



Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen

TECHNISCH RAPPORT

## Hoofdstuk 21

# Ecosysteemdienst regulatie van erosierisico

*Katrien Van Der Biest, Peter Van Gossum, Eric Struyf, Toon Van Daele*



 Instituut voor  
Natuur- en Bosonderzoek



**Auteurs:**

Katrien Van Der Biest, Universiteit Antwerpen, ECOBE  
Peter Van Gossum, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek  
Eric Struyf, Universiteit Antwerpen, ECOBE  
Toon Van Daele, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

**Vestiging:**

INBO Brussel  
Kliniekstraat 25, 1070  
www.inbo.be

**e-mail:**

Peter.Vangossum@inbo.be; katrien.vanderbiest@ua.ac.be

**Wijze van citeren:**

Van Der Biest K., Van Gossum P., Struyf E., Van Daele T. (2014). Hoofdstuk 21 – Ecosysteemdienst regulatie van erosierisico (INBO.R.2014.2065899). In Stevens, M. et al. (eds.), Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2014.1988582, Brussel.

**D/2014/3241/183**

**INBO.R.2014.2065899**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

**Foto cover:**

Grasbufferstrook als erosiereducerende maatregel (Jeroen Mentens/Vildaphoto)

De andere hoofdstukken van het Natuurrapport 'Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen - Technisch rapport' kunt u raadplegen op [www.nara.be](http://www.nara.be).



Ecosystem Management  
Research Group (Ecobe)  
University of Antwerp



ECOPLAN  
Planning for Ecosystem Services



inbo

Instituut voor  
Natuur- en Bosonderzoek

# Hoofdstuk 21 – Ecosysteemdienst regulatie van erosierisico

**Katrien Van der Biest, Peter Van Gossum, Eric Struyf, Toon  
Van Daele**

INBO.R.2014.2065899

## Hoofdlijnen

- Het totale bodemverlies als gevolg van watererosie in Vlaanderen wordt geschat op 1,7 miljoen ton. Ongeveer 0,5 miljoen ton hiervan komt jaarlijks terecht in onze waterlopen. 40% van dit bodemverlies is afkomstig van 36.000 ha erosiegevoelige percelen.
- Deze analyse gaat er van uit dat enkel ecosystemen met een lage gewaserosiegevoeligheid, gelegen in bodemerosiegevoelige gebieden, de dienst regulatie van erosierisico kunnen leveren. Uit de analyse blijkt dat de dienst in Vlaanderen geleverd wordt door 223.400 ha. Dit levert een vermeden erosie op van jaarlijks 1,7 miljoen ton. Daartegenover staat dat op 71.900 ha erosiegevoelig gebied een bodembedekking met een hoge gewaserosiegevoeligheid voorkomt, waardoor er een bijkomende erosie is van 400.000 ton.
- Voor de maatschappij zijn de financiële baten die erosiereducerende maatregelen opleveren veel groter dan de kosten. Voor de landbouwer, die de maatregelen uitvoert, zijn de kosten hoger dan de baten. Daarom zullen de meeste landbouwers zonder tussenkomst van de overheid niet overgaan tot het nemen van erosiereducerende maatregelen.
- Door een verstrenging van het erosiebeleid stijgt de oppervlakte waarop landbouwers verplicht erosiereducerende maatregelen moeten nemen van ongeveer 10.000 ha naar 50.000 ha.
- Het mechanisme achter de dienst regulatie van erosierisico wordt gedreven door abiotische ecosysteemstructuren (reliëf, neerslag, bodemtextuur en -structuur, ruwheid van het bodemoppervlak) die bepalen of een terrein gevoelig is voor bodemerosie, en door de vegetatie en bedekking met gewasresten, die bepalen in welke mate de intrinsieke erosiegevoeligheid van het terrein verminderd wordt. De dienst is het grootst in *erosiegevoelige gebieden met een hoge bodembedekking (via vegetatie en gewasresten), een goede bodemstructuur en een ruw bodemoppervlak*, en waar er voorkomen wordt dat het geërodeerd materiaal het erosiegevoelige perceel verlaat of waar de modderstroom zo hoog mogelijk in het afstromingsgebied gebufferd wordt.
- Verschillende erosiereducerende maatregelen hebben een positief effect op de biodiversiteit. Vanuit de landbouwsector is er vraag om dit positief effect te beperken tot neutrale of landbouwondersteunende biodiversiteit en dus te vermijden dat landbouwschadelijke biodiversiteit ook vooruitgaat.

# Inhoudsopgave

<b>Hoofdpijnen</b> .....	<b>4</b>
<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>5</b>
<b>Inleiding en leeswijzer</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Begrippen en belang in Vlaanderen</b> .....	<b>8</b>
1.1. Bodemerosie en bodemverlies .....	8
1.2. Belang van bodemerosie door water in Vlaanderen.....	8
1.3. De natuurlijksgraad van erosiereducerende maatregelen.....	9
<b>2. Menselijk welzijn</b> .....	<b>11</b>
2.1. Minder verlies van vruchtbare bodem .....	11
2.2. Vermindering van het verlies aan archeologisch en landschappelijk patrimonium .....	11
2.3. Minder schade aan private en publieke infrastructuur door modderstromen .....	12
2.4. Vermindering van de sedimentaanvoer naar Vlaamse waterlopen.....	12
2.5. Vermindering van de rioolwaterzuivingskost .....	14
2.6. Vermindering van de belasting van de omgeving en het oppervlaktewater met nutriënten en contaminanten.....	14
2.7. Monetaire waardering van de maatschappelijke effecten .....	15
<b>3. Governance</b> .....	<b>15</b>
3.1. Begunstigden van de ESD .....	16
3.2. Ecosysteembeheerders .....	17
3.3. Belangenorganisaties.....	17
3.4. Tussenpersonen.....	18
<b>4. Drivers</b> .....	<b>18</b>
4.1. Indirecte drivers .....	18
4.2. Directe drivers.....	19
<b>5. Ecosysteemstructuren en -processen</b> .....	<b>24</b>
5.1. Ecosysteemstructuren.....	24
5.2. Ecosysteemprocessen .....	26
<b>6. Toestand van de ecosystemedienst</b> .....	<b>28</b>
6.1. Bodembedekkingsaanbod.....	28
6.2. Vraag .....	32
6.3. Gebruik.....	33
<b>7. Invloed van de ESD op biodiversiteit</b> .....	<b>34</b>
7.1. Terrestrisch .....	34
7.2. Aquatisch .....	35
<b>8. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik</b> .....	<b>37</b>
8.1. Impact van de ESD op de toekomstige levering van de dienst.....	37
8.2. Impact van de ESD op de huidige en toekomstige levering van andere diensten .....	38
8.3. Link van de gradiënt natuurlijk-technologisch met de impact van de ESD .....	39
<b>9. Kennislacunes</b> .....	<b>40</b>
<b>Lectoren</b> .....	<b>41</b>
<b>Referenties</b> .....	<b>42</b>
<b>Bijlage 1 Gewaserosiegevoeligheid van de verschillende landgebruiken</b> .....	<b>47</b>

## Inleiding en leeswijzer

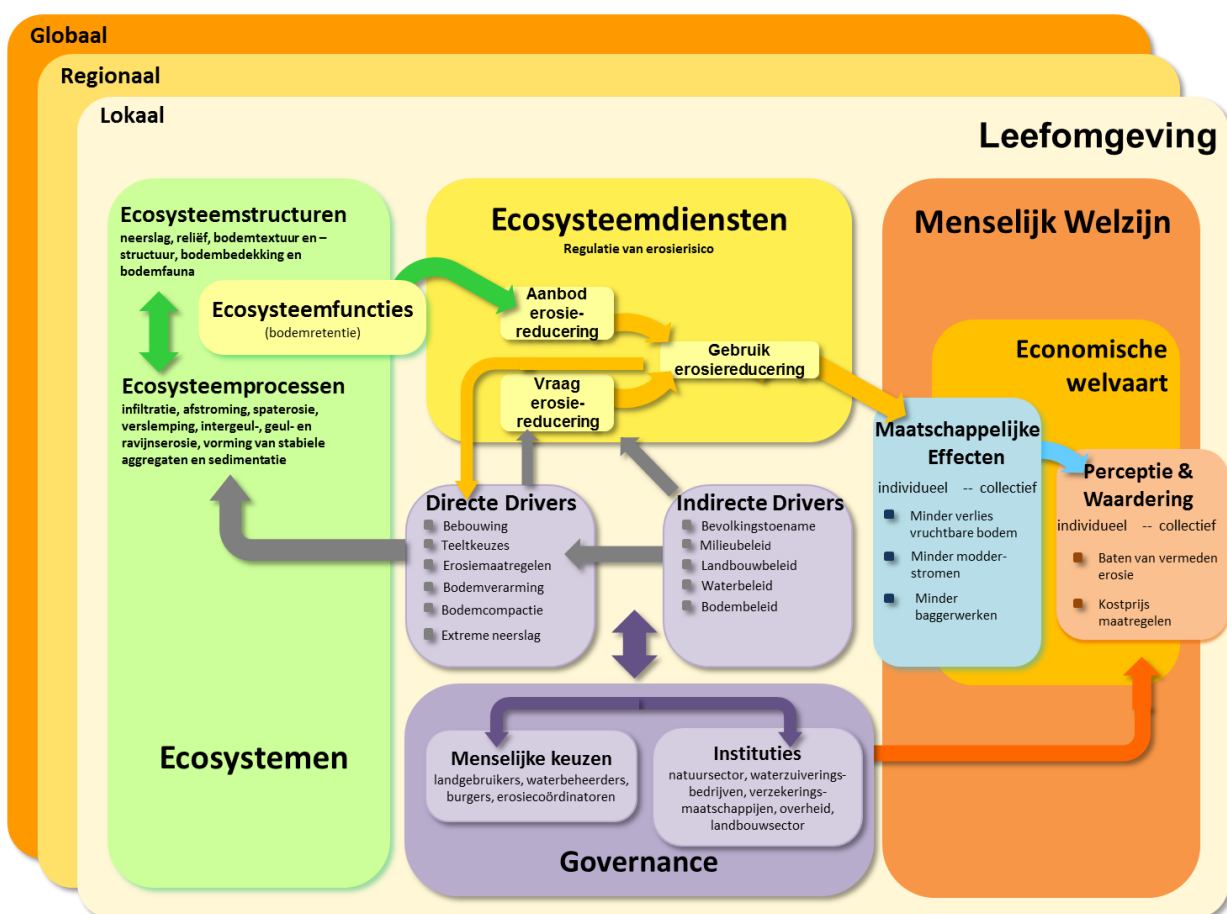
Het hoofdstuk 'regulatie van erosierisico' is een onderdeel van het technisch rapport 'Toestand en trends van ecosysteemdiensten in Vlaanderen'. Dit technisch rapport bestaat uit 2 inleidende hoofdstukken, 8 thematische hoofdstukken en 16 ecosysteemdienstenhoofdstukken. Het eerste inleidende hoofdstuk bespreekt de aanleiding en doelstelling van dit rapport. In het tweede inleidende hoofdstuk wordt de voornaamste begrippen en de ESD cyclus (zie Figuur 1) uitgelegd. De 8 thematische rapporten bespreken de drivers voor vraag en aanbod van ecosysteemdiensten, toestand en trend van ecosysteemdiensten, toestand en trend van ecosystemen, biodiversiteit en ecosysteemdiensten, ecosysteemdiensten en welzijn, waardering van ecosysteemdiensten, interacties en duurzaam gebruik van ecosysteemdiensten en governance van ecosysteemdiensten. De 16 ecosysteemhoofdstukken bespreken voedselproductie, wildbraadproductie, houtproductie, productie van energiegewassen, waterproductie, bestuiving, plaagbeheersing, behoud van bodemvruchtbaarheid, regulatie van luchtkwaliteit, regulatie van geluidsoverlast, regulatie van erosierisico, regulatie van overstromingsrisico, kustbescherming, regulatie van globaal klimaat, regulatie van waterkwaliteit en groene ruimte voor buitenactiviteiten. In het voorliggende hoofdstuk worden de definities van ecosysteemdiensten en ecosystemen geformuleerd en wordt de ESD cyclus geconcretiseerd voor de ecosysteemdienst regulatie van erosierisico. Voor een uitgebreide bespreking van de begrippen wordt er verwezen naar het tweede inleidende hoofdstuk.

*Ecosysteemdiensten* (ESD) zijn de voordelen die de samenleving van ecosystemen ontvangt onder de vorm van materiële of immateriële goederen en diensten. De ecosysteemdienst regulatie van erosierisico is het verminderen van bodemerosie door water en wind in erosiegevoelige gebieden, door het gebruik van minder erosiegevoelige bodembedekking en/of het nemen van erosiereducerende maatregelen (Costanza *et al.* 1997). Bodemerosie is een hoofdbedreiging van bodems in Europa (Rusco *et al.* 2008). In paragraaf 1.1 wordt meer in detail ingegaan op bodemerosie door water en wind en op twee andere fenomenen die resulteren in bodemverlies, zijnde bodemverlies door bewerking en door rooien van gewassen. In paragraaf 1.2 wordt het belang van regulatie van erosierisico in Vlaanderen beschreven.

*Ecosystemen* zijn een samenhangend geheel van biotische en abiotische relaties binnen een afgebakende eenheid. Harde grenzen kunnen niet getrokken worden omdat elk detailproces, elke populatie en elke interactie andere grenzen kent. Daarnaast kan een 'ecosysteem' ook sterk variëren in natuurlijkheidsgraad. De meeste Vlaamse ecosystemen (bv. raaigrasweide, maïsakker, laagstamboomgaard, populierenbos) hebben een beperkte natuurlijkheidsgraad. Binnen deze groep van ecosystemen is er een grote variatie van de mate waarin de dienst regulatie van het erosierisico geleverd wordt, gaande van een zeer beperkte mate van levering door ecosystemen met akker- en tuinbouwgewassen tot een zeer grote mate van levering door ecosystemen met een permanente bedekking (bv. raaigrasweide, populierenbos). Systemen met een hogere natuurlijkheidsgraad (bv. eiken-haagbeukenbos, blauwgrasland) hebben meestal een lagere gewaserosiegevoeligheid en bij deze ecosystemen wordt de dienst regulatie erosierisico steeds in hoge mate geleverd. Sommigen beschouwen regulatie van erosierisico daarom eerder als een bescherming tegen een bedreiging (bv. erosie wordt beschouwd als een hoofdbedreiging van de Europese bodems; Rusco *et al.* 2008) dan als een ecosysteemdienst (zoals bv. gedaan wordt door Costanza *et al.* 1997). In dit rapport is ervoor gekozen om regulatie van erosierisico als een dienst te bespreken. Enerzijds omdat er een vraag is naar de regulatie van erosierisico en anderzijds omdat het actuele aanbod van de ecosystemen in Vlaanderen onvoldoende is om erosie tegen te gaan. De erosiereducerende maatregelen kunnen ingedeeld worden volgens hun natuurlijkheidsgraad (zie paragraaf 1.3).

De vraag naar de ecosysteemdienst regulatie van erosierisico vertrekt vanuit de ondervonden maatschappelijke kosten (zie paragraaf 2). Inwoners van stroomafwaarts gelegen gebieden worden getroffen door modderstromen en lokale overheden staan in voor het verwijderen van modder op wegen en openbaar domein. Bodemerosie is ook verantwoordelijk voor sedimentaanvoer naar waterlopen, rioleringen en wachtbekkens. Hierdoor worden waterbeheerders geconfronteerd met hoge ruimingskosten en lopen ook waterzuiveringsinstallaties schade op. Bovendien gaan bodemerosie en sedimentaanvoer gepaard met de verspreiding van nutriënten, bestrijdingsmiddelen en zware metalen, met een negatieve impact op de kwaliteit van het oppervlaktewater (gebaseerd op LNE – ALBON 2011). Deze maatschappelijke gevolgen van bodemerosie leidden er toe dat de betrokken actoren (zie paragraaf 3) hun wensen aan de overheid kenbaar maakten, wat resulteerde in een erosiebeleid van de Vlaamse overheid (een

indirecte<sup>1</sup> driver, zie paragraaf 4.1). Dit erosiebeleid tracht door verplichtingen en stimulerende maatregelen landbouwers er toe aan te zetten om hun landbouwpraktijk of hun landgebruik (directe drivers, zie paragraaf 4.2) aan te passen, zodat de off-site gevolgen van erosie verminderen. De overheidsstimulans is nodig omdat de on-site gevolgen, zoals de vermindering van de bodemvruchtbaarheid, voor de landbouwer op de korte termijn beperkt zijn (zie paragraaf 2). De aanpassingen van het landgebruik en/of exploitatie werken in op de ecosysteemstructuren en -processen (paragraaf 5). De ecosysteemstructuren (bodembiodiversiteit, vegetatie, bodemtextuur- en structuur, reliëf, neerslag) en -processen (infiltratie, verdamping, spaterosie, verslemping, intergeul-, geul- en ravijnrosie, vorming van stabiele aggregaten, sedimentatie) zijn gerelateerd aan de ecosysteefunctie bodemretentie. Omdat mensen van deze functie gebruik maken ontstaat de ecosysteefunctie regulatie van erosierisico. Door de aanpassingen van het ecosysteem (bv. minder erosiegevoelig gewas, decompactie van de verdichte bodem) stijgt het aanbod van de ecosysteefunctie regulatie van erosierisico (zie paragraaf 6.1). Door het effectief gebruik (paragraaf 6.3) van dit aanbod, verminderen de negatieve maatschappelijke effecten en dus ook de maatschappelijke kosten. De erosiereducerende maatregelen hebben een invloed op de biodiversiteit (paragraaf 7) en op het aanbod van andere ecosysteefuncties (paragraaf 8).



**Figuur 1.** ESD cyclus regulatie van erosierisico

<sup>1</sup> Indirecte drivers zijn factoren die geen rechtstreeks effect op de ecosysteemprocessen hebben, maar die wel beïnvloeden via directe drivers.

# 1. Begrippen en belang in Vlaanderen

## 1.1. Bodemerosie en bodemverlies

*Bodemerosie door water* is een proces waarbij bodemdeeltjes door de impact van regendruppels en afstromend water worden losgemaakt en getransporteerd, hetzij laagsgewijs over een grote oppervlakte (intergeulerosie), hetzij geconcentreerd in geulen (geulerosie) of ravijnen (ravijnerosie). Het meegevoerde bodemmateriaal wordt sediment genoemd ([www.lne.be/bodemerosie](http://www.lne.be/bodemerosie)). Bodemerosie door water komt ook in natuurlijke omstandigheden voor, maar door agrarische activiteiten en niet agrarische grondwerken, kan het met een factor 100 tot 1000 toenemen (Poesen *et al.* 1996).

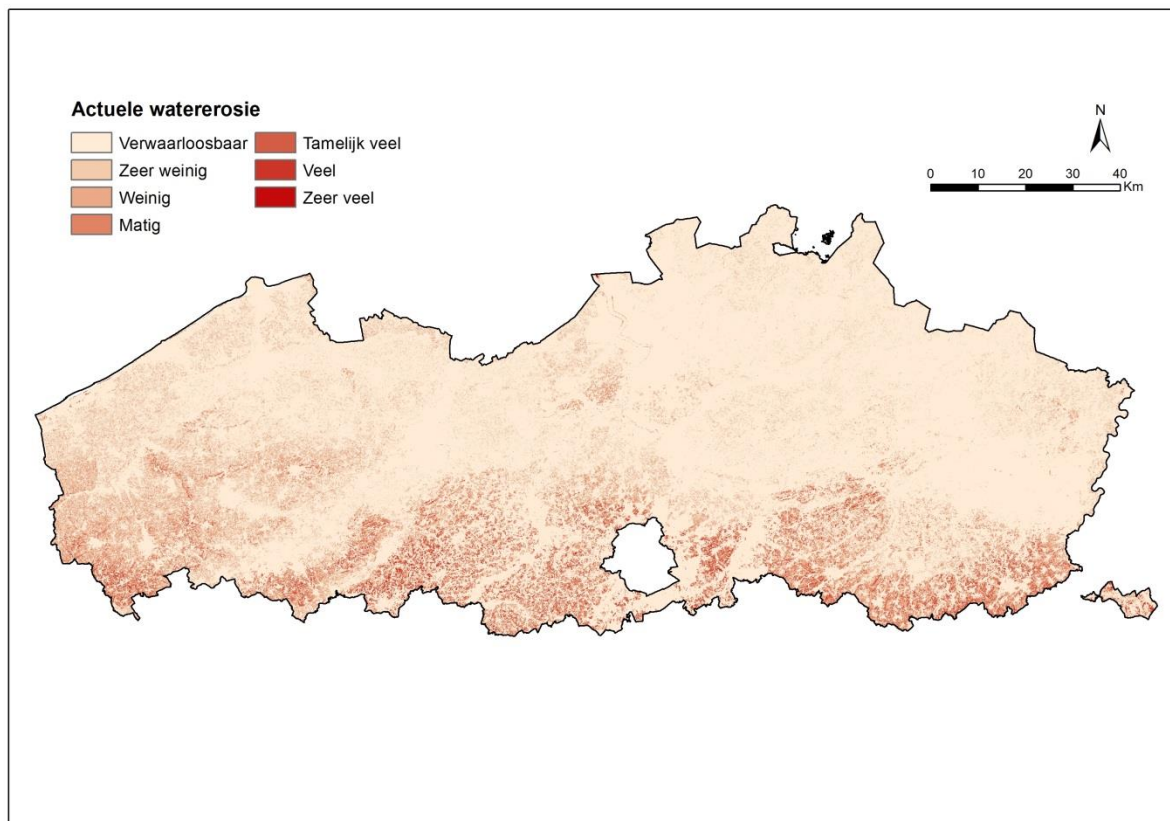
*Bodemerosie door wind* is een proces waarbij bodemdeeltjes door de wind worden meegenomen en over een bepaalde afstand getransporteerd. Het potentieel risico is het grootst aan de Kust, in de Vlaamse zandstreek en in de Antwerpse en Limburgse Kempen (Van Kerckhoven *et al.* 2009). Hoewel tijdens sommige jaren aanzienlijke winderosie-events kunnen optreden (Van Kerckhoven *et al.* 2009), blijkt het actueel bodemverlies door winderosie laag te zijn. Dat heeft te maken met de aanwezige vegetatie in de risicogebieden. Daarom werd in dit rapport gekozen om enkel bodemerosie door water te bespreken.

Twee andere fenomenen die leiden tot een bodemverlies van vergelijkbare grootte als bodemerosie door water, zijn bodemverlies door bewerking (Govers *et al.* 1994, Van Muysen *et al.* 2000) en bodemverlies door het oogsten van wortelgewassen (aardappelen, bieten) (Ruysschaert *et al.* 2005). *Bodemverlies door bewerken* is het losmaken en verplaatsen van bodemdeeltjes ten gevolge van bodembewerking door landbouwmachines (ploegen) (Govers *et al.* 1994, Van Muysen *et al.* 2000). Dit leidt tot een netto afname van bodemmateriaal op convexe delen van het landschap en een netto accumulatie van bodemmateriaal in concave delen van het landschap. Bewerkingserosie komt, net zoals bodemerosie door water, vooral voor in heuvelachtige gebieden, waar intensief aan akkerbouw, sierteelt of groententeelt wordt gedaan. Het is wel belangrijk te benadrukken dat bodemerosie door water een grotere milieu-impact heeft dan bodemverlies door bewerken of oogsten. Dat komt omdat bij bodemerosie door water een groot gedeelte van het losgemaakte sediment door het afstromend water terecht komt in beken en rivieren (Verstraeten *et al.* 1999).

Het bodemerosiebeleid in Vlaanderen is tot nog toe hoofdzakelijk toegespitst op de bestrijding van bodemerosie door water, hoewel de meest brongerichte maatregelen ook effectief zijn tegen de andere vormen van bodemerosie.

