

BODEMEROSIE IN VLAANDEREN

Gedurende vele jaren werd de erosieproblematiek in Vlaanderen ruimschoots onderschat. De schijnbaar geringe impact van erosie en de afweging ervan tegen andere maatschappelijke belangen waren hier wellicht voor verantwoordelijk. Sinds kort is daar verandering in gekomen en is bodemerrosie in het Vlaamse Milieubeleid op de voorgrond getreden.

De aanzet werd in 1995 gegeven door het 'Beleidsplan Sanering Waterbodem Beneden-Zeeschelde' waarin naast baggeren en berging van slib eveneens een hoofdstuk 'duurzame ontwikkeling' werd opgenomen. Zowat gelijktijdig startte het ambitieuze programma van de 'Karakterisatie' van de bodems van de Vlaamse onbevaarbare waterlopen' waarbij tijdens een viertal jaar op 440 locaties de kwaliteit van de waterbodem werd onderzocht. Waterbodemkwaliteitskaarten werden gepubliceerd en een globale saneringsprioriteit werd vastgelegd. In het licht van een voorkomingsbeleid groeide binnen een uitgebreide ambtelijke werkgroep evenwel de overtuiging dat er meer nodig was, de problemen dienden aan de bron te worden aangepakt. Hun conclusies en aanbevelingen werden in 1998 gebundeld in het rapport 'Waterbodem: beter voorkomen dan genezen'. Een van de belangrijkste conclusies eruit is het enorme belang dat bodemerrosie heeft als sedimentaandoerend proces naar waterlopen. Voorafgaand aan dit rapport werd in het jaar 1997 een studie in het Zwalmbeekken gestart die tot doel heeft 'de beheersing van het slibtransport in onbevaarbare waterlopen als deel van het integraal waterbeheer'. Naast kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van sedimenttransport komen een modelmatige inventarisatie van erosiegevoelige gronden én structurele maatregelen m.b.t. landbouw en landinrichtingsactiviteiten er aan de orde. Meer concreet laat deze studie toe om op korte termijn enkele test-stroomgebieden te identificeren waarin, in samenspraak met alle betrokkenen, een reeks maatregelen worden toegepast en de beoogde reductie in sedimenttransport in de waterloop wordt bemeaten. Steunend op de resultaten van de kwan-

titatieve aspecten van sedimentbeheersing in het Zwalmbeekken wordt nog dit jaar gestart met de uitrusting van tien sedimentmeetpunten. Momenteel loopt dan ook in dit kader een opdracht om V.H.A. (Vlaamse Hydrografische Atlas) – zones te identificeren waar, op basis van modelmatige berekeningen, de verwachte bodemerrosie maximaal is.

Bodemerrosie heeft als milieuprobleem de laatste jaren een verhoogde aandacht gekregen. Toch blijft er nog een lange weg te gaan. Met name wat de on-site bestrijding van bodemerrosie betreft. De aandachtspunten mogen in het beleid dan wel verschoven zijn van de Beneden-Zeeschelde naar de opwaarts gelegen stroomgebieden, de echte voorkoming van bodemerrosie situeert zich op de hellende akkers en daar ligt dan ook de grote uitdaging voor de komende jaren.

Referenties

Beleidsplan Sanering Waterbodem Beneden-Zeeschelde, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Brussel, 1995, 154 p.

Karakterisatie van de bodems van de Vlaamse onbevaarbare waterlopen, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur – AMINAL afdeling Water i.s.m. de VMM, Brussel, 1998, 56 p.

Waterbodem: beter voorkomen dan genezen, Eerste rapport van de Werkgroep 'Duurzame Ontwikkeling' in het kader van het beleidsplan 'Sanering van de waterbodem Beneden-Zeeschelde', Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur – AMINAL afdeling Water, Brussel, 1998, 40 p.

Beheersing van slibtransport in onbevaarbare waterlopen als deel van het integraal waterbeheer: project Zwalmbeekken, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur – AMINAL afdeling Water, Brussel, 1999.

