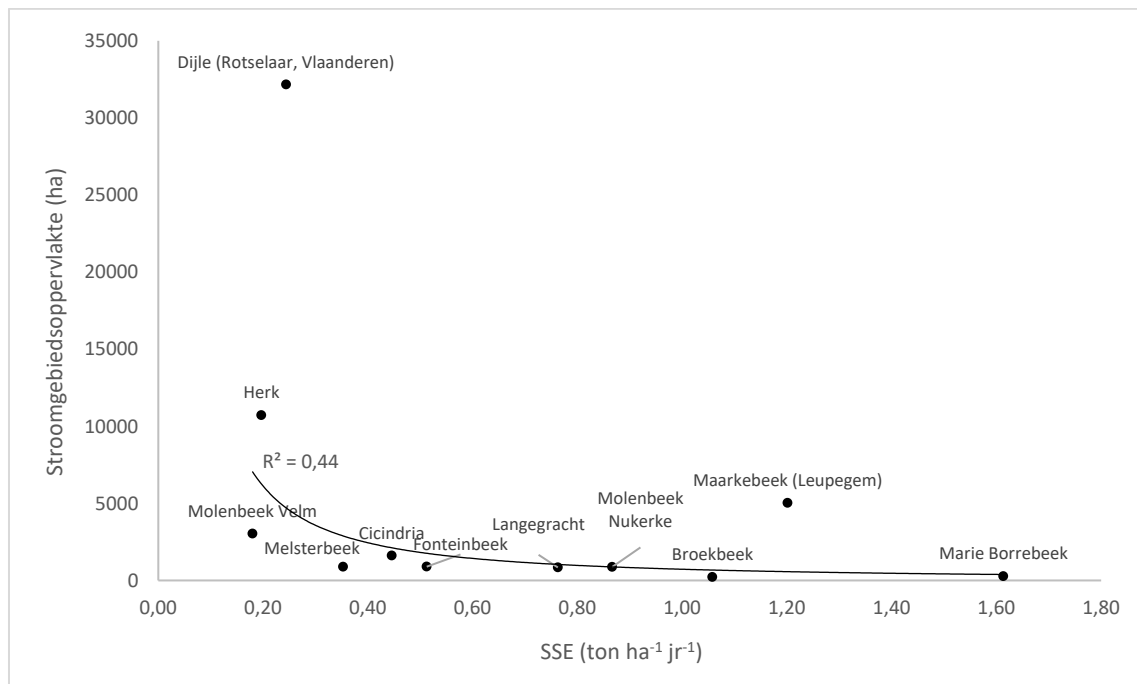
De specifieke sedimentexport (SSE) kent een dalende trend met toenemende oppervlakte van het stroomgebied. Dit werd al gerapporteerd door Verstraeten et al. (2000) en is ook duidelijk waarneembaar in Figuur 22. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de grotere stroomgebieden

potentieel meer vlakke gebieden hebben waar minder erosie is en meer sedimentatie mogelijk is. Resultaten uit andere onderzoeken zijn hieromtrent wel niet altijd eenduidig (Gay A., 2014).

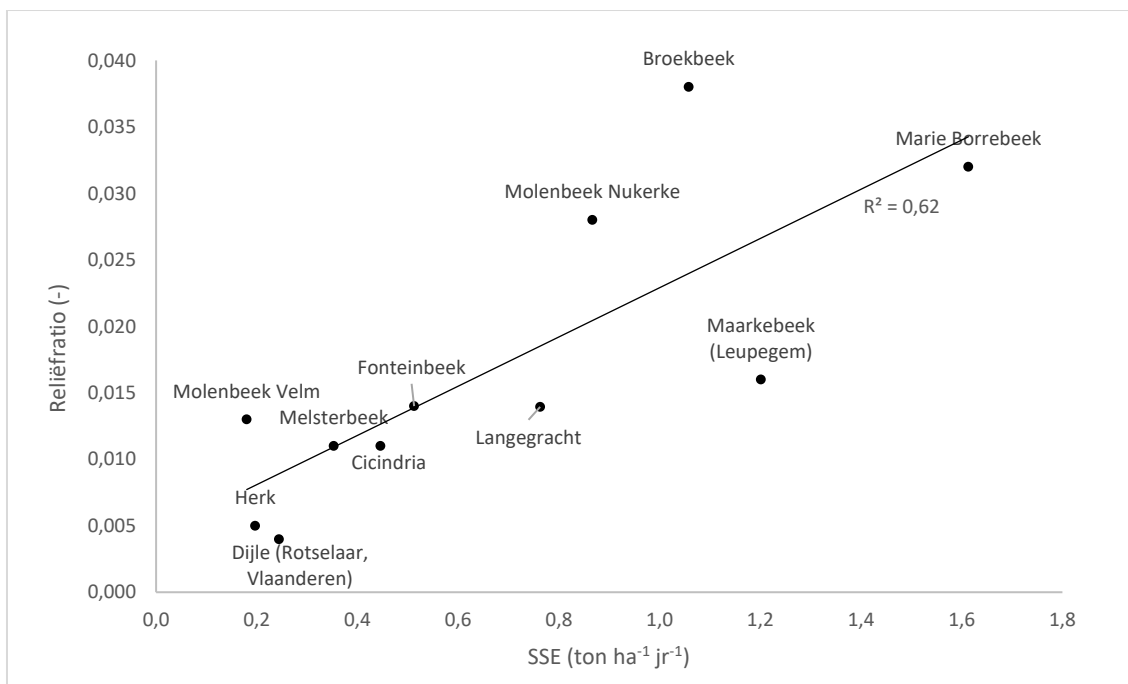
De reliëfratio (maximaal hoogteverschil/maximale lengte stroomgebied) van het stroomgebied kan beter gecorreleerd worden met de SSE (Fig. 23).

Ook is er een sterke correlatie tussen de SSE en het aandeel grasland in het landbouwareaal. In tegenstelling tot wat je zou verwachten is er een toename van SSE met het aandeel grasland (Fig. 24). Dit kan enerzijds verklaard worden doordat in erosieve hellende gebieden meer grasland wordt aangelegd door van het reliëf. Anderzijds is er bv. in het stroomgebied van de Dijle een groot aandeel natuurgebied dat niet wordt meegerekend als (landbouw-)grasland. Als er geen groot aandeel grasland zou zijn in de hellende stroomgebieden van de Bovenschelde zou de SSE nog beduidend hoger liggen. De SSE neemt ook toe met toenemende gemiddelde hellingsgraad en dichtheid van het afwateringsstelsel (Fig. 25, 26), trends die gelijkaardig zijn aan deze voor de sedimentconcentraties.