## 1.2. Belang van bodemerosie door water in Vlaanderen

De meest gevoelige gronden voor bodemerosie door water komen voor in heuvelachtige gebieden met een zandlemige tot lemige bodem. Op niveau Vlaanderen zijn dit Haspengouw, de Vlaamse Ardennen, het Hageland, het West-Vlaamse Heuvelland en het Pajottenland (Figuur 2). Het totale bodemverlies als gevolg van watererosie in Vlaanderen wordt geschat op 1,7 miljoen ton (Figuur 2; MIRA 2011). Ongeveer 0,5 miljoen ton hiervan komt jaarlijks terecht in onze waterlopen (MIRA 2011). Uit Tabel 1 blijkt dat ongeveer 40% van het bodemverlies door bodemerosie door water afkomstig is van 36.000 ha erosiegevoelige percelen.



**Figuur 2.** Bodemerosie door water in Vlaanderen (voor de methode zie paragraaf 6.1)

**Tabel 1.** Bodemerosie door water in Vlaanderen

Bodemerosie door water	Oppervlakte		Geschatte hoeveelheid	
	ha	%	ton/ha	%
verwaarloosbaar	1.076.895	88,13	599.882	35,11
zeer weinig	90.083	3,75	76.600	4,48
weinig	101.531	3,97	135.115	7,91
matig	54.569	2,03	207.115	12,12
tamelijk veel	24.466	1,23	251.216	14,7
veel	9.025	0,6	246.898	14,45
zeer veel	2.719	0,28	191.877	11,23
<b>totaal</b>	<b>1.359.287</b>		<b>1.708.703</b>	

### 1.3. De natuurlijksheidsgraad van erosiereducerende maatregelen

De natuurlijksheidsgraad van de erosiereducerende maatregelen zijn sterk verschillend. De meest natuurlijke maatregelen zijn het aanpassen van de vegetatie, het bedekken van de naakte bodem (bv. gewasresten), het verbeteren van de bodemstructuur en het verhogen van de ruwheid van het bodemoppervlakte. Vaak gaan beide hand in hand. Wat betreft vegetatie kan men kiezen voor de aanleg of het in stand houden van een permanente bedekking (zoals bos of blijvend grasland), voor het telen van minder erosiegevoelige gewassen en voor het inzaaien van groenbedekkers op akkers. De bodemstructuur kan verbeterd worden door het verhogen van het organisch stofgehalte en het bevorderen van het biologisch leven in de bodem (bv. de regenworm). Een zeer efficiënte maatregel hierbij is niet-kerende bodembewerking. Bij deze methode blijven gewasresten aan de

oppervlakte bewaard, neemt het organisch stofgehalte van de toplaag toe en wordt de regenwormpopulatie gestimuleerd. De weerstand van de bodem tegen erosie neemt hierdoor duidelijk toe. Een andere, technologisch gestuurde, teelttechnische maatregel m.b.t. bodemruwheid is de aanleg van drempeltjes bij ruggenteelten. Minder natuurlijke maatregelen zijn o.a. de aanleg structuren die de stroom van water en modder vertragen, geleiden en/of opvangen (zoals grasgangen, grasbufferstroken, dammen met erosiepoel) en maatregelen waarbij de afstromingslengte op de percelen wordt ingeperkt. Dat kan gebeuren door bijvoorbeeld de percelen te verkleinen, door strokenbouw, door aanleg van hagen en houtkanten en door herstel of heraanleg van taluds. Tenslotte bestaan er ook maatregelen die volledig technologisch zijn zoals, buffergrachten en -bekkens. Onderstaand schema geeft weer hoe in Vlaanderen de ESD regulatie van erosierisico volgens natuurlijkeheidsgraad kan ingedeeld worden.

**Tabel 2.** *Natuurlijkeheidsgraad van erosiereducerende maatregelen (inclusief minder erosiegevoelige ecosystemen)*

ecosysteem met hoge mate van natuurlijkeheid	gecultiveerde ecosystemen waarin ecologische processen en structuur worden gestuurd	gecultiveerde ecosystemen waarin ecologische processen technologisch of op industriële schaal worden gestuurd	gecultiveerde ecosystemen waarin de fysische of chemische structuur worden gestuurd	ruimte waarin ecologische processen worden geweerd of geneutraliseerd
Natuurreservaten (voldoende bodembedekking) Bosreservaten of duurzaam beheerde bossen met ondergroei	Behouden/verbeteren regenwormpopulaties in akkers Biodiverse grasgangen en – bufferstroken bij land- en tuinbouw Hagen, heggen, houtkanten (ecologisch beheerd) Loofbossen met ondergroei	Akkerbouw of tuinbouw met maatregelen waarbij erosie gereduceerd wordt door herverkaveling, stroken- of wisselbouw, groenbedekkers of een minder erosiegevoelige teelt Akkerbouw of tuinbouw met teelttechnische maatregelen <sup>2</sup> Aanleg van drempeltjes bij ruggenteelt <sup>3</sup> Akkerbouw of tuinbouw met grasgangen en – stroken Tijdelijk grasland Blijvend grasland Hagen, heggen, houtkanten Populier of naaldbos met ondergroei	Kunstmatig opgehoogde taluds, erosiedammen met erosiepoel	Bufferbekken Buffergrachten

<sup>2</sup> Verhogen van het organische-stofgehalte, optimaliseren van de bodem-pH, het voorkomen/verhinderen van bodemverdichting, het aanleggen van een grof zaaibed, contourbewerking, wegwerken van oppervlakkige insporing, niet-kerende bodembewerking, dubbel inzaaien van granen in droge valleien

<sup>3</sup> Teeltvorm waarbij de bodem op ruggen wordt getrokken en waarbij de planten op de ruggen gezaaid of geplant worden. Het aanleggen van aarden drempels tussen de ruggen zorgt ervoor dat neerslagwater langer wordt opgehouden tussen de ruggen, waardoor erosie vermeden wordt (Crijs 2011).

## 2. Menselijk welzijn

De ecosysteemdienst regulatie van erosierisico leidt tot verschillende maatschappelijke effecten, vooral vermeden verliezen, die opgevat kunnen worden als bijdragen aan onze economische welvaart en aan het menselijk welzijn. Aan deze bijdragen kan een zeker belang of een bepaalde appreciatie of waarde worden toegekend. Meestal zijn die erg context-afhankelijk (bv. wie waardeert? vanuit welke perceptie? op basis van welke criteria? in welke eenheden? binnen welk tijds kader? op welke ruimtelijke schaal? met welke methode?). Het is niet de bedoeling van het NARA-T om voor alle ecosysteemdiensten een uitgebreide waarderingsstudie op te zetten. Het is wel de bedoeling om waar mogelijk de bestaande waarderingsstudies, in economische of in andere termen, op Vlaamse of lokale schaal te verbinden met de ESD-analyse in NARA-T. De best uitgewerkte Vlaamse case voor regulatie van erosierisico is de Melsterbeek in Sint-Truiden (Evrard *et al.* 2007a, 2007b, 2008; Vandaele *et al.* 2004, 2007). Deze case zal als een illustratie voor de waardering van de verschillende maatschappelijke effecten worden gebruikt. Bij elk maatschappelijk effect zal ook weergegeven worden voor wie dit effect belangrijk is en, indien nodig, binnen welk tijds kader de evaluatie gebeurt.

### 2.1. Minder verlies van vruchtbare bodem

Zonder aangepaste maatregelen om erosie op landbouwpercelen te voorkomen, zal de vruchtbare toplaag geleidelijk in dikte afnemen. De mate dat dit bodemverlies in bodemvruchtbaarheidsverlies zal resulteren is afhankelijk van meerdere factoren waaronder (i) het voorkomen van een fysisch minder/meer vruchtbaar substraat op kleinere/grotere diepte en (ii) het voorkomen van horizonten onder de toplaag die minder/meer weerstand bieden aan erosie en, één maal bereikt, de erosiesnelheid zullen doen versnellen/dalen. Bijvoorbeeld, een zandig of stenig substraat zal onder een lemige of zandlemige toplaag op lange termijn zorgen voor een significante daling van de fysische bodemvruchtbaarheid, en dit effect zal des te sneller optreden naarmate het substraat zich dichterbij de oppervlakte bevindt. Immers, hoe ondieper het substraat, hoe sneller het effect voelbaar zal zijn door een beperking van de worteldiepte, meer vochtstress, enz. Van zodra het substraat als gevolg van bodemerosie binnen ploegdiepte komt te liggen, zullen de effecten eens zo groot zijn omdat de minder vruchtbare laag door het ploegen gemengd wordt met de vruchtbare toplaag. Tenslotte, wanneer het zandig of stenig substraat komt dagzomen, is de ultieme fase van bodemdegradatie aangebroken. Dit is wel een proces dat zich voordoet op de relatief lange termijn. Zo duurt het, zelfs bij een bodemverlies van 40 ton/ha, ongeveer 100 jaar voordat de bovenste vruchtbare toplaag (ongeveer 30 cm) volledig is weggespoeld. Dus op het eerste gezicht lijkt het opbrengstverlies voor de huidige landbouwer wel mee te vallen. Echter, bodemerosie zal ook het organischestofgehalte van de toplaag geleidelijk verminderen, nog lang voor er sprake is van een mogelijk effect van een onderliggend substraat. En aangezien organische stof aan de basis ligt van zowel de chemische, biologische en fysische bodemvruchtbaarheid, is het effect van bodemerosie op bodemvruchtbaarheid ogenblikkelijk. Organische stof in de bodem wordt gevormd en omgezet door het bodemleven, is een bron van voedingsstoffen voor planten, en draagt bij tot de vorming van stabiele aggregaten. Bodemleven en stabiele aggregaten zijn op hun beurt essentieel voor de vorming een poreuze kruimelstructuur. Hierdoor ontstaan gunstige omstandigheden voor plantengroei (goede bewerkbaarheid, vlot transport van zuurstof en water, goede doorwortelbaarheid...) en verhoogt de weerbaarheid van de bodem tegen verslamping en verdichting, zodat finaal het risico op bodemerosie (of de bodemerosiesnelheid) zelf afneemt. Een daling van het organische stofgehalte zorgt dus indirect (en vaak ongemerkt) voor een kettingreactie aan bodemdegradatieprocessen. Echter, terwijl deze effecten op korte termijn nog gecompenseerd kunnen worden door bijvoorbeeld een hogere bemestingsdosis en/of irrigatie, zullen ze op lange termijn onherroepelijk leiden tot een onomkeerbare situatie. Daarnaast zorgt erosie voor opbrengstverliezen door het wegspoelen of onderspoelen van (kiem)planten, en het afspoelen van meststoffen en gewasbestrijdingsmiddelen (bijdrage door L. Vandekerckhove gebaseerd LNE – ALBON 2001 en LNE – ALBON 2011).

### 2.2. Vermindering van het verlies aan archeologisch en landschappelijk patrimonium

Erosie leidt tot het verdwijnen van de bovenste bodemhorizonten (MIRA 2011). Hierdoor gaan ook de archeologische resten die er eventueel in bewaard werden, verloren. Daarnaast wordt de

archieffunctie van de bodem – de in de bodem opgeslagen landschappelijke veranderingen die veroorzaakt werden door klimaat en menselijke activiteiten - aangetast. Omdat erosie meestal de dichtst bij het oppervlak liggende lagen aantast, zijn het vooral overblijfselen uit meer recente periodes die verloren gaan. Op niveau Vlaanderen zijn geen empirische gegevens beschikbaar over de omvang van dit effect.

### 2.3. Minder schade aan private en publieke infrastructuur door modderstromen

Geconcentreerd afstromend sediment (modderstromen) berokkent schade aan gebouwen en infrastructuur. De economische waardering van die schade gebeurt op niveau Vlaanderen. De empirische gegevens hiervoor zijn afkomstig van Evrard *et al.* (2007a; 2007b; 2008) en Vandaele *et al.* (2004; 2007). De jaarlijkse schade aan publieke infrastructuur en de kosten voor het reinigen ervan, wordt geschat op €12.5 tot 122 miljoen, afhankelijk van de frequentie en de hevigheid van onweders<sup>4</sup> in een bepaald jaar. De kosten bestaan uit de volgende componenten:

- o kosten voor brandweerinterventie: €2.250 tot 25.000 per interventie;
- o kosten voor het reinigen van openbare infrastructuur (inclusief het reinigen van private eigendom door brandweer en gemeentewerkers): van €500 voor een enkel wegsegment tot €11.000 voor een heel dorp;
- o herstellkosten van openbare infrastructuur: van €14.000 tot €300.000 per gebeurtenis en per dorp.

De jaarlijkse schade aan private infrastructuur (huizen, garages, tuinen) wordt op basis van de rampenfondsdatabank geschat op €1,6 tot 16,5 miljoen<sup>5</sup>, afhankelijk van de frequentie en de hevigheid van onweders in een bepaald jaar. Daarnaast is het ook belangrijk om te vermelden dat burgers een dalend welzijnsgevoel krijgen wanneer ze op herhaalde basis getroffen worden door modderstromen (Boardmand *et al.* 2006). Verzekeringsmaatschappijen en overheden zijn hierdoor ook indirect stakeholders.

### 2.4. Vermindering van de sedimentaanvoer naar Vlaamse waterlopen

Dit onderdeel is gebaseerd op MIRA (2011). In Vlaanderen wordt jaarlijks ongeveer 2 miljoen ton bodemmateriaal geërodeerd door watererosie (MIRA 2011). Zo'n 0,5 miljoen ton daarvan komt terecht in de Vlaamse waterlopen en wachtbekkens (Tabel 3). De resterende 1,5 miljoen ton wordt afgezet voor het de waterlopen en wachtbekkens bereikt. Andere sedimentbronnen voor de Vlaamse waterlopen zijn overstorten van rioleringen, industriële lozingen, rechtstreekse lozingen van huishoudelijk afvalwater en effluenten van waterzuiveringsinstallaties. De sedimentaanvoer is afhankelijk van de sedimentproductie, van off-site maatregelen zoals bufferstroken en erosiepoelen (verminderen sedimentaanvoer) en van de maximale transportcapaciteit van afstromend water. Indien de maximale transportcapaciteit bereikt wordt, wordt sediment afgezet op land en vermindert dus de sedimentaanvoer in waterlopen. De maximale transportcapaciteit zorgt ervoor dat er geen lineair verband is tussen de sedimentproductie en sedimentaanvoer in waterlopen. Bij lagere sedimentproductie wordt de maximale transportcapaciteit niet bereikt en wordt een groter gedeelte van het geërodeerde sediment effectief tot in de waterlopen en wachtbekkens getransporteerd. De aanvoer van sediment naar de wachtbekkens leidt o.a. tot de dichtslibbing van de wachtbekkens zelf of van de slibvangen. Dat gebeurt vaak al in een termijn van enkele jaren, met frequente ruiming tot gevolg wat voor hoge kosten zorgt. Het bergen van grote slibvolumes zorgt voor een bijkomende verstoring van het landschap. Op basis van gemeten sedimentvolumes in 20 wachtbekkens, kan de gemiddelde jaarlijkse sedimentopslag in de 100 tot 150 wachtbekkens in heel Vlaanderen voorzichtig geschat worden op 100.000 tot 200.000 ton (Verstraeten 2000).

<sup>4</sup> Regenachtige dagen met minder dan 10 mm neerslag per m<sup>2</sup> zijn goed voor 90% van de regenval in Sint-Truiden, maar leiden in slechts 1% van de gevallen tot modderige overstromingen. Daarentegen leidt regenval met meer dan 45 mm/m<sup>2</sup> in 100% van de gevallen tot modderige overstromingen (Evrard *et al.* 2007 )

<sup>5</sup> De schade aan private infrastructuur werd berekend door de aanname dat de modderstroomfrequentie van de regionale database (870 km<sup>2</sup>, 4,2 overstromingen per 100 km<sup>2</sup> en per jaar) overeenkomt met deze van de Belgische leemstreek (8867 km<sup>2</sup>) of de Vlaamse leemstreek (4.165 km<sup>2</sup>). De schadekosten per woning bedragen volgens de regionale database 4436 € ± 3.406 €. Bij een gemiddelde van respectievelijk 1 en 10 huizen per overstromingszone, betekent dit voor alle gemeenten in de leemstreek samen, een totale schade aan huizen van 1,6 tot 16,5 miljoen in België en van 0,8 tot 7,8 miljoen in Vlaanderen.

Niet alleen wachtbekkens, maar ook rivieren slibben langzaam dicht. Een gedeelte van het sediment dat naar de waterlopen wordt aangevoerd, wordt er ook afgezet (Tabel 3). Aangezien het sediment in de waterlopen wordt gemengd met afvalwater van huishoudens, landbouw en industrie, wordt een aanzienlijk deel van het sediment vervuild. Dit maakt het ruimen en storten van dit sediment nog aanzienlijk duurder. Bovendien zorgt een versnelde toeslibbing van waterlopen en opvangbekkens voor een verminderde waterbergingscapaciteit en hogere overstromingsrisico's.

**Tabel 3.** Referentiescenario voor de sedimentaanvoer naar rivieren door watererosie in Vlaamse rivierbekkens in 2005, uitgaande van een gestandaardiseerde neerslagerosiviteit van 880 Mj mm/ha.jaar (Beel et al. 2006)

Bekken	Totale sediment-productie (ton)	Totale sediment-depositie (ton)	Totale sediment aanvoer naar rivieren (ton)	Totale export sediment door rivieren (ton)
Demer	634 369	489 557	144 813	107 824
Dender	238 854	178 664	60 190	51 705
Ijzer	127 866	91 605	36 261	30 085
Leie	144 635	111 728	32 907	27 682
Maas Noord	6 789	4 272	2 517	1 706
Maas Oost	133 756	84 961	48 795	14 024
Nete	20 188	13 838	6 349	4 536
Polders2	2 866	1 744	1 122	587
Polders en Brugse kanalen	23 258	14 558	8 700	4 490
Schelde tot Gent	263 185	195 138	68 047	63 092
Zenne	167 820	121 031	46 789	31 228
Zijbekkens Schelde	75 690	56 732	18 958	15 964

De belanghebbenden hierbij zijn de beheerders van de waterloop, maar ook de burgers omdat sedimentatie het overstromingsrisico's vergroot.

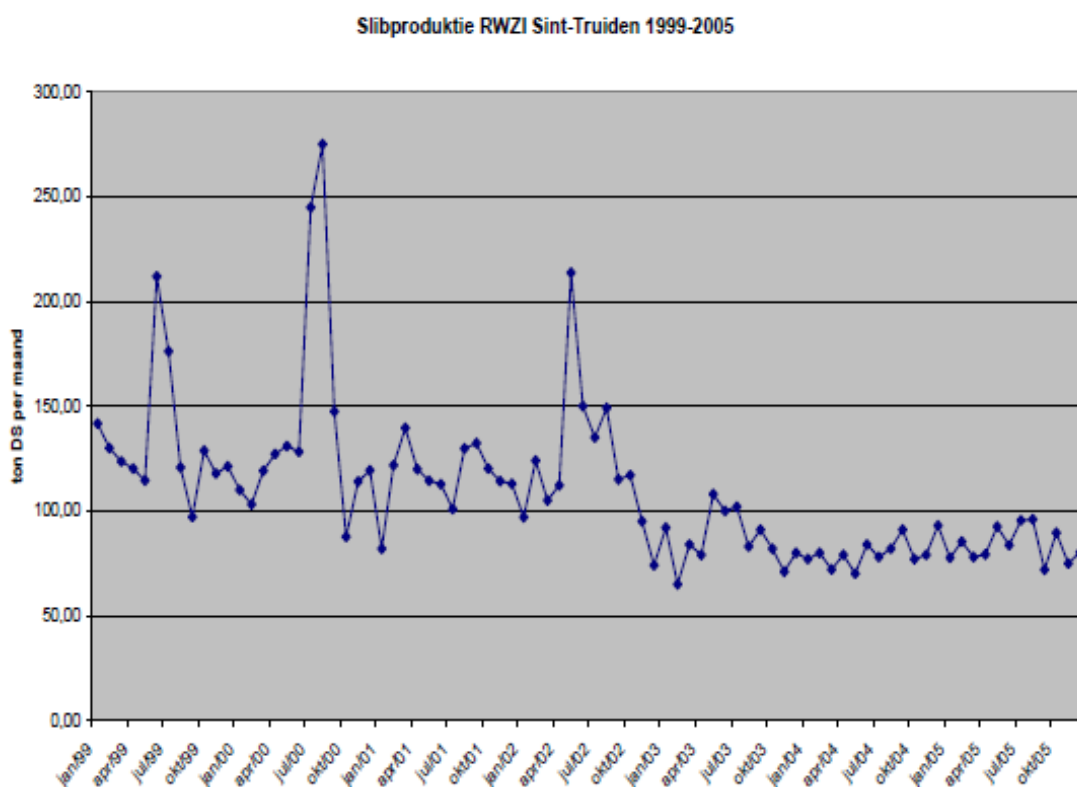
Het dichtslibben van de rivieren en wachtbekkens kan verminderd worden door erosiereducerende maatregelen. In een scenariostudie onderzochten Beel et al. (2006) verschillende reductiescenario's (Tabel 4). Uit deze tabel blijkt dat de introductie van gereduceerde bodembewerking op alle akkerpercelen tot een sterke daling kan leiden van bodemerosie (-78%) en sedimentaanvoer (-65%) (Tabel 4). De reden dat sedimentaanvoer minder sterk vermindert dan erosie, is de hoger vermelde transportcapaciteit. Gezien de hoge kostprijs voor het verwerken van vervuild slib, kan de regulatie van erosierisico tot belangrijke baten (of vermeden kosten) leiden.

**Tabel 4.** Reductiescenario's voor bodemerosie en sedimentaanvoer naar waterlopen voor Vlaanderen ten opzichte van de situatie in 2005 (Beel et al. 2006)

Scenario	Betrokken percelen	Opp (ha)	Toegepaste maatregelen	Erosie-reductie (%)	% Reductie in sediment-aanvoer
scenario 1	sterk erosiegevoelig	2 672	gereduceerde bodembewerking	3	3
scenario 2	sterk erosiegevoelig	2 672	gereduceerde bodembewerking (50 % van areaal) erosiepoel (50 %)	3	4
scenario 3	sterk erosiegevoelig, matig erosiegevoelig	48 371	gereduceerde bodembewerking	20	15
scenario 4	sterk erosiegevoelig, matig erosiegevoelig	48 371	gereduceerde bodembewerking (50 % van areaal) grasbufferstrook (40 %) erosiepoel (10 %)	11	8
scenario 5	alle geregistreerde percelen	391 531	gereduceerde bodembewerking	52	38
scenario 6	totaal akkerareaal	589 037	gereduceerde bodembewerking	78	65

## 2.5. Vermindering van de rioolwaterzuivingskost

Dit onderdeel is gebaseerd op Evrard *et al.* (2007a; 2007b; 2008) en Vandaele *et al.* (2004; 2007). Regulatie van erosierisico leidt in erosiegevoelige gebieden tot een belangrijke daling van de rioolwaterzuivingskost. Voordat in de Melsterbeek erosiereducerende maatregelen toegepast werden, werd de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Aquafin geconfronteerd met een verdubbeling van de slibproductie tijdens de zomermaanden. Na het toepassen van de maatregelen (tussen 2000 en 2004) trad deze verdubbeling niet meer op (Figuur 3). De toegepaste maatregelen in het deelbekken van de Melsterbeek zijn grasgangen, grasbufferstroken, niet-kerende bodembewerking, buffergrachten, kleine bufferbekkens en aarden dammen. De huidige slibproductie is vergelijkbaar met deze in andere Vlaamse rioolwaterzuiveringsinstallaties. Door de vermindering van de slibproductie verloopt nu ook de slibgisting beter. Er zijn ook geen overschrijdingen meer van de norm voor zwevende stoffen. Al deze verbeteringen kunnen worden toegeschreven aan erosiebeperkende maatregelen, omdat er ook na 2004 nog hevige zomerse onweders zijn voorgekomen.



