

Verfijnde erosiekaart Vlaanderen: eindrapport

Bastiaan Notebaert, Gerard Govers, Gert Verstraeten, Kristof Van Oost, Greet
Ruysschaert, Jean Poesen, Anton Van Rompaey

K.U. Leuven, Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie

1 Inhoud

1	Inhoud	2
2	Inleiding	3
3	Watererosie	3
3.1	Inleiding	3
3.2	R of regenerosiviteitsfactor.....	4
3.2.1	Inleiding	4
3.2.2	Formule op basis van dagelijkse neerslaghoeveelheden.....	4
3.2.3	Berekeningen voor Vlaamse stations.....	5
3.2.4	Temporele variatie	8
3.2.5	Besluit	9
3.3	K- of bodemgevoeligheidsfactor.....	9
3.3.1	Inleiding	9
3.3.2	Formules	9
3.3.3	Gebruikte waardes binnen de berekeningen	13
3.3.4	Variatie van K in functie van het organisch materiaal.....	14
3.3.5	Theoretische variatie van K binnen de textuurklassen van de Belgische bodemkaart.....	15
3.3.6	Variatie van K(Dg) en K(nom) voor profielgegevens	17
3.3.7	Besluit	20
3.4	C of gewasfactor	21
3.4.1	Inleiding	21
3.4.2	Berekening van de C-factor	22
3.4.3	Berekende C-factoren in Vlaanderen.....	22
3.4.4	Besluit	26
3.5	LS-factor of topografische factor.....	26
3.5.1	Inleiding	26
3.5.2	Algoritmen	27
3.5.3	Gebruikt model: modelstructuur.....	29
3.5.4	Invoergegevens: perceelskaart en DTM	29
3.5.5	Schaafeffecten en correctiefactor	32
3.5.6	Extreme waardes.....	34
3.5.7	Besluit	35
4	Bewerkingserosie	35
4.1	Inleiding	35
4.2	Waardes voor K _{till}	36
5	Tussentijdse kaart watererosie	38
5.1	Inleiding	38
5.2	Berekeningswijze	38
5.3	Bewerkingserosie.....	39
5.4	Gebruik van de kaart en interpretatie.....	40
6	Definitieve erosiekaarten	40
6.1	Gebruikte datalagen	41
6.2	Verschillende geleverde kaarten	41

6.3	Gebruik van de kaart en interpretatie.....	42
7	Aggregatie en nauwkeurigheid	43
7.1	Aggregeren.....	43
7.2	Effect van het filteren van het DTM.....	43
7.3	Bewerkingserosie.....	47
8	Besluit.....	48
9	Referenties	49

2 Inleiding

De Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie heeft voor AMINAL-land in 2000 een erosiekaart aangemaakt die een schatting weergeeft van het gemiddelde erosierisico op perceelsniveau voor alle landbouwpercelen in het gegevensbestand van de Mestbank. Hoewel deze kaart een duidelijk beeld geeft van de ruimtelijke variatie van het erosierisico in Vlaanderen, voldoet zij niet voor welbepaalde beleidstoepassingen: voor het accuraat bepalen van de te nemen erosiebestrijdingsmaatregelen zijn de berekeningen immers niet nauwkeurig genoeg. Daarom werd besloten om een nieuwe kaart te maken, op basis van het ondertussen beschikbare DTM met een resolutie van 5 meter.

In wat volgt worden de gebruikte berekeningswijze en de gebruikte modellen uitgelegd, waarbij er per factor dieper wordt ingegaan op de verschillende bekomen waarden. In een volgend hoofdstuk worden de verschillende geleverde producten besproken, waarbij de nadruk ligt op de gebruikte basisdata en op de te verwachten kwaliteit van het uiteindelijke product – en de daarmee samengaan de consequenties voor gebruik. Tenslotte wordt er in een laatste hoofdstuk dieper ingegaan op de mogelijke fout van de berekeningen voor watererosie.

3 Watererosie

3.1 Inleiding

Watererosie werd ebrakend aan de hand van de RUSLE formule (Revised Universal Soil Loss Equation; Renard et al. 1997):

$$A=R K L S C P$$

vergelijking 1

Waarbij:

A: het gemiddelde bodemverlies als gevolg van geul- en intergeulerosie (ton/Ha.jaar)

R: regenerosiviteitsfactor (MJ.mm/ha.jaar)

K: de bodemerosiviteitsgevoeligheidsfactor (ton.h/MJ.mm)

LS: de topografische hellings- en lengtefactor (dimensieloos)

C: gewas- en bedrijfsvoeringsfactor (dimensieloos)

P: de erosiebeheersingsfactor (dimensieloos)

Om de LS factor te berekenen werd een model ontworpen dat gebaseerd is op de berekening van LS in het WaTEM/SEDEM model. De berekening van het ruimtelijk

patroon van de andere factoren gebeurde binnen GIS-software. In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de verschillende factoren.

3.2 R of regenerosiviteitsfactor

3.2.1 Inleiding

Voor de berekeningen werd een R-factor van 880 MJ.mm/ha.jaar gebruikt, dit is de gemiddelde R-factor voor Ukkel van de periode 1898-2004. Deze werd berekend aan de hand van tien-minuten neerslaggegevens voor Ukkel aan de hand van een formule opgesteld aan de onderzoeksgroep fysische en regionale geografie (Verstraeten 2005, pers. comm; Salles 2002, unpublished equation, pers. comm. to Poesen).

In de volgende paragrafen wordt een formule uiteengezet om de R-factor met dagelijkse neerslaghoeveelheden te berekenen, waarna deze formule wordt toegepast op enkele Vlaamse meetstations.

3.2.2 Formule op basis van dagelijkse neerslaghoeveelheden

Op basis van de gegevens van Ukkel werd een formule opgesteld om de R-factor te berekenen aan de hand van dagelijkse neerslaghoeveelheden voor andere neerslagstations, zodat een ruimtelijk beeld van de regenvalerosiviteit bekomen kan worden. Deze formule luidt (pers. comm. Verstraeten, 2005):

$$R_{jaar} = \mu * \sum \alpha * (Rd)^{\beta}$$

vergelijking 2

Met:

- R: de jaarlijkse R-waarde (MJ.mm/ha.jaar)
- Rd: de dagelijkse neerslaghoeveelheid in mm
- μ : te bepalen factor
- α , β : te bepalen factoren die variëren per maand

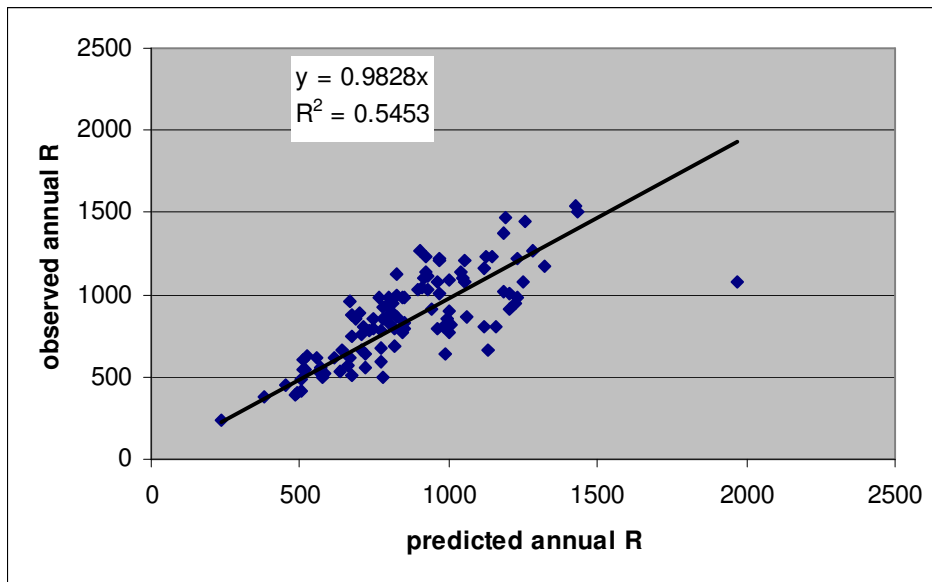
De waarde van μ werd vastgelegd op 1,35; de waardes van α en β worden weergegeven in Tabel 1 (Verstraeten 2005, pers. comm.).

Maand	α	β
Januari	0.0974	1.6713
Februari	0.1035	1.6399
Maart	0.1172	1.6233
April	0.1265	1.6569
Mei	0.1167	1.8857
Juni	0.1231	1.9099
Juli	0.1243	1.9761
Augustus	0.1281	1.9713
September	0.1123	1.9189

Oktober	0.1224	1.7244
November	0.1091	1.6721
December	0.0925	1.7173

Tabel 1: variatie van de α factor en de β factor (Verstraeten 2005, pers. comm.).

Deze formule heeft een model-efficiëntie (ME) van 0.66 om de maandelijkse R factor te voorspellen, en 0.54 voor de jaarlijkse R factor te voorspellen (telkens berekend voor alle waarnemingen van 1898 tot 2004) (Verstraeten 2005, pers. comm.). Deze waarden voor ME blijken echter zeer gevoelig voor de aanwezigheid van enkele *outliers*. Indien enkel de waarde van 1996 wordt weggelaten, dan blijft de ME voor de maandelijkse waarden 0.66 maar stijgt de ME voor de jaarlijkse waarden tot 0.65. Grafiek 1 geeft de relatie tussen de R-factor berekend met de formule volgens Verstraeten (2005, pers. comm.) en de R-factor berekend met tien minutengegevens weer (naar Salles 2002).



Grafiek 1: voorspelde jaarlijkse R-factor (MJ.mm/ha.jaar, naar Salles 2002, pers. comm. to Poesen) versus jaarlijkse R-waarde (MJ.mm/ha.jaar) berekend met tien minutengegevens (gebaseerd op gegevens KMI; naar Verstraeten 2005, pers. Comm.).

Aan de hand van de bovenstaande formule kan een schatting worden gemaakt van de R-factor aan de hand van de dagelijkse neerslaggegevens van een bepaalde periode. De fout op de schattingen is beperkt: wanneer we de gemiddelde R-factor schatten aan de hand van gegevens van 5 jaar, dan hebben we een kans van 22,9% dat die meer dan 10% afwijkt van de werkelijke R. Wanneer we gegevens van 10 jaar gebruiken dan is de kans op een afwijking van meer dan 10% slechts 4,8%. Om een betrouwbare inschatting van de R-factor te doen is dus een meetperiode van 10 jaar vereist.

3.2.3 Berekeningen voor Vlaamse stations

Aan de hand van bovenstaande formules werd de gemiddelde R-factor voor de periode 1995-2004 berekend voor tien Vlaamse stations op basis van dagelijkse

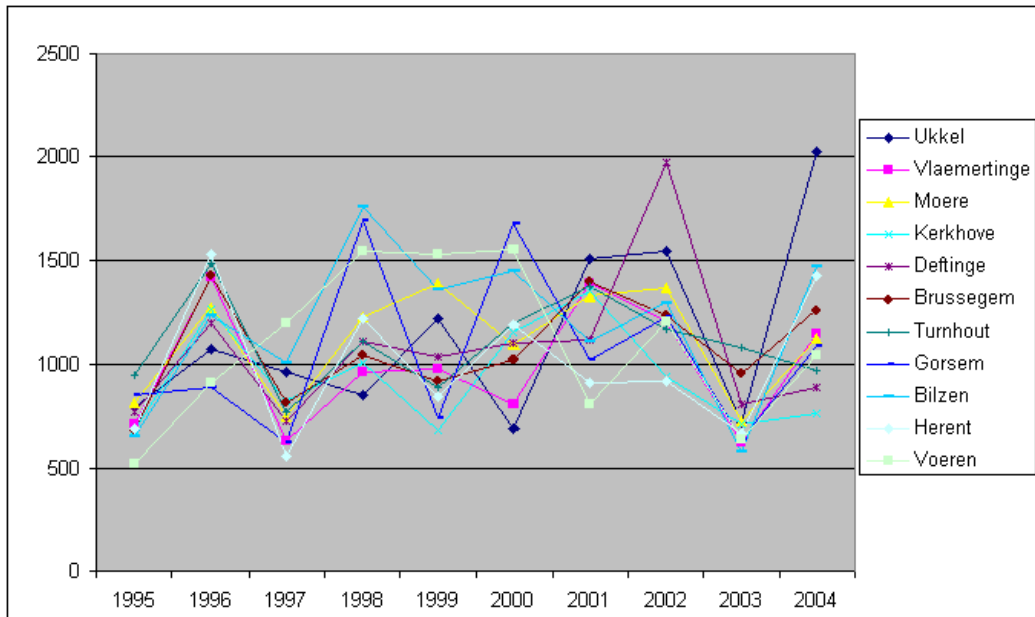
neerslaghoeveelheden. De resultaten worden weergegeven in Tabel 2. Grafiek 2 geeft de jaarlijkse R waarde voor elk van die stations in die periode weer. Wanneer deze data statistisch worden geanalyseerd dan blijkt dat voor geen enkel station de gemiddelde R-factor voor deze periode statistisch significant verschillend is van de gemiddelde R-factor van Ukkel.

Aan de hand van deze gegevens werd door de stuurgroep besloten dat binnen het project niet de gemiddelden van 1995-2004 zullen worden gebruikt, maar wel het gemiddelde van 1898-2004 van Ukkel omdat:

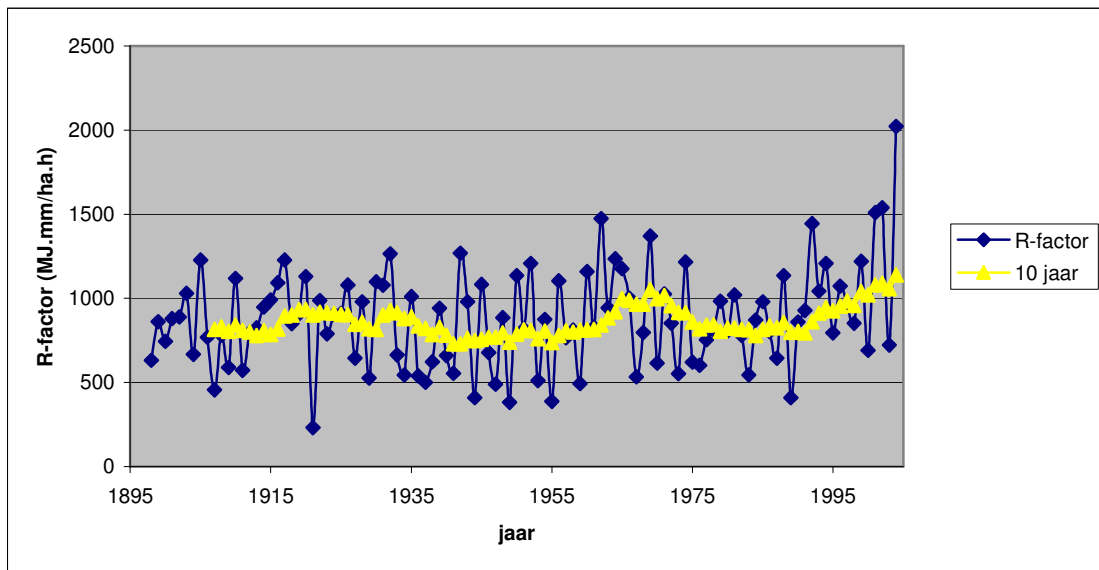
- De waarden voor de verschillende stations niet significant verschillen van die van Ukkel. Daarom werd beslist dat er geen kaart voor de berekening van R zal worden gebruikt, maar enkel de waarde voor Ukkel. Daarnaast werd ook de waarde van 1898-2004 gebruikt omdat deze waarde minder gevoelig is voor extreme waarden binnen de laatste tien jaar (zoals voor 2004 te Ukkel):
- de waarde voor de periode 1995-2004 (1040 MJ.mm/ha.jaar) ligt beduidend hoger dan de waarde voor de periode 1898-2004 (880 MJ.mm/ha.jaar).
- Het dient vermeld te worden dat de hier gebruikte waarde beduidend hoger ligt dan deze die gebruikt werd voor de berekening van de vorige erosiekaart (670 MJ.mm/ha.jaar, Van Rompaey et al., 2001). Dit verschil is te wijten aan twee factoren: (i) de berekeningswijze werd aangepast en is nu nauwkeurigere en (ii) de hoge waarden van het laatste decennium hebben geleid tot een stijging van het algemeen gemiddelde.

	gemiddelde R (MJ.mm/ha.jaar)	Standaard deviatie
Ukkel	1138.512	434.0822
Vlaemertinge	988.2644	295.6462
Moere	1110.951	257.3557
Kerkhove	937.9833	248.3354
Deftinge	1074.354	357.5575
Brussegem	1077.123	247.7741
Turnhout	1100.707	216.4176
Gorseem	1047.317	386.7914
Bilzen	1192.359	365.9417
Herent	996.5576	332.2472
Voeren	1096.14	377.3072

Tabel 2: gemiddelde R factor voor de periode 1995-2004 en standaard deviatie op deze waarde (gebaseerd op gegevens KMI; op basis van Verstraeten 2005, pers. comm.; Salles 2002).