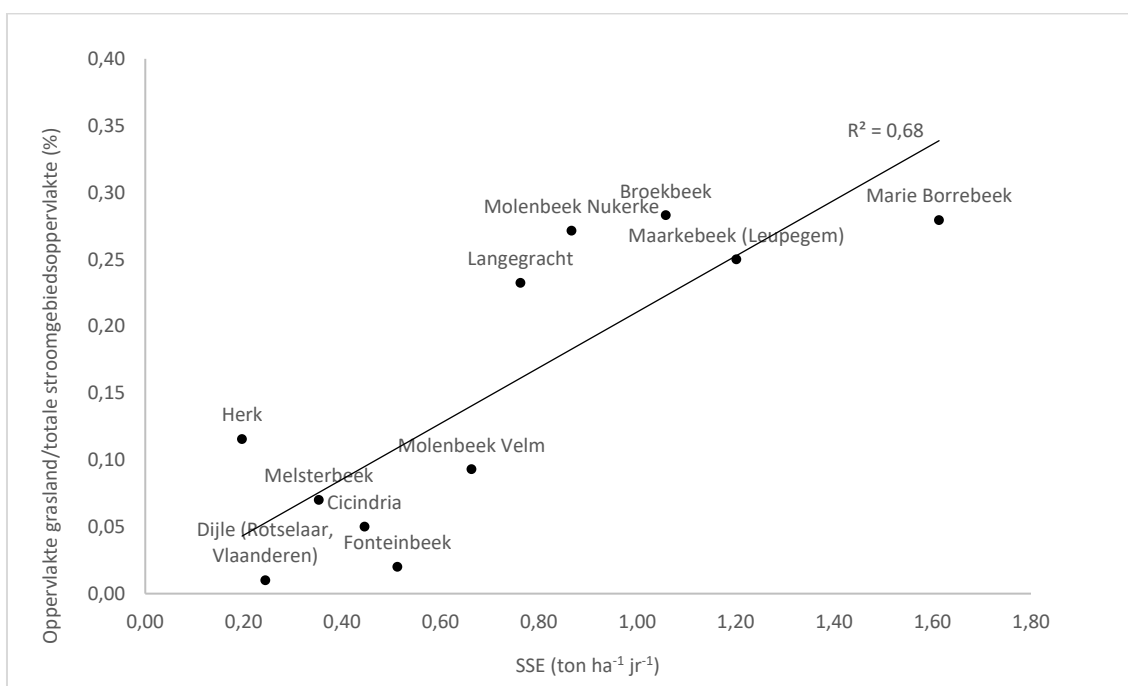
Er is een duidelijke exponentieel dalende trend in SSE met toenemend aandeel erosiebestrijdingsmaatregelen (Fig. 26). Het blijft duidelijk dat de stroomgebieden met de grootste SSE nog te weinig EBM aanleggen. Het kan zijn dat de bufferende capaciteit van het grasland en de snelle afvoer van sediment naar de waterloop (door de sterke helling in deze gebieden) een verkeerde interpretatie geeft van het erosieprobleem. In de stroomgebieden van het Demerbekken is er beduidend minder grasland en zijn er minder drainerende waterlopen waardoor er meer kans op modderoverlast is in bewoonde gebieden. Dat leidt tot een snellere detectie van het knelpunt en de implementatie van erosiebestrijdingsmaatregelen.



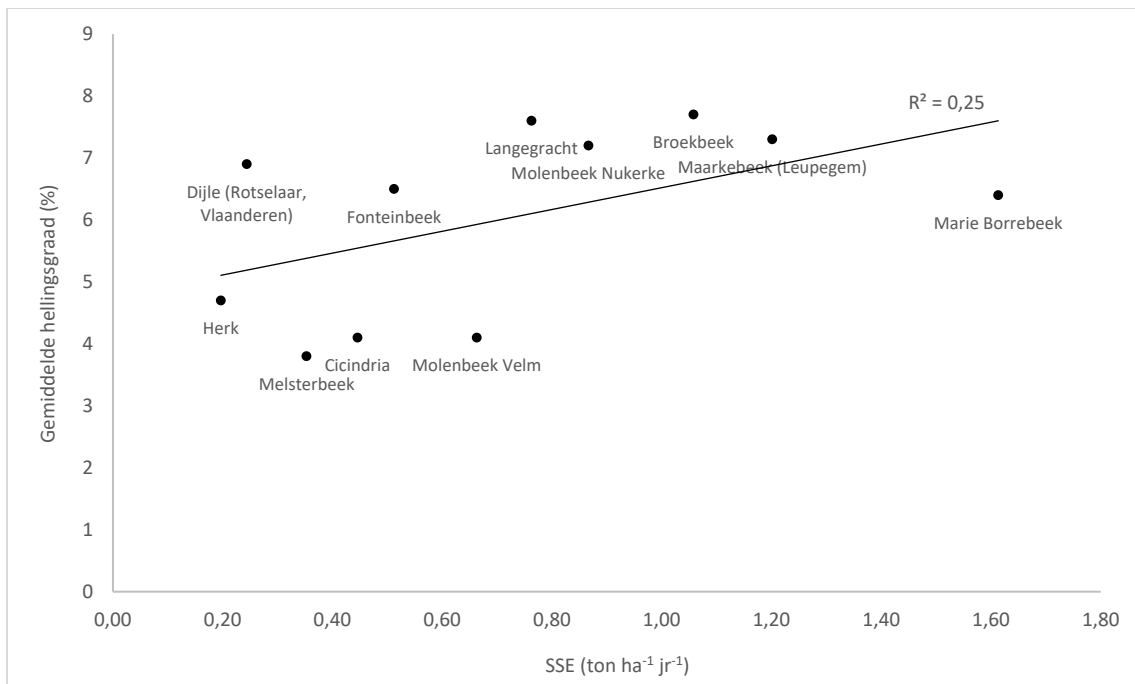
Figuur 22 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) ifv de oppervlakte van het bemeten stroomgebied (ha).



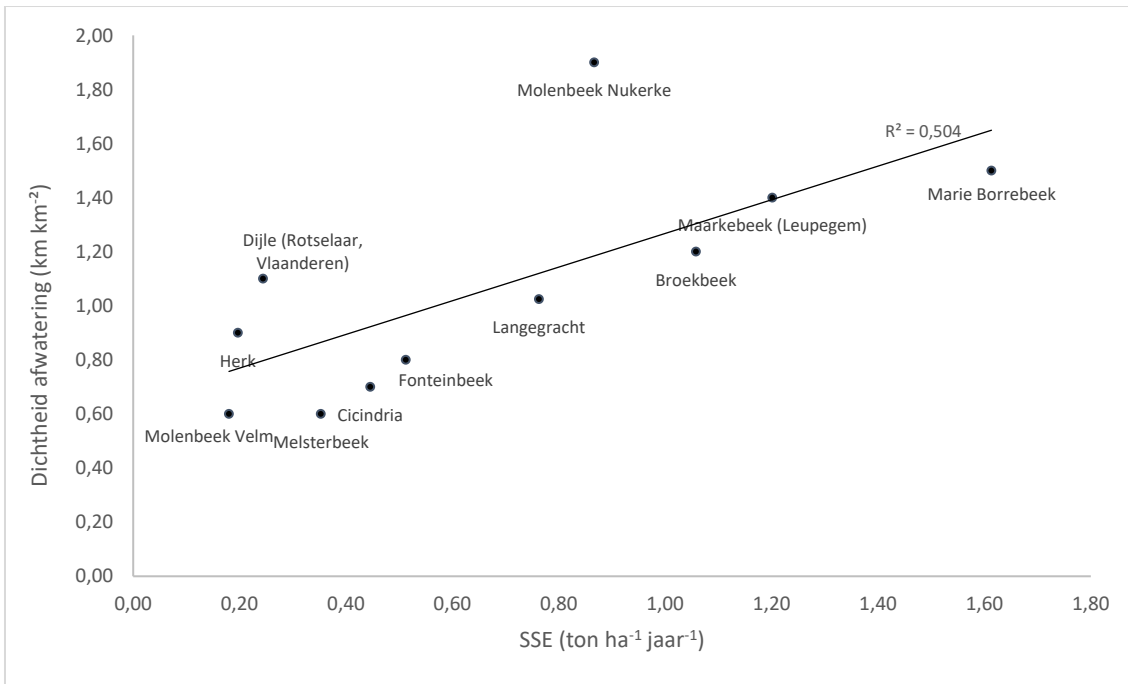
Figuur 23 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) i.f.v. de reliëfratio van het stroomgebied (-).