**Figuur 3.** Evolutie van de slibproductie in de RWZI van Sint-Truiden van 1999 tot 2005 (Vandaele 2009)

Naast de waterzuiveringsbedrijven zijn de belanghebbenden de verbruikers van drinkwater en de Vlaamse overheid, aan wie de extra kosten van de waterzuivering worden doorgerekend.

## 2.6. Vermindering van de belasting van de omgeving en het oppervlaktewater met nutriënten en contaminanten

Dit onderdeel is gebaseerd op MIRA (2011). Het door erosie afgevoerde sediment bevat ook nutriënten en contaminanten. Voor wat betreft nutriënten is fosfor waarschijnlijk het belangrijkste, omdat dit sterk aan het sediment gefixeerd is. Experimentele metingen hebben aangetoond dat ongeveer 50% van de totale fosfor-input in de Dijle stroomopwaarts van Leuven te wijten is aan erosie. Deze hoge nutriëntentoevoer kan bijdragen tot de eutrofiëring van zoetwaterecosystemen. De voornaamste contaminanten die via het sediment in de waterlopen terechtkomen, zijn metalen en residu's van landbouwchemicaliën. De aanvoer van landbouwchemicaliën door erosie is bijzonder moeilijk te kwantificeren. Het gaat immers om lage concentraties die bovendien sterk

variëren in ruimte en tijd. Het verhogen van de dienst regulatie van erosierisico door erosie maatregelen kan deze contaminatie verminderen. Een project dat hierop inspeelt is het TOPPS-prowadis project ([www.inagro.be](http://www.inagro.be)). Dit project heeft een tool ontwikkeld om een veldspecifieke risico-analyse te doen van de mate waarin de diverse diffuse bronnen (erosie, afstroming en drift) bijdragen aan de vervuiling van het oppervlaktewater. Op basis van het veldspecifieke risico op drift, afspoeling en erosie wordt de landbouwer gegidst naar de passende maatregelen voor elk perceel.

De belanghebbenden hierbij zijn de burgers (gezonde leefomgeving), producenten van drinkwater (hogere kost om oppervlaktewater om te zetten naar drinkwater), hengelaars en de waterbeheerders (hogere kost voor het afzetten en verwerken van slib).

## 2.7. Monetaire waardering van de maatschappelijke effecten

Tabel 5 geeft een samenvattende vergelijking tussen de belangrijkste schade- en ruimingskosten (schade aan woningen, ruimingskosten private en openbare infrastructuur, ruimen van waterlopen en schade aan landbouw, met uitzondering van schade aan openbare infrastructuur) wanneer geen regulatie van erosierisicosmaatregelen worden genomen ten opzichte van de kosten wanneer wel maatregelen worden genomen. Bij de raming wordt eveneens rekening gehouden met de kosten voor erosiebestrijding. Uit deze tabel blijkt dat de dienst bescherming tegen erosie naast effecten op biodiversiteit, maatschappelijk welzijn en waterkwaliteit ook in financiële termen een belangrijke publieke baat oplevert. Maar het resultaat voor de landbouwer zelf is wel negatief. Dit komt doordat de landbouwer een deel van zijn productieve oppervlakte omzet naar minder of niet-productieve oppervlakte (bv. erosiedammen, grasgangen) en er soms investeringen nodig zijn om nieuwe machines (bv. machine directe inzaai) te kopen, terwijl de baten (de vermindering van de landbouwschade ten gevolge van erosie) op de korte termijn eerder beperkt zijn.

**Tabel 5.** *Vergelijking van de schadekosten door erosie zonder en met erosiebestrijdingsmaatregelen (Vandaele 2012)*

Schadepost of kost	Zonder erosie maatregelen	Met erosie maatregelen
Schade aan woningen		1,5 – 15 €/ha/jaar
Gegevens gans Vlaanderen	10-30 €/ha/jaar	
Gegevens Frankrijk	85 €/ha/jaar	
Gegevens Gintelom, St Truiden	75-150 €/ha/jaar	
Interventies brandweer	20 – 33 €/ha/event	0,2 – 2 €/ha/event
Ruiming en verwerking specie in waterlopen	65-100 €/ha/jaar	19,5 – 40 €/ha/jaar
Schade voor de landbouw	5 €/ha/jaar	3,5 €/ha/jaar
Kost erosiebestrijding		65 €/ha/jaar
Totaal	105 – 288 €/ha/jaar	89,7 – 125,5 €/ha/jaar

## 3. Governance

De belangrijkste belanghebbenden van de dienst regulatie van erosierisico worden hieronder besproken. Er kunnen vier groepen onderscheiden worden:

- de begunstigen van de dienst;
- de ecosysteembeheerders die door veranderingen in exploitatie of landgebruik de levering van de dienst door het ecosysteem verhogen;
- de belangenorganisaties (zijnde institutionele vertegenwoordigers van ecosysteembeheerders maar ook institutionele vertegenwoordigers van bedrijven die afhangen van de geproduceerde producten van ecosysteembeheerders);
- tussenpersonen die vraag en het aanbod op elkaar afstemmen.

Omdat de dienst regulatie van erosierisico gekenmerkt is door een belangrijk onevenwicht tussen de begunstigen en de beheerders van de dienst, is afstemming tussen de belanghebbenden nodig. Enkel voor de on-site effecten (verlies van bodemvruchtbaarheid en wegspoelen van kiemplanten,

nutriënten en pesticiden) en voor de off-site effecten waar de overheden zowel beheerders als begunstigden zijn, lopen de belangen gelijk. Zo kan een landbouwer door het nemen van teelttechnische maatregelen afspoeling van de toplaag vermijden en kunnen overheden door het aanleggen van opvangsystemen verhinderen dat openbare wegen en gebouwen getroffen worden door modder/slibstromen. Voor de andere situaties met off-site effecten zijn de begunstigden en de beheerders echter verschillend van elkaar. Zo kan een beheerder maatregelen nemen om te vermijden dat erosiemateriaal in huizen, in waterlopen of op kwetsbare vegetaties terechtkomt. Door de investering van de beheerder worden kosten bij derden (bv. burgers, overheden, hengelaars, waterbeheerders en natuurverenigingen) vermeden.

### 3.1. Begunstigden van de ESD

Voor de dienst regulatie van erosierisico is er een sterk uiteenlopende groep begunstigden:

- Landbouwers: Landbouwers ondervinden baten van de regulatie van de on-site gevolgen van erosie (zijnde de gevolgen die zich voordoen op het perceel zelf). Door afstroming van de bovenste bodemlaag kunnen - afhankelijk van de tijd van het jaar - zaden, kiemplanten (Gillijns *et al.* 2005), nutriënten, organisch materiaal en gewasbeschermingsmiddelen (Rickson *et al.* 2014) wegspoelen. Dit leidt tot opbrengstverliezen. Daarnaast is er het lange-termijn opbrengstverlies door de bodemdegradatie die erosie door water veroorzaakt. De private baten voor de landbouwer wegen evenwel meestal niet op tegen de kosten van de erosiereducerende maatregelen (Rickson *et al.* 2010). Dit komt omdat landbouwers geen vergoeding dienen te betalen voor de schade die erosiemateriaal elders veroorzaakt.
- Waterzuiveringsbedrijven: Waterzuiveringsbedrijven ondervinden baten van regulatie van de off-site gevolgen van erosie (Holmes 1988). Door afspoeling van erosiemateriaal raken riolen en waterzuiveringsinstallaties verstopt. De reiniging van de installaties brengt een kost mee voor de waterzuiveringsbedrijven. Die kost kan verhogen wanneer het slib vervuild is met nutriënten of gewasbeschermingsmiddelen. Daarnaast berokkent het sediment schade aan de waterzuiveringsapparatuur zelf.
- Verzekeringsmaatschappijen: Maatschappijen die infrastructuur verzekeren tegen natuurrampen<sup>6</sup> kunnen baten ondervinden van regulatie van de off-site gevolgen van erosie (Boardman *et al.* 1994).

---

<sup>6</sup> In de brandverzekering is de dekking van schade ten gevolge van natuurrampen (overstromingen, aardbevingen) van rechtswege inbegrepen.

- Natuurorganisaties: Natuurorganisaties ondervinden baten van regulatie van de off-site gevolgen van erosie. Vervuiling van stromende en stilstaande wateren door afspoeling van nutriënten- en chemicaliënrijk sediment, is nadelig voor deze ecosystemen. Naast de aanvoer van schadelijke stoffen, zorgt erosiemateriaal voor vertroebeling van het water. Waterplanten krijgen hierdoor onvoldoende licht. Ook terrestrische vegetaties kunnen nadeel ondervinden. De aanvoer van modder kan vegetaties bedelven. Samen met de aanvoer van nutriënten kan dit ertoe leiden dat bepaalde soorten verdwijnen en biologisch leven achteruitgaat. Natuurdoelstellingen kunnen hierdoor mogelijk niet gerealiseerd worden.
- Hengelaars: Hengelaars ondervinden baten van de regulatie van de off-site gevolgen van erosie door het vermijden van belasting van oppervlaktewater met nutriënten, contaminanten en sediment (Holmes 1988).
- Waterbeheerders: Waterbeheerders ondervinden baten van de regulatie van de off-site gevolgen van erosie. Oppervlakkig afstromend sediment kan zich op het land afzetten, of in rivieren en andere oppervlaktewaters terecht komen. Door de aanvoer van sediment vanuit grachten en zijrivieren, kunnen waterlopen in een versneld tempo toegeslibd geraken. Dit brengt voor waterbeheerders een verhoogde kost met zich mee voor het baggeren. De financiële implicaties van deze slibruiming worden versterkt door het verbod om geruimd (vervuild) slib langs de rivier te storten (Verspecht *et al.* 2011). Dit verbod kwam er na de inwerkingtreding van het bodemsanerings- en bodembeschermingsdecreet in 1995. Door een gebrek aan financiële middelen en gronden om slib te storten, zien zij a priori het verminderen van de aanvoer, dus het beperken van erosie, als de belangrijkste oplossing.
- Burgers en overheden kunnen op verschillende manieren baten ondervinden van het verminderen van de off-site gevolgen van erosie. Modderstromen kunnen, naast kosten voor het ruimen van getroffen gebouwen, kan ook resulteren in een dalend welzijnsgevoel, vooral wanneer burgers er op herhaalde basis mee geconfronteerd worden (Boardman *et al.* 2006). Bovendien kan er ook wateroverlast optreden door het verstopping van de hydraulische afvoeren (bv. rioleringen) met sediment. Het verminderen van erosie vermijdt de kosten die gepaard gaan met het opruimen van gebouwen en openbare plaatsen of met het bijkomende onderhoud aan bv. waterlopen en rioleringen. Indien het rampenfonds minder moet aangesproken worden, levert dit onrechtstreeks ook een voordeel op voor de burger. De maatschappij ondervindt daarnaast ook baten door het behoud van biologisch leven in waterlopen en door het vermijden van verlies van bodemlagen met archeologisch waardevol patrimonium.

### 3.2. Ecosysteembeheerders

Ecosysteembeheerders (bv. landbouwers, boseigenaars, natuurverenigingen, terreinbeherende overheden zoals het Agentschap voor Natuur & Bos) kunnen door het aanpassen van de bodembedekking of door het wijzigen van de exploitatie, inspelen op de ecosysteemstructuren die aan de basis liggen van de levering van de ecosysteemdienst regulatie van erosierisico. Voorbeelden zijn de omvorming van een erosiegevoelige bodembedekking naar een diepwortelende (vb. bomen en struiken) of dense (vb. gras) vegetatie, of het toepassen van niet-kerende bodembewerking (kan het bodemverlies tot meer dan 80% verminderen). Er zijn kosten gemoeid met deze maatregelen en bij landbouwers wegen de private baten niet altijd op tegen de kosten (Rickson *et al.* 2010).

### 3.3. Belangenorganisaties

Belangenorganisaties zijn relevant omdat deze organisaties advies geven aan het beleid doordat ze vertegenwoordigd zijn in strategische adviesraden (bv. de Milieu- en natuurraad en de Strategische adviesraad Landbouw en Visserij) en doordat het beleid hen actief betreft bij beleidshervormingen. Belangrijke belangenorganisaties voor de ecosysteemdienst regulatie van erosierisico zijn Natuurpunt, Boerenbond, Algemeen Boerensyndicaat en beroepsfederaties Belgapom (bedrijven die aardappelen verwerken) en Vegebe (bedrijven die groenten verwerken).

### 3.4. Tussenpersonen

Overheden kunnen een belangrijke rol spelen in de verbetering van deze dienst door bepaalde erosiereducerende maatregelen op te leggen aan gebruikers van erosiegevoelige percelen of door gebruikers en landeigenaars te subsidiëren voor het aanleggen van kleinschalige erosiebestrijdingsmaatregelen. De Vlaamse overheid verleent hiervoor subsidies aan gemeenten via het Erosiebesluit en aan landbouwers via beheerovereenkomsten. Bepaalde initiatieven worden ook mee ondersteund door provincies. Hierbij is een belangrijke rol weggelegd voor erosiecoördinatoren (overzicht bewaren op gebiedsniveau, ondersteunen van gemeenten bij realisaties van erosiebestrijdingswerken, stimuleren van maatregelen bij ecosysteembeheerders), bedrijfsplanners (promoten en controle van beheerovereenkomsten bij landbouwers) en de controleurs van het Agentschap voor Landbouw en Visserij (controleren van de verplichte maatregelen bij landbouwers).

## 4. Drivers

Zowel het aanbod van, als de vraag naar ecosystemendiensten wordt beïnvloed door verschillende natuurlijke en antropogene mechanismen, die al dan niet interageren. Deze mechanismen noemen we drivers. De bespreking van de drivers voor de 16 ecosystemendiensten van NARA-T wordt beperkt tot de vijf indirecte (demografie, economie, socio-politiek, cultureel en wetenschappen en technologie) en de vijf directe (verandering landgebruik, pollutanten en nutriënten, exploitatie, klimaatverandering en introducties van exoten) drivers die ook in het Millenium Ecosystem Assessment (Nelson *et al.* 2005) onderscheiden worden. De drivers worden besproken vanuit de Vlaamse context en enkel indien ze relevant zijn voor de betreffende ESD. Voor de ESD regulatie van erosierisico zijn de indirecte drivers demografie en socio-politiek en de directe drivers verandering landgebruik, exploitatie en klimaatverandering relevant.

### 4.1. Indirecte drivers

#### 4.1.1. Demografische drivers

Door de bevolkingstoename en de kleiner wordende gezinnen is er een grotere vraag naar woonegelegenheid. Een toename van de bebouwing kan, vooral wanneer gebouwd wordt in erosiegevoelige gebieden, de vraag naar de ESD doen toenemen. Vlaanderen kende tussen 2000-2010 een jaarlijkse bevolkingstoename van 0,52% ([www.statbel.fgov.be](http://www.statbel.fgov.be)). De verwachting is dat de Vlaamse bevolking zal stijgen van 6,25 miljoen in 2010 tot 6,6 miljoen in 2030.

#### 4.1.2. Sociopolitieke drivers

Het erosiebeleid bestaat in Vlaanderen uit:

- Randvoorwaardenregeling van het gemeenschappelijk landbouwbeleid: deze randvoorwaarden dienen verplicht gevolgd te worden indien de landbouwer inkomenssteun ontvangt. Bij het onderdeel 'code goede landbouw- en milieupraktijk' worden verplichte en aanbevolen erosie maatregelen vermeld (zie verder).
- Vrijwillige beheerovereenkomsten erosiebestrijding, bebossing van landbouwgronden en perceelsrandenbeheer (onderdeel van het Vlaams Programmadocument voor Plattelandsontwikkeling),
- Steunmaatregel groenbedekking (artikel 68 van Verordening (EG) nr. 73/2009 van 19 januari 2009),
- Investeringssteun via het Vlaams Landbouwinvesteringsfonds (VLIF) voor de aankoop van machines voor directe inzaai (onderdeel van het Vlaams Programmadocument voor Plattelandsontwikkeling II, loopt nog tot 31/12/2014),
- Erosiebesluit dat subsidies van het Vlaamse Gewest verstrekt aan gemeenten voor het opstellen van een gemeentelijk erosiebestrijdingsplan (GEBP), het uitvoeren van erosiebestrijdingswerken en het aanstellen van een erosiecoördinator. Bepaalde provincies geven een bijkomende subsidie voor gemeentelijke erosiebestrijdingswerken bovenop het Vlaamse subsidiebedrag.

Daarnaast is er zowel positieve als negatieve interactie met andere Vlaamse wetgeving (SALV 2014; Geeraerts & Verheeke 2014):

- Positieve interactie met verbodsbepalingen in oeverzones i.v.m. bemesting, gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en grondbewerking. en de watertoets (erosiegevoeligheidskaart als toetskaart<sup>7</sup>) in kader van de Kaderdecreet Integraal Waterbeleid,
- Negatieve interactie met het mestbeleid: bodems met een hoog organisch stofgehalte zijn minder erosiegevoelig. Daarom legt de Vlaamse overheid minimale normen op via de randvoorwaardenregeling. Tegelijk legt de overheid via het Mestdecreet<sup>8</sup> maximale normen op voor het toedienen van organische stof. Beide wetgevingen zijn niet altijd compatibel. Voor een goed organisch stofbeheer van de landbouwpercelen dat beide wetgevingen respecteert, is kennis over de nutriënteninhoud, de werkingscoëfficiënten en de effectieve organische stof van de toegediende organische bemesting onontbeerlijk.

Met ingang van 1 januari 2014 worden de randvoorwaarden op vlak van erosiebestrijding stapsgewijs verstrengd<sup>9</sup>. De nieuwe randvoorwaarden verschillen in functie van de erosiegevoeligheid van een perceel<sup>10</sup> en van de toegepaste teelt (zie voor meer info ALV 2014). Op zeer hoog (10.000 ha) en hoog (40.000) erosiegevoelige percelen dient een landbouwer verplicht maatregelen te nemen. Voorheen was dit enkel op zeer hoog erosiegevoelige percelen. Op medium en laag erosiegevoelige percelen wordt de landbouwer aangemoedigd om maatregelen te nemen, maar is dit niet verplicht. De erosiegevoeligheid van een perceel kan met 1 klasse verlaagd worden wanneer de landbouwer kan aantonen dat het koolstofgehalte minstens 1,7% bedraagt<sup>11</sup>, de pH zich in de optimale zone<sup>12</sup> bevindt en de teelt geen blijvend grasland is. Bij een lager koolstofgehalte kan de positieve invloed van koolstof op erosiereductie niet worden aangetoond. De meeste percelen hebben een koolstofgehalte tussen 1,2 en 1,6% (MIRA 2011). Volgens de Bodemkundige Dienst van België hebben ± 15% van de percelen in de leem- en zandleemstreek een koolstofgehalte hoger dan 1,7%. Het verhogen van het organisch koolstofgehalte met tiende percent vraagt ongeveer 10 à 15 jaar (Hofman & Van Ruymbeke 1980; SALV 2014). Deze maatregel beloont de landbouwers die het koolstofgehalte van hun percelen op peil hebben gehouden.

De Vlaamse overheid vergoedt de volgende beheerovereenkomsten: directe inzaai en niet-kerende bodembewerking (beide een uitdovende maatregel<sup>13</sup>), aanleg en onderhoud van erosiestrook (grasstrook), strategisch gelegen grasland en erosiedam uit plantaardig materiaal, bufferstrook, faunastrook (gemengde grasstrook), faunastrook plus (gemengde grasstrook), bloemenstrook, vluchtstrook en houtige kleine landschapselementen die binnen het bestaand landschap passen.

## 4.2. Directe drivers

In Figuur 1 wordt het effect van de directe drivers, zijnde de verandering van landgebruik, overexploitatie (bodemcompactie en bodemverarming) en klimaatverandering, via het ecosysteem op het aanbod van regulatie van erosierisico weergegeven. Hieronder wordt het mechanisme van de drivers besproken en wordt hun impact geschat (Tabel 6).

<sup>7</sup> De erosiegevoeligheidskaart, één van de 7 watertoetskaarten, wordt daarbij ter beschikking gesteld van vergunning- en adviesverleners ter ondersteuning bij het uitvoeren van de watertoets maar dient niet verplicht geraadpleegd te worden (CIW 2013).

<sup>9</sup> Deze verstrenging is reeds goedgekeurd, maar nog niet gepubliceerd in het Staatsblad.

<sup>10</sup> De erosiegevoeligheid van een perceel wordt weergegeven op de potentiële bodemerosiekaart die rekening houdt met water- en bewerkingserosie die zou optreden wanneer de landbouwteelt een gewaserosiegevoeligheid (C-factor) heeft van 0,37. De gewaserosiegevoeligheid is één van de factoren uit de RUSLE-vergelijking die de erosie van een perceel berekend.

<sup>11</sup> Dit betekent minimaal klasse tamelijk hoog bij akker- en zandleem- of leembodems.

<sup>12</sup> De optimale pH-KCl is voor akkers op zandleembodems 6,2 tot 6,6 en op leembodems 6,7 tot 7,3 (Maes et al. 2012).

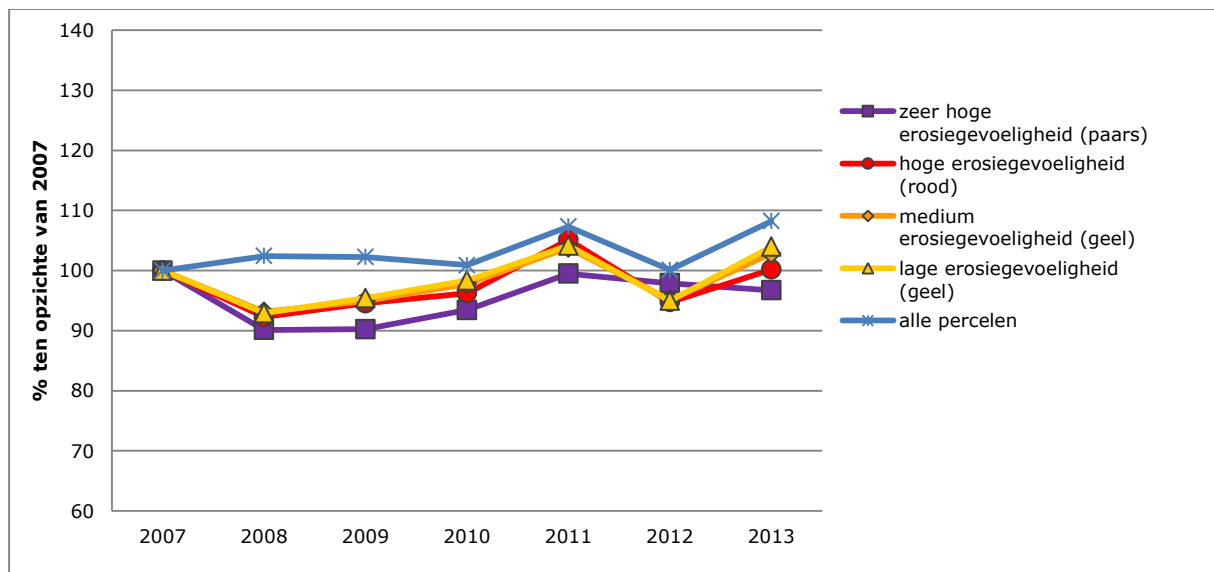
<sup>13</sup> Dit betekent dat bestaande contracten uitgedaan worden, maar dat er geen nieuwe contracten kunnen gesloten worden.