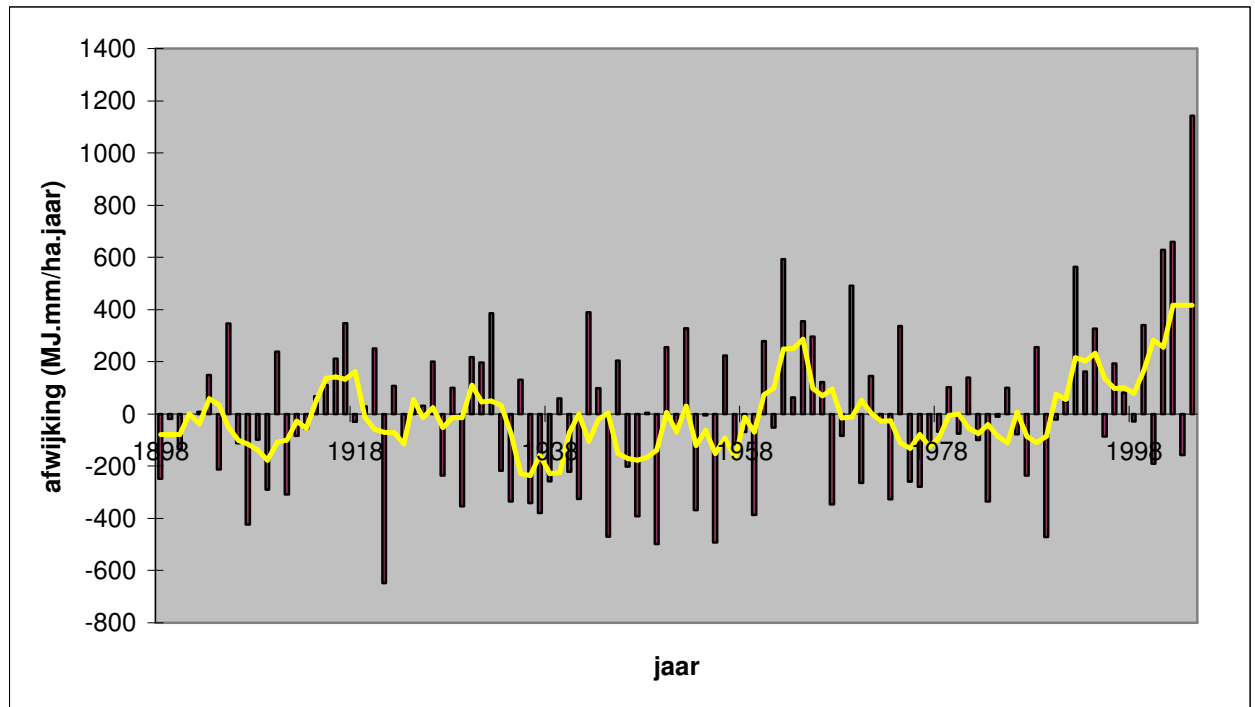


Grafiek 2: jaarlijkse R-waarde (MJ.mm/ha.jaar) voor tien Vlaamse stations en Ukkel, gebaseerd op dagelijkse neerslaghoeveelheden (gebaseerd op gegevens KMI; naar Verstraeten 2005, pers. Comm.; Salles 2002, pers. comm. to Poesen).



Grafiek 3: jaarlijkse R-factor (MJ.mm/ha.jaar) en gemiddelde R-factor (MJ.mm/ha.jaar) van telkens de laatste 10 jaar op basis van tien-minuten neerslaggegevens van Ukkel (gebaseerd op gegevens KMI; naar Verstraeten 2005, pers. Comm.; Salles 2002, pers. comm. to Poesen).

3.2.4 Temporele variatie



Grafiek 4: jaarlijkse afwijking (rood) ten opzichte van de gemiddelde R-factor, en gemiddelde afwijking over een periode van 5 jaar (gebaseerd op gegevens KMI; naar Verstraeten 2005, pers. Comm.; Salles 2002, pers. comm. to Poesen).

Voornamelijk de intensiteit van regenbuien zal een belangrijke invloed hebben op de erosiviteit van neerslag. Hoe meer intense buien voorkomen, hoe hoger de neerslagerosiviteit zal zijn: indien deze intense buien vallen in periodes waar de bodembedekking beperkt is, kan het erosierisico aanzienlijk verhogen. Klimaatsveranderingen kunnen een invloed hebben op het voorkomen van dergelijke buien.

Grafiek 3 en Grafiek 4 tonen de evolutie van de neerslagerosiviteit voor Ukkel voor de periode 1898-2004, berekend aan de hand van tien minuten neerslaggegevens. Uit deze figuren valt een min of meer cyclisch patroon af te leiden van periodes met meer neerslagerosiviteit die worden afgewisseld met periodes met minder neerslagerosiviteit. Opvallend is dat het laatste decennium wordt gekenmerkt door erg hoge neerslagerosiviteit. Van de laatste 14 jaar worden 10 jaar gekenmerkt door een hogere neerslagerosiviteit dan gemiddeld. Bovendien vallen de drie meest neerslagerosieve jaren sinds 1898 binnen de laatste vier jaar (2004, 2002 en 2001). Mogelijk wordt dit verklaard door de hogere temperaturen, die tot meer convectieve en dus intense neerslag aanleiding geven: dit dient echter verder onderzocht te worden.

3.2.5 Besluit

Aan de hand van beschikbare gegevens kon geconcludeerd worden dat er geen statistisch relevant verschil is tussen de gemiddelde R-waarde van Ukkel (van de periode 1995-2004) en die van tien andere Vlaamse stations. Op basis van die gegevens werd door de stuurgroep besloten om één R-waarde voor volledig Vlaanderen te gebruiken. Hierbij werd geopteerd om het gemiddelde over de periode 1898-2004 te gebruiken, hetzij 880 MJ.mm/ha.jaar gebruikt. Deze waarde werd bekomen door de formule van Salles (2002) toe te passen op de tien minuten neerslaggegevens van Ukkel voor deze periode. We willen nogmaals benadrukken dat het hier een gemiddelde waarde betreft die sterk in d tijd en in de ruimte varieert: Grafiek 3 geeft deze tijdelijke variatie weer.

3.3 K- of bodemgevoeligheidsfactor

3.3.1 Inleiding

De bodemerosiegevoeligheid is afhankelijk van verschillende factoren, waarvan textuur en het gehalte organisch materiaal (OM) de belangrijkste zijn. De volgende paragrafen behandelen eerste de verschillende formules die gebruikt kunnen worden voor het berekenen van de K-factor. Deze formules worden onderling vergeleken naar hun bruikbaarheid. Vervolgens wordt er dieper ingegaan op de variatie van de K-factor volgens gehalte OM en binnen de textuurklassen. Uitgaande van textuur en organisch materiaal gehalte kan een de bodemerosiegevoeligheidsfactor (K-waarde) geschat worden. Hierbij zijn verschillende benaderingen mogelijk die hieronder kort worden weergegeven.

3.3.2 Formules

3.3.2.1 Volgens het nomogram (Wishmeier et al., 1971)

Een eerste berekeningswijze van de K-factor is degene die is opgesteld op basis van de *soil erodibility monograph* (Wishmeier et al. 1971). Dit nomogram is opgesteld een de hand van gegevens van 55 *runoff plots* in de *Corn Belt* (Verenigde Staten), en is het meest gebruikte model om de relatie tussen bodemeigenschappen en erosiegevoeligheid weer te geven (Renard et al.1991, Declercq en Poesen 1992). Een algebraïsche vorm van het nomogram luidt (Wishmeier et al., 1971)

$$K_{(nom)} = \left(\frac{2.1 * (S(100 - C))^{1.14} * 10^{-4} * (12 - OM)}{100} \right) * 0.1317$$

vergelijking 3

Met:

- $K(nom)$ uitgedrukt in ton.ha.h/ha.Mj.mm
- S =percentage silt en zeer fijn zand (2-100 μ m)
- C =percentage klei (<2 μ m)
- OM = hoeveelheid organisch materiaal
= *gehalte C * 1.72* (Davies 1974)

Deze algebraïsche vorm kan echter niet gebruikt worden voor bodems met meer dan 70% silt. Het bepalen van $K(nom)$ voor dergelijke bodems kan enkel op een grafische wijze. Ook is de geldigheid van het nomogram voor goed geaggregeerde bodems onzeker. Tenslotte is deze formule ook gebaseerd op metingen van bodems met een middelgrote textuur, en daarom is deze formule ook het best geschikt om op dergelijke bodems toe te passen (Wischmeier en Smith 1978, Römken et al. 1986, Declercq en Poesen 1992).

3.3.2.2 Volgens het nomogram (Foster 2005)

Ook Foster (2005) vermeldt formules om de waarden van het nomogram te berekenen:

$$K_{(Foster)} = (k_t k_o + k_s + k_p) / 100$$

vergelijking 4

Met

- $K(foster)$ = K-waarde zoals berekend met de formule opgegeven door Foster (2005) in ton.h/MJ.mm
- K_t = textuur subfactor
- K_o = OM subfactor
- K_s = bodemstructuur subfactor
- K_p = permeabiliteits-subfactor

K_t wordt gegeven berekend voor bodems met minder dan 68% silt en fijn zand door:

$$K_t = K_{tb} = \frac{2.1[(P_{si} + P_{vfs})(100 - P_{cl})]^{1.14}}{10^{-4}}$$

vergelijking 5

met P_{si} , P_{vfs} en P_{cl} respectievelijk de percentages silt, zeer fijn zand en klei van de bodem. Voor meer dan 68% silt wordt het nomogram benaderd door:

$$K_t = K_{tb} - [0.67 * (K_{tb} - K_t 68)^{0.82}]$$

vergelijking 6

Met:

$$K_t 68 = \frac{2.1[68 * (100 - P_{cl})]^{1.14}}{1000}$$

vergelijking 7

De OM subfactor wordt gegeven door:

$$K_o = (12 - OM)$$

vergelijking 8

Het OM gehalte dient hierin echter uitgedrukt te worden als % OM onder standaard plot omstandigheden (zie kader).

De subfactor voor de **bodemstructuur** wordt gegeven door:

$$K_s = 3.25(S_s - 2)$$

vergelijking 9

Hierbij is S_s de bodemstructuurklasse. Maar wanneer $kt*ko+ks$ kleiner is dan 7 dan wordt $kt*ko+ks$ gelijk aan 7. de verschillende structuurklassen zijn gedefinieerd volgens de USDA NRCS bodemkarterings-handleiding:

1. zeer fijn korrelig
2. fijn korrelig
3. medium of grofkorrelig
4. blokvormig, plaatvormig, massief

Standaard plot omstandigheden

Een standaard *plot* heeft een lengte van 72.6 voet (\pm 22.1 meter) met een helling van 9%. De *plot* wordt voortdurend braak gehouden, en regelmatig geploegd tot op de diepte van het zaaibed om plantengroei te belemmeren en eventueel gevormde korsten op de oppervlakte te doorbreken.

De **permeabiliteits**-subfactor is een maat voor het potentieel van de bodem om *runoff* te creëren onder standaard plot omstandigheden. Deze wordt ingedeeld in zes klassen (naar de USDA NRCS bodemkarterings-handleiding) van snelle infiltratie (1; weinig *runoff*) tot trage infiltratie (6, veel *runoff*). Bij het bepalen van de permeabiliteit moet er echter wel rekening worden gehouden met de aanwezigheid van stenen of verhardingen van het bodemoppervlak (*clay pan*, *fragipan*), en de positie in het landschap. Effecten van menselijke maatregelen mogen echter niet in rekening gebracht worden. K_p wordt dan gegeven door:

$$K_p = 2.5(P_r - 3)$$

vergelijking 10

Met P_r de permeabiliteit-klasse.

3.3.2.3 Aangepaste RUSLE2 berekening (Foster 2005)

Foster (2005) stelt vast dat de formules opgesteld aan de hand van het nomogram geen goede resultaten oplevert voor kleirijke en zandrijke bodems. Dit zou te wijten zijn aan de beperkte grootte van de dataset waarop het nomogram is gebaseerd en dit effect wordt nog versterkt door de onderlinge correlatie van de verschillende gebruikte parameters.

Daarom wordt in RUSLE2 (een herziene versie van RUSLE) de bodemstructuur-subfactor gegeven door:

$$K_s = 3.25(2 - S_s)$$

vergelijking 11

De andere subfactoren werden niet aangepast voor RUSLE2.

3.3.2.4 Volgens de geometrisch gemiddelde korrelgrootte (Declercq en Poesen 1992)

Om ook K-waardes te kunnen berekenen onafhankelijk van de aggregatiestatus en voor bodems die geen middelgrote textuur hebben, werd een twee formule ontwikkeld (Declercq en Poesen 1992):

$$K_{(Dg)} = 0.0035 + 0.0388 * e^{-0.5*((\log_{10} Dg)+1.519)/0.7584)^2}$$

vergelijking 12

Waarbij:

- $K(Dg)$ uitgedrukt in ton.ha.h/ha.Mj.mm
- Dg : geometrische gemiddelde korrelgrootte

Dg wordt berekend aan de hand van de gemiddelde percentages silt, zand en klei van de verschillende textuurklassen van de Belgische bodemkaart (Verstraeten et al. 2001, gebaseerd op Declercq en Poesen 1992 en Shirazi en Boersma 1984):

$$Dg(mm) = e^{\sum f_i * \ln[(d_i + d_{i-1}) * 0.5]}$$

vergelijking 13

Waarbij:

- f_i = het gewichtsprocent (fractie) van textuurklasse i
- d_i en d_{i-1} verwijzen naar respectievelijk de maximum en minimum diameter van de i -de textuurklasse

3.3.2.5 Vergelijking van de formules

De formule van Declercq en Poesen (1992) heeft als grootste voordeel dat alleen de textuurklasse nodig is om de K waarde te berekenen. Voor de $K_{(nom)}$ formule (vergelijking 3) is ook nog het OM gehalte nodig, en de andere formules vereisen nog meer invoerdata. Bovendien wordt de $K(nom)$ waarde te hoog ingeschat voor bodems met meer dan 70% silt en is de berekeningsmethode minder geschikt voor extreme textuurklassen (Wischmeier et al. 1971).

De $K(nom)$ formule wordt echter verondersteld betere resultaten te geven wanneer ook het gehalte aan organisch materiaal gekend is (Declercq en Poesen 1992), en gezien de RUSLE2 en de $K(foster)$ formule ook rekening houden met het OM gehalte kan het verwacht worden dat ook zij daarbij beter scoren dan vergelijking 12.

Römkens et al. (1988) vonden een relatie tussen de hoeveelheid organisch materiaal en K : voor de bodems met een fijnere textuur (1-80 μ m) zorgt een hogere hoeveelheid

organisch materiaal voor een lagere K waarde. Voor grovere textuurklassen (80-600 μm) zorgt een verhoging van het gehalte organisch materiaal voor een hogere K waarde. Maar vergelijking 3 voorspelt een daling van de K-waarde met stijgend OM-gehalte, ongeacht de textuur: dit suggereert dat deze vergelijking niet geschikt is voor bodems met een grove textuur.

De toepassing in Vlaanderen op grote schaal van de formules van Foster (2004 en 2005) lijkt ook problematisch: niet alleen zijn er veel invoergegevens nodig, maar deze invoergegevens zijn ook moeilijk verkrijgbaar. Vooral de bepaling van het OM gehalte in standaard plot omstandigheden, lijkt moeilijk verwezenlijkbaar. Gezien de beschikbaarheid van data kan dus besloten worden dat de formule op basis van D_g (Declercq en Poesen 1992) het meest geschikt is om toe te passen binnen Vlaanderen.

Declercq en Poesen (1992) hebben de $K(D_g)$ en $D(nom)$ berekend voor 8542 bodemprofielen in Noord-België (Vlaanderen en noordelijk Wallonië). Zij stelden belangrijke verschillen vast tussen de berekende $K(nom)$ en $K(D_g)$ waarden. Voor medium korrelgroottes (15-60 μm) is $K(nom)$ duidelijk hoger dan $K(D_g)$, terwijl voor fijnere of grovere sedimenten $K(D_g)$ het grootst is. Ook besluiten zij dat voor de bodems met een fijne textuur ($D_g < 10 \mu\text{m}$) en bodems met een grove textuur ($D_g > 100 \mu\text{m}$) vergelijking 12 de beste schatting geeft voor Noord-België. Voor bodems met een middelmatige textuur (15-60 μm) is de $K(nom)$ formule het beste geschikt, zolang het leemgehalte niet meer dan 70% bedraagt.

In het algemeen blijkt $K(D_g)$ de beste schattingen op te leveren, maar de berekening wordt duidelijk onnauwkeuriger dan $K(nom)$ wanneer het gehalte organisch materiaal hoger is dan 2 à 3 % én D_g tussen 15 en 60 μm én het leemgehalte minder dan 70% bedraagt (Declercq en Poesen 1992).

3.3.3 Gebruikte waarden binnen de berekeningen

Voor het berekenen van de watererosie werd een kaart opgemaakt met de K-factor. Deze kaart is gebaseerd op de digitale bodemkaart voor Vlaanderen (OC GIS Vlaanderen). Om de K-factor ($K(D_g)$) te bepalen werd de formule van Declercq en Poesen (1992, zie eerder) toegepast per textuurklasse. De bekomen waarden worden weergegeven in Tabel 3. De waarden in Verstraeten et al. (2001) zijn foutief in het rapport vermeld (de gepubliceerde D_g waarden zijn wel correct vermeld), en de in die studie uiteindelijk gebruikte K-waarden komen overeen met de hier herberekende K-waarden (Verstraeten, pers. comm. 2005).

Textuur	K (deze studie)	K (Van Rompaey et al., 2000)
Leem	0.042	0.041
Zandleem	0.040	0.037
Licht zandleem	0.025	0.026
Lemig zand	0.020	0.019
Zand	0.012	0.012
Klei	0.040	0.029

Tabel 3: textuurklassen van de digitale Vlaamse bodemkaart en berekende K-waardes (ton.h/MJ.mm) volgens de formule van Declercq en Poesen, en de K-waardes (ton.h/MJ.mm) die bij de vorige versie van de erosiekaart Vlaanderen werden gebruikt (K 2000) (Van Rompaey et al. 2000).

3.3.4 Variatie van K in functie van het organisch materiaal

3.3.4.1 Inleiding

Zoals reeds eerder aangegeven varieert K in functie van het gehalte OM. Binnen de formule voor $K(Dg)$ wordt hiermee echter geen rekening gehouden. $K(nom)$ houdt wel rekening met het OM gehalte, maar mogelijk worden er fouten gemaakt in de berekening voor grofkorrelige sedimenten (Declercq en Poesen 1992, zie paragraaf 3.3.2.5).

De formules van Foster (2004, 2005) vereisen de kennis van het OM gehalte onder standaard plot omstandigheden, hetgeen de toepassing van deze formules sterk bemoeilijkt. De gemeten OM gehalten van een akker zullen namelijk meestal niet overeenstemmen met het OM gehalte onder standaard plot omstandigheden maar zullen hoger liggen (Foster 2005).

Het lijkt daarom het meest aangewezen de variatie in het OM gehalte te bestuderen in functie van de gemeten gegevens. In de volgende paragraaf wordt dieper ingegaan op de variatie van K bij gemeten gegevens.

3.3.4.2 Op basis van gemeten waardes

Poesen (1993) geeft de variatie weer van gemeten K-factoren in functie van OM en textuur. De gemeten waardes zijn afkomstig van verschillende onderzoeken wereldwijd, en hebben dus zeker niet specifiek betrekking op Vlaanderen. Uit deze analyse kunnen de volgende trends afgeleid worden:

- Voor zeer fijnkorrelige gronden ($Dg < 0.004$ mm) zijn er weinig gegevens beschikbaar. K waardes variëren van 0.002 tot 0.003 ton.h/MJ.mm.
- Voor fijnkorrelige gronden (0.01 mm $< Dg < 0.04$ mm) waartoe ook de Belgische leemgronden behoren blijkt er een sterke variatie te zijn in functie van het OM gehalte: bodems met een hoog OM gehalte ($>3.6\%$) hebben een relatief lagere K-waarde (variërend tussen 0.01 en 0.03 ton.h/MJ.mm). Voor bodems met een laag OM gehalte is de trend minder duidelijk, maar een laag OM gehalte ($<2.5\%$) levert meestal een iets hogere K waarde op. De K-waardes bij een OM gehalte $< 3.6\%$ variëren tussen 0.03 en 0.055 ton.h/MJ.mm, maar de meeste punten op de grafiek liggen tussen 0.04 en 0.05 ton.h/MJ.mm.
- Voor bodems met een middelmatige tot grove textuur ($Dg > 0.04$ mm) is de trend onduidelijk. K waardes liggen binnen dit bereik ook dichter bij elkaar dan bij de fijnkorrelige sedimenten.