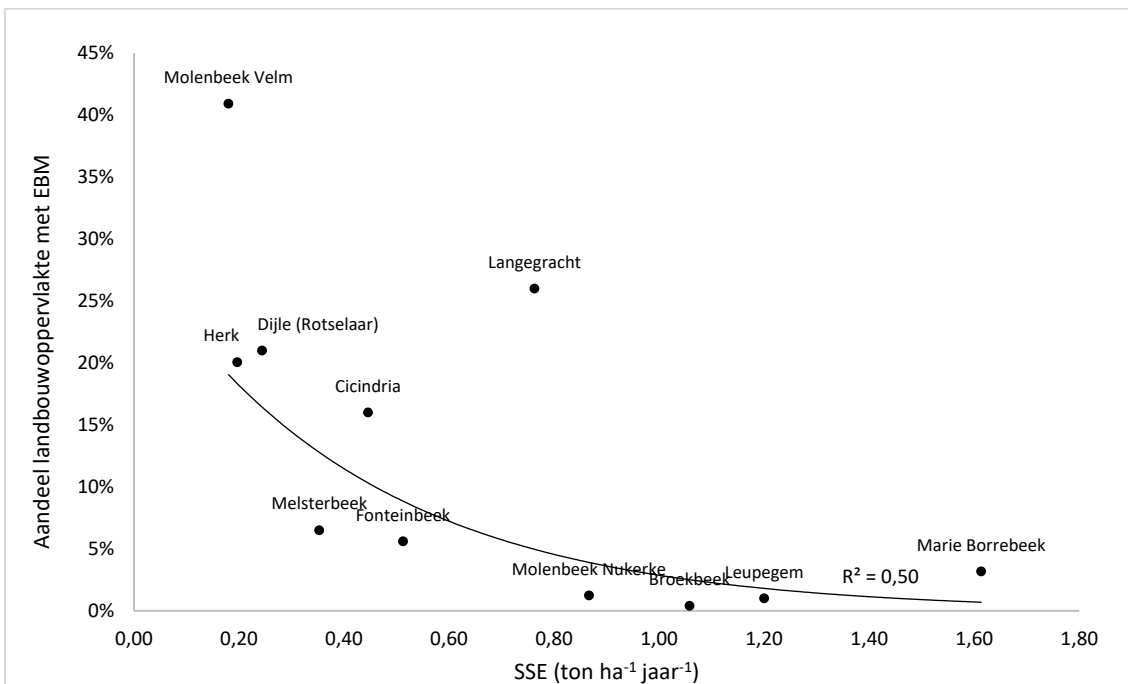
Figuur 24 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) i.f.v. de oppervlakte grasland in het landbouwareaal (%).



Figuur 25 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) ifv de gemiddelde hellingsgraad van het stroomgebied.



Figuur 26 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) ifv de dichtheid van het afwateringsstelsel (km waterloop km⁻²) van het stroomgebied.



Figuur 27 Specifieke sedimentexport (SSE, ton ha⁻¹ jr⁻¹) i.f.v. het aandeel erosiebestrijdingsmaatregelen (EBM) in het stroomgebied.

3.3.3 Sedimentvrucht bij laagwater

Op basis van de gemeten sedimentconcentratie bij laagwater (3.1.2) werd ook de laagwater-jaarvrucht berekend. De laagwatervrachten en totale gemeten jaarvrucht (cfr tabel 4) zijn weergegeven in tabel 5. Voor de stroomgebieden Maarkebeek, Marie Borrebeek en Molenbeek Nukerke is de vrucht

gemeten tijdens laagwater maar 2% tot 3% van de totale jaarvracht. Bij de Herk en de Dijle is de achtergrondvracht beduidend hoger (18 en 15% respectievelijk). De Dijle heeft een relatief hoge achtergrondsedimentvracht (15%). De voornaamste reden is de sterke meandering van de Dijle, waarbij natuurlijke erosie optreedt. Naar schatting 15% tot 20% van het gesuspendeerd materiaal komt van van oevererosie (Notebaert et al., 2009). Daarnaast stroomt de Dijle dwars door Leuven, een sterk verstedelijkt gebied. De hogere vracht op de Herk kan komen door de beperkte zuiveringsgraad van de riolering in het gebied, die onder het gemiddelde voor Vlaanderen ligt.

Tabel 5 Sedimentvracht per stroomgebied bij laagwater, de totale jaarlijkse sedimentvracht (zoals vermeld in tabel 4) en het procentueel aandeel van de laagwatervracht i.f.v. de totale vracht.

Waterloop	Vracht laagwater (ton/jaar)	Gemeten vracht (ton/jaar)	Aandeel vracht laagwater tov bemeten jaarvracht (%)
Maarkebeek (Leupegem)	205	6201	3%
Marie Borrebeek	10	450	2%
Molenbeek (Nukerke)	13	758	2%
Broekbeek	20	231	9%
Molenbeek (Velm)	54	546	10%
Cicindria	-	717	-
Herk	377	2109	18%
Dijle (Rotselaar)	5351	34.721	15%