#### 4.2.1. Verandering landgebruik

De directe driver *veranderingen in landgebruik* kan opgesplitst worden in de subdrivers bebouwing, teeltveranderingen en gerealiseerde erosie maatregelen.

De *bebouwing*<sup>14</sup> in bodemerosiegevoelige gebieden nam toe van 6% in 1976 tot 20% in 2000 (Verstraeten 2012). De vraag naar de ESD hangt er af van de erosiegevoeligheid van het landgebruik. Grote delen van Brussel (Zoniën, bepaalde stadsdelen) liggen in erosiegevoelig gebied, maar het huidige landgebruik veroorzaakt geen erosie. Uitbreiding van bebouwing zal er dus niet resulteren in een grotere vraag naar regulatie van erosierisico. Bebouwing op erosiegevoelige percelen zelf vermindert de erosie op het perceel, omdat een afgedichte bodem niet kan eroderen. Het kan daarentegen wel de erosie op nabijgelegen percelen verhogen. Omdat neerslagwater er niet kan infiltreren, zal het grotendeels (oppervlakkig) afstromen naar lageregelegen percelen en er dus mogelijk de erosie doen toenemen. Bovendien is bebouwing nefast voor de bodemkwaliteit omdat alle bodemfuncties verloren gaan.

Bij de subdriver *teeltverandering* is de erosiegevoeligheid van de teelten in de bodemerosiegevoelige gebieden relevant. Tijdens de periode 2007-2011 bleef de oppervlakte aan erosiegevoelige teelten (zijnde een teelt met een hoge of zeer hoge gewaserosiegevoeligheid, d.w.z. met een gewaserosiegevoeligheidsfactor<sup>15</sup> groter dan 0,25) en de gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid van de teelten nagenoeg constant (Figuur 4) en (Figuur 5). Uit Figuur 5 blijkt ook dat op percelen met een zeer hoge bodemerosiegevoeligheid, minder erosiegevoelige gewassen gekweekt werden. Bovendien betrof het vaak permanente bedekking (bv. grasland) met een zeer lage gewaserosiegevoeligheid (Figuur 6). Dit was in mindere mate ook het geval op percelen met een hoge bodemerosiegevoeligheid. Desondanks had 15% van de teelten op percelen met een zeer hoge bodemerosiegevoeligheid<sup>16</sup>, een hoge gewaserosiegevoeligheid. Dit aandeel nam toe tot 37% bij de percelen met een hoge bodemerosiegevoeligheid (Figuur 6). Dit betekent dat tussen 2007-2010 het effect van deze subdriver op regulatie van erosierisico hetzelfde bleef. Op percelen met een zeer hoge of hoge erosiegevoeligheid kan het aanbod van de ESD toenemen, indien voor minder erosiegevoelige teelten gekozen wordt

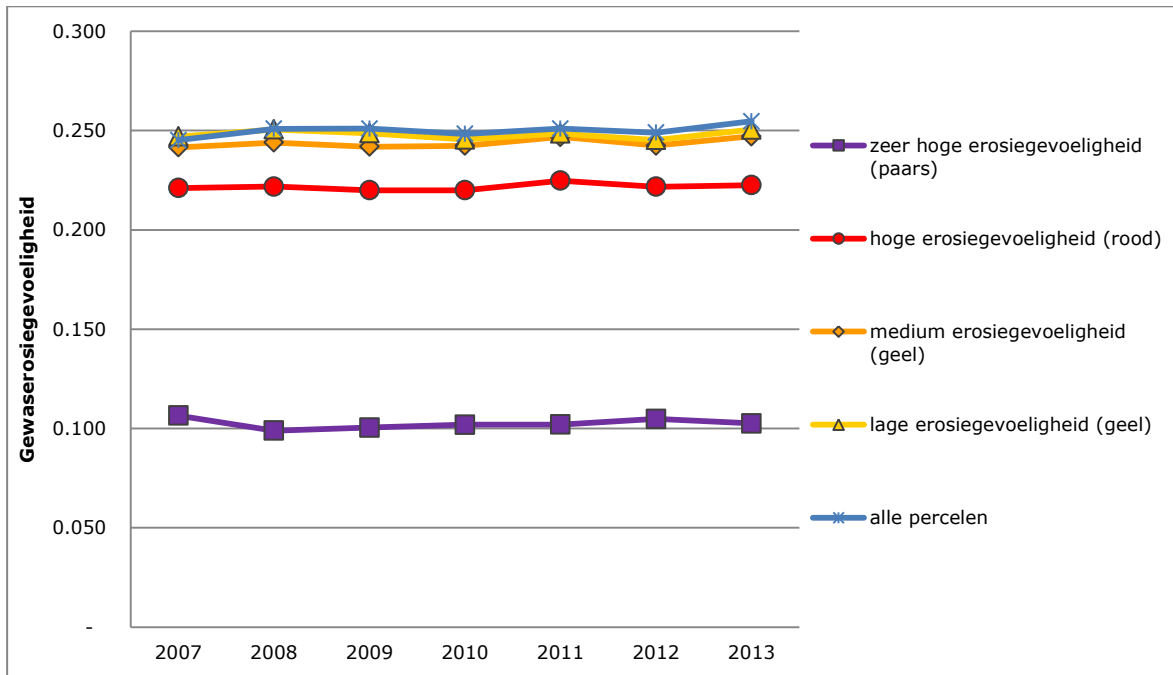


**Figuur 4.** *Relatieve evolutie van de totale oppervlakte (ha) hoog en zeer hoog erosiegevoelige gewassen op percelen met een zeer hoge, hoge, medium en lage bodemerosiegevoeligheid in Vlaanderen (Vlaanderen, 2007-2013) (Bron: ALBON)*

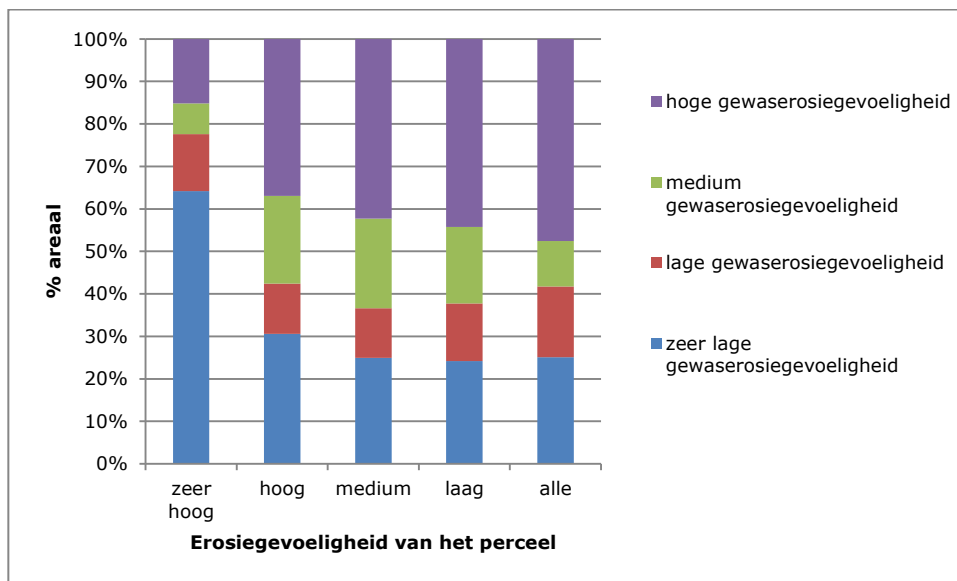
<sup>14</sup> Deze schatting betreft de effectieve bebouwing en de tuinen en verschilt van de categorie 'bebouwd' in de landgebruikskaat.

<sup>15</sup> De waarde van deze factor (ook wel C-factor genoemd) varieert tussen 0 (geen erosie) en 1 (maximale erosie).

<sup>16</sup> Op deze percelen dienen wel erosie-milderende maatregelen genomen te worden om in overeenstemming te zijn met de randvoorwaarden van het gemeenschappelijk landbouwbeleid (zie hoger).



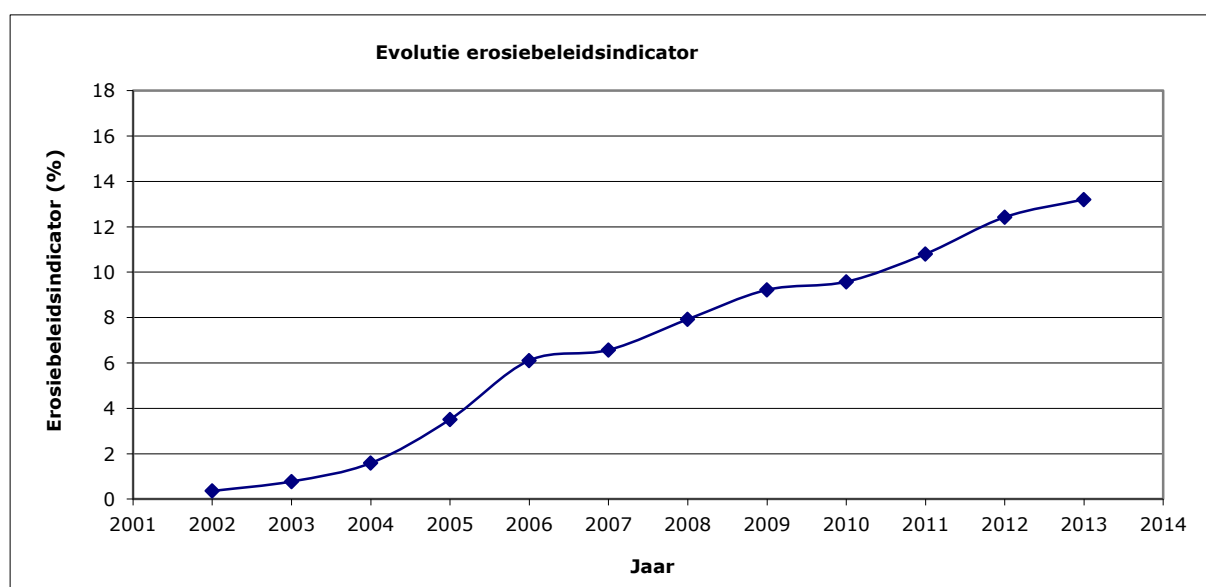
**Figuur 5.** Gemiddelde gewaserosiegevoeligheid voor percelen met zeer hoge, hoge, medium en lage bodmerosiegevoeligheid in Vlaanderen 2007 – 2013) (bron: ALBON)



**Figuur 6.** Procentuele verdeling van de in 2013 in Vlaanderen aanwezige arealen van de teeltgroepen met een hoge (paars), medium (groen), lage (rood) en zeer lage (blauw) erosiegevoeligheid (bron: ALBON)

De subdriver gerealiseerde erosie maatregelen geeft een indicatie in welke mate de erosiegevoeligheid van de teelten in erosiegevoelige gebieden gemilderd wordt door het nemen van maatregelen. Deze maatregelen kunnen een ecosysteemverandering op kleine schaal inhouden, bijvoorbeeld een akker die (deels) wordt omgezet naar een grasgang, grasbufferstrook, buffergracht of een kleinschalig bufferbekken. Daarnaast kunnen de maatregelen ook betrekking hebben op een verandering in exploitatie, bijvoorbeeld de omschakeling van ploegen naar niet-kerende bodembewerking. In Vlaanderen wordt deze subdriver opgevolgd door de *erosiebeleidsindicator*. Deze indicator meet het cumulatief effect van gemeentelijke kleinschalige erosiebestrijdingswerken en beheerovereenkomsten erosiebestrijding. Deze indicator houdt

rekening met de erosiegevoeligheid en de oppervlakte van de verschillende gemeenten. Bij een indicatorwaarde gelijk aan 100% zijn de grootste bodemerosieproblemen in Vlaanderen opgelost. Eind 2013 stond de erosiebeleidsindicator op 13,2% (Figuur 7). Dit geeft aan dat 13,2% van de meest nuttige erosiebestrijdingsmaatregelen zijn gerealiseerd. Tot en met het jaar 2004 werden geen beheerovereenkomsten erosiebestrijding afgesloten tussen landbouwers en overheid. De knik in de grafiek van 2004 tot 2006 is dan ook het gevolg van een sterke toename van het areaal aan beheerovereenkomsten erosiebestrijding in 2005 en 2006. In 2011 en 2012 steeg de erosiebeleidsindicator door het gecombineerde effect van het werk van de nieuwe gemeentelijke erosiecoördinatoren en de vereenvoudigde procedure voor gemeentelijke erosiebestrijdingswerken. In 2012 was er ook een sterke toename in de beheerovereenkomsten grasstroken. Daarentegen was er in 2012 maar een kleine toename van het areaal onder beheerovereenkomst niet-kerende bodembewerking en directe inzaai. De toename in 2013 is volledig op rekening van gemeentelijke erosiebestrijdingswerken, bij een stagnerend areaal beheerovereenkomsten met landbouwers, aangezien er dat jaar geen nieuwe beheerovereenkomsten afgesloten konden worden omwille van de hervorming van het plattelandsprogramma. Dus het aanbod van regulatie van erosierisico binnen bodemerosiegevoelige gebieden is licht aan het stijgen, maar er is nog veel werk aan de winkel om aan de vraag te voldoen (erosiebeleidsindicator=100).



**Figuur 7.** Realisatie van de gewenste erosie maatregelen in Vlaanderen (bron: ALBON en MIRA)

#### 4.2.2. Overexploitatie

De directe driver *overexploitatie* kan opgesplitst worden in de subdrivers verdichting van de bodem en bodemverarming.

*Verdichting van de bodem* versterkt de bodemerosie door water, omdat de porositeit van de bodem vermindert. Hierdoor is er minder infiltratie en stroomt meer water oppervlakkig af. Bodemverdichting wordt veroorzaakt door intensivering van landgebruik omdat dit meestal gepaard gaat met het gebruik van zwaardere machines. Ook de bodemfauna wordt negatief beïnvloed door een intensievere bewerking, wat eveneens zorgt voor een sterkere verdichting en minder infiltratie (zie paragraaf 5). Vooral vochtige tot natte bodems zijn extra gevoelig voor verdichting.

*Bodemverarming* kan een negatieve rol spelen in de bescherming tegen erosie. Het gaat hierbij eerder om fysieke dan om chemische bodemverarming. Een bodem met een laag gehalte aan organisch materiaal heeft namelijk een slechtere bodemstructuur en een lagere infiltratiecapaciteit, waardoor meer water oppervlakkig kan afstromen (veranderingen in bodemstructuur). Bij overexploitatie worden gronden intensiever bewerkt. Het aanwezige organisch materiaal verteert hierdoor sneller, terwijl minder organisch materiaal na de oogst in de bodem kan accumuleren. Bovendien is er vaak onvoldoende aanvoer van organisch materiaal.

Een van de teelttechnische maatregelen die door het verminderen van bodemverarming en –verdichting de dienst regulatie van erosierisico optimaliseert, is het achterlaten van gewasresten op de akkers. Door deze maatregel nemen het organisch gehalte in de bodem en de regenwormactiviteit toe. Regenwormpopulaties kunnen baten ondervinden door het toedienen van kalk, waardoor het bodem pH verhoogt, en door het toedienen van dierlijke mest (vooral stalrest), waardoor het gehalte aan organisch materiaal in de bodem toeneemt (Van De Vreken *et al.* 2009). Biologische activiteit, zoals gebeurt door regenwormen en mollen, kan bovendien een bodem met slechte structuur decompacteren. Daarnaast zorgen ook natuurlijke processen, zoals het afwisselen van vorst en dooi, voor decompactie van de bodem. Mechanisch losmaken van de bodem kan worteling en bodemfauna eveneens ten goede komen, wat leidt tot een verhoogd aanbod van de ecosysteemdienst. Daarnaast is het ook belangrijk om de huidige bodemverdichting niet te laten toenemen. Preventieve maatregelen zijn het gebruik van lichtere machines, een lagere bandenspanning, verminderen van de wiellast en aanpassen van de wielconfiguratie (Van De Vreken *et al.* 2009). Deze preventieve maatregelen voorkomen dat het aanbod van regulatie van erosierisico vermindert. Bovendien kan het aanbod ook toenemen omdat deze preventieve maatregelen ook kunnen leiden tot een verbetering van de bodemstructuur en dus een verhoogde infiltratie.

#### **4.2.3. Klimaatverandering**

Onderstaande tekst is gebaseerd op onderzoek door Ntegeka *et al.* (2008), Ntegeka & Willems (2008) en Willems (2009), zoals opgenomen in Brouwers *et al.* (2009).

Bodemerosie vormt voornamelijk een risico bij hevige regenbuien, wanneer de erosieve kracht van regendruppels groter is. Tijdens deze hevige regenbuien zal er water oppervlakkig afstromen wanneer de bodems verzadigd raken met water (dit is afstroming door 'verzadigingsoverschot') of wanneer de regenintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt (dit is afstroming door 'infiltratieoverschot'). Bij hevige zomeronweders zal het eerder gaan om 'infiltratieoverschot'.

Uit onderzoek door Willems (2009) blijkt dat in Vlaanderen, als gevolg van de klimaatverandering, een toename van het aantal extreme zomeronweders te verwachten valt tegen 2100. Uit Brouwers *et al.* (2009): "Een neerslagintensiteit die in het huidige klimaat maar eens om de anderhalve maand voorkomt, zou zich tegen 2100 maandelijks voordoen onder het nat klimaatscenario. Een periode van hevige neerslag die nu maar eens om de twee jaar voorkomt, zou zich onder dat nat klimaatscenario jaarlijks voordoen. De meest hevige, korte neerslagepisodes (1 uur of minder) die voorheen slechts eens per eeuw voorkwamen, zouden eens per decennium voorkomen (Willems 2009)". De toename van het aantal en de grootte van extreme neerslagbuien (= buien die minder vaak voorkomen dan gemiddeld tien keer per jaar) tijdens de winter is bovendien iets dat al merkbaar is over de afgelopen honderd jaar (Ntegeka & Willems 2008). Dergelijke extreme dagneerslag tijdens de winter blijkt iedere tien jaar enkele procenten toe te nemen. De historische datareeks toont nog geen toename in het aantal en de omvang van onweders in de zomer. De talrijke, hevige zomeronweders van de laatste 15 jaar kunnen ook een gevolg zijn van de natuurlijke klimaatschommelingen boven de Noord-Atlantische Oceaan en Noord-West Europa. Hetzelfde deed zich immers voor in de jaren 1910-1920 en in de jaren 1960 (Ntegeka *et al.* 2008).

#### **4.2.4. Impact directe drivers**

In onderstaande tabel wordt de impact van de directe drivers voor regulatie van erosierisico weergegeven.

**Tabel 6.** *impact en trend van de directe drivers op het aanbod van de ESD regulatie van erosierisico; effect driver: positief effect: +, negatief effect: -, geen effect: 0. Trend driver: negatieve trend: ↓, positieve trend: ↑, geen toe- of afname: =; beoordeling gebeurt relatief t.o.v. de huidige situatie*

Directe driver	effect	trend	Verklaring van de score van het effect
	+/-/0	↓/↑/=	
<b>D1 – Verandering landgebruik</b>			
D1.1. Bebouwing	+/-	↑	Voorkomt erosie wanneer er gebouwd wordt op erosiegevoelig perceel omdat de bodem er afgedicht wordt en dus niet meer kan eroderen. Dit proces is echter nefast voor de bodemkwaliteit omdat alle bodemfuncties verloren gaan. Kan door verminderde infiltratie leiden tot verhoogde en geconcentreerde afstroming waardoor erosie op stroomafwaarts gelegen percelen kan vergroten
D1.2. Teeltveranderingen	+/-/0		In functie van verandering van gewaserosiegevoeligheid
D1.3. Gerealiseerde erosiemaatregelen	+	↑	De grootte van het effect is afhankelijk van de toegepaste maatregelen
<b>D2 – Overexploitatie</b>			
D2.1. Bodemverarming	-	=	Beschouwd als minder organisch materiaal
D2.2. Bodemcompactie	-	↑	
<b>D3 – Klimaatverandering</b>			
D3.1. Toename extreme neerslag	-	↑	Toename van aantal en grootte van extreme regenbuien

## 5. Ecosysteemstructuren en -processen

Regulatie van erosierisico in erosiegevoelige gebieden wordt in belangrijke mate on-site geleverd door bodembedekking en bodembeheer. Zoals hoger geschetst (Figuur 1) wordt het mechanisme achter de ESD gedreven door abiotische ecosysteemstructuren (reliëf, neerslag, bodemtextuur en – structuur, ruwheid van het bodemoppervlakte) die bepalen of een terrein gevoelig is voor bodemerosie, en door de vegetatie en bedekking met gewasresten, die bepalen in welke mate de intrinsieke erosiegevoeligheid van het terrein verminderd wordt. De dienst is het grootst in *erosiegevoelige gebieden met een hoge bodembedekking (via vegetatie en gewasresten), een goede bodemstructuur en een ruw bodemoppervlak*, en waar er voorkomen wordt dat het geërodeerd materiaal het erosiegevoelige perceel verlaat of waar de modderstroom zo hoog mogelijk in het afstromingsgebied gebufferd wordt.

### 5.1. Ecosysteemstructuren

Bodemerosie door water is de resultante van inslaande regen en afstromend water enerzijds en de weerstand van de bodem anderzijds. Afstroming van water treedt op wanneer de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem of wanneer de bodem volledig verzadigd is met water. De volgende ecosysteemstructuren spelen hierbij een rol (LNE-ALBON 2011):

- **Neerslag:** Het vermogen om bodemdeeltjes los te maken en te transporteren wordt bepaald door de neerslaghoeveelheid (l), de neerslagintensiteit (l/min) en de kinetische energie van de regenbui. De invloed van deze factoren samen noemt men de neerslag-erosiviteit (R-factor). De neerslagerosiviteit wordt in Vlaanderen geschat op basis van het langetermijngemiddelde van de jaarlijkse R-waarde van 1898-2004 opgemeten in Ukkel<sup>17</sup> (Notebaert et al. 2005).

<sup>17</sup> De stuurgroep van het project 'verfijnde bodemerosiekaart voor Vlaanderen' besliste dat er geen kaart voor de berekening van de R-waarde nodig was, omdat de gemiddelde R-waarde van de verschillende stations, gemeten over de periode 1995-2004, niet statistisch verschillend was van deze van Ukkel. Daarnaast ging de

- **Reliëf:** In vlakke gebieden komt bijna geen watererosie voor. In heuvelachtige gebieden komt er meer erosie voor. Het risico op erosie is afhankelijk van de hellingslengte en hellingsgraad (MIRA 2011). Hierbij is per eenheidsoppervlakte de hellingsgraad meer bepalend dan de hellingslengte. Uit MIRA (2011): "De L-factor is een maat voor de hellingopwaartse oppervlakte van het toestroomgebied. Hoe groter de L-factor op een bepaald punt, hoe meer water er zich potentieel kan verzamelen en hoe groter het risico op erosie is (Verstraeten *et al.* 2001). De S-factor is afhankelijk van de lokale helling. Hoe steiler de helling, hoe meer bodemverlies er optreedt."
- **Bodem:** De gevoeligheid van de bodem voor erosie of bodemerodibiliteit, wordt bepaald door de bodemtextuur en de bodemstructuur. De bodemtextuur (textuurklasse) wordt bepaald door de korrelgrootteverdeling. Bodems met een leem-, zandleem- of kleitextuur zijn het meest erosiegevoelig (Declercq & Poesen 1991). Voor ieder type bodem in Vlaanderen kan op basis van de formules een K-waarde (bodmerosiegevoeligheidsfactor) worden afgeleid. Bij de berekening van de verfijnde bodemkaart voor Vlaanderen (Notebaert *et al.* 2005) werd er gekozen voor de formule van Declercq en Poesen (1991), waarbij de K-factor berekend wordt op basis van de korrelgrootte (Tabel 7), omdat de andere formules extra data (organisch materiaal op plotniveau) vereisen die niet beschikbaar zijn op schaal Vlaanderen. Een goede bodemstructuur maakt bodems minder erosiegevoelig, doordat regenwater sneller kan infiltreren, beter wordt vastgehouden en dus minder afspoelt. Een stabiele kruimelstructuur zorgt ervoor dat bodemdeeltjes minder gemakkelijk losgemaakt en verplaatst worden, en dat minder verslemping optreedt.