Bij het gebruiken van deze gegevens moet men echter ook rekening houden met enkele zwakke punten:

- De figuur is gebaseerd op een beperkte dataset. Vooral voor lage en erg hoge Dg waardes zijn er weinig data beschikbaar.

- De gemeten gegevens komen niet (alleen) uit West-Europa. Daarom is het niet duidelijk in welke mate ze toepasbaar zijn op Vlaanderen.
- De gegevens komen vanuit verschillende bronnen, en het is niet duidelijk of alle metingen gebeurden op dezelfde wijze.

3.3.5 Theoretische variatie van K binnen de textuurklassen van de Belgische bodemkaart

3.3.5.1 Inleiding

Voor de berekeningen werd de K -factor geschat op basis van de textuurklassen van de Belgische bodemkaart (zie hoger). Hiervoor werd er gebruik gemaakt van een theoretisch gemiddelde binnen de verschillende textuurklassen. In de praktijk is het mogelijk dat een akker die volgens die kaart binnen een bepaalde textuurklasse ligt een K waarde heeft die (sterk) afwijkt van de K -waarde die bij deze textuurklasse hoort. Hiervoor zijn er drie mogelijke oorzaken:

- Foutieve kartering: de bodemkaart geeft voor de welbepaalde plaats een foutieve textuur aan. Dit kan verschillende oorzaken hebben:
 - de textuur is gewijzigd sinds de kartering (voornamelijk jaren 1960), bijvoorbeeld door erosie- (waarbij bijvoorbeeld het substraat komt bloot te liggen) of sedimentatieprocessen, of onder menselijke invloed (bijvoorbeeld afgravingen)
 - de bodemkaart is, zoals alle kaarten, een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Daarom is het mogelijk dat een zeer complexe opeenvolging van textuurtypen als één textuurtype werd gekarteerd
 - Er is daadwerkelijk een fout gebeurd bij de kartering
- Er is een belangrijke variatie van de K -waarde in functie van het OM.
- Tenslotte is er ook een belangrijke variatie van de textuur binnen de verschillende textuurklassen van de Belgische bodemdriehoek. Vooral voor de grotere textuurklassen zoals voor klei (E), zware klei (U) en zandleem is die variatie aanzienlijk.

De verschillende variaties worden in volgende paragrafen bestudeerd. Eerst wordt de theoretische variatie van de textuur binnen de verschillende klassen van de bodemdriehoek bekeken, daarna worden verschillende profielgegevens met gekende textuur en gekend OM gehalte vergeleken met de textuurklasse van de bodemkaart.

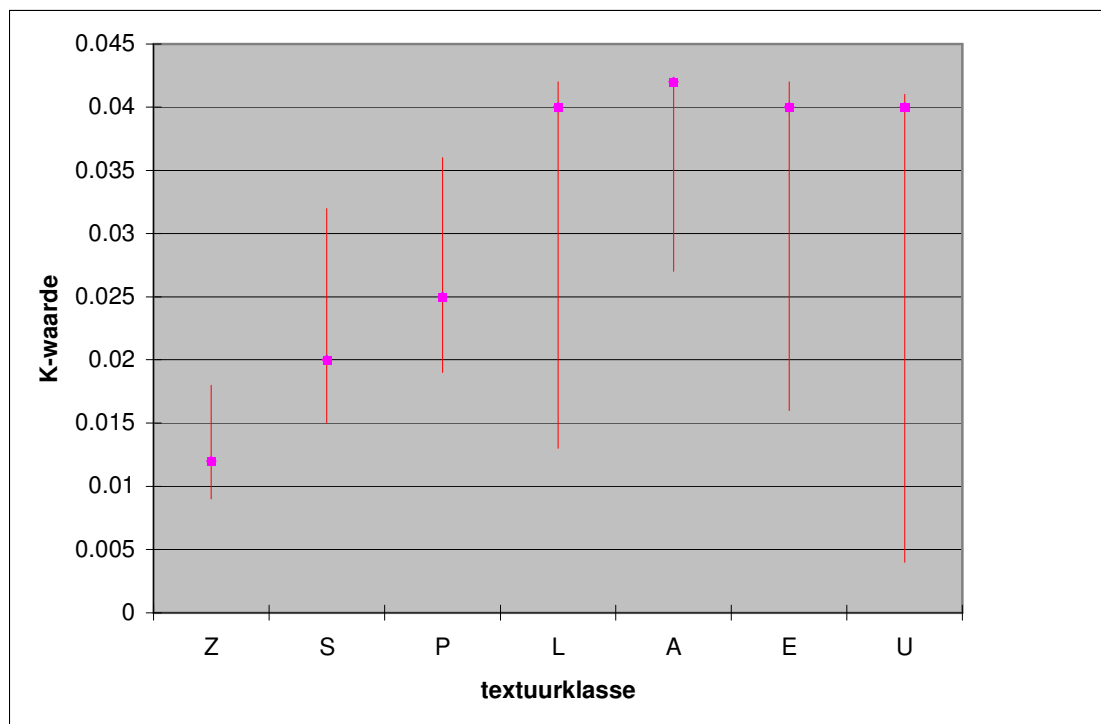
3.3.5.2 Theoretische variatie van $K(Dg)$

Voor het berekenen van de K -factor per textuurtype van de Belgische Bodemkaart werd het gemiddelde klei-, silt- en zandgehalte gebruikt. In werkelijkheid kunnen deze gehalten van een staal binnen die textuurtypen (vrij sterk) afwijken van dit gemiddelde (zie texturdriehoek Belgische Bodemkaart, gegeven in de verklarende teksten van elk van die bodemkaarten). Vooral voor de textuurklassen U, E en L is er nog een grote variatie. Daarom werd Dg en $K(Dg)$ voor enkele extremen van de verschillende textuurklassen berekend.

Op Figuur 1 is te zien dat de gekozen waarde voor bepaalde klassen dicht bij het minimum aansluit, terwijl ze bij andere klassen dichtbij het maximum aansluit. Dit wordt veroorzaakt doordat de gekozen waarde werd berekend aan de hand van de gemiddelde textuur van elke klasse, en niet aan de hand van de gemiddelde $K(Dg)$ waarde, en deze gemiddelde textuur levert in sommige gevallen eerder extreme $K(Dg)$ waardes op.

textuurklasse	Dg (mm)			K-waarde		
	min	max	gebruikt	min	max	gebruikt
Z	0.358	1.025	0.60	0.009	0.018	0.012
S	0.12	0.46	0.29	0.015	0.032	0.02
P	0.084	0.31	0.20	0.019	0.036	0.025
L	0.014	0.59	0.057	0.013	0.042	0.04
A	0.005	0.045	0.037	0.027	0.042	0.042
E	0.0024	0.21	0.05	0.016	0.042	0.04
U	0.00013	0.044	0.022	0.004	0.041	0.04

Tabel 4: $K(Dg)$ waardes in ton.h/MJ.mm voor de textuurklassen van de Belgische textuurdriehoek. Tekens wordt per klasse de theoretische maximale, minimale en de gebruikte waarde weergegeven.



Figuur 1: $K(Dg)$ -waarde in ton.h/MJ.mm voor de Belgische textuurdriehoek. Telkens wordt er per klasse de mogelijke variatie van de K-waarde weergegeven (rode lijn) en de gebruikte waarde (paars punt).

3.3.6 Variatie van $K(Dg)$ en $K(nom)$ voor profielgegevens

3.3.6.1 Inleiding

In deze paragraaf worden $K(Dg)$ en $K(nom)$ van profielgegevens afkomstig van de Aardwerk-bodemdatabank (OC GIS Vlaanderen, Van Orshoven en Vandenbroucke 1993) vergeleken met de $K(Dg)$ waarden van de textuurklassen op de Belgische Bodemkaart. Van elk van deze profielen werd (waar mogelijk) de $K(Dg)$ en $K(nom)$ berekend aan de hand van de formules die eerder in dit hoofdstuk gegeven zijn. Daarna werd van elk profiel bepaald in welke textuurklasse het profiel gelegen is volgens de bodemkaart. Zoals verder zal blijken betekent dit niet noodzakelijk dat de textuur van het profiel daadwerkelijk overeenkomt met de textuurklasse waarin het volgens de bodemkaart gelegen is. Het is echter onze bedoeling de variaties te bekijken binnen de textuurklassen van die bodemkaart, ongeacht of die textuurklassen correct bepaald zijn.

In de volgende paragrafen wordt een kort overzicht gegeven van de variatie per textuurklasse. Bij het interpreteren van deze gegevens dient er echter op gewezen te worden dat de aardewerk databank mogelijk niet representatief is voor de volledige Vlaamse situatie gezien de punten niet gelijkmatig verdeeld zijn over Vlaanderen.

3.3.6.2 Zand (Z)

Er zijn 1086 profielen beschikbaar die volgens de bodemkaart binnen een zandige textuurklasse vallen. De gemiddelde waarde voor Dg van alle profielen is 0.58 mm. Vierennegentig profielen hebben een Dg waarde die valt buiten de theoretische begrenzing van Dg voor deze textuurklasse. Voor de profielen varieert $K(Dg)$ tussen 0.0088 en 0.042 ton.h/MJ.mm, met een gemiddelde van 0.0136 ton.h/MJ.mm. De gemiddelde $K(nom)$ waarde is 0.021 ton.h/MJ.mm, het minimum 0.00093 ton.h/MJ.mm en het maximum 0.073 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
$K(Dg)$ theoretisch	0.009	0.018	0.012
$K(Dg)$ profielen	0.0088	0.042	0.0136
$K(nom)$ profielen	0.00093	0.073	0.021

3.3.6.3 Lemig zand (S)

Er zijn 970 profielen beschikbaar die volgens de bodemkaart binnen de textuurklasse lemig zand vallen. De gemiddelde waarde voor Dg bedraagt 0.35 mm, het minimum 0.0047 mm en het maximum 0.95 mm. In totaal vallen 248 profielen, of 26%, buiten de theoretische grenzen van de Dg waarden. Voor deze profielen varieert $K(Dg)$ tussen 0.0090 en 0.042 ton.h/MJ.mm, met een gemiddelde van 0.019 ton.h/MJ.mm. $K(nom)$ varieert van 0.0020 tot 0.074 ton.h/MJ.mm, met een gemiddelde van 0.0316 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
$K(Dg)$ theoretisch	0.015	0.032	0.02
$K(Dg)$ profielen	0.0090	0.042	0.019
$K(nom)$ profielen	0.0020	0.074	0.0316

3.3.6.4 Licht zandleem (P)

Volgens de bodemkaart vallen 733 profielen binnen de textuurklasse licht zandleem. Zij hebben een gemiddelde Dg van 0.18 mm, met een minimum van 0.0018 mm en een maximum van 0.99 mm. In totaal vallen 163 punten (of 22%) buiten de theoretische grenzen van Dg voor licht zandleem. De gemiddelde $K(Dg)$ waarde bedraagt 0.028 ton.h/MJ.mm, met een minimum van 0.0088 ton.h/MJ.mm en een maximum van 0.042 ton.h/MJ.mm. de minimale $K(nom)$ bedraagt 0.0026 ton.h/MJ.mm, het maximum 0.080 ton.h/MJ.mm en het gemiddelde 0.044 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
K(Dg) theoretisch	0.019	0.036	0.025
K(Dg) profielen	0.0088	0.042	0.028
K(nom) profielen	0.0026	0.080	0.044

3.3.6.5 Zandleem (L)

Er liggen volgens de bodemkaart 1102 profielen in de textuurklasse zandleem. Deze hebben een gemiddelde Dg van 0.081 mm, met een maximum van 0.68 mm en een minimum van 0.00098 mm. In totaal hebben 29 profielen (of 2.6%) een Dg waarde die buiten de theoretische grenzen van Dg voor zandleem ligt. $K(Dg)$ varieert voor de profielen tussen 0.0091 en 0.042 ton.h/MJ.mm, met een gemiddelde van 0.037 ton.h/MJ.mm. $K(nom)$ is gemiddeld 0.054 ton.h/MJ.mm met een minimum van 0.0083 ton.h/MJ.mm en een maximum van 0.093 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
K(Dg) theoretisch	0.013	0.042	0.04
K(Dg) profielen	0.0091	0.042	0.037
K(nom) profielen	0.0083	0.093	0.054

3.3.6.6 Leem (A)

In totaal liggen 1261 profielen volgens de bodemkaart in de textuurklasse leem. De minimale waarde voor Dg van deze punten is 0.00099 mm, het maximum 0.95 mm, met een gemiddelde van 0.062 mm. In totaal liggen 94 punten buiten de theoretische grenzen van Dg voor leem. De gemiddelde $K(Dg)$ is 0.037 ton.h/MJ.mm, met een minimum van 0.009 ton.h/MJ.mm en een maximum van 0.042 ton.h/MJ.mm. De gemiddelde $K(nom)$ is 0.057 ton.h/MJ.mm met een maximum van 0.097 ton.h/MJ.mm en een minimum van 0.00012.

	Min	Max	Gemiddeld
K(Dg) theoretisch	0.027	0.042	0.042
K(Dg) profielen	0.009	0.042	0.037
K(nom) profielen	0.00012	0.097	0.057

3.3.6.7 Klei (E)

In totaal liggen 285 profielen volgens de bodemkaart binnen de textuurklasse klei. Zij hebben een gemiddelde Dg van 0.069 mm met een minimum van 0.00074 mm en een maximum van 0.69 mm. In totaal liggen 32 punten (11%) buiten de theoretische begrenzing van Dg voor klei. De gemiddelde $K(Dg)$ bedraagt 0.034 ton.h/MJ.mm, met een minimum van 0.0076 ton.h/MJ.mm en een maximum van 0.042 ton.h/MJ.mm. De gemiddelde $K(nom)$ bedraagt 0.027 ton.h/MJ.mm met een minimum van 0.00073 ton.h/MJ.mm en een maximum van 0.085 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
K(Dg) theoretisch	0.016	0.042	0.04
K(Dg) profielen	0.0076	0.042	0.034
K(nom) profielen	0.00073	0.085	0.027

3.3.6.8 Zware klei (U)

In totaal liggen 109 punten volgens de bodemkaart binnen de textuurklasse zware klei. Voor de profielen varieert Dg tussen 0.0017 mm en 0.54 mm, met een gemiddelde van 0.040 mm. Er liggen 21 punten (19%) buiten de theoretische begrenzing van Dg voor zware klei. $K(Dg)$ is gemiddeld 0.032 ton.h/MJ.mm met een minimum 0.013 ton.h/MJ.mm van en een maximum van 0.042 ton.h/MJ.mm. $K(nom)$ is minimaal 0.00024 ton.h/MJ.mm en maximaal 0.091 ton.h/MJ.mm met een gemiddelde van 0.023 ton.h/MJ.mm.

	Min	Max	Gemiddeld
K(Dg) theoretisch	0.004	0.041	0.04
K(Dg) profielen	0.013	0.042	0.032
K(nom) profielen	0.00024	0.091	0.023

3.3.6.9 Besluit

Wanneer we de gebruikte $K(Dg)$ waarden vergelijken met de gemiddelde $K(Dg)$ en $K(nom)$ waarden dan stellen we vast dat:

- Voor zand ligt de gebruikte waarde lager dan de gemiddelde $K(Dg)$ en veel lager dan de gemiddelde $K(nom)$
- Voor lemig zand licht de gebruikte waarde in de buurt van de gemiddelde $K(Dg)$ maar veel lager dan de gemiddelde $K(nom)$
- Voor lichte zandleem ligt de gebruikte waarde voor $K(Dg)$ iets hoger dan de gemiddelde waarde voor $K(Dg)$ van de profielen, maar veel lager dan de gemiddelde waarde voor $K(nom)$
- Voor leem en zandleem ligt de gebruikte waarde voor $K(Dg)$ hoger dan de gemiddelde waarde, maar lager dan de waarde voor $K(nom)$
- Voor klei en zware klei ligt de gebruikte waarde voor $K(dg)$ duidelijk hoger dan de gemiddelde waarden van zowel $K(Dg)$ als $K(nom)$.

Uit deze vaststellingen kunnen we besluiten dat de gebruikte $K(Dg)$ mogelijk overschat is voor klei en zware klei. Voor de andere textuurklassen ligt de gebruikte waarde in de

buurt van de gemiddelde waarde van $K(Dg)$ voor de profielen, maar is ze veel lager dan de gemiddelde waarde van $K(nom)$ voor deze profielen.

Textuur	Gebruikte $K(Dg)$	$K(Dg)$ profielen	$K(nom)$ profielen
Z	0.012	0.0136	0.021
S	0.02	0.019	0.032
P	0.025	0.028	0.044
L	0.04	0.037	0.054
A	0.042	0.037	0.057
E	0.04	0.034	0.027
U	0.04	0.032	0.023

Tabel 5: gebruikte $K(Dg)$ waardes (ton.h/MJ.mm), en gemiddelde $K(Dg)$ (ton.h/MJ.mm) en $K(nom)$ (ton.h/MJ.mm) waardes voor de profielgegevens.

3.3.7 Besluit

Er zijn verschillende formules beschikbaar om de K-factor te bepalen. Afhankelijk van de beschikbare data verschilt hun bruikbaarheid sterk. Voor de berekeningen binnen deze studie werd besloten de formule van Declercq en Poesen (1992) te gebruiken, gezien deze formule alleen de beschikbaarheid van de bodemtextuur vergt. Het ruimtelijk patroon van de textuur werd afgeleid van de digitale bodemkaart.

Deze formule houdt echter geen rekening met de variatie in functie van het OM gehalte. Wanneer deze variatie wordt bekeken op basis van gepubliceerde gemeten waarden, dan blijken er inderdaad afwijkingen te zijn in functie van het OM gehalte. Bodems met een middelmatige textuur met een erg hoog OM gehalte (>3.6%) blijken een duidelijk lagere K te hebben. Voor bodems met een grove of fijne textuur is de relatie tussen de K-factor en het OM gehalte minder duidelijk. Indien de nodige gegevens beschikbaar zouden zijn, zou het daarom aangewezen zijn om zeker voor de lemige bodems rekening te houden met de variaties in OM.