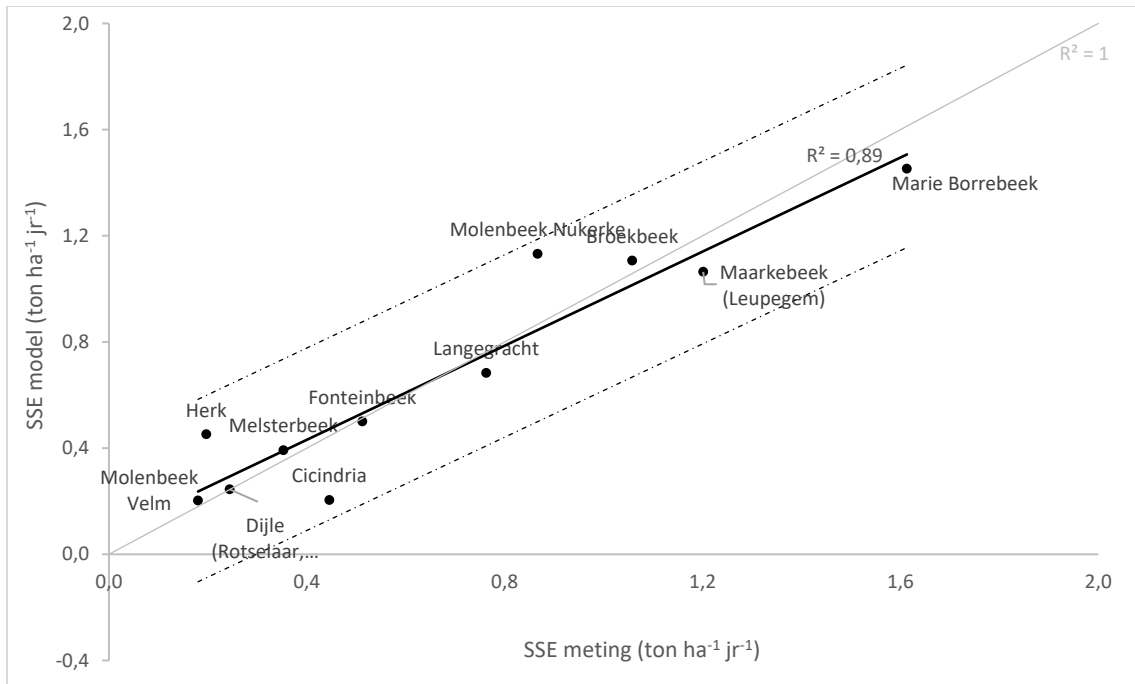
3.4 Regressiemodel

Op basis van een aantal stroomgebiedskenmerken kan een model worden opgemaakt dat 89% van de variantie in SSE verklaart (Tabel 6). Hoewel alleen de gemiddelde hoogte van het stroomgebied (Hmean, mTAW) in het model significant is, leveren de parameters 'aandeel landbouwareaal', 'reliëfratio' en 'aandeel EBM' een verbetering van de modelperformantie (toenemende adj. R²). Het model werd opgebouwd op basis van meetdata van een beperkt aantal stations in Vlaanderen. Een extrapolatie naar andere stroomgebieden op basis van dit model is niet aan te bevelen zonder verdere validatie, maar het model kan wel een inschatting geven van de impact van bepaalde parameters op de SSE voor deze stroomgebieden.

Figuur 28 geeft de gemodelleerde SSE tegenover de gemeten SSE op basis van het regressiemodel.

Tabel 6 Regressieparameters van het meervoudige regressiemodel.

R= ,94 R ² = ,89 Adjusted R ² = ,81 N=11 F(4,6)=11,67 p<,005 Std.Error of estimate: ,20				
	b	Std.Err.	t(6)	p-value
Intercept	1,13	0,44	2,55	0,04
%akker	1,28	0,60	2,13	0,08
Hmean	-0,02	0,01	-3,29	0,02
RR	11,36	8,75	1,30	0,24
EBM	-0,94	0,61	-1,53	0,18



Figuur 28 Gemodelleerde i.f.v. gemeten specifieke sedimentexport (ton ha⁻¹ jr⁻¹) op basis van het regressiemodel (Tabel 4), met het 95% betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 7 geeft een overzicht van de predictieresultaten met de veronderstelling dat er geen EBM in het stroomgebied aanwezig zouden zijn en wanneer het landbouwareaal zou afnemen met 10%.

Voor de stroomgebieden met een beperkt aandeel EBM is de toename in SSE zoals verwacht heel klein (Tabel 7). Voor het stroomgebied Molenbeek Velm zou de SSE 66% hoger liggen wanneer er geen EBM geïmplementeerd waren. Dat toont aan dat de EBM wel degelijk een grote impact hebben op het stroomgebied ondanks de toegenomen jaarvruchten de afgelopen jaren. Dit zagen we ook al in de verminderde piekconcentraties in dit stroomgebied. De reductie in sedimentaanvoer voor de Melsterbeek is een onderschatting van de actuele situatie anno 2019 aangezien de metingen dateren van de periode 2006-2016. Sinds 2016 zijn nog bijkomende maatregelen geïmplementeerd in het stroomgebied en zal de huidige reductie hoger zijn.

Als we in de stroomgebieden van de Bovenschelde de helft van het landbouwareaal zouden beschermen met een EBM, zou, volgens het model, de SSE 32 tot 40% dalen. De daling is beduidend minder dan in het stroomgebied van Molenbeek Velm omdat in deze stroomgebieden minder akkerland is.

Een afname van het landbouwareaal met 10% (omzetting akkerland naar bv. gras of bos) heeft een heel grote impact op de stroomgebieden met een groot landbouwareaal zoals de Molenbeek Velm en de Cicindria. Het implementeren van bv. strategisch grasland in het stroomgebied zou de SSE efficiënt kunnen doen dalen door enerzijds het aandeel akkerland te doen afnemen en anderzijds een bufferende werking te hebben op de hoge piekconcentraties.

Simulaties in het stroomgebied van de Maas toonden een daling van 18% tot 46% van de sedimentaanvoer wanneer het aandeel grasland met bijna 20% zou toenemen ten koste van akkerland (Ward et al., 2009). Van Rompaey et al. (2002) begrootte de impact van een afname van het landbouwareaal met 10% op een reductie van 24% in sedimentaanvoer in het stroomgebied van de Dijle. Dit ligt in de lijn met de 17% voor dit stroomgebied die berekend werd op basis van het regressiemodel.