**Tabel 7.** K-waarde (ton.h/MJ.mm) voor de verschillende bodemtexturen in Vlaanderen (Declercq & Poesen 1991)

Textuurklasse	Codes op bodemkaart	K-factor
Zand	Z	0,012
Lemig zand	S	0,020
Licht zandleem	P	0,025
Zandleem	L	0,040
Leem	A	0,042
Klei	E en U	0,040

- **Bodembedekking door vegetatie:** Planten en plantenresten beschermen de bodem tegen erosie op verschillende manieren. Bovengrondse plantendelen (hoofdzakelijk bladeren) verminderen de impact van regendruppels op bodemdeeltjes, waardoor minder bodemdeeltjes worden losgeslagen. Stengels en stammen zorgen ervoor dat afstromend regenwater vertraagt en een minder erosieve kracht krijgt. Wortels en organisch materiaal tenslotte verhogen de infiltratiecapaciteit en de weerstand van de bodem tegen erosie. In landbouwgebieden bepaalt de mate waarin de bodem bedekt wordt door de gewassen (bedekkingsgraad) de gewaserosiegevoeligheid. Hoe hoger de bedekkingsgraad, hoe kleiner de kans op erosie. Een permanente en volledige bedekking, zoals door weiland, is het meest efficiënt voor erosiebestrijding, terwijl de bedekking door akkerbouwgewassen varieert in de loop van het groeiseizoen. Gemiddeld kan men stellen dat, bij een gelijkmatige spreiding van het gewas (dus niet bij rijgewassen), een grondbedekking van 30 % de erosie met 80 % vermindert (LNE-ALBON, 2011). De erosiegevoeligheid van een aantal bodembedekkingen (de C-factor) wordt weergegeven in Tabel 8 en voor de meest voorkomende gewasrotaties in Tabel 9.

voorkeur uit naar het langetermijngemiddelde (1898-2004), omdat deze waarde minder gevoelig is voor extreme waardes binnen de laatste tien jaar (zoals voor 2004 te Ukkel) (Notebaert *et al.* 2005)

**Tabel 8.** Gemiddelde jaarlijkse en seizoensale erosiegevoeligheid (C-factor) van de voornaamste landbouwgewassen en vegetatietypes in Vlaanderen onder de huidige klimatologische omstandigheden (bron: Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie, KULeuven, MIRA achtergronddocument Bodem & Bakker et al. 2008) (0 geen risico, 1 veel erosierisico)

Bodembedekking	Gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid (C-factor)	Gemiddelde erosiegevoeligheid in de maanden mei-juni (C-factor mei-juni)
Wintergranen	0,25-0,30	0,2-0,25
Mais	0,45-0,50	0,70-0,80
Groenten in open lucht	0,45-0,50	0,75-0,85
Andere zomergewassen (excl. maïs en groenten)	0,30-0,35	0,55-0,60
Weiland	0,005-0,015	0,005-0,015
Ruigte, struweel, heide	0,01	
Bos <sup>18</sup>	0,001-0,005	0,001-0,005

**Tabel 9.** Tabel 9 C-factor voor de belangrijkste gewasrotaties onder Vlaamse weersomstandigheden (Verstaeten et al. 2001) (0 geen risico, 1 veel erosierisico)

Rotatie	C-factor	Rotatie	C-factor	Rotatie	C-factor	Rotatie	C-factor
Bbb	0,24	aaa	0,31	mmw	0,43	wm	0,41
BBB	0,29	mgmgmg	0,35	mmwg	0,40	wam	0,38
Mmm	0,45	mGmGmG	0,32	awm	0,37	mma	0,43
Aaa	0,31	agagag	0,23	awmg	0,35	mgmgmga	0,38
Eee	0,36	aGaGaG	0,21	awmG	0,34	waB	0,32
Wab	0,31	waE	0,35	wae	0,34	wage	0,31
Wagb	0,28	bwa	0,33	bwag	0,28	bwga	0,31
Bwgag	0,26	bwam	0,35	bwamg	0,32	bwaw	0,35
Wba	0,30	wbag	0,25	cab	0,35	bwac	0,36
Bwacq	0,34	bway	0,30	bwaY	0,26		

Met m: maïs, w: wintergraan, e: chicorei zonder loofafvoer, b: bieten zonder loofafvoer, c: wortelen, a: aardappelen, E: chicorei met loofafvoer, B: bieten met loofafvoer, g: raaigras ingezaaid in omgeploegde bodem, G: raaigras ingezaaid in residu van voorgaande oogst, y: gele mosterd, Y: gele mosterd waarbij de volgende teelt ingezaaid wordt in residu gele mosterd

- **Bodemfauna:** Door hun impact op de bodemstructuur kunnen bodemdieren een belangrijke rol spelen in de bescherming van akkers tegen erosie. Zo werd voor Vlaanderen experimenteel aangetoond dat diepgravende regenwormen bijdragen aan het verminderen van bodemerosie (Valckx et al. 2009). Het erosieremmend effect van regenwormen wordt voornamelijk veroorzaakt door het verminderen van oppervlakkige waterafstroming ('runoff'), eerder dan door het verlagen van de sedimentconcentratie van het afstromende water. Dit wijst erop dat het vooral de verticale permanente gangen van diepgravende regenwormen zijn die voor een verhoogde waterinfiltratie zorgen. Men schat dat regenwormen de afstroming tot 75% kunnen verlagen (Blouin et al. submitted).

## 5.2. Ecosysteemprocessen

De ecosysteemprocessen van de ESD regulatie van erosierisico omvatten:

- **Infiltratie:** Een deel van de neerslag zal in de bodem dringen. Infiltratie is de indringing van de neerslag vanaf het bodemoppervlak. Infiltratie wordt bijgevolg sterk beïnvloed door processen die het bodemoppervlak en de bodemstructuur wijzigen, zoals bodembewerking, verslemping, korstvorming en wormgangen. Een vlotte waterinfiltratie betekent dat er minder water aan het oppervlak stagneert of oppervlakkig moet afgevoerd worden en reduceert dus het risico op bodemerosie door water. De bodemtextuur heeft een belangrijke invloed op de infiltratiesnelheid van een bodem. Water infiltreert snel in een zandbodem, middelmatig in een leembodem en traag in een kleibodem (Tabel 10).

<sup>18</sup> De erosiegevoeligheid van de verschillende bostypes is nog niet gekend. Daarom is besloten om met deze gemiddelde waarde voor bossen te werken. Deze waarde is evenwel een onderschatting van de erosiegevoeligheid van bepaalde bostypes, zoals een beukenbos met verdichtte bodem zonder een kruidlaag.

**Tabel 10.** Infiltratiesnelheid bij volledig verzadigde bodem voor verschillende bodemtexturen

Textuur	Infiltratiesnelheid (mm/u)
zand	20-85
zandleem	8-40
leem	4-30
Lichte klei	0,2-6
Zware klei	0,04-2

De infiltratiesnelheid wordt ook bepaald door de structuur van de bodem. In een bodem bestaande uit goed gevormde aggregaten en met een grote porositeit, zal het water gemakkelijker kunnen infiltreren vergeleken met een weinig of niet-gestructureerde bodem.

- Interceptie: een deel van de neerslag wordt opgevangen door de vegetatie.
- Verdamping: het door de vegetatie gecapteerde water of op de bodem gestagneerde water zal deels verdampen.
- Afstroming: al het water dat niet in de bodem infiltreert of verdampt, zal stagneren op de bodem of oppervlakkig afstromen. Afstroming van water treedt op wanneer de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem of wanneer de bodem volledig verzadigd is met water. Afstroming is een elementair proces bij het veroorzaken van bodemerosie en sedimenttransport. Hoe steiler en hoe langer de helling waarop het water 'ongehinderd' kan afstromen, hoe sneller de afstroming en hoe kleiner de kans om te infiltreren, hoe meer water zich accumuleert in stroomafwaartse richting en hoe groter de erosieve kracht van het afstromende water. Het proces van afstroming kan worden afgeremd door een (plotse) afvlakking in het reliëf of door een (plotse) toename van de weerstand. De verhoogde weerstand kan het gevolg zijn van een toename in vegetatieve bedekking of een toename van de ruwheid van het bodemoppervlak (bv. na ploegen of dankzij gewasresten op het bodemoppervlak).
- Spaterosie: het losmaken en transporteren van bodemdeeltjes door inslaande regendruppels
- Verslumping: treedt op wanneer aggregaten uiteenspatten en de fijne losgemaakte bodemdeeltjes de poriën opvullen. Er wordt een dunne korst gevormd die zorgt dat de infiltratiesnelheid drastisch afneemt en meer water oppervlakkig gaat afstromen.
- Intergeulerosie: treedt op wanneer bodemdeeltjes door inslaande regen of diffuus afstromend water worden losgemaakt en laagsgewijs getransporteerd door het afstromende water. Dit erosieproces is vrij 'onzichtbaar'.
- Geulerosie: treedt op wanneer geconcentreerd afstromend water de bodemdeeltjes losmaakt en verplaatst, waarbij kleine kanaaltjes worden uitgeschuurd, die makkelijk weggewerkt kunnen worden door ploegen.
- Ravijnerosie: wanneer geulen verder uitschuren en niet meer met conventionele machines kunnen weggewerkt worden, spreekt men van ravijnen. Men spreekt van ravijnen op akkers (tijdelijke ravijnen) en van bermravijnen waar geconcentreerd afstromend water een berm of talud kruist.
- Sedimentatie: treedt op wanneer het geërodeerde materiaal (sediment) wordt afgezet aan de voet van een helling of op een locatie waar de weerstand aan het bodemoppervlak (plots) toeneemt.
- Vorming van stabiele aggregaten: Aggregatie is het proces waar bodemdeeltjes (klei, leem en zand) samengebonden worden door organisch en anorganisch materiaal (Amézketa 1999). De stabiliteit van de aggregaten wordt beïnvloed door de textuur en de structuur van de bodem, de soorten kleimineralen, de aard en de hoeveelheid van het aanwezige organische materiaal, de aanwezigheid van bindende stoffen en het (in het verleden) toegepast bodembeheer. Daarnaast dragen organismen (bv. schimmels, bacteriën, planten(wortels), regenwormen en mieren) en de door hen vrijgestelde organische verbindingen, in belangrijke mate bij aan deze stabiliteit (Tissdall & Oades, 1982; Bronick & Lal 2005). Stabiele aggregaten zijn belangrijk omdat deze de bodem beschermen tegen mechanische of fysico-chemische krachten. Mechanische, destructieve krachten zijn het gevolg van het bewerken van de bodem, ingrepen met zware machines, het betreden door dieren en regenval. Fysico-chemische krachten doen bodemaggregaten uiteenvallen. Het uiteenvallen is het gevolg van een afbraak van de structuur door het nat worden van bodemaggregaten. Daarbij zwellen kleisoorten op, lossen bindmiddelen op, kan lucht ontsnappen of kan de zuigkracht van poriewater afnemen.

## 6. Toestand van de ecosysteemdienst

Om zicht te krijgen op de toestand van de ESD regulatie van erosierisico is het belangrijk dat vraag en aanbod gekwantificeerd worden, indien mogelijk ruimtelijk expliciet gemaakt worden en met elkaar vergeleken worden. Voor de beschrijving en kartering van de aanbodzijde wordt een onderscheid gemaakt tussen het bodembedekkings- en landbeheeraanbod. Het bodembedekkingsaanbod houdt rekening met de actuele toestand van de abiotische ecosysteemstructuren (bodemtextuur en -structuur, hellingsgraad en -lengte, neerslaghoeveelheid en -intensiteit en de kinetische energie van de neerslag) en met de mate waarin de bodembedekking<sup>19</sup> (bv. bos, maïs) de erosie vermindert ten opzichte van een gebruik als een bodembedekking met een medium erosiegevoeligheid (C-factor, 0,25). Dit betekent dat enkel een bodembedekking met een C-factor lager dan 0,25 bijdraagt aan de ecosysteemdienst regulatie van erosierisico. Het landbeheeraanbod houdt daarnaast ook rekening met het bodembeheer (bv. het toepassen van niet-kerende bodembewerking, het verhogen van het organisch stofgehalte in de bodem, preventie en remediëring van bodemverdichting). Om van een bodembedekkingsaanbod naar een landbeheeraanbod te gaan, zijn gegevens nodig over de locaties waar erosiereducerende maatregelen worden toegepast (deels geweten) en waar de bodem verdicht is (niet geweten). Daarnaast moet ook geweten zijn in welke mate erosie door beide factoren afneemt of toeneemt (deels geweten zie Rickson 2014). De vraag naar de ecosysteemdienst ontstaat wanneer actoren schade ondervinden (zie paragraaf 3.1). Het gebruik van de dienst tenslotte, verwijst naar de locatie waar en de mate waarin de aangeboden ecosysteemdienst ook daadwerkelijk geleverd én gebruikt wordt.

### 6.1. Bodembedekkingsaanbod

De kaart met het bodembedekkingsaanbod van de ESD regulatie van erosierisico is een weerspiegeling van de mate waarin de intrinsieke erosiegevoeligheid van een gebied gereduceerd wordt door de huidige bodembedekking. De berekening is gebaseerd op de RUSLE vergelijking (Revised Universal Soil Loss Equation; Renard *et al.* 1997). Bij invulling van de factoren worden de keuzes die gemaakt zijn tijdens de opmaak van de verfijnde bodemerosiekaart gevolgd (Notebaert *et al.* 2005). De RUSLE vergelijking geeft het gemiddeld bodemverlies als gevolg van intergeul- en geulerosie weer en wordt als volgt berekend:

$$A = R \times K \times LS \times P \times C$$

met:

- A = gemiddelde bodemverlies (ton/ha.j)
- R = regenerosiviteitsfactor (MJ.mm/ha.h.j)
- K = bodemerosiegevoeligheidsfactor (ton.h/MJ.mm)
- LS = topografische factor voor hellingslengte en hellingsgraad (dimensieloos)
- C = gewas- en bedrijfvoeringsfactor (dimensieloos)
- P = erosiebeheersingsfactor (dimensieloos)

Om te komen tot het bodembedekkingsaanbod, moet het verschil berekend worden tussen het gemiddeld bodemverlies in het geval dat de bodembedekking overal een bodembedekking is met medium erosiegevoeligheid is en de actuele situatie. De vergelijking wordt dan:

$$RE = (A_{me} - A_{hb}) = R \times K \times LS \times P \times (C_{me} - C_{hb})$$

met:

RE = regulatie van erosierisico

$A_{hb}$  en  $A_{me}$  = gemiddelde bodemverlies (ton/ha.j) op basis van resp. de huidige bodembedekking en de toestand waarin het een bodembedekking betreft met medium erosiegevoeligheid.

$C_{hb}$  en  $C_{me}$  = gewasfactor op basis van resp. de huidige bodembedekking en de toestand waarin het een bodembedekking betreft met medium erosiegevoeligheid. ( $C_{me} = 0.25$ ).

---

<sup>19</sup>De bodembedekking is niet volledig los te koppelen van het gevoerde beheer/beleid. De gewasfactoren zijn bijvoorbeeld berekend op basis van de gangbare praktijk van ploegen.

Wanneer de RE-waarde laag is, wordt de dienst nauwelijks geleverd. Voorbeelden van een lage regulatie van erosierisico zijn situaties waarin een bos voorkomt op een niet-erosiegevoelig gebied of wintergraan (zijnde een bodembedekking met medium erosiegevoeligheid) op een sterk erosiegevoelig perceel. Wanneer de bodembedekking sterk erosiegevoelig ( $Chb > 0.25$ ) is, is de RE waarde negatief. RE is des te negatiever naarmate het gewas en het perceel erosiegevoeliger zijn. Dergelijke negatieve waarde duidt er op dat het potentieel aanbod sterk verhoogd kan worden door een teeltwijziging. Het actueel aanbod kan verder verbeterd worden door erosiereducerende maatregelen.

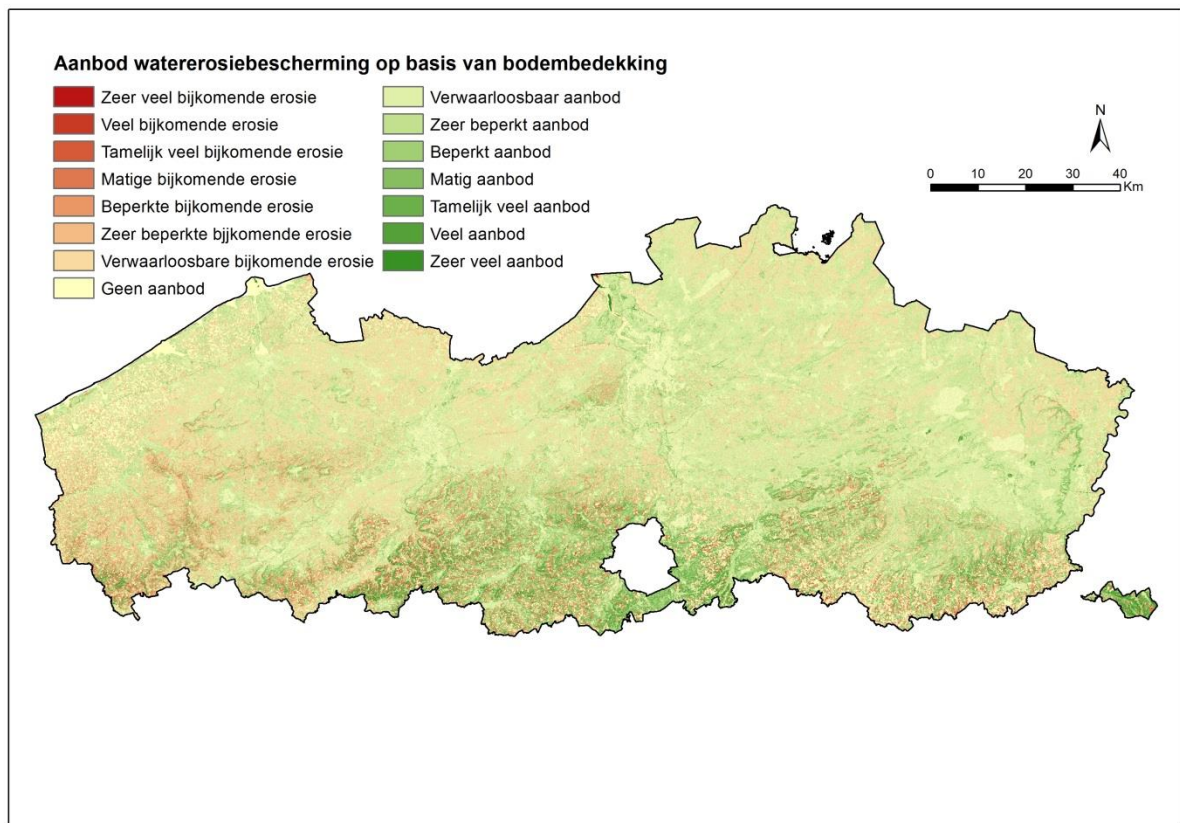
De factoren van de RUSLE-vergelijking werden als volgt ingevuld

- Voor de regenerosiviteitsfactor R werd een waarde van 880 MJ mm/ha/j aangenomen, zoals voorgesteld door Notebaert *et al.* (2005)<sup>20</sup> en Verstraeten *et al.* (2006). Dit is de gemiddelde R-factor voor Ukkel over de periode 1898-2004.
- Voor de gewasfactor op basis van bodembedekking met medium erosiegevoeligheid werd de waarde 0,25 genomen.
- Voor de gewasfactor van de huidige bodembedekking werden de waarden uit tabel 13 (zie bijlage 1) gebruikt.
- De erosiebeheersingsfactor P wordt bij het potentieel aanbod niet in rekening gebracht, omdat deze factor betrekking heeft op het beheer.
- Voor de bodemerosiegevoeligheidsfactor K werden, naar analogie met Notebaert *et al.* (2005), de gemiddelde waarden voor de verschillende textuurklassen in Vlaanderen gebruikt, zoals bepaald door Declercq & Poesen (1991) (zie paragraaf 5). Gegevens over de bodemtextuur zijn afkomstig van de bodemkaart van Vlaanderen. Voor gebieden waar geen gegevens over de textuur beschikbaar zijn (urbane gebieden), werd een inschatting gemaakt op basis van interpolatie van de meest nabijgelegen textuurzones.
- De topografische factor wordt ingeschat op basis van het digitaal terrein model van Vlaanderen.

In Figuur 8 en Tabel 11 wordt het bodembedekkingsaanbod van regulatie van erosierisico weergegeven. Hierbij werd er vanuit gegaan dat enkel bodembedekkingen met gewaserosiegevoeligheid lager dan 0,25 een baat opleveren. Een bodembedekking met een hogere gewaserosiegevoeligheid levert een maatschappelijke kost op. De kosten en baten worden gerekend ten opzichte van het referentiescenario. Bij deze berekening wordt er geen rekening gehouden met de middelste klassen (van zeer lage bijkomende erosie tot zeer laag aanbod). Uit Figuur 8 en Tabel 11 blijkt dat de keuze van de ecosysteembeheerders voor een bodembedekking met een (zeer) lage gewaserosiegevoeligheid in bodemerosiegevoelige gebieden resulteert in een vermeden erosie van 1,7 miljoen ton/jaar. Deze erosiereductie wordt gerealiseerd op 223.400 ha (16,4% van Vlaanderen). Hiervan is 87.000 ha urbaan, 76.500 ha landbouw en 36.400 ha bos (Tabel 12). Daarentegen is er een bijkomende erosie van nagenoeg 400.000 ton/jaar doordat ecosysteembeheerders soms toch voor meer erosiegevoelige gewassen kiezen. Deze bijkomende erosie is afkomstig van 71.900 ha (5,3% van Vlaanderen). Nagenoeg 70.000 ha hiervan is landbouw (Tabel 12). Zowel de vermeden als de bijkomende erosie zijn schattingen omdat er geen rekening is gehouden met bodembeheer.