Binnen deze studie werd de $K(Dg)$ gebruikt op basis van de textuurklassen van de Belgische Bodemkaart. Binnen de textuurklassen kan er echter nog een zekere variatie zijn in textuur van de bodems, en dus ook binnen de berekende $K(Dg)$ waardes. Daarom werd voor elke textuurklasse de maximale en minimale $K(Dg)$ berekend. Vooral voor de grotere textuurklassen – zandleem, kei en zware klei – bleek er een grote variatie te bestaan van $K(Dg)$ waardes.

Tenslotte werd er een vergelijking gemaakt van een aantal profielgegevens met de textuurklassen van de bodemkaart. Hiertoe werd er voor elk profiel nagegaan in welke textuurklasse het werd gekarteerd op de Belgische bodemkaart. Uit de analyse blijkt duidelijk dat de bodemkaart niet foutvrij is: voor een aanzienlijk aantal profielen valt de berekende Dg waarde niet binnen de mogelijke Dg-klassengrenzen afgeleid van de textuurklasse die de bodemkaart op de plaats van het profiel vermeldt. Uit deze profielgegevens blijkt verder ook dat er voor elke textuurklasse nog een aanzienlijke variatie mogelijk is binnen de $K(Dg)$ en $K(nom)$ waardes. Voor de meeste textuurklassen komt de gebruikte $K(Dg)$ goed overeen met de gemiddelde afgeleid van de profielen. Voor klei en zware klei ligt de gebruikte $K(Dg)$ waarde opvallend hoger dan de

berekende waarde. Voor deze textuurklassen ligt ook de gemiddelde $K(nom)$ waarde lager dan de gebruikte $K(Dg)$ waarde, maar voor de andere textuurklassen ligt de gemiddelde $K(nom)$ waarde duidelijk hoger dan de gebruikte $K(Dg)$ waarde. Tenslotte kan er ook nog opgemerkt worden dat de $K(nom)$ waarden veel grotere extremen vertonen dan de gemeten K waarden.

De verschillende formules voor het berekenen van K hebben elk hun tekortkomingen. De formule voor $K(Dg)$ houdt geen rekening met de variatie van het OM gehalte. De formule voor $K(nom)$ houdt hier wel rekening mee, maar gezien de variatie van het OM nog niet op voldoende niveau en gebiedsdekkend beschikbaar is, is deze formule niet toepasbaar. Bovendien blijkt deze formule grotere extremen in de waarden op te leveren dan kan worden afgeleid van de gemeten K waarden.

Als besluit kunnen we stellen dat de gebruikte K waarden vrij goed overeen komen met de gemiddelde $K(Dg)$ waarden per textuurklassen, behalve voor klei en zware klei waar ze mogelijk te hoog is ingeschat. Dit is niet echt problematisch, gezien het feit dat in Vlaanderen deze texturen vrijwel enkel op zeer vlakke percelen voorkomen. Wanneer de textuur van een bepaald perceel echter sterk afwijkt van het gemiddelde van de betreffende textuurklasse, of zelfs binnen een andere textuurklasse ligt (door onvoldoende nauwkeurigheid van de bodemkaart of foutieve kartering) dan kan de werkelijke $K(Dg)$ waarde sterk afwijken van het gebruikte gemiddelde en kan een correctie verantwoord zijn. Voor bodems met een middelmatige textuur - zandleem, leem en klei – is het duidelijk dat een OM gehalte van meer dan 3.5% een sterke reductie van de K -factor veroorzaakt: ook hier kan een correctie toegepast worden indien de nodige gegevens beschikbaar zijn. Voor andere textuurklassen is de relatie tussen K en OM gehalte minder duidelijk volgens de gemeten waarden.

3.4 C of gewasfactor

3.4.1 Inleiding

De C-factor is dimensieloos en varieert van 0 tot 1, waarbij 1 betekent dat er evenveel bodemverlies is als op een braakliggend terrein zonder vegetatieve bedekking. De C-factor is een schalingsfactor en is daarom, in tegenstelling tot de K -factor, dimensieloos. Binnen deze studie was het specifiek de bedoeling om één C-factor voor het volledige landbouwareaal te gebruiken. Om consistentie met de vorige kaart te verzekeren werd daarom dezelfde C-factor gebruikt: 0.37. Daarnaast werd een C-factor van 0.001 gebruikt voor bos en 0 voor bebouwde oppervlakte. In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de verschillende C-factoren zoals die in Vlaanderen worden berekend.

De door ons gebruikte waarde is een schatting van de gemiddelde waarde van de C-factor voor akkerland in Vlaanderen. Er zijn echter ook andere schattingen mogelijk. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de verschillende schattingsmogelijkheden die in voorgaande studies gebruikt werden.

3.4.2 Berekening van de C-factor

Voor elk gewasgroeistadium kan de erosiegevoeligheid berekend worden op basis van (Renard et al., 1997):

$$SLR = PLU * SR * CC * SC * SM$$

vergelijking 14

Waarbij:

- *SLR*: soil loss ratio (bodempluiesverhouding)
- *PLU*: prior land use subfactor: houdt rekening met de effecten van voorgaand bodemgebruik
- *SR*: soil roughness subfactor: invloed van de bodemruwheid
- *CC*: canopy cover subfactor: bladerdek subfactor
- *SC*: surface cover subfactor: brengt de bedeking door gewasresidus, gesteentefragmenten, ... in rekening
- *SM*: soil moisture subfactor: brengt het bodemvocht in rekening

De C-factor wordt dan berekend als (Renard et al. 1997):

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n SLR_i * R_i}{R}$$

vergelijking 15

Waarbij:

- *SLR_i*: soil loss ratio voor gewasstadium *i*
- *R_i*: de totale neerslagerosiviteit tijdens het ganse gewasstadium
- *R*: de totale neerslagerosiviteit over alle gewasstadia
- *N*: het aantal gewasstadia

Eén gewasstadium duurt doorgaans ± 15 dagen (Renard et al., 1997). Een uitvoerige beschrijving over de berekening van de verschillende subfactoren van SLR kan gevonden worden in Renard et al. (1997). Voor Vlaanderen wordt deze berekeningswijze grondig beschreven door Verstraeten et al. (2001).

3.4.3 Berekende C-factoren in Vlaanderen

Door toepassing van vergelijking 15 bekwamen Verstraeten et al. (2001) voor Vlaanderen een gemiddelde C-factor van 0.34 à 0.37. Naast deze algemene waarden werden er ook waardes berekend voor de belangrijkste gewasrotaties.

gewas/bodemgebruik	gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid
wintergranen	0,25 - 0,30
maïs	0,45 - 0,50
groenten in openlucht	0,45 - 0,50
andere zomergewassen	0,30 - 0,35

(vnl. bieten en aardappelen)	
weiland	0,005 – 0,015
bos	0,001 – 0,005

Tabel 6: C-factor van enkele gewassen in Vlaanderen volgens Verstraeten et al. (2002).

Gewasrotatie¹	C-factor	Gewasrotatie	C-factor
bbb	0.24	wab	0.31
BBB	0.29	waE	0.35
mmm	0.45	wae	0.34
aaa	0.31	wage	0.31
www	0.34	wagb	0.28
eee	0.36	bwa	0.33
mgmgmg	0.32	bwag	0.28
mGmGmG	0.32	bwga	0.31
agagag	0.23	bwgag	0.26
aGaGaG	0.21	bwam	0.35
mmw	0.43	bwamg	0.32
mmwg	0.40	bwaw	0.35
awm	0.37	wba	0.30
awmg	0.35	wbag	0.25
awmG	0.34	cab	0.35
wm	0.41	bwac	0.36
wam	0.38	bwacg	0.34
mma	0.43	bway	0.30
mgmgmga	0.38	bwaY	0.26
waB	0.32		

Tabel 7: C-factor van enkele driejarige gewasrotaties volgens Verstraeten et al. (2002).

Verbist et al. (2004b) vermelden C-factoren per gewas, en houden daarnaast ook rekening met de toepassing van een groenbedekker en het ploegen na de oogst. In Tabel 6 worden deze C-factoren van enkele gewassen weergegeven, alsook de C-factoren bij toepassing van een groenbedekker (gele mosterd). Als gemiddelde C-factor voor Vlaanderen wordt de waarde 0.31 vermeldt.

Teelt	C-factor	C-factor na toepassing groenbedekker
Fruitbomen	0.05	-
Gras	0.01	-

¹ W=wintergraan; a=aardappelen; m=maïs; b=bieten zonder loofafvoer; B= bieten met loofafvoer; e=cichorei zonder loofafvoer; E= cichorei met loofafvoer; g=raaigras ingezaaid in omgeploegde bodem; G=raaigras in residu van voorgaande oogst; c=wortelen; y=gele mosterd; Y=gele mosterd waarbij de volgende teelt wordt ingezaaid in het residu van gele mosterd

(permanent)		
Gras	0.1	-
Gras (tijdelijk)	0.1	-
Graszoden	0.1	-
Braak	0.1	-
Luzerne	0.17	0.17
Wintergerst	0.22	-
Triticale	0.26	-
Wintertarwe	0.26	-
Suikerbieten	0.30	0.35
Voederbieten	0.30	0.35
Erwten/bonen	0.30	0.25
Zomergerst	0.32	0.22
Zomertarwe	0.32	0.22
Vlas	0.33	0.33
Haver	0.34	0.22
Aardappelen	0.41	0.29
Cichorei	0.42	0.47
Witlof	0.46	0.49
Klaver	0.49	-
Wortelen	0.56	0.59
Groenten	0.56	0.38
Maïs	0.62	0.51
Tabak	0.66	0.47
Fruit (struiken + aardbeien)	0.84	-
Ajuin	0.86	0.73
Sjalotten	0.86	0.73
Hop	1.00	-
Boomkweek	1.00	-

Tabel 8: C-factor voor enkele gewassen in Vlaanderen volgens Verbist et al. (2004b).

Ruysschaert (2005) berekende C-factoren door de RUSLE-modelsoftware toe te passen. Zij vond lagere C-factoren dan Verstraeten et al. en Verbist et al. Dit kan verklaard worden doordat zij in tegenstelling tot deze auteurs de PLU subfactor niet steeds gelijkstelde aan 1. Op basis van de C-factoren van de verschillende gewassen en de jaarlijkse landbouwstatistieken berekende zij ook C-factoren per landbouwregio en per jaar. Hieruit blijkt duidelijk dat de C-factor tussen 1980 en 2004 is toegenomen. Vooral in de zandstreek is er een sterke toename, veroorzaakt door een toename in areaal van silomaïs en vroege aardappelen, en een afname van het areaal wintergraan. De variatie tussen de regio's is echter groter dan de temporele variatie.

De gemiddelde C-factor van het akkerlandareaal voor de periode 1980-2004 bedraagt, volgens de berekeningen van Ruysschaert, 0.25 voor België en 0.28 voor Vlaanderen. Voor 2004 was de gemiddelde C-factor van het Vlaamse akkerlandareaal 0.29 (Ruysschaert 2005, pers. comm.).

Rotatie	C-factor (1)	C-factor (2)
Silomaïs / wintertarwe / wintergerst	0.197	0.215
Wintertarwe / silomaïs / wintertarwe / suikerbiet	0.243	0.260
Wintergerst / suikerbiet / wintertarwe / vroege aardappel	0.234	0.297
Zomergraan / cichorei / wintertarwe / wortel	0.273	0.300
Korrelmaïs / opslag aardappel / vlas	0.268	0.276

Tabel 9: C-factoren berekend voor een aantal gewasrotaties volgens Ruyschaert (2005). (1) berekend voor de rotatie zelf & (2) als gemiddelde van de verschillende gewassen.

Gewas	C-factor
Aardappel voor opslag	0.385
Vroege aardappel	0.595
Suikerbiet	0.273
Voederbiet	0.277
Cichorei	0.369
Witloof	0.391
Vroege prei	0.627
Late prei	0.719
Wortel	0.484
Silomaïs	0.326
Korrelmaïs	0.243
Wintertarwe	0.220
Wintergerst	0.100
Zomertarwe	0.127
Zomergerst	0.193
Haver	0.127
Vlas	0.201
Erwten / bonen	0.211
Ui	0.700
Sjalot	
Vroege bloemkool – 60 dagen cyclus	0.349
Late bloemkool – 60 dagen cyclus	0.471
Vroege bloemkool – 75 dagen cyclus	0.343
Late bloemkool – 75 dagen cyclus	0.476

Braak	0.100
-------	-------

Tabel 10: C-factor van enkele gewassen in Vlaanderen volgens Ruyschaert (2005).

3.4.4 Besluit

Bij de berekeningen werd de potentiële erosie berekend, hetgeen inhoudt dat er één C-factor voor volledig Vlaanderen werd gebruikt. Om een omrekening toe te staan naar een gewas(rotatie)specifieke erosiewaarde worden ook de C-factoren voor verschillende gewasrotaties opgegeven. Opvallend hierbij is dat de verschillende auteurs sterk uiteenlopende C-factoren vermelden. De in deze studie gebruikte C-waarde (0.37) is zodanig gekozen dat vergelijking met voorgaande studies (vb. Van Rompaey et al. 2000) mogelijk is. Deze waarde is echter niet noodzakelijk de optimale schatting van de actuele, gemiddelde C-factor voor akkerland in Vlaanderen: de beschikbare gegevens suggereren dat de actuele, gemiddelde C-factor in de meeste gevallen lager zal liggen dan de hier gebruikte waarde.

3.5 LS-factor of topografische factor

3.5.1 Inleiding

De topografische factor geeft de ruimtelijke variabiliteit van het bodemerosierisico in functie van de topografie weer. 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. Binnen deze studie werd voor de berekening van LS een aangepast algoritme gebruikt dat gebaseerd is op het WaTEM/SEDEM model (versie voor metalen (Notebaert en Govers, in prep.)). Dit algoritme genereert, voor wat betreft de LS berekeningen, dezelfde resultaten als de versie 2004 van het WaTEM/SEDEM model (zie oa. Verstraeten et al. 2003).

Binnen WaTEM/SEDEM wordt een 2-dimensionale benadering van de topografische factor gebruikt. Het model is gebaseerd op het model van Desmet en Govers (1996), dat het mogelijk maakt rekening te houden met convergentie en divergentie van afstromend water zodat een betere schatting ontstaat van geul- en intergeulerosie en ook tijdelijke ravijnerosie minstens gedeeltelijk in rekening kan gebracht worden. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de richting van bodembewerking. Hiervoor wordt het model van Takken et al. (2001) gebruikt. Tenslotte gaan we er van uit dat het water slechts op één plaats over de perceelsrand stroomt, namelijk op het laagste punt. Op deze wijze wordt de realistische situatie waarbij het water langsheen een perceelsrand stroomt beter in rekening gebracht (Takken et al. 2001, Verstraeten et al. 2001). Ook wegen spelen een dergelijke rol: wanneer water op een weg terecht komt zal het deze weg volgen tot het laagste punt van de weg. (Verstraeten et al. 2001). Op deze wijze wordt de landschapsstructuur ingebracht in het model, gezien deze een zeer belangrijke invloed heeft op het afvoerpatroon.

Tenslotte houdt het LS-algoritme in WATEM/SEDEM ook rekening met de connectiviteit tussen percelen en met verschillen in landgebruik. Men mag immers niet aannemen dat het landschap bestaat uit één groot, aaneengesloten vlak. Dit kunnen we illustreren door na te gaan wanneer twee landbouwpercelen onder elkaar op één helling liggen. Dikwijls zal, wanneer afstroming optreedt op het bovenste perceel, een groot gedeelte van het afstromende water weer infiltreren op het onderste perceel. Omgekeerd zal er, wanneer er afstroming en erosie optreedt op het onderste perceel, niet noodzakelijk afstroming optreden op het bovenste perceel. De connectiviteitsfactor bepaalt in welke mate de L-factor voor een rastercel in een bepaald perceel afhankelijk is van hellingopwaarts gelegen percelen en kan gezien worden als het gemiddelde percentage van de afstroming op een bovenliggend perceel die wordt getransfereerd naar een lager gelegen perceel op het ogenblik dat er erosierisico is. Bossen vereisen ook een speciale behandeling. De Ptef factor drukt uit in welke mate een bospixel bijdraagt aan de hellingopwaartse oppervlakte ten opzichte van een standaard akkerpixel (gezien binnen dit project de potentiële erosie wordt berekend wordt het volledige landbouwareaal als akkerland behandeld). Deze waarde werd ingevoerd omdat bij bos en weiland een kleiner deel van het regenwater de bodem bereikt en/of erosief inwerkt (Van Oost et al. 2000).

3.5.2 Algoritmen

Het algoritme van Desmet en Govers (1996) berekent de L-factor in een rasteromgeving als:

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (2213)^m}$$

vergelijking 16

Met:

- D = gridresolutie
- m = exponent afhankelijk van gebruikte algoritme (zie eerder)
- A = eenheid stroomopwaartse oppervlakte bij het binnenkomen van de gridcel
- x = factor die toelaat rekening te houden met de stroomrichting t.o.v. de oriëntatie van het raster.

De S-factor wordt afgeleid van de lokale hellingsgraad. Er bestaan verschillende algoritmes om zowel m uit de berekeningen van $L(i, j)$ te berekenen als $S(i, j)$ te berekenen:

1. Wischmeier and Smith (1978) berekenen de S-factor als:

$$S(i, j) = 65.41 \cdot \sin^2 \theta_{i, j} + 4.56 \cdot \sin \theta_{i, j} + 0.065$$

vergelijking 17

Waarbij θ = de tangens van de hellingshoek.

Met betrekking tot m stellen zij de volgende waarden voor:

- = 0.5 als $\tan \phi > 0.05$
- = 0.4 als $0.035 < \tan \phi < 0.05$
- = 0.3 als $0.01 < \tan \phi < 0.035$
- = 0.2 als $\tan \phi < 0.01$

2. De vergelijkingen van McCool et al. (1987, 1989) wordt gebruikt in het RUSLE-model (1993). De S-factor wordt berekend als:

$$S(i,j) = 10.8 * \sin \phi_{i,j} + 0.03 \text{ als bgtg } \theta_{i,j} < 9\%$$

$$S(i,j) = 16.8 * \sin \phi_{i,j} - 0.5 \text{ als bgtg } \theta_{i,j} > 9\%$$

De L-factor wordt berekend als:

$$L = x^m$$

vergelijking 18

waarbij

x = de hellingslengte.
 $m = (\beta / \beta + 1)$ waarbij

$$\beta = \frac{\sin \theta_{i,j} / 0.0896}{3. \sin^{0.8} \theta_{i,j} + 0.56}$$

vergelijking 19

3. Govers (1991) stelde een waarde van 0.755 voor voor m in vergelijking 16, gebaseerd op velddata, terwijl S berekend werd als $S(i,j) = (\tan \theta_{i,j} / 0.09)^{1.45}$. Deze LS factor verwijst specifiek naar de geulerosie.