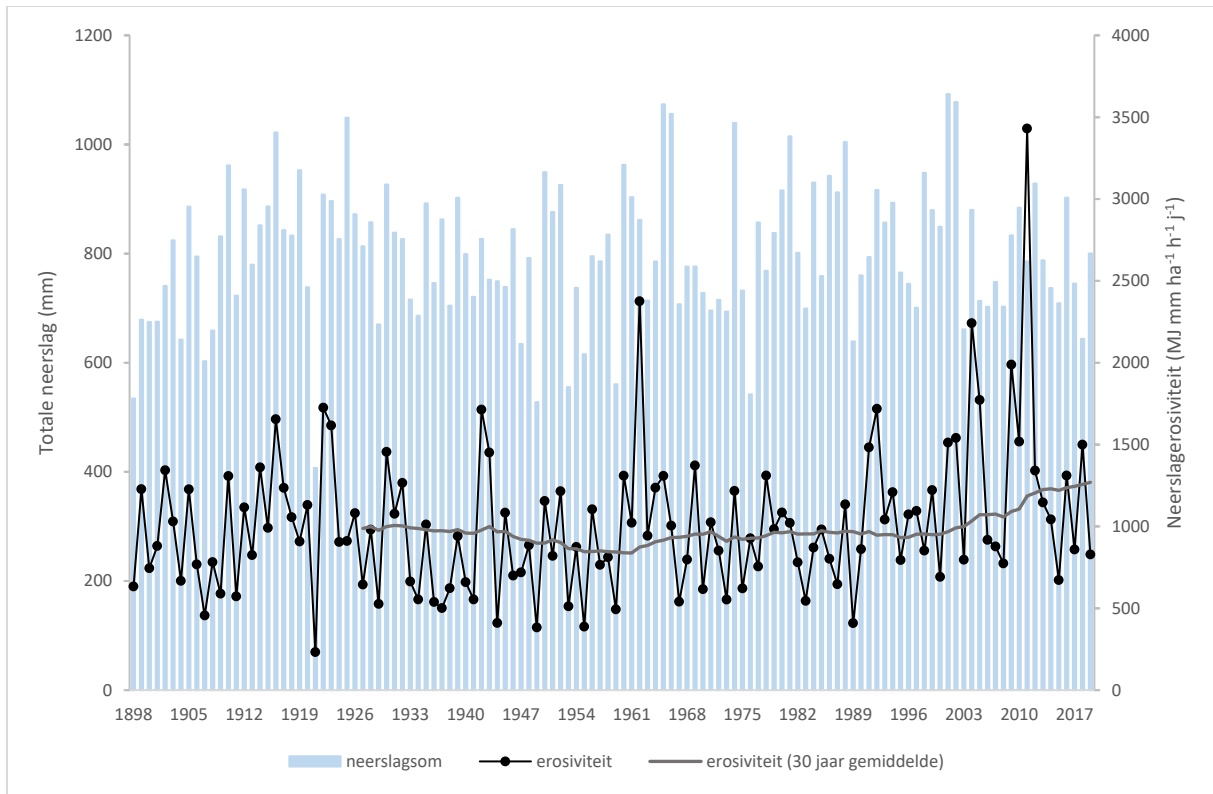


Tabel 7 Predictieresultaten van het regressiemodel voor het scenario waarbij geen erosiebestrijdingsmaatregelen zouden aangelegd zijn in het stroomgebied (SSE 0% EBM) en wanneer er een afname van 10% van het landbouwareaal zou zijn (SSE -10% landbouwareaal), met respectievelijk het 95% betrouwbaarheidsinterval (\pm) en de relatieve toename of afname van de SSE per scenario.

	SSE 0% EBM (ton/ha/jr)	Relatieve toename SSE 0% EBM	SSE -10% landbouwareaal 10% (ton/ha/jr)	Relatieve afname SSE -10% landbouwareaal
Broekbeek	1,11 (\pm 0.40)	0%	1,02 (\pm 0.46)	-8%
Marie Borrebeek	1,48 (\pm 0.34)	2%	1,36 (\pm 0.33)	-6%
Molenbeek Nukerke	1,14 (\pm 0.24)	1%	1,03 (\pm 0.24)	-9%
Maarkebeek (Leupegem)	1,07 (\pm 0.34)	1%	0,97 (\pm 0.28)	-9%
Molenbeek Velm	0,59 (\pm 0.36)	66%	0,10 (\pm 0.43)	-50%
Herk	0,64 (\pm 0.41)	29%	0,37 (\pm 0.24)	-19%
Cicindria	0,35 (\pm 0.39)	42%	0,11 (\pm 0.32)	-44%
Dijle (Rotselaar, Vlaanderen)	0,44 (\pm 0.52)	45%	0,20 (\pm 0.49)	-17%
Langegracht	0,93 (\pm 0.33)	26%	0,59 (\pm 0.25)	-14%
Fonteinbeek	0,55 (\pm 0.31)	10%	0,43 (\pm 0.31)	-15%
Melsterbeek	0,45 (\pm 0.41)	13%	0,29 (\pm 0.34)	-26%

3.5 Impact van klimaatverandering op de sedimentaanvoer naar de onbevaarbare waterlopen

Zowel de gemeten piekconcentratie als sedimentvrachten werden significant bepaald door de neerslagerosiviteit. Figuur 29 geeft de neerslagerosiviteit op basis van de pluviograaf te Ukkel (Gobeyn et al., 2021). Ondanks de sterke variatie in jaarlijkse neerslagerosiviteit, is er een stijgende trend in de 30-jarig gemiddelde neerslagerosiviteit. Sinds 2000 is er een toename van bijna 20% op het voortschrijdend gemiddelde. Ook in de periode 1903-1912 tot 1993-2002 werd een toename van de R-factor met 24% tot 34% waargenomen (Verstraeten et al., 2006).



Figuur 29 Jaarneerslag, neerslagerosiviteit en voortschrijdend 30 jarig gemiddelde neerslagerosiviteit op basis van de pluviograaf in Ukkel (Gobeyn et al, 2021).

Niet alleen de stijgende trend van de neerslagerosiviteit heeft een belangrijke impact op de sedimentaanvoer, maar ook, zoals al eerder aangegeven de spreiding van de erosieve buien gedurende het jaar. Figuur 30 en 31 geven de gemiddelde maandelijkse neerslagerosiviteit per jaar voor de respectievelijke pluviografen te Maarke-Kerkem en Niel-Bij-Sint-Truiden. Net als in figuur 7 is het verschil in grootte-orde van neerslagerosiviteit tussen de pluviogrammen in het Demerbekken en Bovenscheldebekken duidelijk.

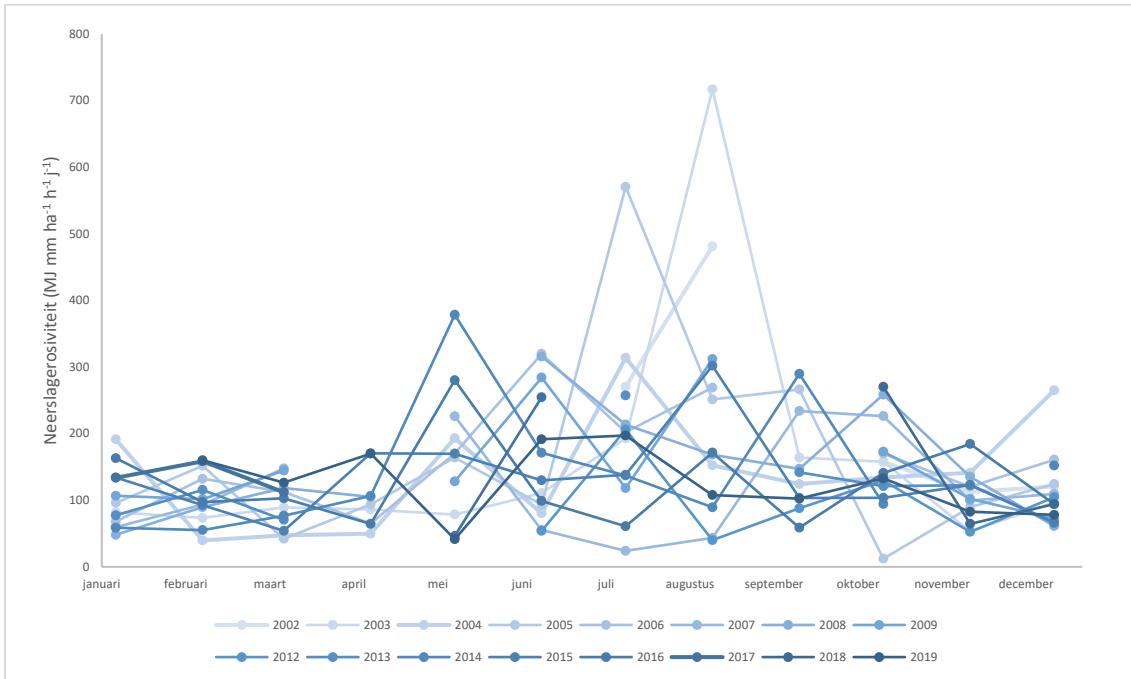
In Maarke-Kerkem lag de gemiddelde neerslagerosiviteit heel hoog in de eerste jaren, wat we ook al zagen in de sedimentvrachten in de omgevende stroomgebieden van Bovenschelde.