---

<sup>20</sup> De stuurgroep van het project 'verfijnde bodemerosiekaart voor Vlaanderen' beslisten dat er geen kaart voor de berekening van R nodig was omdat de gemiddelde R-waarde van de verschillende stations gemeten over de periode 1995-2004 niet statistisch verschillend waren van de R-waarde van Ukkel. Daarnaast ging de voorkeur uit naar het lange termijngemiddelde (1898-2004) omdat deze waarde minder gevoelig is voor extreme waarden binnen de laatste tien jaar (zoals voor 2004 te Ukkel) (Notebaert *et al.* 2005)



**Figuur 8.** Bodembedekkingsaanbod van de ESD regulatie van erosierisico

**Tabel 11.** Bodembedekkingsaanbod van de ESD regulatie van erosierisico (rode markering potentiële maatschappelijke kost, groen: potentiële maatschappelijke baat)

Vermeden erosie op basis van de huidige bodembedekking, ten opzichte van een bedekking met medium erosiegevoeligheid (C-factor=0,25)				
Klasse vermeden erosie (ton/(ha*jaar))	Oppervlakte		Totale Vermeden erosie	
	ha	%	ton/ha	%
Zeer veel bijkomende erosie (1)	340	0,03	-27.500	-1,74
Veel bijkomende erosie (2)	1.343	0,1	-35.461	-2,24
Tamelijk veel bijkomende erosie (3)	5.543	0,41	-74.290	-4,69
Matig bijkomende erosie (4)	15.434	1,14	-106.135	-6,7
Beperkte bijkomende erosie (5)	49.221	3,62	-152.240	-9,61
Zeer beperkte bijkomende erosie (6)	57.348	4,22	-82.734	-5,22
Verwaarloosbare bijkomende erosie (7)	214.224	15,76	-81.801	-5,16
Geen aanbod (8)	156.527	11,52	0	0
Verwaarloosbaar aanbod (9)	462.700	34,04	171.018	10,8
Zeer beperkt aanbod (10)	173.169	12,74	237.555	15
Beperkt aanbod (11)	140.933	10,37	455.219	28,74
Matig aanbod (12)	43.256	3,18	300.422	18,97
Tamelijk veel aanbod (13)	22.675	1,67	314.653	19,87
Veel aanbod (14)	10.989	0,81	302.519	19,1
Zeer veel aanbod (15)	5.585	0,41	362.603	22,89
Tot	1.359.287		1.583.828	

**Tabel 12.** Bodembedekkingsaanbod ESD regulatie van erosierisico per landgebruiksklasse (in ha)

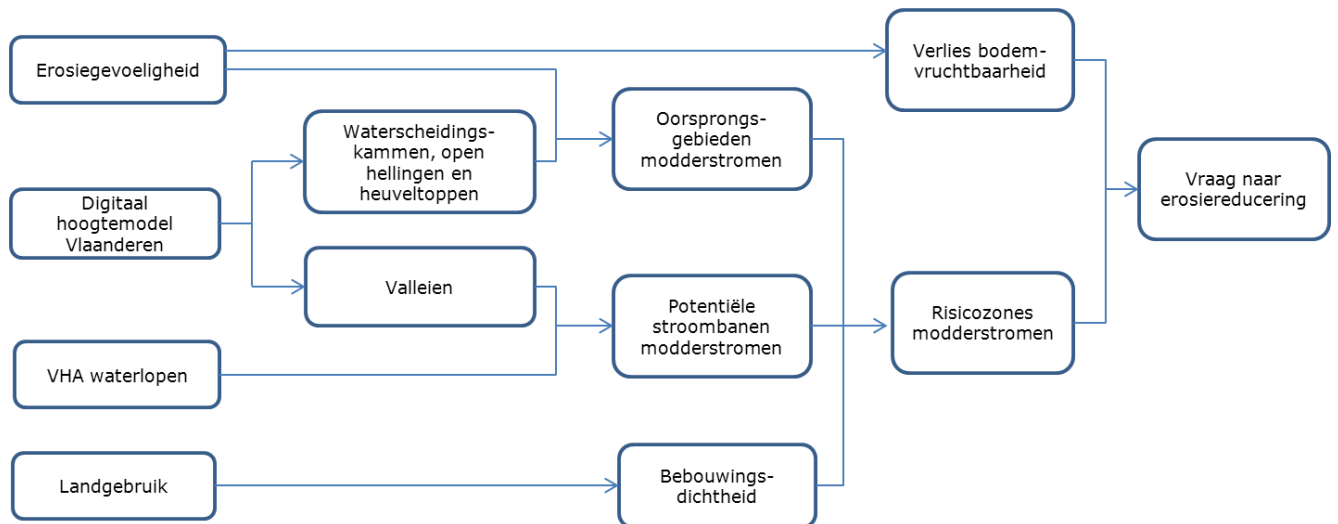
Landgebruik	Erosiebeschermingsklassen															Totaal (ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Overige	0	0	0	0	0	0	0	19	39	3	1	1	0	0	0	63
Ander groen	0	0	0	0	0	0	0	2.760	18.570	6.961	6.575	2.283	1.356	783	439	39.728
Water	0	0	0	0	0	0	0	7.735	15.670	3.078	3.629	951	480	190	396	32.128
Bos	0	0	0	0	0	0	0	4.320	53.696	44.922	23.932	5.596	3.367	2.196	1.293	139.322
Halfnatuurlijk grasland	0	0	0	0	0	0	0	368	7.711	2.123	2.780	1.093	691	395	232	15.393
Heide	0	0	0	0	0	0	0	2.002	4.572	1.063	335	116	61	26	11	8.184
Kustduin	9	18	46	68	100	131	83	264	537	316	156	68	25	4	0	1.825
Landbouw	288	1.292	5.367	15.036	47.813	54.540	202.401	83.011	174.441	45.346	46.736	15.938	8.398	3.793	1.606	706.006
Moeras	0	0	0	0	0	0	0	144	973	207	335	51	25	10	4	1.749
Slijk & schorre	39	18	67	119	181	116	415	550	0	0	0	0	0	0	0	1.504
Urbaan	4	15	63	210	1.126	2.562	11.325	55.356	186.492	69.151	56.454	17.160	8.273	3.592	1.603	413.386
<b>Totaal (ha)</b>	<b>340</b>	<b>1.343</b>	<b>5.543</b>	<b>15.434</b>	<b>49.221</b>	<b>57.348</b>	<b>214.224</b>	<b>156.527</b>	<b>462.700</b>	<b>173.169</b>	<b>140.933</b>	<b>43.256</b>	<b>22.675</b>	<b>10.989</b>	<b>5.585</b>	<b>1.359.287</b>

## 6.2. Vraag

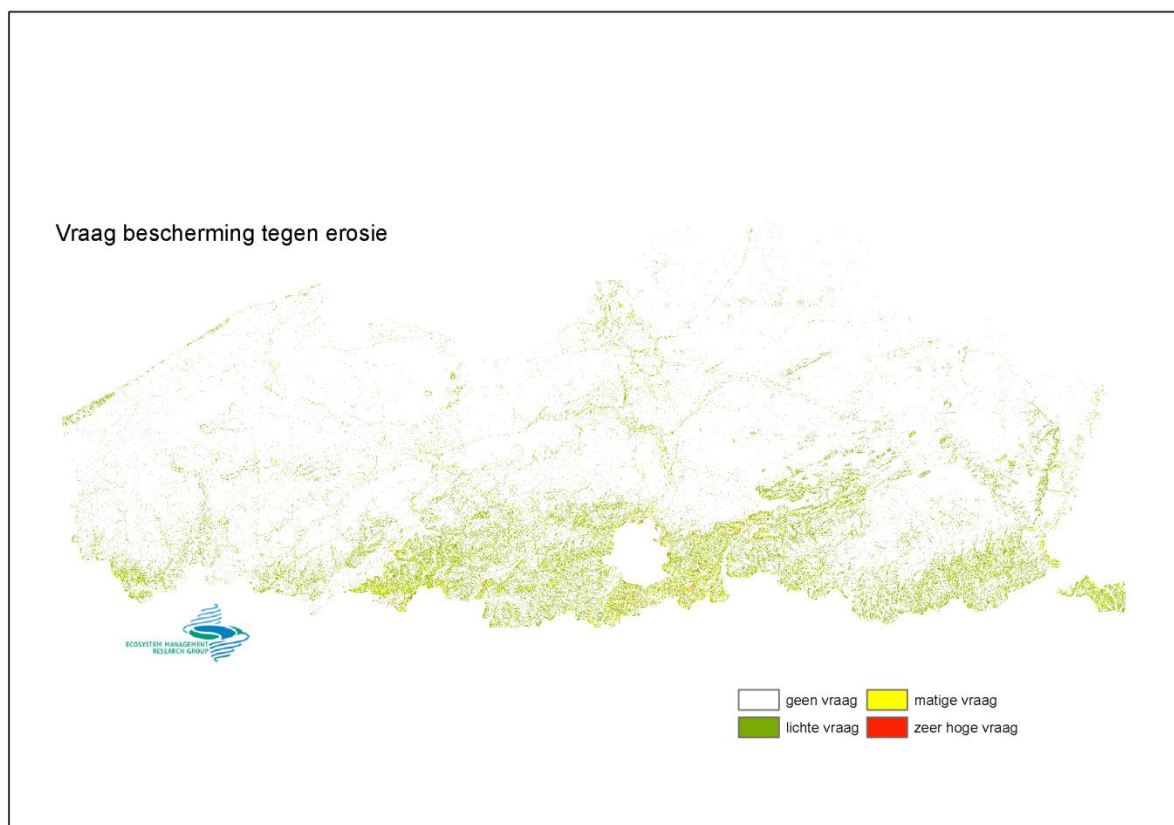
Zoals aangetoond in paragraaf 3 zijn er verschillende begunstigen voor de ESD regulatie van erosierisico. Om de erosievraag te kunnen karteren, dienen verschillende elementen bepaald te worden.

- (1) De gevoeligheid van het gebied voor modderstromen: dit hangt voornamelijk af van de geomorfologie van het gebied zelf en van zijn omgeving. Aspecten die de gevoeligheid bepalen zijn:
  - De kans op modderstromen: deze kans vergroot wanneer de bodem hellingopwaarts van de modderstroom erosiegevoelig is en het afstromingsgebied groter is. Diepe reliëfinsnijdingen creëren preferentiële stroombanen voor modderstromen.
  - De 'grootte' van de potentiële schade (bv. hoeveel woningen kunnen beschadigd worden) is de laatste jaren toegenomen omdat er meer mensen in erosiegevoelige gebieden wonen. Zo bedroeg in 1976 de bebouwing in erosiegevoelige gebieden 6% en in 2000 20% (Verstraeten 2012). Deze factor wordt in kaart gebracht op basis van de bebouwingsdichtheid binnen een straal van 50 m van elke rastercel, en wordt in rekening gebracht als een multiplicator van de gevoeligheid van een gebied aan modderstromen, omdat het effect van modderstromen groter is in dichtbebouwde gebieden.
  - Het verlies aan bodem en bodemvruchtbaarheid: de kans op modderstromen is groter wanneer de bodem erosiegevoeliger is.
  - De hoeveelheid sediment die de rivier bereikt: dit hangt af van het reliëf waarlangs de modderstroom passeert. Indien deze meer vlak is, wordt er meer sediment onderweg afgezet en dus minder in de rivier. Daarnaast kunnen ook hindernissen (bv. grasgangen en stobalen) voor een verhoogde sedimentatie onderweg zorgen. De cijfers voor sedimentaanvoer per rivierbekken volgens het referentiescenario van Beel et al. (2006) worden gebruikt om een beeld te krijgen van de rivierbekkens in Vlaanderen waar verwacht wordt dat de vraag naar regulatie van erosierisico vanuit de waterbeheerders het grootst is (zie paragraaf 2.4 Tabel 3)
- (2) De contaminatie van het erosiemateriaal met gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten (MIRA 2011) bepaalt mee de vervuilingsgraad van het slib. Hoe hoger de vervuilingsgraad, hoe groter de impact van sedimentatie in natuurgebieden en waterlopen, hoe duurder ruimingskosten van de waterlopen, hoe hoger de waterzuiveringskosten en dus hoe groter de vraag naar de dienst.
- (3) De sedimentatievracht in riolen (zie paragraaf 2.5).
- (4) De impact op soorten/vegetatie: deze is afhankelijk van de grootte van de sedimentatievracht en van de gevoeligheid van te beschermen soorten/vegetatie (in natuurgebieden en waterlopen) aan sedimentatie

De kaart met de vraag naar erosiereductie (Figuur 10) brengt elementen (1) tot en met (3) in rekening. Deze kunnen gezien worden als proxies voor de belangrijkste maatschappelijke effecten uit paragraaf 2. Afzetting van sediment in waterlopen wordt ook als essentieel effect gedefinieerd. Er is informatie beschikbaar over de hoeveelheid sediment dat via erosie in Vlaamse waterlopen terecht komt (Tabel 3). Meer gedetailleerde informatie over de nood aan ruimingen is echter noodzakelijk. Dit hangt af van de morfologie en de bergingscapaciteit van de waterloop. Door gebrek aan accurate ruimtelijke informatie, werden niet alle elementen in de vraagkaart mee opgenomen (zie ook paragraaf 9 Kennislacunes).



**Figuur 9.** schema voor de kartering van de vraag naar de dienst regulatie van erosierisico



**Figuur 10.** Vraag naar regulatie van erosierisico

### 6.3. Gebruik

De ESD regulatie van erosie wordt benut op die plaatsen waar een hoge vraag naar de dienst (gebied is sterk erosiegevoelig) overlapt met een hoog aanbod (landgebruik verlaagt erosiegevoeligheid). Voor de meeste elementen die de vraag bepalen, is er een sterk ruimtelijk verschil tussen vraag en aanbod. Enkel voor de vraag vanuit landbouw (behoud bodem en bodemvruchtbaarheid) overlappen vraag en aanbod. Gebieden waar een sterke reductie is van erosie door het aanwezige landgebruik (actuele aanbod, geen kaart), komen overeen met die gebieden waar de vraag naar bescherming tegen erosie vanuit het fysisch systeem het grootst is

(meest erosiegevoelige gebieden, figuur 9). Doordat er geen kaart kon gemaakt worden voor actueel aanbod, is het ook niet mogelijk om een gebruikkaart te maken.

## 7. Invloed van de ESD op biodiversiteit

Tommy D'Hose (Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek), Maarten Stevens, Tom Van den Neucker, Ans Mouton, Johan Coeck (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek), Katrien Van der Biest (Universiteit Antwerpen)

De optimalisatie van de ESD regulatie van erosierisico kan leiden tot een verhoging van de biodiversiteit.

### 7.1. Terrestrisch

De maatregelen grasgang en grasbufferstrook (enkel indien permanent) hebben een positief effect op de diversiteit aan microbiel bodemleven. Dit microbiel bodemleven is soortenrijker onder permanent grasland dan onder permanent akkerland. Daarnaast is er ook een positief, maar door de landbouwsector ongewenst effect op de plantparasitaire (en dus voor planten schadelijke) nematoden. Dit laatste is in respons op het uitgebreide wortelstelsel onder grasland. In een akkerbouwsysteem kan het aandeel plantparasitaire nematoden gereduceerd worden door een meer gevarieerde gewasrotatie. Ook regenwormen ondervinden positieve effecten. Regenwormen gedijen het best onder grasland, dat een stabiele omgeving en een relatief constant aanbod aan organisch materiaal als voedselbron biedt (Reubens *et al.* 2010). Onder akkerland ligt het aantal regenwormen gevoelig lager. Naast de rechtstreekse impact door bewerking, zorgt het afwezig zijn van een permanente bodembedekking voor een grotere variabiliteit in bodemtemperatuur en vochtregime onder akkerland, wat de regenwormen negatief beïnvloedt. Ook het gebrek aan voldoende voedsel vormt een probleem voor regenwormen, vooral bij gewassen die weinig tot geen oogstresten achterlaten (bv. wortel- en knolgewassen). Tenslotte kunnen ook typische akkervogels, zoals de veldleeuwerik, genieten van grasgangen en bloem- en grasbufferstroken wanneer het gevoerde beheer (bv. niet te vroeg maaien), de grassoorten (bv. kroppaar, rietzwenkgras en in mindere mate ook beemdlangbloem, timoteegras) en de ligging van de strook (bv. niet langs drukke wegen) gunstig zijn. Op termijn kan een ingezaaide grasbufferstrook eveneens evolueren naar een meer natuurlijke, soortenrijke grasstrook. Deze grasstrook staat echter wel onder continue invloed van afstromende nutriënten, pesticiden en sediment, wat het ontwikkelen van een zeer soortenrijke gemeenschap kan belemmeren. Meer info over 'biodiversiteitsgrasstroken' kan gevonden worden in D'Haene *et al.* 2010. Grasgangen kunnen ook als 'keverbank' of 'beetle-bank' gebruikt worden, wat gunstig kan zijn als broed- en foerageergelegenheid voor o.a. patrijs, veldleeuwerik en grauwe gors (Boatman *et al.* 2000). Kleine landschapselementen zoals bomenrijen en hagen en levende wilgenteendammen verhogen eveneens de biodiversiteit.

De maatregel groenbedekker heeft een positief invloed op het microbiel bodemleven. Het ingewerkte organisch materiaal van groenbedekkers vormt een bron van voedsel en stimuleert zo een actief en divers bodemleven. Ook de plantenwortels van de nog levende groenbedekkers spelen hier een belangrijke rol, via symbiose met mycorrhiza en door het afscheiden van suikers en hormonen. Voor een actief en goed ontwikkeld microbiel bodemleven is een continue aanvoer van deze stoffen belangrijk. Groenbedekkers kunnen ook een positief effect hebben op plantparasitaire nematoden, doordat het de waardplanten zijn van bepaalde aaltjes. Het effect kan ook negatief zijn wanneer aaltjesresistente groenbedekkers gebruikt worden. De soort groenbedekker speelt hier een doorslaggevende rol. Bij de keuze van een groenbedekker zal men daarom rekening dienen te houden met de eigenschappen van de gewassen in het teeltplan. Er wordt afgeraden een groenbedekker uit te zaaien die tot dezelfde familie behoort als de volgteelt. Voor een efficiënt aaltjesreducerend effect is niet alleen de soortkeuze van belang, maar moet ook de groeiperiode van de groenbedekker voldoende lang zijn, en moeten de bodemtemperatuur en -vochtigheid voldoende hoog blijven. Tijdige inzaai is dus van groot belang. Groenbedekkers hebben ook zowel een positief als negatief effect op regenwormen. Regenwormen hebben de voorkeur voor een bedekte bodem en verkieszen plantenbladeren boven plantenwortels als voedselbron (Valckx *et al.* 2009). Het negatieve effect is het gevolg van het afdoden en inwerken van groenbedekkers (zodat het hoofdgewas kan ingezaaid worden), waarbij schadelijke isothiocyaten vrijkomen, die een potentieel negatief effect op de wormenpopulatie kunnen hebben. Maar dit schadelijk effect neemt snel af (Valckx *et al.* 2009). Groenbedekkers leveren akkervogels beschutting, maar weinig of geen

rechtstreeks voedsel, omdat de zaaidatum te laat is om de groenbedekkers nog in zaad te laten komen (Dochy & Hens 2005). Ongewerveldeneters hebben mogelijk wel een voordeel, getuige het feit dat bijvoorbeeld graspieper en zanglijster vaak in gele mosterd zijn aan te treffen (Dochy & Hens 2005).

Nog andere erosiereducerende maatregelen, zoals het achterlaten van gewasresten op akkers<sup>21</sup> en maatregelen om de bodemcompactie<sup>22</sup> te verminderen, creëren kansen voor een verhoogde bodembiodiversiteit. Een bodem met een betere structuur en een lagere compactiegraad is gekenmerkt door een betere verluchting en dus zuurstofbeschikbaarheid voor bodemorganismen zoals regenwormen, alsook een gemakkelijkere penetratie door plantenwortels. Arthropoden ondervinden baten bij een lagere compactiegraad van de bodem door een verhoogde macroporositeit en dus meer schuilmogelijkheden (De Vos 2005). Bodemcompactie reduceert ook het poriënvolume beschikbaar voor nematoden. In een gecompacteerd bodem tonen nematoden een grotere activiteit rondom de plantenwortels (Van De Vreken *et al.* 2009), wat enerzijds kan resulteren in het afsterven van planten door ziektes en productieverlies, anderzijds vormen bepaalde nematoden natuurlijke vijanden voor naaktslakken en bepaalde plaaginsecten. Regenwormen op hun beurt verhogen als ecosysteemingenieurs de functionele biodiversiteit (Valckx *et al.* 2009): door hun activiteit werken ze oogstresten dieper in de bodem in en verhogen ze de porositeit van de bodem, waardoor ze niet alleen erosie verminderen, maar ook geschikt habitat creëren voor organismen zoals nematoden en arthropoden. Het achterlaten van gewasresten op akkers kan ook indirect de bovengrondse biodiversiteit bevorderen (bv. akkervogels, insecten,...) (Dochy & Hens 2005).

Het omzetten van intensief bewerkte akkers in erosiegevoelige gebieden naar minder erosiegevoelige landgebruikstypes kan leiden tot een verhoging van de biodiversiteit. Dit hangt voornamelijk af van het type vegetatie dat men wenst te realiseren. Wanneer bijvoorbeeld een akker omgezet wordt naar een monotoon grasland (bijvoorbeeld voor recreatie) of een monotoon bos (bijvoorbeeld monocultuur populier), leidt dit niet noodzakelijk tot een verhoging van de biodiversiteit hoewel de dienst regulatie van erosierisico wel geoptimaliseerd wordt. Wanneer het een meer natuurlijk landgebruikstype (bv. halfnatuurlijk grasland) betreft, is de kans groter dat de biodiversiteit toeneemt. Ook de omzetting naar agroforestry verhoogt de biodiversiteit ten opzicht van moderne akkerbouw (Varah *et al.* 2013).

Het vermijden van erosie en/of het opvangen van sediment nabij de plaats van erosie zorgt ervoor dat minder sediment hellingafwaarts terechtkomt in natuurgebieden. Onrechtstreeks heeft deze dienst dus ook een positief effect op de biodiversiteit, door het vermijden van verstoringen in soortenrijke ecosystemen. Verstoringen hebben enerzijds te maken met afzetting van het sediment zelf, maar vooral ook met nutriënten, pesticiden, herbiciden etc. gebonden aan het sediment. Vooral natuurgebieden grenzend aan landbouwpercelen kunnen hier sterk onder lijden.

Minimale of niet-kerende bodembewerking is goed voor de akkervogels, omdat er meer onkruiden zijn 's winters en meer zaden achterblijven op de oppervlakte (Dochy & Hens 2005). Daarnaast zijn er aanwijzingen dat het aantal ongewervelden groter is dan bij klassiek ploegen, maar dit hangt ook af van de lokale bodemomstandigheden (Dochy & Hens 2005).

## 7.2. Aquatisch

Behalve verstoring in waardevolle, terrestrische vegetaties, zorgt afstroming van sediment eveneens voor verstoringen in aquatische milieus. Sediment in waterlopen is voor een deel afkomstig van natuurlijke erosieprocessen in de rivier zelf, maar in heuvelachtige gebieden met intensieve landbouw is bodemerosie op de akkergronden de belangrijkste bron van sedimentaanvoer (Allan, 2004). De concentratie zwevende stof in de waterloop en de samenstelling van de waterbodem zijn bepalend voor de habitatdiversiteit in een rivier (Bilotta & Brazier 2008; Florsheim *et al.* 2008). Verschillende aquatische organismen zijn in hun levenscyclus zowel afhankelijk van habitats met fijnkorrelig sediment als van habitats met grof substraat. Daarnaast zijn de meeste soorten ook aangepast aan een tijdelijke verhoging van de sedimenttoevoer in een rivier. Wanneer echter de intensiteit en de duur van de sedimentaanvoer sterk afwijkt van de natuurlijke situatie, kunnen negatieve effecten op het aquatische milieu optreden. Deze effecten kunnen bovendien versneld of versterkt worden indien ook de natuurlijke waterdynamiek van een

<sup>21</sup> Bepalingen uit het mestdecreet over nitraatresidu's, werken hierbij beperkend, waardoor landbouwers aangezet worden om vooral geen gewasresten achter te laten op het veld.

<sup>22</sup> Een gecompacteerd bodem is meer erosiegevoelig, omdat er minder water kan infiltreren en dus meer water afstroomt (LNE-ALBON, 2011).

rivier verandert. Zo zal door de aanleg van een stuw de stroomsnelheid stroomopwaarts van de stuw verlagen, waardoor sedimentatieprocessen de overhand krijgen.