4. Nearing (1997) stelde één enkele continue functie voor de S-factor:

$$S = -1.5 + \frac{17}{\left(1 + e^{[2.3 - 6.1 \sin(\theta)]}\right)}$$

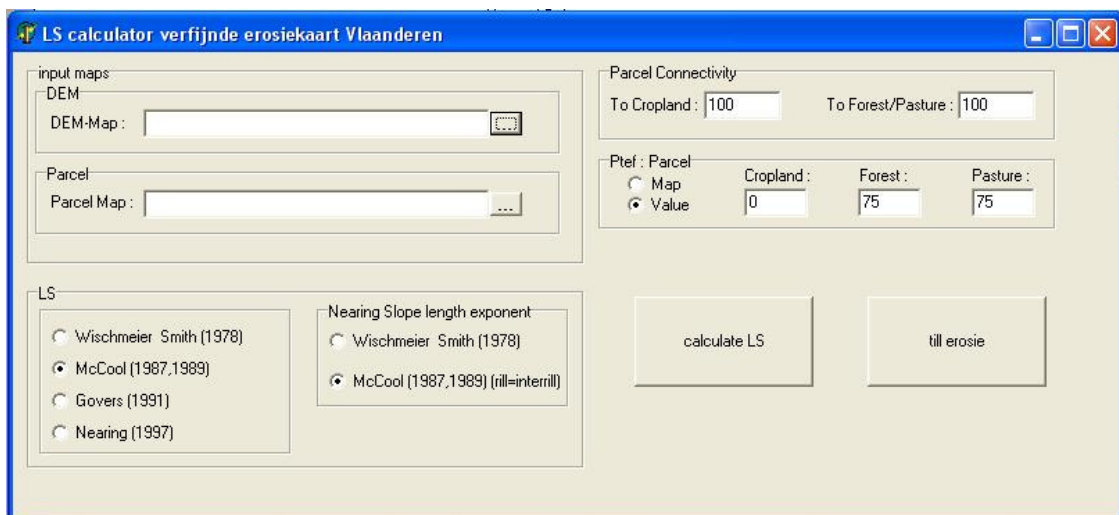
vergelijking 20

3.5.3 Gebruikt model: modelstructuur

Voor de berekeningen van de LS-factor werd het WaTEM/SEDEM model aangepast. De belangrijkste aanpassing in de berekening van LS is dat het model geen rekening houdt met de beweringsrichting of bodemruwheid, gezien deze gegevens niet beschikbaar zijn voor Vlaanderen

Erosie en sedimentatie werden niet berekend. Belangrijk is evenwel dat het model precies dezelfde LS-waardes oplevert als het WaTEM/SEDEM model (versie 2004) en de recent ontwikkelde versie van WaTEM/SEDEM voor metalen wanneer dezelfde invoergegevens worden gebruikt.

Het model (zie Figuur 2) maakt gebruik van een DTM (digitaal terreinmodel) en een perceelskaart. In deze perceelskaart kunnen de landbouwpercelen worden ingegeven en daarnaast ook het landgebruik van het gebied buiten de landbouwpercelen (water, bebouwd & wegen, bos; zie Notebaert en Govers in prep.).



Figuur 2: model gebruikt voor het berekenen van *LS* én *tillage* erosie, ontwikkeld voor deze studie.

Binnen deze studie werden de vergelijkingen het algoritme van McCool et al. (1987, 1989) gebruikt. Voor de hellingswaarden die in Vlaanderen frequent voorkomen zijn de verschillen in S-factor die met de verschillende formules bekomen worden relatief gering. Voor de L-factor impliceert het gebruik van de benadering van Mc Cool et al. dat men aanneemt dat het effect van hellingslengte op percelen met een lage hellingswaarde zeer beperkt is. Het neemt toe met toenemende hellingswaarde. Dit is consistent met het feit dat op steilere percelen het relatief belang van geulerosie t.o.v . intergeulerosie toeneemt.

3.5.4 Invoergegevens: perceelskaart en DTM

3.5.4.1 Digitaal Terrein Model (DTM)

Het DTM dat gebruikt werd voor de berekeningen van LS werd geleverd door de opdrachtgever. Dit DTM heeft een resolutie van 5 meter en is hydrologisch gecorrigeerd.

Voordat dit DTM kon gebruikt worden binnen het model dienden nog een aantal aanpassingen gebeuren. Een eerste belangrijke aanpassing is het corrigeren voor vlakke stukken en de nog resterende putjes (pits). Eerst werden resterende putjes opgevuld totdat zij een vlak stukje vormden. Doordat het niet mogelijk is een afstroombtopologie te berekenen binnen een vlak stukje wordt er binnen het model van uitgegaan dat de hellingopwaartse oppervlakte die draineert naar een vlak stukje (dus de volledige opwaartse hellingsoppervlakte, of de volledige L) het vlak stukje via de laagste buurcel van dat vlak stuk verlaat. Gezien er binnen het vlak stukje geen afstroombtopologie kan berekend worden, kan er hier ook rekening gehouden worden met de eventuele aanwezigheid van perceelsgrenzen en de bijhorende effecten op connectiviteit. Een vergelijkbare procedure wordt toegepast voor overblijvende putjes.

Om het voorkomen van vlakke stukjes zoveel mogelijk te beperken werden enkele filtertechnieken uitgetest, waarbij ook werd nagegaan in welke mate de oppervlakte van individuele vlakke stukjes zoveel mogelijk beperkt kon worden. Grote vlakke stukken en of putjes hebben immers een belangrijker invloed hebben op de berekeningen dan kleine, wegens de toegenomen kans op de aanwezigheid van (verschillende) perceelsgrenzen binnen het vlakke stuk of de put.

Het principe van een filter is dat er voor elke rastercel een nieuwe waarde wordt berekend die afhangt van de waarde van die rastercel en/of de waarden van de omliggende rastercellen. Een *3*3 filter* betekent bijvoorbeeld dat men rekening houdt met een (denkbeeldig rond de pixel getrokken) vierkant (=kernel) van 3 bij 3 pixels. Hierbij wordt er dus rekening gehouden met de pixel zelf en 8 omliggende pixels.

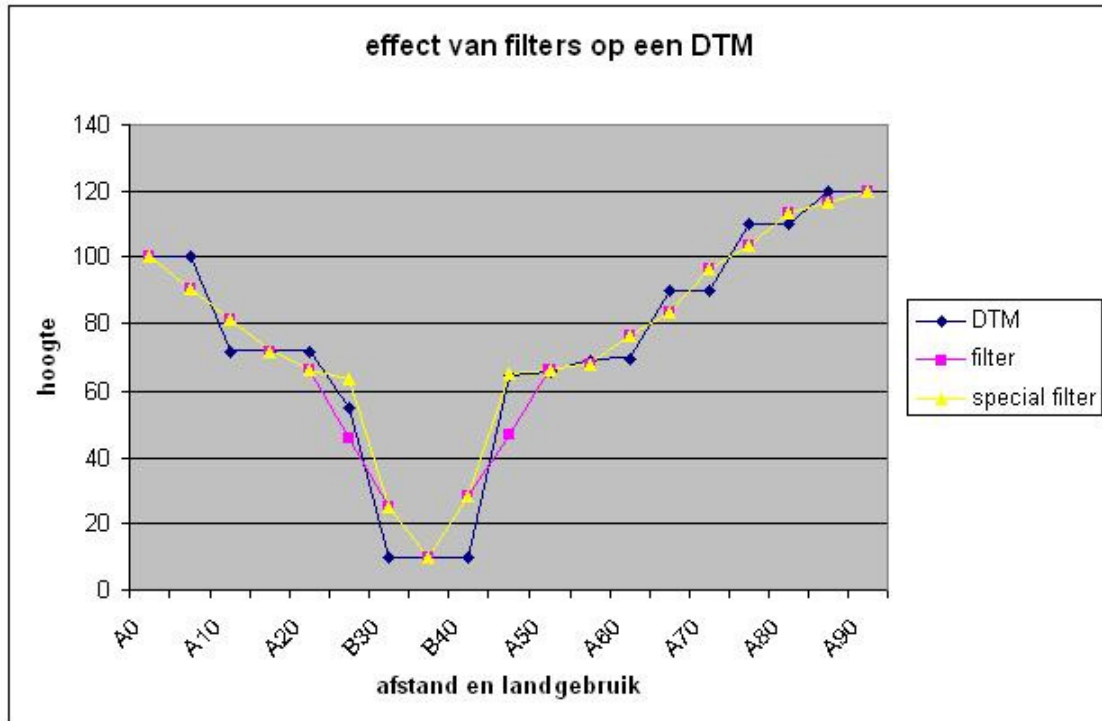
Bij het testen van de filters werd ook rekening gehouden met andere aanpassingen van het DTM: het verminderen van ruis en het verminderen van ongewenste artefacten. Het belangrijkste type ongewenst artefacten dat in het DTM voorkwamen was een trapachtig verloop van de helling, waarbij de helling bestaat uit een opeenvolging van steilere en vlakkere stukken.

De volgende filters werden uitgetest:

- Een *3*3 mean filter*: deze filter berekent voor elke pixel het gemiddelde van die pixel en de acht omliggende pixels (dus een kernel met zijden van 3 pixels lang)
- Een *15*15 filter*: deze filter berekend de waarde van een pixel door vooral rekening te houden met de waarde van de pixel zelf. Concreet wordt de waarde berekend door 0.99 keer de waarde van de pixel te nemen, en dan de waarde van de 224 andere pixels maal 0.01/224 te vermenigvuldigen en hierbij op te tellen ($0.99 + 224 * (0.01/224) = 1$).
- Een *3*3 mean filter*, waarbij echter voor de percelen afzonderlijk wordt gefilterd. Concreet betekent dit dat wanneer een pixel binnen een perceel ligt, er enkel rekening wordt gehouden met pixels binnen de kernel die ook binnen het perceel liggen.

Figuur 3 stelt het verschillend effect voor van de *3*3 mean filter* ('filter') en de *3*3 mean filter* afzonderlijk toegepast op de percelen ('special filter'). Wanneer een *3*3 mean filter* wordt toegepast langs een perceelsrand, waarlangs een diepere gracht ligt, dan komt de helling van deze gracht gedeeltelijk binnen het perceel te liggen. Vanzelfsprekend heeft

dit een invloed op de erosieberekeningen van dat perceel. Bij het afzonderlijk filteren voor de percelen beïnvloedt de aanwezigheid van een dergelijke gracht het DTM binnen het perceel niet.



Figuur 3: effect van filters op een DTM. Op de x-as wordt het landgebruik gegeven door de eerste letter (A= akker, B=geen akker).

Uit de verschillende tests bleek dat een combinatie waarbij eerst de 15×15 filter en daarna een 3×3 *special* filter binnen de percelen werd toegepast de beste resultaten opleverde: door het toepassen van de high pass filter worden de meeste vlakke stukjes ofwel verwijderd ofwel sterk verkleind, zodat zij nog nauwelijks de berekeningen beïnvloeden. Het filteren met de *mean* filter is nog nodig om ruis en storende artefacten te verwijderen. Bovendien zorgt de *mean* filter voor een verdere reductie van de vlakke stukjes en putjes. De high pass filter veroorzaakt wijzigingen van het DTM tot 0.06 m en de mean filter wijzigingen tot maximaal 0.7m: doorgaans zijn de wijzigingen echter veel kleiner. Het is belangrijk te vermelden dat voor de tussentijdse kaart (geleverd op 15 september 2005) de hierboven beschreven correcties nog niet werden uitgevoerd. Analoog met de correcties die in het verleden gebeurden voor het DTM niveau-2 gebeurden er voor deze kaart 3 opeenvolgende 3×3 *mean* filters.

3.5.4.2 Perceelskaart

Het model vereist naast een DTM ook een perceelskaart. Deze perceelskaart moet in raster-formaat aangemaakt worden en vereist de volgende structuur van de pixelwaarden:

- -2 = wegen en bebouwd gebied

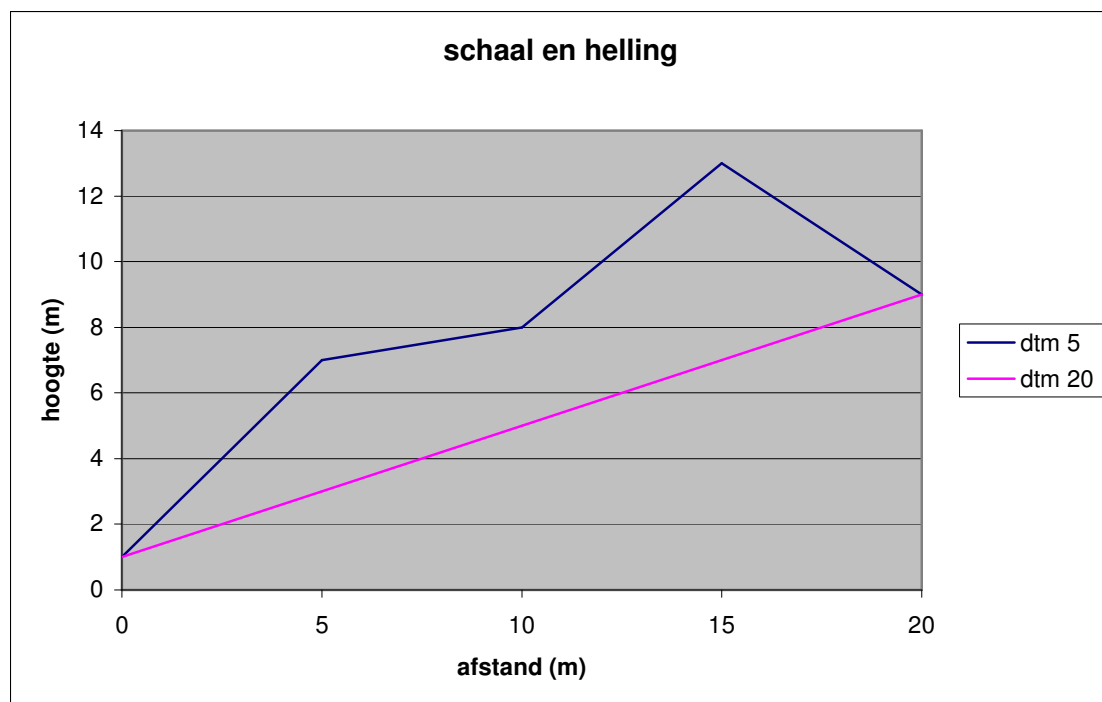
- -1 = rivieren
- 0 = deel van de kaart buiten het studiegebied
- 1 tot n = landbouwgebied. N staat hierbij voor het aantal percelen, en elk perceel krijgt dus zijn eigen waarde. De waarde voor n mag maximaal 9 998 zijn.
- 10 000 = bos
-

Verder in dit document wordt uitgelegd hoe deze perceelskaart werd aangemaakt.

3.5.5 Schaafeffecten en correctiefactor

Wanneer topografische variabelen, zoals helling, worden berekend, zal de grid-resolutie van het DTM een belangrijke invloed hebben op de ruimtelijke patronen en op de frequentiedistributie (de bekomen waardes) van deze variabelen (Jenkins en Hutchinson 1996). Zo zal de gemiddelde helling berekend op basis van een grof DTM steeds kleiner zijn dan wanneer deze wordt berekend van een fijner DTM (Wolock en McCabe 2000). Deze schaafeffecten ontstaan door twee mechanismen (Gallant and Hutchinson 1996, Wolock en McCabe 2000):

- Discretizatie-effecten: effecten die afkomstig zijn van het verdelen van het terrein in verschillende aantallen grid-cellen. Het verschil in grootte van de grid-cellen kan ook de formule die gebruikt wordt om de variabele te berekenen beïnvloeden.
- Effecten ontstaan door het wijzigen van de topografie (afrondingseffect): bij een grovere resolutie zal het terrein meer afgerond worden voorgesteld, en kleine terreinvormen zullen niet worden weergegeven, hetgeen automatisch resulteert in lagere gemiddelde hellingswaarden.



Figuur 4: schaal en helling.

Figuur 4 verduidelijkt het afrondingseffect op de helling: de blauwe lijn stelt het 5 meter DTM voor, de paarse het 20 meter DTM. Wanneer in dit geval de helling wordt berekend van het 5 meter DTM (dus gebruik makend van de blauwe lijn), zal die gemiddeld 80 % bedragen. Wordt de helling op het 20 meter DTM berekend dan bedraagt de helling nog slechts 40%. Wolock en McCabe (2000) bewijzen dat het discretizatie-effect op de berekeningen van helling in sommige gevallen veel groter zal zijn dan het vervlakkings-effect, en dus zeker niet uit het oog mag verloren worden.

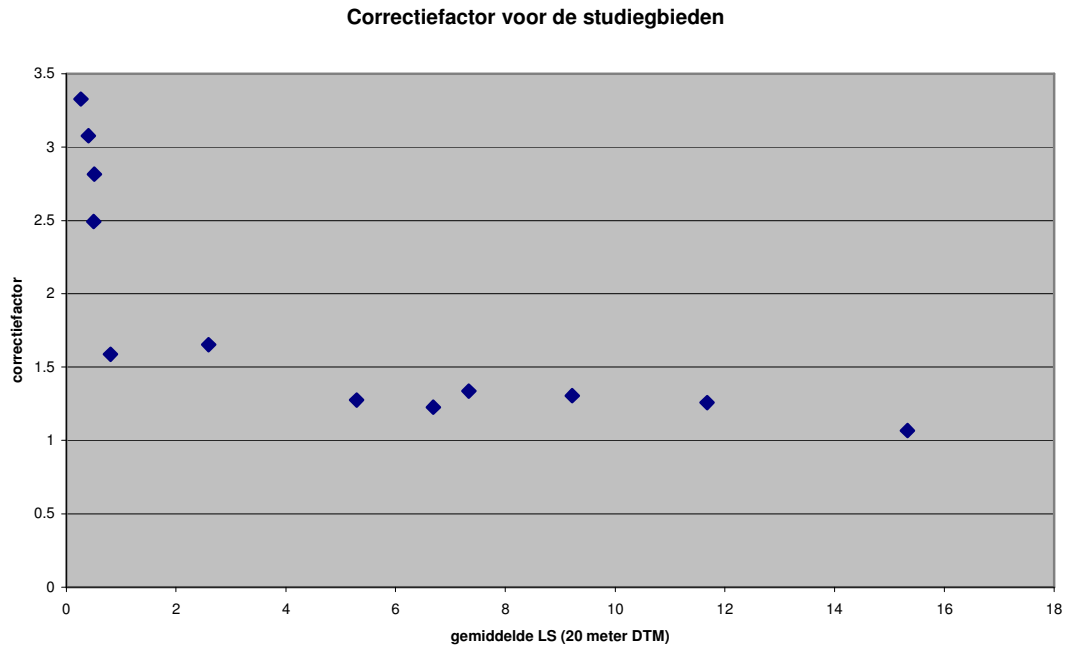
Het resolutie-effect is voor verschillende topografische variabelen bestudeerd, maar blijkt niet steeds hetzelfde te zijn: de helling neemt af bij een grover DTM (vb. Wolock en McCabe 2000, Zhang et al. 1999), terwijl de gemiddelde hellingopwaartse oppervlakte toeneemt bij een grover DTM (vb. Panuske et al. 1999, Wolock en McCabe 2000).