In Niel-Bij-Sint-Truiden vallen vooral de grote erosieve neerslagbuien van de afgelopen jaren op. Waar we de pieken in de eerste meetjaren vooral in juli en augustus zien, zijn er nu ook pieken in april tot juni. Hoewel er een trend is, is deze verschuiving niet statistisch significant. De neerslagerosiviteit heeft in de periode april tot mei een grotere impact op de erosie dan in juli of augustus omdat de gewasbedekking dan nog niet of onvolledig ontwikkeld is. Ook Mullan et al. (2018) rapporteerden dat de klimaatsopwarming een impact heeft op een verschuiving van de erosieve neerslagbuien vroeger in het jaar.

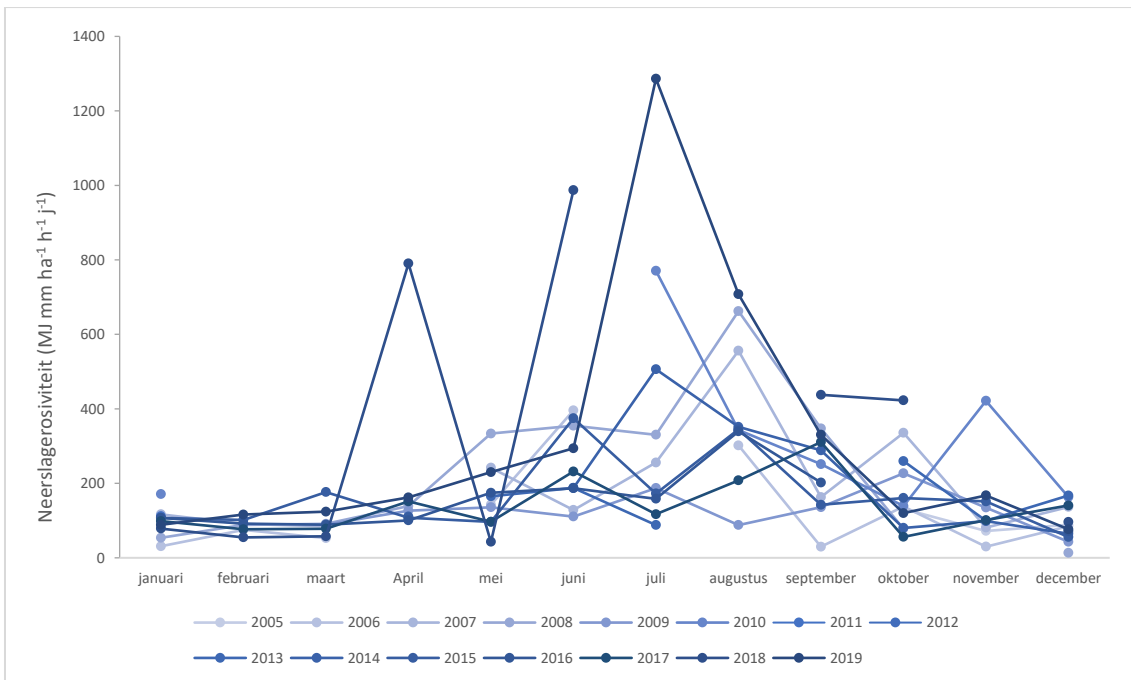
Modellering van sedimentvrachten in het Maasbekken (Ward et al., 2009) toonden aan dat tegen 2100 de sedimentaanvoer naar de waterloop zal toenemen met 8% tot 12% als gevolg van een toenemende neerslagerosiviteit (bij gelijkblijvend landbouwareaal). Nearing et al. (2005) rapporteerde dat als de neerslag zou toenemen met 10%, waarvan 50% van de toename veroorzaakt wordt door meer intense buien, de bodemerosie zou kunnen toenemen met 25% tot 55%. Mullan et al. (2018) berekende een toename van de sedimentaanvoer met respectievelijk 10% en 22% voor een temperatuurstijging van +1.5°C en 2°C.



Ook op basis van het meetnet zien we dat de sedimentvrachten in het Demerbekken een lichte toename of geen verandering in de tijd kennen (3.2.1), ondanks de toename van EBM. Deze trend konden we duidelijk toeschrijven aan een toename in neerslagerosiviteit. Het begroten van deze impact blijft moeilijk omwille van de verschillende invloedsparameters en de relatief korte meetperiode (2006-2019).



Figuur 30 Gemiddelde neerslagerosiviteit (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ j⁻¹) per jaar op basis van de pluviograaf in Maarke-Kerkem



Figuur 31 Gemiddelde neerslagerosiviteit (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ j⁻¹) per jaar op basis van de pluviograaf te Niel-Bij-Sint-Truiden

De specifieke sedimentexport in de bemeten stroomgebieden ligt in de grootteorde van andere bemeten stroomgebieden met dezelfde karakteristieken (Verstraeten et al., 2006; Vanmaercke et al., 2011)

Ondanks de afname van de **erosieve neerslagevents** in het Bovenscheldebekken de afgelopen jaren, is er een toename met bijna 20% van het voortschrijdend gemiddelde van de jaarlijkse neerslagerosiviteit voor 2019 t.o.v. 2000. Op basis van het meetnet zien we dat de sedimentvrachten in het Demerbekken een licht toenemen of niet veranderen (3.2.1), ondanks de toename van EBM. Deze trend konden we duidelijk toeschrijven aan een toename in neerslagerosiviteit. Ook zien we een verandering in de spreiding van de neerslagevents, met meer uitgesproken erosieve buien in de zomerperiode.

Deze trends hebben niet alleen een impact op de toenemende sedimentvrachten die al vastgesteld werden, maar spelen ook een belangrijke rol in de beleidsaanbevelingen voor de toekomst.

De bemeten sedimentvrachten zijn hoog en de trends zijn niet hoopgevend. Deze hoge sedimentlast is nefast voor het waterbergingsvermogen en de ecologische toestand van de waterloop. Het implementeren van erosiebestrijdingsmaatregelen verloopt te traag en de impact van het veranderende klimaat haalt het effect van de bestaande maatregelen onderuit.