Bodemerosie kan via verschillende mechanismen het aquatisch milieu beïnvloeden (Figuur 11). Afspoeling van bodemmateriaal verhoogt in de eerste plaats de hoeveelheid opgelost sediment in een rivier. Dit zorgt voor een verhoogde troebelheid en schuurwerking. Troebelheid beïnvloedt de verstrooiing en de doordringing van licht in de waterkolom. Minder licht zorgt voor een verminderde fotosynthese, waardoor de primaire productie (perifyton, fytoplankton, macrofyten) daalt en er minder voedsel beschikbaar is voor grazers<sup>23</sup>. Via een trofische cascade<sup>24</sup> kan vervolgens ook de productie van de hogere trofische niveaus dalen (Sturt *et al.* 2011). Als de troebelheid van het water toeneemt, verlaagt ook de efficiëntie van visuele predatoren zoals snoek en baars ten voordele van andere predatoren die beter aangepast zijn aan troebel water (bv. snoekbaars). Bij te hoge sedimentconcentraties kunnen de opgeloste deeltjes de kieuwen van vissen en macro-invertebraten of het filterapparaat van filtervoeders verstoppen (Kemp *et al.* 2011). Sediment in oplossing kan tenslotte zorgen voor een verhoogde drift van macro-invertebraten door schuurwerking of door opvulling van de tussenruimte in het substraat. Ook waterplanten kunnen beschadigd worden of hun hechting aan het substraat kan gereduceerd worden door de schurende werking van sediment (Wood & Armitage 1997).

Als de stroming niet sterk genoeg is om het sediment in oplossing te houden, slaan de deeltjes neer op de bedding. Door de toegenomen sedimentatie wordt de tussenruimte in het substraat opgevuld, waardoor het habitat gehomogeniseerd wordt. Een aantal stroomminnende vissoorten, zoals kopvoorn, rivierdonderpad en zalmachtigen, zijn voor hun voortplanting afhankelijk van de aanwezigheid van stenig substraat. Substraatbroeders hechten hun eieren vast aan hard substraat met voldoende tussenruimte, zodat de eieren en de larven voldoende zuurstof krijgen. Te hoge sedimentatie vult die tussenruimte op en bedekt het stenig substraat, waardoor paaihabitat verdwijnt en de zuurstofdoorstroming vermindert. Het verlies van typische microhabitats door sedimentatie vertaalt zich ook in verschuivingen binnen de gemeenschappen van vissen en ongewervelde bodemdieren (Kemp *et al.* 2011; Wood & Armitage 1997). Vooral gravende invertebraten die tolerant zijn voor lage zuurstofconcentraties, zoals oligochaeten en chironomiden, worden belangrijker als het aandeel fijn sediment in het substraat toeneemt. Wanneer ook de abundantie van invertebraten vermindert, zal ook de samenstelling van de hogere trofische niveaus veranderen.

Via het geërodeerde sediment komen ook nutriënten, organisch materiaal en pollutanten in het oppervlaktewater terecht. Pollutanten zoals zware metalen en pesticiden kunnen het hormonaal systeem en de groei van organismen verstoren. Door bioaccumulatie kunnen deze stoffen zich ook ophopen in organismen hoger in de voedselketen. De nutriënten die door afspoeling in een waterloop terecht komen, zorgen in eerste instantie voor een verhoging van de primaire productie. Rivieren waar de voedselketen gebaseerd is op allochtoon materiaal<sup>25</sup> en de invertebratengemeenschap gedomineerd wordt door knippers<sup>26</sup>, kunnen hierdoor verschuiven naar een autochtoon<sup>27</sup> systeem waar grazers domineren (Hladyz *et al.* 2011; Delong & Brusven 1998). Te hoge productiviteit verhoogt echter de bacteriële afbraakprocessen en hiermee het zuurstofverbruik. Hetzelfde geldt voor de aanvoer van organisch materiaal van het land, dat door afspoeling in de rivier terecht komt. Vooral in traag stromende waterlopen kan hierdoor zuurstofgebrek optreden.

Een indirect effect van toegenomen sedimentatie op de aquatische biodiversiteit is de verstoring van de bodemstructuur van een waterloop door slibruiming. Om voldoende afvoer te garanderen, wordt het sediment in waterlopen regelmatig geruimd. Hierdoor kunnen populaties van soorten die

---

<sup>23</sup> **Grazers** zijn invertebraten die zich voeden met algen die op de bodem, stenen en planten groeien (bv. slakken).

<sup>24</sup> **Trofische cascade** is het effect van de wisselwerking tussen de consumenten (predator) en producenten (prooi) in een ecosysteem, dat een kettingreactie veroorzaakt doorheen meerdere niveaus van de voedselketen.

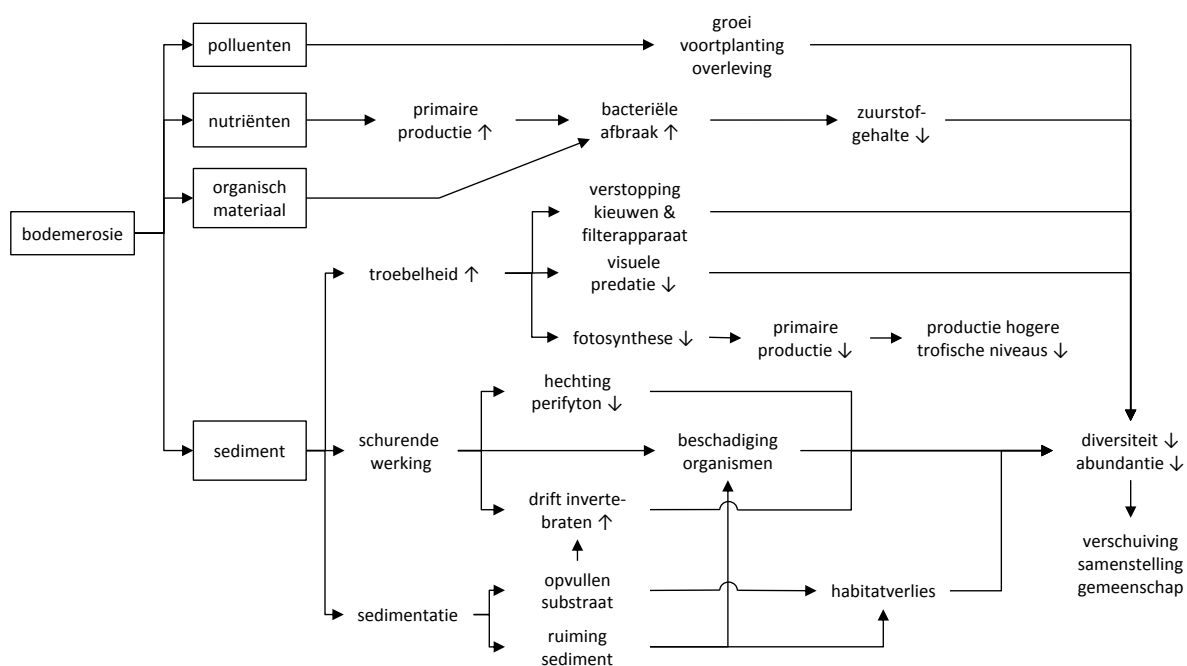
<sup>25</sup> **Allochtoon materiaal** is organisch materiaal dat afkomstig is uit de omgeving van de beek, zoals bladeren en takken.

<sup>26</sup> **Knippers zijn** invertebraten die zich voeden met grof organisch materiaal, dat ze met hun monddelen tot kleinere stukjes knippen (bv. larven van kokerjuffers).

<sup>27</sup> **Autochtoon materiaal is** organisch materiaal dat afkomstig is uit de beek zelf, zoals afgestorven waterplanten en algen.

zich in het sediment ophouden, zoals larven van beekprik, sterk gereduceerd of vernietigd worden (Harvey & Lisle 1998).

Om de impact van afstromend materiaal op het aquatisch milieu te verminderen, worden een aantal maatregelen voorgesteld. De aanleg van bufferstroken langs waterlopen en het afschermen ervan voor begrazing, moeten ervoor zorgen dat het sediment, nutriënten en polluenten niet of minder in de waterlopen terecht komen. Daarnaast zorgen de planten op de oever voor beschaduwing, waardoor de waterloop meer gebufferd is tegen temperatuurschommelingen (Feld *et al.* 2011; Henley *et al.* 2000).



**Figuur 11.** Negatieve effecten van bodemeris op het ecosysteem van stromende wateren

## 8. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik

### 8.1. Impact van de ESD op de toekomstige levering van de dienst

Het huidige gebruik van de dienst bescherming tegen erosie kan in sommige gevallen beslag leggen op het toekomstig gebruik ervan. De meest duurzame maatregelen ter optimalisatie van de dienst die de minste invloed zullen hebben op de toekomstige levering ervan, zijn deze die on-site erosie vermijden of verminderen, dus preventieve maatregelen. Sommige preventieve maatregelen, zoals het achterlaten van gewasresten, het introduceren van regenwormen, het gebruik van groenbedekkers en het verhogen van organische stof door stalmest, hebben zelfs een positief effect op de toekomstige levering van de dienst door een stelselmatige verbetering van de bodemstructuur. Andere preventieve maatregelen, het vermijden van bodemverdichting door lagedrukbanden, leiden tot een behoud van de bodemstructuur en dus tot een status quo van het erosierisico. Meer ingrijpende preventieve maatregelen zijn het omvormen van een akker naar een bos of het gebruik van minder erosiegevoelige teelten. Deze maatregelen leiden meestal ook tot een verbeterde toekomstige levering.

Bij van bufferbekkens, aangelegd voor het opvangen van afstromende modder, bestaat het risico op toeslibben. Dat kan de toekomstige levering van de dienst in het gedrang brengen. Om dit te voorkomen, kan het bufferbekken regelmatig geruimd worden. Naarmate de dienst intensiever gebruikt wordt (bijvoorbeeld door meer extreme zomerstormen of door intensievere bewerking van gronden), is er regelmatig nood aan menselijke interventie. Vermits het erosiebeleid in Vlaanderen pas sinds 2002 in werking is, zijn er op niveau Vlaanderen slechts beperkt gegevens beschikbaar over de effecten van het gebruik van deze dienst op langere termijn. In de studie van Van Hoestenbergh *et al.* (2008) over sedimentexport door onbevaarbare waterlopen in

Vlaanderen, werd op basis van het verschil tussen sedimentexport in suspensie aan de inlaat en sedimentexport aan de uitlaat van een gecontroleerd overstromingsgebied (Huise op de Plankbeek in het Bovenscheldebekken) berekend wat de totale vermindering in bergingscapaciteit was van het gebied in de periode van maart 2003 tot december 2007. Daaruit bleek dat de berging van het overstromingsgebied over een periode van bijna vier jaar 1.600 ton bedroeg. Dat komt overeen met een gemiddelde jaarlijkse afzetting van 350 ton of 270 m<sup>3</sup>. Bij de aanleg van het bekken begin jaren '90, bedroeg het totale bergingsvolume 24.000 m<sup>3</sup>. Dat betekent dat zonder ruimingswerken het gebied volledig zou toeslibben over een periode van 89 jaar. Om bescherming tegen overstromingen te garanderen, dient het bekken echter op meer regelmatige basis geruimd te worden. Zo werd het bekken voor de eerste keer gebaggerd in 2006, waarbij 6.000 m<sup>3</sup> sediment werd verwijderd.

## 8.2. Impact van de ESD op de huidige en toekomstige levering van andere diensten

De dienst bescherming tegen erosie veroorzaakt zowel trade-offs als synergieën met andere diensten:

Trade-offs:

- Aanleg van grasbufferstroken, grasgangen, houtwallen, erosiepoelen, buffergrachten en kleinschalige bufferbekkens verminderen de oppervlakte aan landbouwgrond die voor voedsel of energieteelt kan gebruikt worden, waardoor dus de voedselproductie vermindert. Hetzelfde geldt voor de omzetting van landbouwgrond naar bos. Daarnaast vermindert de voedselproductie ook bij een omzetting van een erosiegevoelige teelt naar agroforestry.

Synergieën:

- Een synergie is mogelijk met hout- en/of biomassaproductie, omdat bossen met een kruidlaag weinig erosiegevoelig zijn. Dergelijke synergie kan ook bekomen worden met bepaalde types van agroforestry (bv. populier, boskers of noten in combinatie met grasland) en korte-omloophout<sup>28</sup>.
- Achtergelaten gewasresten zorgen voor voedsel en dekking voor wildsoorten. Dat is positief voor de ESD wilddraadproductie.
- De omzetting van landbouwgrond naar niet-erosiegevoelige vegetatietypes kan verschillende regulerende diensten ten goede komen: waterzuivering door denitrificatie<sup>29</sup> en gewasopname van nutriënten onder een niet-bemest landgebruik (van Beek *et al.* 2005), koolstofopslag (Meersmans *et al.* 2008), verminderen van geluidshinder en verbeteren van de luchtkwaliteit (Broekx *et al.* 2013).
- Grasgangen en grasbufferstroken langs akkers en waterlopen zijn bijzonder geschikt voor waterzuivering door denitrificatie en gewasopname van nutriënten onder een niet-bemest landgebruik (van Beek *et al.* 2005).
- Het achterlaten van gewasresten op akkers verhoogt het organisch materiaal en heeft een positief effect op het bodemleven. Hierdoor stijgt ook de bodemvruchtbaarheid.
- Achterlaten van gewasresten op de akkers verbetert de bodemstructuur en dus ook de infiltratiecapaciteit van de bodem. Hierdoor kunnen grondwaterreserves meer aangevuld worden, op voorwaarde dat de akker niet gedraineerd wordt. Dit verhoogt de mogelijkheden voor de drinkwatermaatschappijen om aan drinkwaterproductie te doen.

<sup>28</sup> Het effect van korte-omloophout (KOH) op erosie is een combinatie van de effecten van het wortelstelsel en het vegetatiedek. In feite is er een shift in tijd tussen beide: wortels zijn vooral belangrijk op het moment dat de bovengrondse vegetatie nog beperkt is. Eenmaal de scheuten zich ontwikkelen, overschaduwen zij de rol van de wortels in het erosiereducerend effect (Gyssels & Poesen 2003). KOH bezit, zoals grasland, jaar rond een goed ontwikkeld wortelstelsel, in tegenstelling tot eenjarige landbouwteelten. Bij Korte-omloophout hebben dus zowel de bovengrondse als de ondergrondse delen van het gewas een erosiecontroleerende impact. In erosiegevoelige regio's, zoals de Vlaamse Ardennen of het West-Vlaamse heuvelland, kan KOH een belangrijke rol gaan spelen voor erosiecontrole.

<sup>29</sup> Een indicator voor denitrificatie is de chloor-nitrat verhouding in het grondwater (Van Beek *et al.* 2005). Wanneer deze hoger is, treedt er meer denitrificatie op. De Chloor-nitrat verhouding is hoger bij gras dan bij akker omdat gras gans het jaar begroeid is en hierdoor meer nitraat opneemt. Daarnaast ligt de transpiratie in het begin van het jaar hoger waardoor de chloorconcentratie in het grondwater stijgt.

Omdat daarnaast ook minder modder en water oppervlakkig afstroomt, vermindert het benedenstroomse overstromingsrisico. Op verschillende plaatsen in Vlaanderen worden opvangbekkens zowel ingezet voor de beperking van erosie als voor de bescherming tegen overstromingen (Steunpunt Land en Water)

- Verschillende culturele diensten ondervinden rechtstreeks baten bij erosiemaatregelen zoals omvorming van het landgebruikstype, aanleg van grasbufferstroken, aanleg en onderhoud van kleine landschapselementen, erosiewallen en bufferbekkens. Dergelijke kleinschalige ingrepen kunnen de esthetische waarde van een monotoon landbouwlandschap verhogen.
- Ook culturele diensten in hellingafwaarts gelegen gebieden profiteren van preventie van erosie en opvang van afstromend sediment in hellingopwaartse gebieden, door het vermijden van verstoring en vervuiling van waardevolle ecosystemen en landschappen

### **8.3. Link van de gradiënt natuurlijk-technologisch met de impact van de ESD**

Naarmate de gradiënt natuurlijk-technologisch meer overhelt naar de natuurlijke zijde (verandering in landgebruik), zal de trade-off tussen bescherming tegen erosie en landbouw groter zijn. De grootste impact valt te verwachten bij ecosystemen met de hoogste mate van natuurlijkheid. Zo zal de omvorming van een landbouwgrond naar een natuurlijke bodembedekking, resulteren in een bijna volledig verlies van de landbouwproductie. Omdat een dergelijke transformatie niet enkel afstroom van sediment verhindert, maar ook effectief erosie door regeninslag en geulvorming vermijdt, levert het de beste resultaten op voor de dienst bescherming tegen erosie. Ook de positieve impact op andere diensten, zoals bijvoorbeeld waterzuivering, behoud van bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit, is het grootst bij een omvorming van landgebruik over het volledige perceel.

Op een landbouwgrond waar geen erosie vermeden wordt en er nog geen of beperkt kleine landschapselementen aanwezig zijn die sediment tegenhouden, kunnen de off-site gevolgen van erosie verminderd en/of voorkomen worden door de omzetting van een beperkt deel van de landbouwgrond naar grasbufferstroken, grasgangen en kleine landschapselementen. Door deze omzetting kunnen voedselproductie en regulatie van erosierisico in grote mate samengaan. Een andere dienst die baten ondervindt door dergelijke maatregelen, is waterzuivering. Door de afzetting van nutriënten- en contaminantenrijk sediment in de grasbufferstrook, wordt de afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater vermeden.. Ook het ecosysteemproces infiltratie neemt toe, omdat de bodem op niet-bewerkte gronden minder gecompacteerd is en rijker is aan bodemleven bewerkte gronden (Inagro 2013). Wanneer naast bescherming tegen erosie ook een verhoging van de biodiversiteit beoogd wordt (bloemen- en soortenrijke grasstroken met insecten, akkervogels, streekeigen soorten), zullen meer beperkingen worden opgelegd aan het gebruik van pesticiden en nutriënten op de aangrenzende teelten en de strook zelf (Van Uytvanck *et al.* 2012). Dit kan mogelijk leiden tot een iets groter productieverlies. Langs de andere kant creëert een verhoogde biodiversiteit kansen voor pollinatie en natuurlijke plagenbestrijding, waardoor minder pesticiden nodig zijn. Ook culturele diensten, zoals landschapsbeleving en recreatie, ondervinden baten van soortenrijke grasstroken en kleine landschapselementen zoals hagen en houtkanten. Kleine landschapselementen hebben het bijkomend voordeel van houtproductie (Inagro 2013).

De aanleg van kunstmatic gegraven bufferbekkens, grachten en dammen creëert synergieën met verschillende ecosysteemdiensten. Zo kunnen grachten en bufferbekkens tegelijk ingezet worden voor de aanpak van sedimentoverlast én voor het vermijden van wateroverlast benedenstreams. Vaak zijn overstromingszones namelijk gecombineerd met een zand- of slibvang om sediment dat in de waterloop terecht komt te laten bezinken (Vandaele *et al.* 2009). Bovendien worden dergelijke overstromingszones meestal op ecologische wijze ingericht, met de aanleg van poelen, moeraszones, sloten, bronvijvers en aangepaste beplanting (Vandaele 2009). Deze diversiteit aan landschapsstructuren levert een bijdrage<sup>30</sup> aan de biodiversiteit en aan de landschappelijke waardering van het gebied.

Langs en in overstromingszones worden vaak ook wandelpaden of knuppelpaden aangelegd, wat culturele diensten zoals recreatie bevordert. Bufferbekkens blijken daarnaast ook een belangrijk

<sup>30</sup> Ze leveren een bijdrage, maar hoe groot die is hangt af van de beginsituatie, de inrichting, het beheer enz. Bovendien is de aanvoer van nutriënten en contaminanten niet bevorderlijk voor de biodiversiteit.

waterzuiverend effect te hebben. Uit onderzoek (Warmoes *et al.* 2013) is gebleken dat in het gecontroleerde overstromingsgebied te Bernissem (Sint-Truiden), naast een sterke afname van zwevend stof, de hoeveelheid nitraat, nitriet en totale stikstof met 65% is afgenomen, dat de hoeveelheid fosfor en orthofosfaat daalde met 50% en dat de concentratie aan insecticiden daalde met meer dan 60%. Samen met bezinking van sediment worden namelijk ook verschillende nutriënten en contaminanten begraven. Door een tijdelijke opvang van water en sediment krijgen biochemische processen, zoals nitrificatie en denitrificatie, ook langer de kans om in te werken op aanwezige nutriënten (Vymazal *et al.* 2006). Tenslotte zorgt een tijdelijke opvang van water in bufferbekkens en grachten voor een verhoging van het infiltratiepotentieel (Acreman & Holden 2013) en dus voor aanvulling van grondwaterreserves en watervoorziening.

Bij het gebruik van meer teelttechnische maatregelen, zoals aanpassen van de bandenspanning, contourbewerking en het toedienen van dierlijke mest, wordt een impact op de dienst landbouwproductie verwacht.. Ondanks het feit dat teelttechnische maatregelen minder natuurlijk zijn, kunnen natuurlijke processen gestimuleerd worden. Zo zal het bekalken van een perceel verzuring van de bodem tegengaan, wat regenwormpopulaties ten goede komt (Baars 2000 in Van De Vreken *et al.* 2009). Het aantrekken van regenwormen verbetert op zijn beurt de bodemstructuur, de bodemverluchting, de bodemvruchtbaarheid en de infiltratiecapaciteit. Verschillende ecosystemendiensten worden hierdoor verbeterd. Het toedienen van dierlijke mest verhoogt het organisch stofgehalte van de bodem en verbetert zo de bodemstructuur en macroporositeit waardoor bodemleven meer wordt aangetrokken. Anderzijds zorgen ook andere technische maatregelen, zoals een verlaagde bandenspanning, voor een verminderde compactie van de bodem.

## 9. Kennislacunes

Met betrekking tot bescherming tegen erosie worden hieronder enkele van de belangrijkste kennislacunes opgesomd:

- Sedimentbalans per bekken: wat is de jaarlijkse toevoer van sediment naar de verschillende waterlopen? Door een beter inzicht te krijgen in de hoeveelheid sediment die in de waterlopen terecht komt als gevolg van erosie, kan het belang van deze dienst beter in kaart gebracht worden. Momenteel wordt hierrond onderzoek verricht dat gefinancierd wordt door het Departement LNE (ALBON) en de VMM.
- De huidige beschikbare kaarten rond het thema erosie (zoals de erosiegevoeligheidskaart) brengen enkel in kaart waar precies erosie ontstaat. De plaatsen waar het geërodeerde sediment wordt afgezet, of waarlangs modderstromen passeren, en dus de vraag naar deze dienst groot is, zijn moeilijker in kaart te brengen. Momenteel werd hiervoor op basis van GIS een methode uitgewerkt door de Universiteit Antwerpen. Er is echter meer gedetailleerd onderzoek nodig.
- Rond de impact van sedimentatie en de daarmee gepaard gaande input van nutriënten en contaminanten in natuurgebieden en in natuurlijke waterlopen is nog weinig onderzoek gedaan op niveau Vlaanderen.
- Om van het potentieel naar het actueel aanbod te gaan, zijn er gegevens nodig over de locaties van erosiereducerende maatregelen (onvolledig op dit moment), over de locaties waar de bodem verdicht is (niet beschikbaar), wat het organische koolstofgehalte is van de bodem en in welke mate erosie door al deze factoren afneemt of toeneemt (kennis is beperkt zie bv. Rickson 2014).