Gezien de LS factor ook een topografische variabele is, is het logisch dat ze ook onderhevig is aan dergelijke schaaffecten. Wu et al. (2005) tonen aan dat de gemiddelde LS factor bij een afnemende resolutie ook zal afnemen (zie ook Van Rompaey et al. 2001). Ook de maximale LS neemt af, en zelfs sterker dan het gemiddelde; bij een fijnere resolutie komen er dus grotere extremen voor dan bij een grovere resolutie. Het gemiddeld RUSLE bodemverlies vertoont een (bijna) identieke curve als de gemiddelde LS (Wu et al. 2005). Op deze wijze kan aangetoond worden dat de gridresolutie een zeer groot effect zal hebben op de RUSLE-erosie berekeningen. Wu et al. (2005) besluiten dat een fijnere resolutie een beter ruimtelijk patroon kan optreden, maar dat de absolute waarden mogelijk niet meer correct zijn – zonder daarbij een resolutie te vermelden waarop de absolute waarden wel correct zijn.

Binnen deze studie is het echter wel de bedoeling om absolute (potentiële) erosiewaarde te bekomen. Gezien de oorspronkelijke RUSLE formule is opgesteld voor standaard plot omstandigheden, hetgeen inhoudt dat de helling bepaald wordt voor een plot lengte van 72.6 voet (22.1 meter), kan er van uit gegaan worden dat een dergelijke resolutie de beste modelresultaten zal opleveren. Deze resolutie komt ongeveer overeen met de resolutie van 20 meter die bij de vorige erosiekaart werd toegepast. Bovendien konden de resultaten van WaTEM/SEDEM in het verleden telkens makkelijk gevalideerd worden wanneer dit DTM werd gebruikt, en worden de bekomen bodemerosiehoeveelheden als realistisch beschouwd wanneer ze vergeleken worden met beschikbare terreingegevens. Daarom werd besloten, in samenspraak met de opdrachtgever, een correctiefactor toe te passen op de berekeningen van LS, zodat de waarden ongeveer overeenkomen met de waarden die worden bekomen met het DTM niveau-2.

Het berekenen van de correctiefactor gebeurde op basis van twaalf studiegebieden, verspreid over Vlaanderen. Deze studiegebieden werden zo gekozen dat ze bestaan uit een vrij eenvormig landschapstype, zodat een eventuele invloed van de gemiddelde hellingsgraad op de correctiefactor duidelijk zou zijn. De grootte van de studiegebieden varieert tussen 4500 ha en 23000 ha, maar de meeste zijn ongeveer 10000 ha groot. Voor elk van de studiegebieden werd een gemiddelde LS berekend op basis van het DTM

niveau-2 en op basis van het DTM met resolutie 5 meter, en dit telkens met dezelfde perceelskaart. Figuur 5 geeft de resultaten van deze tests weer.



Figuur 5: correctiefactor voor de twaalf studiegebieden. Op de X-as wordt de gemiddelde LS berekend op basis van het DTM niveau-2 (20 meter resolutie) voorgesteld, op de Y-as de correctiefactor.

Uit de tests met de studiegebieden blijkt dat de correctiefactor voor gebieden met een erg lage LS opvallend hoger is dan voor gebieden met een hogere LS. Wolock en McCabe (2000) hebben reeds eerder aangetoond dat schaaffecten afhankelijk zijn van de topografische eigenschappen: het afrondingseffect op de berekeningen voor de helling is het grootst voor steile en korte hellingen, terwijl het discretizatie-effect het grootst is voor gebieden met vlakke en lange hellingen. Bij de door hen bestudeerde DTMs resulteerde dit in een groter schaalafect op de hellingsberekeningen voor vlakke gebieden; voor wat betreft de hellingslengte is de relatie minder duidelijk.

Vanuit deze vaststellingen werd beslist om als correctiefactor het gemiddelde te nemen van de correctiefactoren die schommelen rond 1.3 à 1.5 (dus vanaf een LS van 0.8 op het DTM-20). Dit zijn immers de gebieden waar erosie optreedt. Dit gemiddelde bedraagt 1.4. De uiteindelijke LS berekeningen werden dus door 1.4 gedeeld.

3.5.6 Extreme waarden

De berekeningen van LS leverden extreme waarden op, die onrealistisch hoge bodemerosiebedragen tot gevolg hadden. Deze extremen blijken veel groter te zijn dan de extremen die voorkomen met de berekeningen met een DTM met resolutie 20 meter. Ook

Wu et al. (2005) tonen aan dat een fijnere resolutie meer extreme (grotere maxima) oplevert bij LS berekeningen. Gezien de extreme waarden bij een toenemende pixelgrootte sterker afnemen dan de gemiddelde waarden (Wu et al. 2005), worden deze extremen niet opgevangen door een eventueel toegepaste correctiefactor.

Om onrealistisch hoge waarden te vermijden werd daarom nog ene bijkomende correctie uitgevoerd op de berekende erosiewaarden (dus niet rechtstreeks op de LS). Wanneer pixels een hogere waarde hebben dan 150 ton/ha, dan krijgen werden ze herschaald naar een waarde van 150 ton/ha.

3.5.7 Besluit

De berekeningen van topografische karakteristieken, zoals de LS-factor zijn onderhevig aan resolutie-effecten, waardoor het gebruik van een meer gedetailleerd DTM hogere waarden voor de LS-factor oplevert. Vanzelfsprekend heeft dit ook invloed op de erosieberekeningen, en zal een meer gedetailleerd DTM hogere waarden voor erosie opleveren. In de literatuur die over dit onderwerp beschikbaar is wordt nergens een 'ideale' of 'correcte' resolutie vermeldt voor het berekenen van LS, maar gezien de RUSLE formule opgesteld is voor een plotgrootte van +-20 meter, werden berekeningen met deze resolutie als correct beschouwd. Op basis van berekeningen op beide resoluties werd een correctiefactor opgesteld, die dan werd gebruikt om LS om te rekenen. Deze correctiefactor heeft enkel een invloed op de absolute waarden van de berekeningen, niet op het patroon.

De kwaliteit van het aangeleverde DTM heeft ook een belangrijke invloed op het DTM. Om de invloed van ruis en artefacten te minimaliseren, werd besloten om het DTM te filteren. Deze filtering werd zodanig toegepast, dat de invloed van reliëfelementen van buiten percelen (grachten, holle wegen) zo klein mogelijk is op het reliëf binnen deze percelen (maar vanzelfsprekend zal die invloed er wel nog zijn wanneer de percelen geometrisch niet correct gepositioneerd zijn).

Naast een DTM is er voor de berekeningen van de LS factor ook een perceelskaart nodig, gezien er rekening wordt gehouden met connectiviteit. Deze perceelskaart is echter niet gebiedsdekkend beschikbaar voor Vlaanderen, waardoor een deel van de landgebruikgegevens ontleed zijn aan een geclassificeerd satellietbeeld van OC GIS Vlaanderen. Dit beeld bevat echter enkele landgebruikinformatie en geen perceelsinformatie, waardoor de berekeningen voor dit gebied vanzelfsprekend van een veel lagere kwaliteit zullen zijn dan voor de gekende percelen (omdat onder andere de connectiviteit niet kon toegepast worden).

4 Bewerkingserosie

4.1 Inleiding

De intensiteit van bewerkingserosie kan vrij eenvoudig geschat worden (Van Oost et al., 2000). De netto sedimentflux door bodembewerking kan gelijk gesteld worden aan (Van Oost et al. 2000):

$$Q_{s,t} = K_{til} S = -k_{til} \frac{dh}{dx}$$

waarbij $Q_{s,t}$ de netto hellingafwaartse flux is door bewerkingserosie, k_{til} de bewerkingstransportcoëfficiënt, S de lokale hellingsgradiënt, h de hoogte op een gegeven punt van de helling en x de horizontale afstand.

Om de bewerkingserosie in te schatten werd een model gemaakt op basis van het WaTEM/SEDEM model, dat gebruik maakt van een DTM en een perceelskaart.

Voor het berekenen van de bewerkingserosie werd een K_{till} van 600 kg/m gebruikt. Wil men erosiewaardes bekomen uitgaande van een andere K_{till} factor, dan dient men de door het model berekende waardes eenvoudigweg lineair te herschalen. Wanneer men waardes wil bekomen voor een K_{till} van 900 kg/m dienen de waardes dus met 1.5 vermenigvuldigd te worden.

4.2 Waardes voor K_{till}

K_{till} is een parameter die per bewerkingproces kan berekend worden. Hierbij is de waarde afhankelijk van veel parameters (Van Muysen et al. in press) zoals tractor snelheid en bewerkingdiepte (vb. Lobb et al. 1999, Van Muysen et al. 2000), bewerkingdiepte (vb. Lindstrom et al. 1992, Poesen et al. 1997) en bodemcondities (vb. Lobb et al. 1999, Van Muysen et al. 1999). Van Muysen et al. (2006) tonen aan dat de K_{till} van een sequentie van bewerkingen, overeenkomt met de som van de K_{till} van elk van die bewerkingen.

In Tabel 11 (naar Van Muysen et al. 2000) worden K_{till} waardes weergegeven van verschillende individuele bewerkingen. Dezelfde auteurs vermelden ook een gemiddelde jaarlijkse K_{till} waarde voor een specifieke akker in Vlaanderen van 781 kg/m.jaar, gebaseerd op een periode van drie jaar. Deze waarde is merkkelijk hoger dan andere gemiddelde K_{till} waardes die in de literatuur worden opgegeven, zie Tabel 12. Mogelijk komt dit doordat de andere waardes afkomstig zijn van een medium-lange termijn, terwijl de vermelde waarde overeenkomt met recente bewerkingpraktijken.

Source	Tillage depth (m)	Tillage speed (m/s)	Implement, soil condition...	k _{til} (kg/m per tillage operation)
Up- and downslope tillage				
Govers et al. (1994)	0.15	1.25	Chisel	111
Govers et al. (1994)	0.28	1.25	Mouldboard	234
Lindstrom et al. (1992)	0.24	2.1	Mouldboard	330
Lobb et al. (1995)(b)	0.15	1.1	Mouldboard	184

Lobb et al. (1995)(b)	0.11	1.12	Mouldboard+2 disc+cultivator	473-734
Lobb et al. (1999)	0.17	2.66	Chisel plough	275
Lobb et al. (1999)	0.23	1.71	Mouldboard	346
Lobb et al. (1999)	0.17	0.84	Tandem disc	369
Lobb et al. (1999)	0.15	1.92	Field cultivator	13
Mech and Free (1942)a	0.12	n.a.	Harrow	78
Mech and Free (1942)	0.08	n.a.	Cultivator shovel	28
Mech and Free (1942)	0.06	n.a.	Duckfoot chisel	13
Mech and Free (1942)	0.08	n.a.	Small turn plough	24
Poesen et al. (1997)	0.16	0.65	Duckfoot chisel	282
Quine et al. (1999)	0.19	2.3	Duckfoot chisel	605-660
Thapa et al. (1999a)	0.20	n.a.	4 Mouldboard	425
Turkelboom et al. (1999)	0.08	n.a.	Manual tillage (hoe)	77
Van Muysen et al. (1999)	0.33	0.5	Mouldboard (pre-tilled soil)	254
Van Muysen et al. (1999)	0.15	0.75	Mouldboard (fallow soil)	70
Van Muysen et al. (In Press)	0.15	1.57	Chisel (stubble fallow)	169
Van Muysen et al. (In Press)	0.20	2.02	Chisel (pre-tilled)	338
Contour tillage				
Lindstrom et al. (1992)	0.24	2.1	Mouldboard	363
Montgomery et al. (1999)	0.23	1.0	Mouldboard	110
Petersen (1960)	0.16	n.a.	Mouldboard	64
Poesen et al. (1997)	0.14	0.65	Duckfoot chisel	139
Thapa et al.	0.20	n.a.	4 Mouldboard	710

(1999a)				
Thapa et al. (1999a)	0.20	n.a.	1 Mouldboard + 2 ridger	260
Thapa et al. (1999b)	0.20	n.a.	4 Mouldboard + 1 harrow	424-645
Thapa et al. (1999b)	0.20	n.a.	2 Mouldboard + 1 ridger	299-348

Tabel 11: verschillende Ktill waarden voor individuele beweringsprocessen. (b): Ktill voor de volledige sequentie (Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., 2000)

Bron	Land	K-waarde (kg/m.jaar)	Tijdspanne (jaar)
Govers et al. (1996)	UK	348-397	35
Govers et al. (1994)	België	133	Ca. 140
Van Oost et al. (2003)	België	523	38
Van Oost et al. (2000)	België	324	Ca. 140
Quine et al. (1996)	UK	300	35
Quine et al. (1994)	België	550	38
Van Muysen et al. (in press)	België	781	3

Tabel 12: gemiddelde jaarlijkse Ktill waarden (kg/m) volgens enkele studies.

5 Tussentijdse kaart watererosie

5.1 Inleiding

Binnen deze studie werd een tussentijdse watererosiekaart aangemaakt op vraag van de Afdeling Water (AMINAL). Deze kaart was een tussentijds product, zodat niet alle aanpassingen beschreven in dit document werden toegepast. Daarenboven was het de expliciete vraag van de opdrachtgever om voor deze kaart het volledige oppervlakte van Vlaanderen te simuleren als zijnde akkerland, ook het gedeelte dat in werkelijkheid geen akkerland is. Dit resulteert in een theoretisch kaartbeeld dat sterk afwijkt van de actuele intensiteit en ruimtelijke spreiding van erosie in Vlaanderen: de kaart geeft immers een potentieel erosierisico aan wanneer de bodem van vegetatie ontdaan wordt. In de volgende paragrafen wordt uitgelegd hoe deze kaart tot stand is gekomen en welke datalagen hierbij gebruikt zijn.

5.2 Berekeningswijze

LS werd berekend met de algoritmes zoals eerder in dit rapport werden uitgelegd (zie paragraaf 3.5). Het algoritme van McCool werd gebruikt, en de connectiviteitsfactor werd gelijkgesteld aan 30%.

Voor deze kaart werd het DTM bewerkt met vier filters: eerst een high pass filter, en daarna 3 *mean filters* (3*3 *mean filters*). Deze filtering werd toegepast om ruis te verwijderen en ongewenste artefacten te vermijden. Voor deze versie vond het filteren echter niet afzonderlijk plaats voor de percelen. Het hoogteverschil tussen het

oorspronkelijke en het gecorrigeerde DTM veroorzaakt door het filteren kan oplopen tot iets meer dan 0.5 meter.

De perceelskaart zoals deze door het model wordt gebruikt bevat gegevens over de percelen (elk perceel heeft een identificatie waardoor perceelsgrenzen gekend zijn) en het landgebruik (akker, bos, bebouwd, wegen, water). Zoals door de opdrachtgever gevraagd werd volledig Vlaanderen gesimuleerd, *uitgaande van de veronderstelling dat geheel Vlaanderen bedekt is met akkerland*. Op deze wijze wordt een hypothetisch, potentieel bodemverlies bekomen. De perceelskaart werd aangemaakt door een *overlay* (waarbij telkens de nulwaardes van de bovenliggende kaart worden opgevuld door de waardes van de onderliggende kaart) van volgende datalagen:

- Waterwegenbestand: op 5 meter gerasterde versie van “Vlaamse Hydrografische Atlas - Waterlopen, toestand 22/10/2002 MVG - departement LIN - AMINAL - afdeling Water”
- Wegenbestand: op 5 meter gerasterde versie van “Skeletbestand (Streetnet) vector (OC-product) Tele Atlas Data Gent NV”
- Bodembedekkingsbestand (Bodembedekkingsbestand (OC-product)): dit bestand werd als bijkomende bron voor het oppervlaktewater gebruikt
- ABKL perceelskaart: perceelskaart geleverd door de opdrachtgever
- Perceelskaart VLM (Landbouwgebruikspcelen 2004): ter aanvulling van ontbrekende landbouwgebruikspcelen in de ABKL kaart
- Boskartering 1990 (OC GIS Vlaanderen): voor de identificatie en percelering van de verschillende bosbestanden.
- Tenslotte werden er, na overleg met de opdrachtgever, voor de gebieden waar geen perceelsinformatie voor beschikbaar was percelen gesimuleerd met een grootte van 9 are. De overblijvende percelen zijn immers voor een groot gedeelte bebouwd en de gemiddelde perceelsgrootte is dus relatief laag.

De berekeningen van de andere factoren gebeurde op de wijze zoals eerder in dit rapport beschreven werd. Concreet werden de volgende waardes gebruikt:

- C-factor: 0.37 voor het volledige oppervlakte (=gesimuleerd als akkerland) behalve wateroppervlaktes (=0).
- R-factor: 880 MJ.mm/ha.jaar
- K-factor volgens de digitale bodemkaart (OC GIS Vlaanderen) en Tabel 3.
- LS factor zoals berekend door het model maar zonder correctiefactor

5.3 Bewerkingserosie

De bewerkingserosie werd berekend aan de hand van de modelspecificaties uitgelegd in hoofdstuk 4. Gezien het binnen dit project de bedoeling was de potentiële erosie te berekenen, geeft de kaart de potentiële netto sedimentexport door bewerkingserosie per pixel weer. Dit betekent dat wanneer er op de kaart de waarde nul voorkomt, er geen netto erosie voorkomt, hetgeen kan inhouden dat er ofwel netto sedimentatie voorkomt ofwel netto noch erosie noch sedimentatie plaats heeft.