5 AANBEVELINGEN

Er zijn nog een beduidend aantal stroomgebieden waar maar een marginaal aandeel vrijwillige erosiebestrijdingsmaatregelen zijn geïmplementeerd en de verplichte maatregelen statistisch geen impact hebben op de sedimentaanvoer. Dit zijn meteen ook de meest hellende gebieden waar de grootste sedimentexport plaatsvindt. Het is dan ook cruciaal om in deze gebieden op korte termijn **maatregelen te implementeren en de naleving van de verplichte maatregelen beter op te volgen.**

De daling van de piekconcentraties in de stroomgebieden met een belangrijk aandeel EBM toont aan dat deze wel degelijk een impact hebben op de erosie in het stroomgebied. Door een hogere neerslagafstroming (mede door uitzonderlijke neerslagevents) bleven de sedimentvrachten hoog. In het stroomgebied Molenbeek Velm wordt geschat dat de hoge implementatie van EBM (50% van de landbouwooppervlakte heeft een EBM) zorgde voor een daling van 66% sedimentaanvoer naar de waterloop. Toch is de bufferende capaciteit van de aangelegde EBM te beperkt om de zware erosieve neerslagevents van de afgelopen jaren (en wellicht ook toekomstige) op te vangen. **Het implementeren van bijkomende maatregelen en een uitbreiding van bestaande maatregelen lijkt onafwendbaar om de aanvoer van sediment naar de waterloop te doen dalen.** Een belangrijke beperking hierbij is de beschikbare ruimte om dit uit te voeren in Vlaanderen waar het landbouwareaal nu al onder druk staat.

Er is een duidelijke correlatie tussen de sedimentconcentratie en SSE met de dichtheid van het afwateringsstelsel in een stroomgebied. Grachten en greppels zorgen voor een versnelde afvoer van geërodeerd materiaal naar de waterloop. Het belang van connectiviteit op de sedimentaanvoer werd al aangetoond door Boardman et al. (2019). Het **bufferen van sediment in grachten en poelen, naast brongerichte maatregelen op het perceel zelf**, kan een bijkomende daling van de sedimentpiek betekenen. Het stroomgebied Molenbeek Velm toont aan dat, gelet op de toenemende extreme events, het moeilijk is om voldoende buffering op de landbouwpercelen zelf te realiseren. Grachten zijn bestaande structuren die flexibel kunnen ingezet worden bij deze extreme events. Het bufferen

van afstromend water heeft als bijkomend voordeel dat het water in periodes van droogte langer stroomopwaarts kan infiltreren. Nadeel van het gebruik van grachten als buffer is de maatschappelijke kost voor het slibruimen van deze grachten.

Het aandeel landbouwareaal in het stroomgebied heeft een duidelijke impact op de sedimentconcentratie en -vracht in de waterloop. Een beperkte daling van het aandeel akkerland geeft al een grote daling van de sedimentlast. Het **aanleggen van grasland op strategische locaties** is een heel efficiënte manier om de sedimentaanvoer naar de waterloop te verminderen. Simulaties in het stroomgebied van de Maas toonden een daling van 18% tot 46% van de sedimentaanvoer wanneer het aandeel grasland met bijna 20% zou toenemen ten koste van bewerkt akkerland (Ward et al., 2009). Van Rompaey et al. (2002) begrootte een reductie van 24% in sedimentaanvoer in het stroomgebied van de Dijle bij een afname van het akkerareaal met 10%. Ook op basis van de regressiemodellering in deze studie worden in de Vlaamse stroomgebieden trends vastgesteld in die grootteorde.

De impact van erosiebestrijdingsmaatregelen was duidelijk in de stroomgebieden waar de maatregelen intensief geïmplementeerd werden. De impact van de verstrenging van de randvoorwaarden (sinds 2016) werd niet waargenomen in de metingen. Waarschijnlijk is de efficiëntie van de maatregelen in de praktijk beduidend lager dan de theoretisch vooropgestelde reductie (o.a. door expertengroep erosie bij de randvoorwaarden) en worden de verplichte maatregelen niet volledig geïmplementeerd. Een **correcte toepassing van de opgelegde randvoorwaarden, verhoogd toezicht op de naleving en bijkomende structurele maatregelen** zijn dus onontbeerlijk in de reductie van sedimentaanvoer naar de waterloop.

De meest duurzame oplossing is om primair in te zetten op brongerichte maatregelen. Toch is het ook noodzakelijk om, gelet op de diffuse verspreiding van erosie en trage implementatie van maatregelen, ook bijkomende maatregelen in de waterloop uit te voeren, zoals de aanleg van **sedimentvangen**. Op basis van de sedimentmetingen, modellering en knelpuntinventarisatie in de waterloop werd door de VMM een sedimentvangplan opgesteld. Hierin zijn de prioritair aan te leggen sedimentvangen aangeduid per stroomgebied. In totaal heeft de VMM nu 50 sedimentvangen.



6 TOEKOMST SEDIMENTMEETNET

Door grote variabiliteit in neerslagerosiviteit en de heel trage implementatie van erosiebestrijdingsmaatregelen, is het essentieel om te blijven meten en uiteindelijk over een voldoende lange meetreeks te beschikken. Gay et al. (2014) toonde aan dat een minimale tijdsreeks van 18 jaar noodzakelijk is om een variantie lager dan 10% op de bemeten jaarvrachten te bekomen. Alleen voor de langst bemeten stroomgebieden van de Bovenschelde naderen we deze tijdspanne. Bij de overige meetstations zijn bijkomende meetjaren nodig, hoewel er voor bepaalde stroomgebieden wel een goede inschatting kon gemaakt worden op basis van de correlatie met de neerslagerosiviteit en het bemeten debiet in de waterloop (Dijle, Langegracht). Deze extrapolatie houdt geen rekening met de implementatie van EBM en kan dus alleen voor stroomgebieden waar het aandeel EBM tot op heden nog beperkt is.

Er zijn verschillende methodes om de sedimentaanvoer naar de waterlopen te begroten zoals modellering, proefveldmetingen en tracers (Parsons, 2019). Sedimentmetingen in de waterloop zijn de enige metingen die de sedimentvracht op stroomgebiedsniveau en de impact van verschillende factoren kunnen meten in praktijk. De meeste metingen van de impact van erosiebestrijdingsmaatregelen worden uitgevoerd op perceelschaal, waarbij de geïmplementeerde erosiebestrijdingsmaatregelen altijd correct zijn aangelegd en onderhouden worden. In realiteit lijkt de impact en efficiëntie van EBM beduidend kleiner.