## Lectoren

*De lectoren hebben de ontwerptekst van dit rapport kritisch nagelezen en advies gegeven over de inhoudelijke onderbouwing. Deze rol houdt niet in dat de lectoren het volledig eens zijn met de inhoud van de uiteindelijke tekst.*

**Niko Boone**, INBO

**Michel Boucneau**, VMM

**Dieter Depraetere**, Inagro

**Petra Deproost, Liesbeth Vandekerckhove**, ALBON, departement LNE,

**Leen Franchois**, Boerenbond

**Donald Gabriels**, UGent, vakgroep bodembeheer

## Referenties

- Acreman M. & Holden J. 2013. How wetlands affect floods. *Wetlands*, 33, 773–786.
- Allan J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review Ecology, Evolution and Systematics*, 35, 257-284.
- ALV, 2014. De randvoorwaarden in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid. Agentschap Landbouw & Visserij, Brussel.
- Amézqueta, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2-3), 83-151.
- Bakker M.M., Govers G., Rounsevell M.D.A. 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena*, 57, 55-76.
- Beel A., Govers G. en Notebaert B. 2006. Scenario's voor de reductie van erosie en sedimentaanvoer in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA. MIRA/2006/12
- Bilotta G.S., Brazier R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- Boardman, J., Ligneau, L., de Roo, A., Vandaele, K., 1994. Flooding of property by runoff from agricultural land in northwestern Europe. *Geomorfology*, 10(1-4), 183-196
- Boardman, J., Verstraeten, G., Biolders, C., 2006. Muddy floods. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), *Soil Erosion in Europe*. Wiley, Chichester, pp. 743–755
- Boardman J., Vandaele K. 2010. Soil erosion, muddy floods and the need for institutional memory. *Area* 42(4), 502-513.
- Boatman, N., Stoate, C., Watts, N., 2000. Practical management solutions for birds on lowland arable farmland. In: *Proceedings of the 1999 British Ornithologists' Union Spring Conference*, held at Southampton, UK on 27-28.03.1999. BOU, UK.
- Broekx S., De Nocker L., Liekens I., Poelmans L., Staes J., Van der Biest K., Meire P., Verheyen K. 2013. Raming van de baten geleverd door het Vlaamse NATURA 2000-netwerk. Studie in opdracht van Agentschap Natuur en Bos. ANB/IHD/11/03
- Bromich, C.J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3-22.
- Brouwers, J., Peeters, B., Willems, P., Deckers, P., De Maeyer, P., De Sutter, R. 2009. Klimaatverandering en waterhuishouding. In: *VMM, Milieuverkenning 2030*. Vlaamse Milieumaatschappij, Mechelen, pp. 283-304.
- CIW 2013. Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. De Watertoets. Website CIW [ww.integraalwaterbeleid.be](http://ww.integraalwaterbeleid.be), september 2013
- Costanza, R., d'Arge, R., de-Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, J., 1997. The value of the worlds ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25 (1), 3–15.
- Crijns S. 2011. Alternatieven voor Niet Kerende Grondbewerking. Inpassingstudie erosiebestrijding in combinatie met ploegen op lössgronden. Rapport Bodembreed Interreg.
- D'Haene K., Laurijssens G., Van Gils B., De Blust G. & Turkelboom F. 2010. Agrobiodiversiteit. Een steunpilaar voor de 3de generatie agromilieumaatregelen? Rapport van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) i.s.m. het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO). I.o.v. het Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie. INBO.R.2010.38
- Delong M.D., Brusven M.A. 1998. Macroinvertebrate community structure along the longitudinal gradient of an agriculturally impacted stream. *Environmental Management*, 22(3), 445-457.
- Declercq, F., en J. Poesen. 1991. Erosiekaracteristieken van de bodem in Laag- en Midden-Belgie. *Tijdschrift van de Belgische vereniging voor Aardrijkskundige Studies (BEVAS)*, 1, 29-46.
- Dochy, O.; Hens, M. 2005. Van de stakkers van de akkers naar de helden van de velden : beschermingsmaatregelen voor akkervogels. Rapporten van het instituut voor natuurbehoud, 2005(01). Instituut voor Natuurbehoud: Brussel. 106 pp.

- Evrard O., Biielders C.L., Vandaele K., van Wesemael B. 2007. Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures. *Catena* 70(3), 443-454.
- Evrard O., Persoons E., Vandaele K., van Wesemael B. 2007. Effectiveness of erosion mitigation measures to prevent muddy floods: A case study in the Belgian loam belt. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 149-158.
- Evrard O., Vandaele K., van Wesemael B., Biielders C.L. (2008). A grassed waterway and earthen dams to control muddy floods from a cultivated catchment of the Belgian loess belt. *Geomorphology* 100(3-4), 419-428.
- Feld C.K., Birk S., Bradley D.C., Hering D., Kail J., Marzin A., Melcher A., Nemitz D., Pedersen M.L., Pletterbauer F. et al. (2011). From Natural to Degraded Rivers and Back Again: A Test of Restoration Ecology Theory and Practice. *Advances in Ecological Research*, 44, 119-209.
- Florsheim J.L., Mount J.F., Chin A. (2008). Bank erosion as a desirable attribute of rivers. *Bioscience* 58(6), 519-529.
- Geeraerts, A., Verheeke, J. 2014. Advies over het ontwerpbesluit randvoorwaarden/erosie. Milieu- en natuurraad Vlaanderen, Brussel.
- Gillijns K., Lambrechts J., Mennens K., Serlet L., Stieperaere M. en Windey S. 2005. Dossier bestrijding van bodemerosie. Bodemerosie: een enorm onderschat probleem. Boer en Tuinder, maart 2005. PP. 21-30
- Govers G., Vandaele K., Desmet P., Poesen J, Bunte K. 1994. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 45(4), 469-478.
- Gyssels, G., Poesen, J., 2003. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates. *Earth Surf. Process. Landforms* 28, 371-384.
- Haines-Young R., Potschin M. 2008. England's Terrestrial Ecosystem Services and the Rationale for an Ecosystem Approach. Full technical report CEM, School of Geography, University of Nottingham. Defra Project Code NR0107. 89 p.
- Haines-Young R., Potschin M. 2013. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. Report to the European Environment Agency. Centre for Environmental Management, University of Nottingham. EEA Framework Contract number EEA/IEA/09/003. 34 p.
- Harvey B.C., Lisle T.E. 1998. Effects of suction dredging on streams: A review and an evaluation strategy. *Fisheries* 23(8), 8-17.
- Henley W.F., Patterson M.A. (2000). Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: a concise review for natural resource managers. *Reviews in Fisheries Science*, 8, 125-139.
- Hladyz S., Abjornsson K., Chauvet E., Dobson M., Elosegi A., Ferreira V., Fleituch T., Gessner M.O., Giller P.S., Gulis V. et al. 2011. Stream Ecosystem Functioning in an Agricultural Landscape: The Importance of Terrestrial-Aquatic Linkages. *Advances in Ecological Research* 44:211-276.
- Hofman & Van Ruymbeke (1980). Evolution of soil humus content and calculation of global humification coefficients on different organic matter treatments during a 12-year experiment with Belgian silt soils. *Soil Science*, 129(2), 92-94.
- Holmes, T.P., 1988. The offsite impact of soil erosion on water treatment industry. *Land Economics*, 64(4), 356-366
- Inagro 2013. Erosie bestrijden in een notendop. Techinsche fiche Project Sediment. Europese Unie – Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
- Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P., Jones I. 2011. The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological Process* 25(11), 1800-1821.
- LNE-ALBON, 2011. Erosie in Vlaanderen. Departement Leefmilieu, Natuur & Energie - Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, Brussel. <https://www.milieuinfo.be/dms/d/d/workspace/SpacesStore/f14228ef-4590-436f-80b3-55cf0be07964/erosiebestrijding.pdf>

- Maes, S., Elsen, A., Tits, M., Boon, W., Deckers, S., Bries, J., Vogels, N. & Vandendriessche, H. 2012. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw – en weilandpercelen (2008 – 2011). Bodemkundige Dienst van België, 198 p.
- Meersmans, J., De Ridder, F., Canters, F., De Baets, S., Van Molle, M., 2008. A multipleregression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon(SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). *Geoderma*, 143, 1–13.
- MIRA, 2011. Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2010, Bodem, Overloop S., Tits M., Elsen A., Bries J., Govers G., Verstraeten G., Van Rompaey A., Poesen J., Notebaert B., Ruyschaert G., De Meyer A., Tirry D., Gulinck H., Van Orshoven J., Cardon M., D'Haene K., Oorts K., Maene S., Vlaamse Milieumaatschappij, [www.milieurapport.be/AG](http://www.milieurapport.be/AG)
- Nelson G.C., Bennett E., Asefaw Berhe A., Cassman K.G., DeFries R., Dietz T., Dobson A., Dobermann A., Janetos A., Levy M., Marco D., Nakic´enovic´ N., O'Neill B., Norgaard R., Petschel-Held G., Ojima D., Pingali P., Watson R., Zurek M. 2005. Drivers of Change in Ecosystem Condition and Services. In: *Ecosystems and human well-being: scenarios v2: findings of the Scenarios Working Group*, Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, DC.
- Ntegeka V. & Willems P. 2008. Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100 years time series of 10 minutes rainfall intensities at Uccle, Belgium, *Water Resources Research*, 44, W07402, doi:10.1029/2007wr006471.
- Ntegeka V., Willems P., Baguis P. & Roulin E. 2008 Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems – Phase 1. Development of climate change scenarios for rainfall and Eto. Samenvattend rapport bij de Fase 1 van het cci-hydr project door K.U.Leuven, Afdeling Hydraulica en KMI voor Federaal Wetenschapsbeleid, 56 p.
- Notebaert, B., Govers, G., Verstraeten, G., Van Oost, K., Ruyschaert, G., Poesen, J., Van Rompaey, A., 2006. Verfijnde erosiekaart Vlaanderen. K.U. Leuven, Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie in opdracht van de dienst Land en Bodembescherming
- Poesen J., Govers G., Goossens D. 1996. Verdichting en erosie van de bodem in Vlaanderen., *Tijdschrift van de Belg. Ver. Aardr. Studies – BEVAS*, 2, 141-181.
- Poesen J., Verstraeten G., Soenens R. & Seynaeve L. 2001. Soil losses due to harvesting of chicory roots and sugar beets: an underrated geomorphological process ? *Catena*, 43 (1), 35-47.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder coordinators. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook 703, 404 pp.
- Reubens B., D'Haene K., D'Hose T., Ruyschaert G. 2010. Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Activiteit 1 van het Interregproject BodemBreed. Merelbeke-Lemberge: Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO). 203 p.
- Rickson, R.J., 2014. Can control of soil erosion mitigate water pollution by sediments? *Science of the total environment*, 468-469, 1187-1197
- Rusco, E., Montanarella, C., Bosco, C., Soil erosion: a mean threats to the soil in Europe. In: Tóth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (Eds.) *Threats to Soil Quality in Europe*. JRC scientific and technological reports, Luxembourg, pp. 37-46
- Ruyschaert, G. 2005. Spatial and temporal variability of soil losses due to crop harvesting. Doctoraatsthesis, Faculteit Wetenschappen, Departement geografie-geologie, KULeuven.
- SALV, 2014. Advies betreffende wijzigingen randvoorwaarden erosie. Strategische adviesraad Landbouw & Visserij, Brussel.
- Sturt M.M., Jansen M.A.K., Harrison S.S.C. 2011. Invertebrate grazing and riparian shade as controllers of nuisance algae in a eutrophic river. *Freshwater Biology*, 56(12), 2580-2593.
- Tisdall, J. M., and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141-163.
- Valckx J., Govers G., Hermy M., Muys B. 2009. Ecoworm - Erosiecontrole in akkerland door het beheer van regenwormgemeenschappen. Eindrapport. IWT Landbouwkundig onderzoek 040681. Leuven: Departement Aard- en Omgevingswetenschappen K.U.L. 44 p.
- van Beek C.L., Heinen M., Clevering O.A. & van Kleef J. 2005. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater in een bufferstrook en aangrenzende akker. Resultaten van twee jaar experimenteel

- onderzoek aan een grasbufferstrook op zandgrond op akkerbedrijf Vredepeel. Wageningen, Alterra-rapport 1263. 76 blz., 23 fig., 120 tab., 51 ref.
- Vandaele K., Evrard O., Swerts M., Lammens J., Priemen P., van Wesemael B., De Vrieze M. 2007. Effect van erosiebestrijdingsmaatregelen in deelbekken Melsterbeek systematisch gemeten. *Water* 1-8.
- Vandaele K., Priemen P., Lammens J., Creemers F. 2004. Beperken van water- en modderoverlast door aanleg van kleine dammen in landbouwgebied. Case studie te Sint-Truiden. *Water*, maart-april, 1-9.
- Vandaele K., Lammens J., Priemen P. & Creemers F. 2009. Anders omgaan met Land en Water. Brongerichte aanpak landerosie en wateroverlast. Infobrochure Steunpunt Land en Water
- Vandaele K. 2012. Wat vinden de stakeholders van het Vlaamse erosiebeleid? Studienamiddag 10 jaar erosiebeleid in Vlaanderen – tijd voor een evaluatie. Departement LNE, 15 maart 2012.
- Van Den Eeckhaut M., Poesen J., Verstraeten G., 2007. Opstellen van een gevoeligheidskaart met betrekking tot massabewegingen (massatransport) voor de Vlaamse Ardennen. Rapport in opdracht van Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen
- Van Esch L., Joris I., Engelen G., Seuntjens P. 2012. Geografische spreiding van gewasbeschermingsmiddelen gebruikt in de landbouw: relatie tussen gebruik en emissie in oppervlaktewater, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2012/03, VITO, 2012/RMA/R/81
- Van Gossum P. 2012. Evaluatie van de instrumentenmix van natuurbeleid in landbouwgebied. Case vogelbeheer en erosiebestrijding. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (49). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Van Hoestenbergh T., Voet M., Eylebosch J. & Cabus P. 2008. Sedimentexport door onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Metingen 2003-2007. Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Operationeel Waterbeheer. D/2008/6871/021
- Van Kerckhoven S., Riksen M., Cornelis W.M. 2009. Afbakening van gebieden gevoelig aan winderosie in Vlaanderen. Eindrapport, Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer, 79p.
- Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A. 2000. The effect of tillage depth, tillage speed and soil condition on chisel tillage erosivity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 3, 354-363.
- Van Uytvanck J., Ilse Simoens, Peter Van Gossum (Red.) 2012. Optimalisatie van natuurbeleid in landbouwgebied: landschapsvisie Gelinden. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (45). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Varah, A., Jones, H., Smith, J. and Potts, S. G., 2013. Enhanced biodiversity and pollination in UK agroforestry systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 2073–2075. doi: 10.1002/jsfa.6148
- Verbist, K., Schiettecatte, W., Gabriels, D. 2004. Computermodel RUSLE C-factor. Eindrapport door de Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Afdeling Land. 88p.
- Verspecht A., Vandermeulen V., De Bolle S., Moeskops B., Vermang J., Van den Bossche A., Van Huylenbroeck G., De Neve S. 2011. Integrated policy approach to mitigate soil erosion in West Flanders. *Land Degradation and Development*, 22, 84-96.
- Verstraeten G., Poesen J., Steegen A., Govers G. 1999. Bodemerosie door water: bron van vele milieuproblemen in Vlaanderen. @WEL, 2, 8 p.
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G. 2001. Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met hetoog op het beperken van erosie en modderoverlast (proefproject gemeente Gingelom). Eindrapport. Laboratorium voor Experimentiële geomorfologie, KULeuven, 64 p.
- Verstraeten G. 2000. Modderoverlast, sedimentatie in wachtbekkens en begroting van de sedimentexport naar waterlopen in Midden-België, doctoraatsverhandeling Wetenschappen-Geografie, K.U.Leuven.
- Verstraeten G. 2012. Erosie in Vlaanderen in context geplaatst. Studienamiddag: 10 jaar erosiebeleid in Vlaanderen tijd voor een evaluatie.

VLM 2012. Bemestingsnormen maart 2012.

VMM, 2012. Berekeningen van vermestende depositie in Vlaanderen in 2010 door het VLOPS model.

Vymazal, J., G. Greenway, K. Tonderski, H. Brix, U. Mander, 2006. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. in: Wetlands and natural resource management. Eds. Verhoeven, J. T. A., B. Beltman, R. Robbink, D.F. Wingham, Ecological Studies, Vol. 190, 347p.

Warmoes T., Vandaele K., Lammens J. & Priemen P. 2013. Evaluatie waterzuiverend vermogen van het gecontroleerd overstromingsgebied te Bernissem (Sint-Truiden). Afdeling Rapportering Water, Vlaamse Milieumaatschappij, Leuven.

Willems P., 2009. Actualisatie en extrapolatie van hydrologische parameters in de nieuwe Code van Goede Praktijk voor het Ontwerp van Rioleringsystemen. Eindrapport bij de studie voor de Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Operationeel Waterbeheer.

Wood P.J., Armitage P.D. 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. Environmental Management, 21(2), 203-217.

Wustenberghs, H, Claeys, D, Overloop, S., 2008. Landbouw en milieu. MIRA achtergronddocument Landbouw, Milieurapport Vlaanderen. Mededelingen ILVO, 52, Merelbeke.

## Bijlage 1 Gewaserosiegevoeligheid van de verschillende landgebruiken

**Tabel 13.** C-factor van de landgebruikstypes in de landgebruikskaart versie 3 (bron: schriftelijke mededeling ALBON)

LG-kaart	Analoog met	C_factor	Bron
overig	verhard	0	Bakker et al. 2008
ander hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
ander laag groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
ruigten & pioniersvegetatie	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
struweel	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
water	Verhard	0	Bakker et al. 2008
ander loofhout bosref	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Beuk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Beuk + naaldhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Eik	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Eik + naaldhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Ander loofhout + naaldhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
loofbos elzen- essen- en wilg_bwk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
loofbos ander_bwk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Populier	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Populier + naaldhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
loofbos populier_bwk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Ander naaldhout_bosref	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Ander naaldhout + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Douglas	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Douglas + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Fijnspar	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Fijnspar + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Lork	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Lork + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Zwarte den	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Zwarte den + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
naaldbos ander_bwk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Grove den	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Grove den + loofhout	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
grove den_bwk	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
grasland voedselarm droog	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
grasland voedselarm nat	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
grasland voedselrijk droog	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008

LG-kaart	Analoog met	C_factor	Bron
grasland voedselrijk nat	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
droge heide	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
vochtige en natte heide	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
mosduin	Beschouwd als equivalent van 10% naakte bodem	0,1	Zie <a href="http://ecopedia.be/300/natuurtypes/Mosduin-grasland">http://ecopedia.be/300/natuurtypes/Mosduin-grasland</a>
helmduin	Moeilijk in te schatten, beschouwd als equivalent van 50% naakte bodem (zeer variabel)	0,5	Bakker et al. 2008
ander open duinlandschap	Moeilijk in te schatten, beschouwd als equivalent van 50% naakte bodem	0,5	Bakker et al. 2008
gesloten duinlandschap	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
strand	Naakte bodem	1	Bakker et al. 2008
aardappelen	Aardappelen (niet-vroege = meest voorkomende = worst case)	0,40	ALBON, pers. mededeling
aardbeiplanten	Aardbeiplanten (zonder bedekking tussen de rijen -> erosiegevoeligheid zoals groenten)	0,50	ALBON, pers. mededeling
braak	Braak: spontane bedekking	0,05	ALBON, pers. mededeling
cichorei	cichorei	0.36	Verstraeten et al. 2001
eiwithoudende gewassen	eiwithoudende gewassen (erwten, veldbonen, lupinen...)	0,50	ALBON, pers. mededeling
fruit en noten	fruit en noten (met voldoende bedekking tussen de rijen)	0,05	ALBON, pers. mededeling
graan	Graan - Wintergraan - Zomergraan	0,25 0,30	ALBON, pers. mededeling
hop	hop	0.50	ALBON, pers. mededeling
houtachtige gewassen	bebossing	0,10	ALBON, pers. mededeling
koolzaad	koolzaad	0,30	ALBON, pers. mededeling
oliehoudende zaden	olievlas	0.30	ALBON, pers. mededeling
olifantegras, mariadistel	olifantegras, mariadistel	0,08	Ruyschaert 2005
overige gewassen	zeer moeilijk in te schatten: eerder hoge erosiegevoeligheid (quasi worst case)	0,50	ALBON, pers. mededeling
raapzaad	Raapzaad - Winterraapzaad - Zomerraapzaad	0, 0,30 0,35	ALBON, pers. mededeling
suikerbieten	suikerbieten	0,35	ALBON, pers. mededeling
tabak	tabak	0,60	ALBON, pers. mededeling
vlas en hennep	vlas en hennep	0,30	ALBON, pers. mededeling
voedergewassen andere	voedergewassen andere	0,50	ALBON, pers. mededeling
voedergewassen bieten	voedergewassen bieten	0,35	ALBON, pers. mededeling
akker andere bwk	akker andere bwk	0,37	Gem waarde
boomgaard (hoogstam)	boomgaard (hoogstam) (idem grasland)	0,01	ALBON, pers. mededeling
boomgaard (laagstam)	boomgaard (laagstam) (idem fruit en noten)	0,05	Verbist et al. 2004
blijvend grasland	blijvend grasland	0,01	ALBON, pers. mededeling
cultuurgrasland permanent_bwk	cultuurgrasland permanent_bwk	0,01	ALBON, pers. mededeling
Weiland met bomen (> 50 bomen per ha)	Weiland met bomen (> 50 bomen per ha)	0,01	ALBON, pers. mededeling
cultuurgrasland tijdelijk	cultuurgrasland tijdelijk	0,08	Ruyschaert 2005

LG-kaart	Analoog met	C_factor	Bron
graszoden	Graszoden	0,08	Ruysschaert 2005
fruit (kweek planten)	Boomkweek – fruitplanten	0,80	ALBON, pers. mededeling
groenten	Groenten	0,5	Ruysschaert 2005
Jongplanten voor de sierteelt	Boomkweek – sierplanten	0,80	ALBON, pers. mededeling
kruiden	sierplanten	0,60	ALBON, pers. mededeling
plantgoed van niet-vlinderbloemige groenten	Sierplanten	0,60	ALBON, pers. mededeling
sierplanten	sierplanten	0,60	ALBON, pers. mededeling
sierteelt	sierteelt	0,60	ALBON, pers. mededeling
korte omloophout	Bebossing (korte omloophout)	0,10	ALBON, pers. mededeling
korrelmaïs	korrelmaïs	0,45	Verstraeten et al. 2001; Bakker et al. 2008
silomaïs	silomaïs	0,45	Verstraeten et al. 2001; Bakker et al. 2008
moeras	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
rietland	Ruigte en struweel	0,01	Bakker et al. 2008
schorre	Moeilijk in te schatten, beschouwd als equivalent van 50% naakte bodem	0,5	Bakker et al. 2008
slik	Naakte bodem	1	Bakker et al. 2008
slik of schorre	Moeilijk in te schatten, beschouwd als equivalent van 50% naakte bodem	0,5	Bakker et al. 2008
horeca_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
horeca_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
horeca_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
horeca_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
industrie_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
industrie_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
industrie_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
industrie_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
infrastructuur	Verhard	0	Bakker et al. 2008
militaire voorziening_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
militaire voorziening_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
militaire voorziening_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
militaire voorziening_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
recreatie & sportterrein_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
recreatie & sportterrein_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
recreatie & sportterrein_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
recreatie & sportterrein_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
Residentiële & commerciële bebouwing_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
Residentiële & commerciële bebouwing_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Residentiële & commerciële bebouwing_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008

LG-kaart	Analoog met	C_factor	Bron
Residentiële & commerciële bebouwing_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
Residentiële & commerciële bebouwing_landbouw	Akker	0,37	Bakker et al. 2008
Commerciële diensten & lichte industrie_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
Commerciële diensten & lichte industrie_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
Commerciële diensten & lichte industrie_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
Commerciële diensten & lichte industrie_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008
zeehaven_bebouwd	Verhard	0	Bakker et al. 2008
zeehaven_hoog groen	Bos	0,001	Bakker et al. 2008
zeehaven_laag groen	Grasland	0,01	Bakker et al. 2008
zeehaven_overig	Verhard	0	Bakker et al. 2008