5.4 Gebruik van de kaart en interpretatie

Bij het gebruik van deze kaart moet rekening gehouden worden met de verschillende aannames die werden gemaakt. Het simuleren van het volledige oppervlakte als zijnde akkerland heeft immers belangrijke consequenties voor de berekende waarden. De werkelijke, actuele erosiebedragen kunnen sterk afwijken van de potentiële erosiewaarden die hier berekend werden:

- Percelen die in werkelijkheid geen akkers zijn zullen in werkelijkheid doorgaans een veel lagere C-factor hebben dan 0.37.
- Daarnaast leiden de aannames die hier gemaakt worden ook tot hogere L-factoren. In werkelijkheid is de bijdrage van een bosperceel aan de L-factor namelijk veel kleiner zijn dan de bijdrage van een akkerperceel. Wanneer de totale oppervlakte als zijnde akker wordt gesimuleerd dan zal de totale LS vanzelfsprekend sterk toenemen
- Veel antropogene landschapsvormen hebben een vrij steile helling. Wanneer deze vormen gesimuleerd worden als zijnde akkerland zullen zij vanzelfsprekend een hoge LS factor hebben. Vooral vormen zoals dijken, wegbermen, kanaalbermen, rivierbermen, ... zullen dus een hoge potentiële erosiegevoeligheid hebben in volgens deze kaart. Dit zorgt er onder andere voor dat in verder vlakke gebieden, zoals de polders, deze landschapsvormen zorgen voor vrij hoge erosiewaarden.

Daarnaast is er ook een belangrijke invloed van de gesimuleerde percelen (voor het gebied waar geen perceelsinformatie beschikbaar is): hierdoor ontstaat er een vierkantig patroon van percelen. Gezien de percelering een grote invloed heeft op de berekening van de LS waardes (zie eerder) zal dit patroon ook een belangrijke invloed hebben op de watererosie-berekeningen, en zal het in de kaart (gedeeltelijk) terug te vinden zijn.

Er moet ook op gewezen worden dat deze kaart als tussentijdsproduct nog geen correctie meegekregen heeft voor wat betreft de schaalfactor. Daardoor zijn de waardes dus minstens 1.4 keer hoger dan die van het eindproduct.

Bij de interpretatie van de kaart moet er steeds rekening worden gehouden met bovenstaande aannames en hun consequenties. De berekende erosiebedragen moeten steeds beschouwd worden als potentiële erosiebedragen, en ze zullen dan ook hoger zijn dan de werkelijke gemiddelde langjaarlijkse erosie. De potentiële erosiebedragen zullen het meest correct zal zijn voor gebieden waarvan er perceelsinformatie beschikbaar is..

6 Definitieve erosiekaarten

Ten behoeve van de Afdeling Land van AMINAL werden zogenaamde 'definitieve' erosiekaarten aangemaakt. Deze kaarten zijn het eindproduct van dit onderzoeksproject en werden aangemaakt met de doelstelling om zo accuraat mogelijk de spreiding van het erosierisico in Vlaanderen weer te geven.

6.1 Gebruikte datalagen

Voor de definitieve versie werden de datalagen gebruikt zoals zij in het eindrapport worden vermeldt. Dit betekent dat het door de opdrachtgever geleverde DTM werd gebruikt, nadat het werd aangepast via twee filters (zie eerder). Naast het DTM diende er ook een perceelskaart gebruikt te worden voor de LS berekeningen. Deze is gebaseerd op een *overlay* van de volgende datalagen:

- Waterwegenbestand: op 5 meter gerasterde versie van “Vlaamse Hydrografische Atlas - Waterlopen, toestand 22/10/2002 MVG - departement LIN - AMINAL - afdeling Water”
- Wegenbestand: op 5 meter gerasterde versie van “Skelet bestand (Streetnet) vector (OC-product) Tele Atlas Data Gent NV”
- ABKL perceelskaart: perceelskaart geleverd door de opdrachtgever
- Perceelskaart VLM (Landbouwgebruikspcelen 2004): ter aanvulling van ontbrekende landbouwgebruikspcelen in de ABKL kaart
- Bosbestand: voor de identificatie en percelering van de verschillende bosbestanden
- Bodembedekkingsbestand (Bodembedekkingsbestand (OC-product)): dit bestand werd gebruikt voor de talrijke gebieden zonder informatie na gebruik van bovenstaande kaarten. Vanaf deze kaart is het niet mogelijk perceelsgegevens af te leiden. Het model zal dan ook telkens landgebruikseenheden van deze kaart als één perceel beschouwen zolang ze niet doorbroken worden door één van bovenstaande lagen.

Voor deze kaart werd de correctie voor schaalfouten toegepast, en de door het model bekomen LS waarde werd door 1.4 gedeeld.

Voor de K-factor werd de digitale versie van de bodemkaart (OC GIS Vlaanderen) gebruikt, waarbij de verschillende textuurklassen de K-waarden volgens Tabel 4 meekregen. Voor de C-waarden werd de aangemaakte perceelskaart gebruikt, waarbij de akkers een C-waarde van 0.37 meekregen, de bossen 0.001 en het overige oppervlakte (bebouwd, water, ...) 0. Tenslotte werd er ook een R-factor van 880 MJ.mm/ha.jaar gebruikt.

6.2 Verschillende geleverde kaarten

Binnen deze studie werden vier eindproducten aangemaakt:

1. watererosiekaart met een perceels-connectiviteit van 30%
2. watererosiekaart met een perceels-connectiviteit van 0%
3. bewerkingserosiekaart
4. hellingenkaart in %, gebaseerd op zelf gemaakt DTM

Deze vier eindproducten werden geleverd als een ASCII-raster, leesbaar voor ESRI-software, en werden om praktische en technische redenen ingedeeld in twee kaarten: één voor oostelijk en één voor westelijk Vlaanderen.

Van deze kaarten werden een aantal afgeleide kaarten gemaakt:

- Voor de perceelskaart van ABKL werd voor zover mogelijk van alle percelen een gemiddelde berekend voor elk van de drie erosiekaarten. Deze gemiddelden per perceel werden toegevoegd aan de ABKL- perceelskaart. De totale totale erosie per perceel werd ook berekend als de som van watererosie met 30% connectiviteit en bewerkingserosie en werd ook aan de ABKL-kaart toegevoegd. De ABKL perceelskaart met toegevoegde velden met erosiewaardes werd geleverd als shapefile.

Daarnaast werd er ook voor de percelen van de kaart 'Perceelskaart VLM Landbouwgebruikspcelen 2004' en voor de polygonen van de bosatlas (OC GIS Vlaanderen) een dergelijk gemiddelde berekend en als veld toegevoegd aan de shapefiles van deze kaartlagen.

Tenslotte werden ook een aantal kaarten geleverd die binnen de berekeningen gebruikt zijn:

- Kaarten met LS-factor met 30 % connectiviteit
- Kaarten met LS-factor met 0 % connectiviteit
- Kaarten met de K-factor

6.3 Gebruik van de kaart en interpretatie

De geproduceerde kaarten stellen niet de actuele erosie voor. Hoewel er een onderscheid wordt gemaakt tussen percelen gebruikt voor landbouw en andere percelen (bos) wordt er werd immers geen rekening gehouden met het werkelijke landgebruik van de landbouwpercelen, maar alle landbouwpercelen als zijnde akkerland werden gesimuleerd waarbij een constante C-factor werd gehanteerd. De waardes komen ook overeen met de gemiddelde jaarlijkse potentiële erosie. Dit houdt in dat voor specifieke jaren en omstandigheden de erosie veel lager of hoger kan zijn (zie hoofdstuk voor de R-factor).

Door het gebrek aan een gebiedsdekkende perceels- en landgebruikkaart, kan verwacht worden dat de kwaliteit van de kaarten veel beter zal zijn voor de gebieden die bedekt worden door de perceelskaarten van van ABKL- en VMM percelen dan voor het gebied waar landgebruikinformatie werd bekomen via het (geclassificeerd) satellietbeeld. Dit komt doordat de de classificatie van het satellietbeeld niet volledig correct is (zie metadata OC GIS Vlaanderen, <http://www.gisvlaanderen.be>) maar vooral door het gebrek aan perceels-informatie voor deze zone.

Concreet zal het model elk vlak dat opgevuld is met de satelliet informatie beschouwen als één perceel (dus begrensd door ofwel perceelsinformatie/bos/wegen/water van één van de andere datalagen of door de landgebruikklassen water en bebouwd van het satellietbeeld). Dit zorgt ervoor dat LS gemiddeld groter zal zijn (er wordt geen rekening gehouden met de connectiviteit) maar zorgt er ook voor dat de patronen anders zullen zijn.

7 Aggregatie en nauwkeurigheid

7.1 Aggregeren

Bij het aanmaken van de kaarten werden zo nauwkeurig mogelijke gegevens gebruikt. Niettemin zullen de berekeningen onderhevig zijn aan een foutenpropagatie. Een deel van die fout zal afkomstig zijn van de fouten op het model en de berekeningen van de individuele parameters. Dit wordt duidelijk geïllustreerd door de berekeningen van de K-factor. De berekeningen van de K-factor kan op verschillende wijzen kunnen gebeuren en de verschillende formules leveren vanzelfsprekend verschillende uitkomsten op.. Ook op de andere factoren kan men dergelijke berekeningsfouten verwachten, evenals op het uiteindelijke model. Bij gebrek aan voldoende degelijke gemeten erosiewaardes is het niet mogelijk om de totale modelfout op de berekende waarden te schatten. Naast een modelfout zal er ook een fout zijn op de invoerparameters: de verschillende invoerlagen die gebruikt zijn zijn immers niet foutvrij. .

Twee types van fouten kunnen worden onderscheiden: een systematische fout en een toevallige fout. Een systematische fout ontstaat wanneer het model niet aangepast is de resolutie van de invoergegevens. Een dergelijke fout was duidelijk aanwezig op de berekeningen van de LS factor en werd zo goed als mogelijk gecorrigeerd. Een toevallige fout wordt veroorzaakt door toevallige onnauwkeurigheden in de invoergegevens.

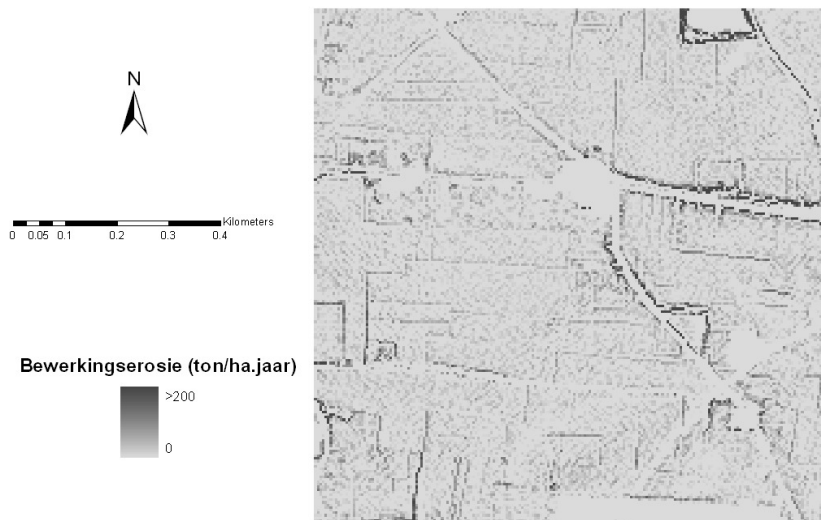
Zoals aangetoond door Van Rompaey et al. (1999) kan de toevallige fout op bv. de LS berekeningen erg groot zijn. Een adequate oplossing hiervoor is het aggregeren van de berekende resultaten. Hierdoor neemt de fout sterk af.. Om een dergelijke grafiek te kunnen opmaken dient het modelresultaat vergeleken te worden met een modelresultaat dat bekomen werd met meer gedetailleerde gegevens (Van Rompaey et al. 1999). Op deze wijze kan voor elk aggregatieniveau de RRMSE berekend worden, en kan bepaald worden voor welk aggregatieniveau de RRMSE binnen een bepaalde gewenste grens valt. Bij de vorige erosiekaart Vlaanderen werden de modelresultaten bekomen met het DTM niveau-2 (20*20 m resolutie) vergeleken met de resultaten bekomen met een 5*5 meter DTM dat bekomen werd door digitalisatie van de hoogtelijnen van een topografische kaart schaal 1/10 000 (Van Rompaey et al. 2000). Bij deze versie van de kaart was de opmaak van een dergelijke curve echter niet mogelijk, gezien er geen nauwkeuriger DTM voor handen is. Er kan wel gesteld worden dat de foutenlast veroorzaakt door topografische onnauwkeurigheden voor de in dit project geproduceerd kaarten zeer beperkt zal zijn en wellicht verwaarloosbaar klein in vergelijking met de andere fouten en onzekerheden die helaas niet gecorrigeerd kunnen worden omwille van het ontbreken van voldoende validatiegegevens.

7.2 Effect van het filteren van het DTM

Om het effect van de uiteindelijk gekozen filters op de berekeningen te testen werd een studiegebied geselecteerd in het heuvelachtige gebied ten zuiden van Leuven. Voor dit studiegebied werd zowel LS als de bewerkingserosie berekend aan de hand van het oorspronkelijke DTM én aan de hand van het DTM na filtering. De resultaten worden weergegeven in figuren.

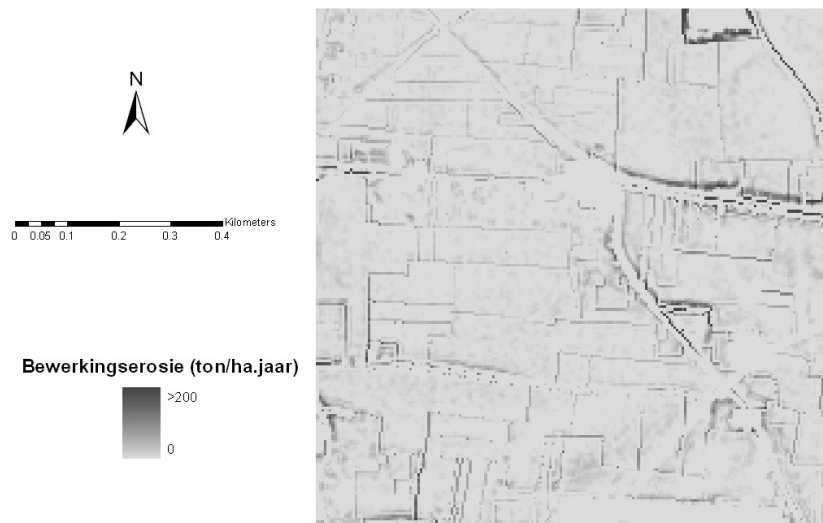
Visueel zijn reeds de belangrijkste verschillen duidelijk: voor filtering levert het DTM zowel voor LS als voor bewerkingserosie een beeld op met veel meer ruis, terwijl na filtering het patroon veel regelmatiger is. Bovendien is in de LS-kaart duidelijk een streeppatroon te zien op sommige hellingen, afkomstig van een onregelmatig hellingsverloop. Daarnaast is de maximale waarde van LS voor filtering (219) ook veel groter dan na filtering (39), en heeft de LS kaart voor filtering meer extreme waarden, terwijl de gemiddelde LS op beide kaarten niet meer dan 10% verschilt. Dit kan verklaard worden door het meer onregelmatige hellingsverloop voor filtering. Der verschillen voor bewerkingserosie zijn kleiner.

Bewerkingserosiekaart met gefilterd DTM



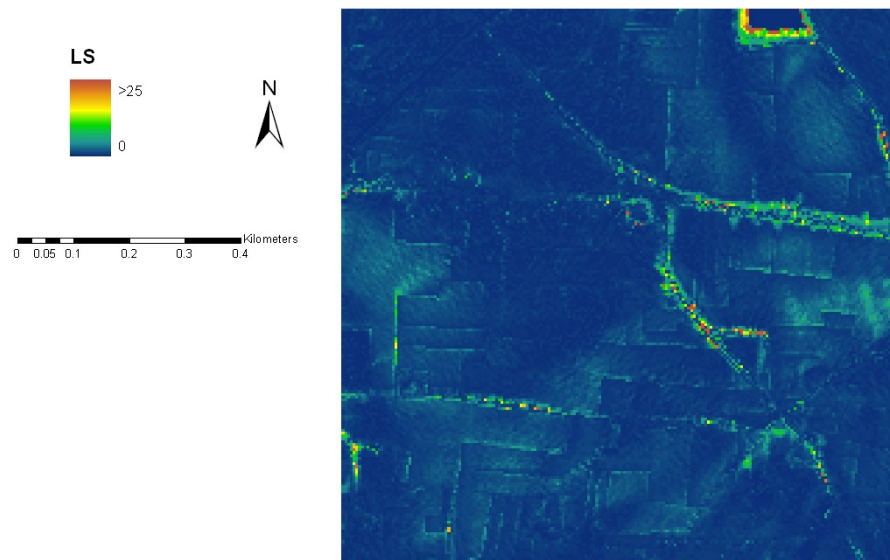
Figuur 6: bewerkingserosie met het DTM voor filtering

Bewerkingserosiekaart met gefilterd DTM



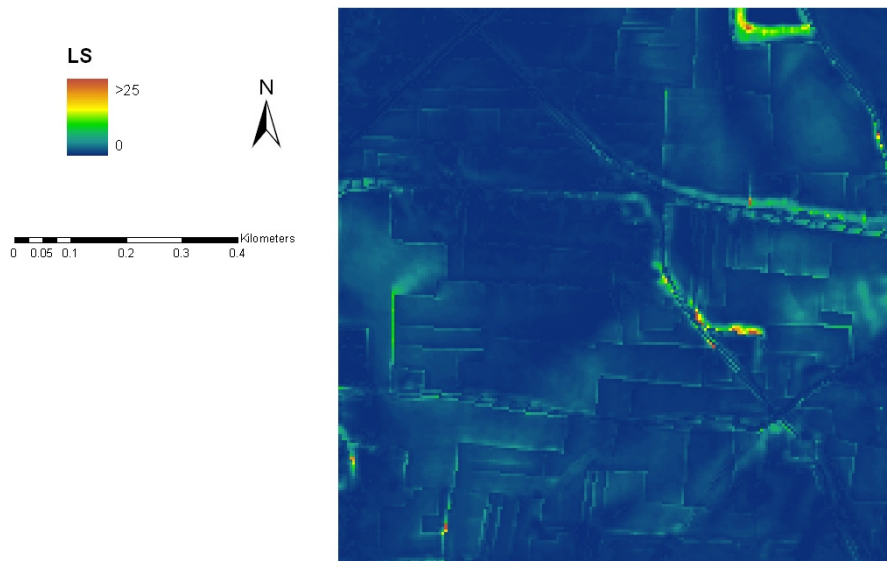
Figuur 7: bewerkingserosie met het DTM na filtering. Vergelijk met Figuur 6. Op deze figuur werd dezelfde legende als bij Figuur 6 toegepast om een betere vergelijking toe te laten.

LS kaart met oorspronkelijk DTM



Figuur 8: LS factor van het DTM voor filtering.