Sedimentmetingen blijven cruciaal in de begroting en aanpak van sedimentaanvoer naar de waterloop, maar de metingen zijn arbeidsintensief en niet haalbaar gebiedsdekkend voor Vlaanderen. De data van het sedimentmeetnet vormen dan ook de basis voor de kalibratie en validatie van het sedimentmodel. Met dit model kan de sedimentaanvoer naar alle Vlaamse waterlopen begroot worden, dankzij de referentiemetingen in het sedimentmeetnet. Het model laat ook toe scenarioanalyses uit te voeren om de sedimentproblematiek efficiënt aan te pakken. Daarnaast zal ook een sedimenttransportmodel ontwikkeld worden om de sedimentatie en erosie in de waterloop zelf te kunnen begroten, wat zoals aangetoond voor de Dijle, noodzakelijk is om de finale slibbalans op te maken.

Het meetnet heeft vandaag als grote beperking dat het maar in enkele bovenstroomse gebieden een langere meetreeks beschikbaar heeft. Een uitbreiding naar andere stroomgebieden, waarbij ook vlakkere gebieden aan bod komen, is essentieel om de impact van klimaat en maatregelen te begroten en het beleid bij te sturen.



7 REFERENTIES

VMM, 2008. Sedimentexport door onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen Metingen 2003-2007. D/2008/6871/021

Departement Landbouw en Visserij, 2016, <https://www.vlaanderen.be/publicaties/praktijkgids-water-in-de-land-en-tuinbouw-katern-erosie>

Antea, 2015. Modellerings van de sedimentaanvoer naar de waterlopen, het effect van de erosiebestrijdingsmaatregelen en het transport van sediment in de onbevaarbare waterlopen. Bestek nr. WAT/L 2012 S 0005 X. [Calibrations sediment model for Maarkebeek in ICM]

De Lannoy, G., 2000. Ruimtelijke en temporele karakteristieken van neerslag bepaald met radarbeelden, p 177.

Gay, A., Cerdan, O., Delmas, M., Desmet, M., 2014. Variability of suspended sediment yields within the Loire river basin (France). *J Hydrol* 519: 1225–1237.

Gobeyn, S., Van de Wauw, J., De Vleeschouwer, N., Renders, D., Van Ransbeeck, N., Verstraeten, G. & Deproost, P. (2021). Herziening van de neerslagerosiviteitsfactor R voor de Vlaamse erosiemodellerings. Departement Omgeving, Brussel, 44 pp.

Departement Landbouw en Visserij, 2016. Randvoorwaarden erosiebestrijding, p7.

Mullan, D, Matthews, T, Vandaele, K, et al., 2019. Climate impacts on soil erosion and muddy flooding at 1.5 versus 2°C warming. *Land Degrad Dev.*; 30: 94– 108.

Nearing, M.A., v. Jetten, C. Baffaut, O. Cerdan, A. Couturier, M. Hernandez, Y. LE Bissonais, M.H. Nichols, J.P. Nunes, C.S. Renschler, V. Souchère, and K. Van Ost., 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena* 61: 131-154.

Notebaert, B., Verstraeten, G., Rommens, T., Vanmontfort, B., Govers, G., Poesen, J., 2009. Establishing a Holocene sediment budget for the river Dijle. *Catena* 77, 150–163.

Steege, A. 2001. Sediment deposition in and export from small agricultural catchments. Niet gepubliceerde doctoraatsthesis, Leuven, 220p.

Vandaele, K. & Poesen, 1995. J. Spatial and temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium. *Catena* 25, 213-226.

Vanmaercke, M., Poesen, J., Verstraeten, G., de Vente, J., Ocakoglu, F., 2011. Sediment yield in Europe: spatial patterns and scale dependency. *Geomorphology* 130, 142–161.

Van Rompaey, A. J. J., Govers, G., & Puttemans, C., 2002. Modelling land use changes and their impact on soil erosion and sediment supply to rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 481–494.

Verstraeten, G., 2000. Modderoverlast, sedimentatie in wachtbekkens en begroting van de sedimentexport naar waterlopen in Midden-België. P 271.

Verstraeten, G., Poesen, J., Demarée, G., & Salles, C., 2006. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D22).

//

VMM, 2020. Sedimentbalans van de Dijle. Intern Rapport.

Swerts, M., Broekaert, S., Deproost, P., Renders, D. & Oorts K., 2020. Bodemerosierisico-indicator Vlaanderen (2008-2019). Departement Omgeving, Brussel.



8 BIJLAGEN

Tabel 8 Totale lengte waterlopen (VHA) (L_{tot} , km), maximale lengte stroomgebied (L_{max} , km), reliëfratio ((minimale hoogte – maximale hoogte)/ L_{max}), gemiddelde helling en gemiddelde hoogte per stroomgebied.

	L_{tot} (km)	L_{max} (km)	RR (-)	Helling (%)	H (m)
Broekbeek	1,20	1933	0,038	7,7	78
Marie Borrebeek	1,50	2308	0,032	8,1	55
Molenbeek Nukerke	1,90	3683	0,028	7,2	76
Maarkebeek (Leupegem)	1,40	8358	0,016	7,3	72
Molenbeek Velm	0,60	9355	0,013	4,1	101
Herk	0,90	15731	0,005	4,7	84
Cicindria	0,70	6295	0,011	4,1	107
Dijle (Rotselaar, Vlaanderen)	1,10	32929	0,004	6,9	68
Langegracht	1,02	5165	0,014	7,6	79
Fonteinbeek	0,80	3370	0,014	6,5	88
Melsterbeek	0,60	5111	0,011	3,8	108

Tabel 9 Oppervlakteaandeel van het landbouwareaal, grasland (tijdelijk en blijvend), aardappelen, mais, bomen en erosiebestrijdingsmaatregelen (EBM) in de bemeten stroomgebieden.

	Jaar	% landbouwareaal	% grasland	% aardappelen	% mais	% bomen	% EBM*
Broekbeek	2002	82	26	4	18	<1	0
	2019	64	30	2	11	<1	1
Marie Borrebeek	2002	79	27	7	14	<1	0
	2019	68	28	4	18	<1	9
Molenbeek Nukerke	2002	84	23	8	12	<1	0
	2019	71	27	6	15	<1	2
Maarkebeek (Leupegem)	2017	76	29	9	13	0	1
Molenbeek Velm	2006	88	8	4	2	9	31*
	2019	77	8	9	4	12	48
Herk	2006	75	10	1	6	10	13*
	2019	67	12	3	8	17	27
Cicindria	2006	76	5	2	4	15	14*
	2019	69	5	5	5	17	18
Dijle (Rotselaar, Vlaanderen)	2009						5
	2019	32	1	2	6	0	37
Langegracht	2009						17
	2019	76	23	6	12	0	35
Fonteinbeek	2012	58	18	2	6	6	6
Melsterbeek	2012	86	6	2	8	13	7

*Rekening houdend met maatregelen gerealiseerd door het Erosiebesluit, lokaal aangelegde maatregelen (Provinciaal, wateringen ...) en de beheerovereenkomsten (BO). De Data van de BO beschikbaar vanaf 2008, in 2008 bedroeg het aandeel BO en andere geïmplementeerde maatregelen (gemeentelijk, provinciaal ...) respectievelijk 31 en 15% voor het stroomgebied Molenbeek Velm en Herk. De eerdere jaren werden ingeschat op basis van lineaire extrapolatie.