LS kaart na filtering van het DTM



Figuur 9: LS factor van eht DTM na filtering. Vergelijk met Figuur 8. Dezelfde legende als Figuur 8 werd toegepast om een betere vergelijking toe te laten.

De verschillen tussen de gefilterde en niet gefilterde DTM's werden bestudeerd door voor verschillende aggregatieniveaus de RRMSE (relative root mean-squared error) te berekenen. Bij de berekening van de RRMSE werd het oorspronkelijke DTM als 'correct' beschouwd (=observed). Deze aanname is verder van weinig belang omdat we vooral de verschillen tussen beide kaartlagen worden geanalyseerd. RRMSE wordt berekend door:

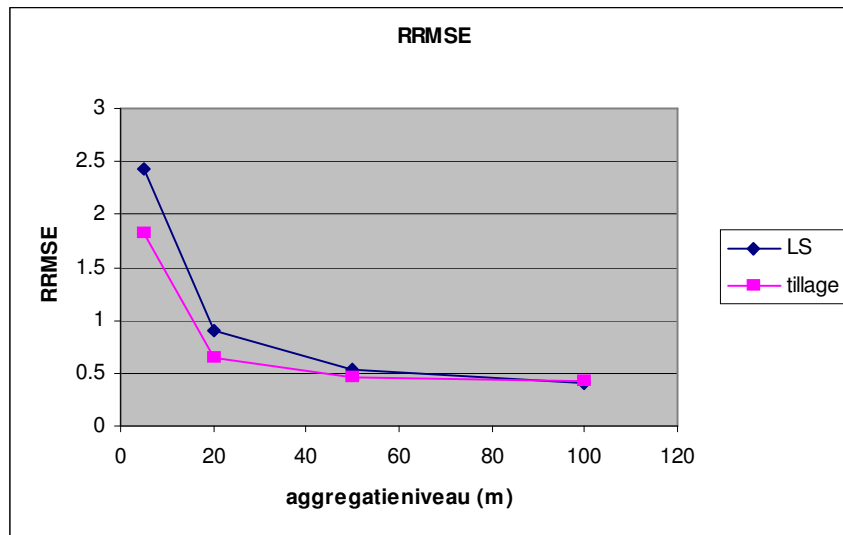
$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i}$$

vergelijking 21

Met O_i = waargenomen waarde voor waarneming i
 P_i = door het model voorspelde waarde voor waarneming i

Uit Figuur 10 blijkt dat de RRMSE tussen de berekeningen op basis van de twee datasets reeds sterk daalt wanneer wordt geaggregeerd naar een pixelresolutie van 20 meter, en dat de RRMSE vanaf een resolutie van 50 meter ongeveer even hoog is voor LS als voor bewerkingserosie. Deze fout is echter nog vrij groot, hetgeen kan verklaard worden door het erg onregelmatige patroon dat bekomen werd met het oorspronkelijke DTM. De correcties die door filtering worden bekomen zijn dus ook van belang op grotere aggregatieniveau's: dit betekent dat ze inderdaad essentieel zijn om een goed kaartbeeld

te bekomen, ook wanneer er bv. enkel naar gemiddelde waarden per landbouwperceel wordt gekeken.



Figuur 10: RRMSE voor bewerkingserosie en LS berekeningen op verschillende aggregatieniveaus.

7.3 *Bewerkingserosie*

De fout op de berekeningen van de bewerkingserosie zal – gezien de formule – afhangen van de kwaliteit van het DTM en de gebruikte *Ktill* waarde. Zoals eerder aangegeven werd een *Ktill* waarde van 600 kg/m gebruikt. Om een correcte inschatting te maken van de werkelijke *Ktill* waarde van een perceel dient men de verschillende bewerkingstappen te kennen. Uit de literatuur zijn verschillende gegevens voorhanden ivm. de *Ktill* waarden van verschillende bewerkingsoperaties én de gemiddelde jaarlijkse *Ktill* waarde, en deze worden in Tabel 11 en Tabel 12 weergegeven. Gezien de formule voor bewerkingserosie volstaat een rechtlijnige correctie om de bewerkingserosie met een andere *Ktill* te kennen. De berekende waarden zijn verder afhankelijk van de kwaliteit van het DTM: bij een hogere resolutie worden kleinere topografische variaties, die een belangrijke rol spelen bij bewerkingserosie, ook in rekening gebracht. Men kan er dus van uitgaan dat zowel de absolute waarden als de patronen van bewerkingserosie veel nauwkeuriger berekend worden bij het gebruik van een hoge-resolutie DTM

8 Besluit

Het doel van deze studie was het aanmaken van een verbeterde potentiële erosiekaart Vlaanderen, die voldoet aan de meest recente wetenschappelijke inzichten, en zo nauwkeurig is als de huidige beschikbare data toelaten. Daartoe werd de berekening van de verschillende factoren grondig geanalyseerd en geoptimaliseerd.

Voor wat betreft watererosie werd de belangrijkste vooruitgang geboekt bij het berekenen van de LS factor. Door het gebruik van een nieuw verfijnd DTM met een pixelgrootte van vijf meter kon een veel gedetailleerder en exacter ruimtelijk patroon van de erosiewaardes bekomen worden. Het door de opdrachtgever aangeleverde DTM bevatte echter nog een aantal onvolkomenheden, zoals ruis en de aanwezigheid van artefacten. Daarom werd dit DTM gefilterd om optimale modelberekeningen te bekomen. De fijnere resolutie van het DTM heeft een belangrijke invloed op de bekomen waardes voor de LS-factor, die verklaard wordt door resolutie-effecten (afronding en discretizatie). Deze effecten zorgen ervoor dat de bekomen waardes bij een meer gedetailleerd DTM veel hoger liggen dan wanneer een minder gedetailleerd DTM gebruikt wordt. De beperkte hoeveelheid (meestal erg recente) literatuurgegevens over dit onderwerp bevestigen deze resultaten. Het is wel problematisch dat men in de beschikbare publicaties geen uitspraak doet over de optimale resolutie. Gezien de RUSLE vergelijking is opgesteld voor een plot-grootte van ongeveer 20 meter (22.1 meter) en voorgaande berekeningen met een resolutie van 20 m realistische waarden opleverden werd besloten om deze resolutie te beschouwen als de 'optimale' resolutie voor de berekeningen, en de waarden berekend met een resolutie van 5 m te corrigeren.

Erosieberekeningen vereisen ook een perceelskaart en vereisen aannames m.b.t. perceelsconnectiviteit. In deze studie werd een connectiviteitsfactor van 30 % aangenomen en werd waar mogelijk gebruik gemaakt van digitale informatie m.b.t. perceelsbegrenzing. Deze informatie is echter niet voor volledig Vlaanderen beschikbaar. Daarom zal de berekening van de potentiële erosie dan ook het beste zijn voor gebieden waarvan de perceelskaart wel beschikbaar is. Voor de andere gebieden worden waarden bekomen die systematisch te hoog zijn omdat voor deze gebieden geen rekening gehouden kan worden met het effect van perceelsgrenzen.

In deze studie werd een grondig overzicht gegeven van de verschillende benaderingen die gebruikt kunnen worden om de bodemerosiegevoeligheid (K-factor) te berekenen waarbij werd nagegaan hoe de verschillende beïnvloedende factoren in de vergelijkingen zijn opgenomen. De K-waardes die uiteindelijk werden gebruikt werden berekend aan de hand van de formule op basis van de korrelgrootte (Declercq en Poesen 1992 volgens mij staat de formule oorspronkelijk in een andere pub en moet die geciteerd worden), De invloed van de kaartnauwkeurigheid op de berekeningen werd geanalyseerd door de berekende waarden voor een aantal profielen te vergelijken met deze berekend op basis van het kaartbeeld: in ca. 20 % van de gevallen valt de op basis van het profiel berekende K-waarde niet binnen de grenzen die op basis van de bodemkaartclassificatie verwacht werden.

Om de potentiële erosie te berekenen werd geen rekening gehouden met de C-factor die met het werkelijke landgebruik overeenkomt, maar werd één C-actor voor het volledige

landbouwareaal gebruikt. Om deze waarden om te zetten naar gewas- of gewasrotatie-specifieke waarden, wordt een overzicht gegeven van de beschikbare waarden voor de C-factor voor Vlaanderen. Indien het de bedoeling is om werkelijke erosiewaarden te berekenen dienen de potentiële waarden dus aangepast te worden.

Op basis van een statistische analyse van de R-factor van de laatste tien jaren voor een aantal Vlaamse KMI-meetstations, kon geen significant verschil gevonden worden met de R-factor voor Ukkel. Daarom werd besloten om één R-factor voor volledig Vlaanderen te gebruiken. Deze R-factor werd voor Vlaanderen berekend op basis van gegevens van de periode 1898-2004 voor Ukkel.

De bewerkingserosie werd berekend aan de hand van een Ktill van 600 kg/m. Deze waarde is een realistische schatting voor een intensief bewerkt akkerperceel. Om deze bewerkingserosie om te berekenen voor een andere Ktill-waarde dient de bekomen waarde enkel vermenigvuldigd te worden met $x/600$ waarbij x de nieuwe Ktill waarde is. . In deze studie wordt een overzicht gegeven van de Ktill waarde voor verschillende bewerkingstypes én voor enkele bewerkingsopeenvolgingen. Deze waarden kunnen als leidraad dienen om voor een bepaalde situatie een realistische Ktill-waarde te berekenen.

Het is dus duidelijk dat de geleverde kaartlagen geen totaal foutenvrije schatting van het erosierisico in Vlaanderen opleveren. Omwille van het ontbreken van kwantitatieve gegevens is het ook niet mogelijk om voor een individueel perceel de fout op de berekende waarden kwantitatief in te schatten. Er kan echter wel gesteld worden dat de berekende waarden in absolute termen in goede overeenstemming zijn met de gemeten waarden en dat de ruimtelijke patronen zeer realistisch zijn. De kaartdocumenten kunnen dus een belangrijke rol spelen als beleidsondersteunend instrument voor de Vlaamse administratie.

9 Referenties

- Bollinne, A. 1985. Adjusting the universal soil loss equation for use in Western Europe. In Soil erosion and conservation. 793 pp. Edited by A. El-Swaify, W. C. Woldenhauer and A. Lo. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.
- Davies, B.E., 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Amer. J., 38, 150-151.
- Declercq, F., Poesen, J., 1991. Erosiekaracteristieken van de bodem in Laag- en Midden-België. Tijdschrift van de Belg. Ver. Aardr. Studies, BEVAS, 1: 29-46.
- Desmet, P.J.J., Govers, G., 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE Lsfactor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51: 427-433.
- Foster, G.R., 2004. User's reference guide. Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2) - DRAFT. USDA Agricultural Research Service Washington D.C..

- Foster, G.R., 2005. Science documentation. Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2) - DRAFT. USDA Agricultural Research Service Washington D.C..
- Gallant, John C., Hutchinson, Michael F., 1996. Towards an Understanding of Landscape Scale and Structure. In proceedings, third international conference/workshop on integrating GIS and environmental modeling, Santa Fe, NM, 21-26 January 1996. National center for geographic information and analysis.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Schumacher, T.E., 1992. Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil Tillage Res.* 24, 243–255.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Schumacher, T.E., Lemme, G.D., 1990. Soil movement as affected by slope. *Soil Tillage Res.* 17, 255–264.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.G., 1999. Modelling tillage translocation using step, linear-plateau and exponential functions. *Soil Tillage Res.* 51, 317–330.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.G., Miller, M.H., 1995. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using Cs-137 as a tracer. *Can. J. Soil Sci.* 75 (2), 211–218.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.G., Miller, M.H., 1999. Tillage translocation and tillage erosion in the complex upland landscapes of southwestern Ontario, Canada. *Soil Tillage Res.* 51, 189–209.
- McCool, D.K., G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer (1989) Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, vol. 32, pp. 1571-1576.
- McCool, D.K., L.C. Brown, and G.R. Foster (1987) Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, vol. 30, pp. 1387-1396.
- Montgomery, J.A., McCool, D.K., Busacca, A.J., Frazier, B.E., 1999. Quantifying tillage translocation and deposition rates due to mouldboard plowing in the Palouse region of the Pacific Northwest, USA. *Soil Tillage Res.* 51, 175–187.
- Nearing, M.A., 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal* 61 3., 917–919.
- Notebaert, B. en Govers, G., in prep. Handleiding WaTEM/SEDEM voor metalen. Intern document, KU Leuven.
- Poesen, J., 1993. Gully topology and gully control measures in the European loess belt. In: Wecherek (ed.), 1993. *Farm Land Erosion: In Temperate Plains Environment and Hills*.
- Poesen, J., Van Wesemael, B., Govers, G., Martinez-Fernandez, J., Desmet, P., Vandaele, K., Quine, T., Degraer, G., 1997. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion. *Geomorphology* 18, 183–197.
- Quine, T.A., Desmet, P., Govers, G., Vandaele, K., Walling, D., 1994. A comparison of the roles of tillage and water erosion in landform development and sediment export on agricultural land, near Leuven, Belgium. In: *Proceedings of the IAHS Symposium on Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*, IAHS Publication 224, Canberra, December, pp. 77–86.

- Quine, T.A., Walling, D.E., Govers, G., 1996. Simulation of radiocaesium redistribution on cultivated hillslopes using a massbalance model: an aid to process interpretation and erosion rate estimation. In: Anderson, M.G., Brooks, S.M. (Eds.), *Advances in Hillslope Processes*. John Wiley, Chichester, pp. 561–588.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook*, 703, USDA, Washington, DC.
- Römken, M., Prasad, S & Poesen, J 1986. Soil erodibility and properties. In: *Proceedings of the 13th Congress of the International Soil Science Society* 5, 492-504.
- Römken, M.J.M., Prasad, J.W.A. en Poesen, J., 1988. Soil erodibility and properties. In: *Transactions of the XII Congress of the International Society of Soil Science*. Hamburg, 492-504.
- Ruyschaert, G., 2005. Spatial and temporal variability of soil losses due to crop harvesting. Doctoraatsthesis, Faculteit Wetenschappen, departement geografie-geologie, K.U.Leuven.
- S.J. Mech and G.A. Free, Movement of soil during tillage operations, *Agricultural Engineering* 23 (1942), pp. 379–382.
- Shirazi, M.A. en Boersma, L., 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48, 142-147.
- Takken, I., Beuselinck, L., Nachtergaele, J., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., 1999. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). *Catena*, 37: 431-447.
- Takken, I., Jetten, V., Govers, G., Nachtergaele, J., Steegen, A., 2001. the effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns. *Geomorphology*, 37: 1-04.
- Thapa, B.B., Cassel, D.K., Garrity, D.P., 1999b. Ridge tillage and contour natural grass barrier strips reduce tillage erosion. *Soil Tillage Res.* 51, 341–356.
- Thapa, B.B., Cassel, D.K., Garrity, D.P., 1999a. Assessment of tillage erosion rates on steepland Oxisols in the humid tropics using granite rocks. *Soil Tillage Res.* 51, 233–243.
- Van Muysen, W, Van Oost, K., Govers, G., in press. Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions. *Soil & Tillage Research*.
- Van Muysen, W., Govers, G., 2002. Soil displacement and tillage erosion during secondary tillage operations: the case of rotary harrow and seeding equipment. *Soil Tillage Res.* 65, 185–191.
- Van Muysen, W., Govers, G., Bergkamp, G., Roxo, M., Poesen, J., 1999. Effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage. *Soil Tillage Res.* 51, 303–316.
- Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., 2002. Identification of important factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil Tillage Res.* 65, 77–93.

- 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*, 55, 354-363.
- 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. *J. Soil Water Conserv.* 55, 355–364.
- Van Oost, K., Govers, G. & desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15 (6): 597-591.
- Van Oost, K., Govers, G., Van Muysen, W., 2003. A process-based conversion model for Caesium-137 derived erosion rates on agricultural land: an integrated spatial approach. *Earth Surf. Process. Landforms* 28, 187–207.
- Verbist, K., Schiettecatte, W., Gabriels, D., 2004b. Eindrapport “Computermodel RUSLE C-factor”. Ongepubliceerd eindrapport.
- Verbist, K., Schiettecatte, W., Gabriels, D., Gillins, K., Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Govers, G., Poesen, J., Van hecke, E., 2004a. Computermodel RUSLE C-factor – eindrapport januari 2004. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – afdeling Land, 88pp.
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J. & Govers, G., 2001. Integraal land- en waterbeheer in landelijke gebieden met het oog op het beperken van bodemverlies en modderoverlast (proefproject gemeente Gingelom) – eindrapport juli 2001. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse gemeenschap – afdeling Land, 67 pp.
- Verstraeten, G., Van Rompaey, A., Poesen, J., Van Oost, K., Govers, G. & Stalpaert, L., 2003. Thema 2.20 Kwaliteit Bodem: erosie. In: MIRA-T 2003, Milieu en Natuurrapport Vlaanderen, thema’s, Vlaamse Milieumaatschappij, 345-355.
- Verstraeten, G., Van Rompaey, A., Van Oost, K., Govers, G., Poesen, J., 2002. MIRA (2002) Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2002, 2.21 Kwaliteit Bodem: erosie. Vlaamse Milieumaatschappij, <http://www.milieurapport.be>.
- Wischmeier, W.H. en Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* nr. 537. United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C. en Cross, B., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 189-193.
- Van Rompaey, A., Govers, G., Van Oost, K., Van Muysen, W., Poesen, J., 2000. Bodemerosiesnelheden op landbouwpercelen in Vlaanderen. Rapport bij kaartbladen “Watererosie per landbouwperceel (1:150 000)” “Bewerkingserosie per landbouwperceel (1:150 000)” “Totale erosie per landbouwperceel (1:150 000)”. Studie in opdracht van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Afdeling Land.

- Wu, S., Li, J., Huang, G., 2005. An evolution of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models. *Environmental Modeling and Assessment* (2005) 10:33-42.
- Wang, G., Gertner, G., Parysow, P., Anderson, A., 2001. Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for revised universal soil loss equation using digital elevation models.
- Van Orshoven J. en D. Vandenbroucke, 1993. Handleiding bij AARDEWERK, databestand van bodemprofielgegevens. Rapport Nr.18A, Instituut voor Land- en Waterbeheer van de K.U.Leuven. I.o.v. het Instituut voor de aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw: 43 p. (2) Van Orshoven J. et D. Vandenbroucke, 1993. Guide de l'utilisateur de AARDEWERK, base de données de profils pédologiques. Rapport No.18B, Instituut voor Land- en Waterbeheer van de K.U.Leuven. Commissioné par l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture: 44 p
- Van Rompaey A, Verstraeten G, Van Oost K, Govers G & Poesen J, 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 26 (11), 1221-1236.