SIMULATIE VAN EROSIEBESTRIJDINGS- MAATREGELEN AAN DE HAND VAN HET RUSLE MODEL: EEN CASE-STUDIE IN HET STROOMGEBIED VAN DE MARKEBEEK (OOST-VLAANDEREN)

ir. W. SCHIETTECATTE, bio-ingenieur, IWT doctorandus aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne, Universiteit Gent

Prof. Dr. ir. D. GABRIELS, FWO-onderzoeksleider aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne

Prof. Dr. ir. M. VAN MEIRVENNE, Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne

ir. J. BIESEMANS, IWT doctorandus aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne

SIMULATED EROSION CONSERVATION MEASURES BASED ON THE RUSLE MODEL: A CASE STUDY IN THE MARKEBEEK WATERSHED

The watershed of the Markebeek is situated in the centre of the Flemish Ardennes (Belgium). Several features in this hilly region indicate that the silt loamy soils are very susceptible to soil erosion. The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was used to estimate the erosion risk in the area. This model was converted into a set of program modules which can be fully integrated into a raster-based GIS environment. The resultant erosion map showed that the southern and western slopes of the watershed are most susceptible to soil erosion. In order to estimate the soil erosion

risk, the soil loss values were combined with calculated soil loss tolerance values. About 40 % of the study area showed a very high soil erosion risk. Several scenarios were examined to determine the influence of slope length, soil organic matter content and contour ploughing on soil erosion. These simulations demonstrated that the erosion risk could be reduced considerably when the slope length does not exceed 100 m, and when contour ploughing is applied.

INLEIDING

Watererosie heeft, naast een afname van de fysische en chemische vruchtbaarheid van de landbouwgronden, ook nefaste invloeden op de kwaliteit van het oppervlaktewater en op het dichtslibben van afwateringswegen en wachtbekkens, met overstromingen en colluviumafzettingen tot gevolg.

Het doel van deze studie is het begroten van het potentieel erosierisico op regionaal niveau waarbij rekening wordt gehouden met neerslag, bodem en topografie. Eens het potentieel erosierisico gekend, kunnen maatregelen worden voorgesteld om de grondverliezen beneden een toelaatbare waarde te houden. Dit kan gebeuren door een aangepaste teeltechniek en teeltrotatie.

De begroting van de potentiële erosie is gesteund op de methodiek van RUSLE, een acroniem voor Revised Universal Soil Loss Equation (Renard et al., 1996). Dit erosievoorspellingsmodel is een herziene versie van USLE, een model dat tijdens de laatste decennia in diverse erosiestudies werd toegepast (Wischmeier & Smith, 1978). Ondanks de tekortkomingen laat het model immers toe op een relatief eenvoudige manier het erosierisico in te schatten.

Omwillen van de ruimtelijke variabiliteit van de erosiefactoren, werden ze geïmplementeerd in IDRISI (Eastman, 1997), een geografisch informatiesysteem (GIS) in rasterformaat. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het RUSLE-model en de integratie ervan in een raster-GIS wordt verwezen naar Renard et al. (1996) en Biesemans et al. (1998).

Dit artikel is een samenvatting van een erosieonderzoek dat uitgevoerd werd in het stroomgebied van de Markebeek (Schietecatte, 1997). Dit gebied situeert zich ten zuidoosten van Oudenaarde, in het centrum van de Vlaamse Ardennen (Fig. 1). Het heeft een oppervlakte van 5064 ha en valt grotendeels samen met de gemeente Maarkedal. In de gemeente Maarkedal werden reeds op verscheidene plaatsen erosieverschijnselen vastgesteld. Geregeld worden de wegen bedekt door afgespoelde bodemdeeltjes, en bij hevige neerslag werden er in de Markebeek enorme sedimenthoeveelheden gemeten (Voet, 1997).

1. BEREKENING VAN DE POTENTIËLE EROSIË VOLGENS RUSLE

1.1. Het RUSLE model

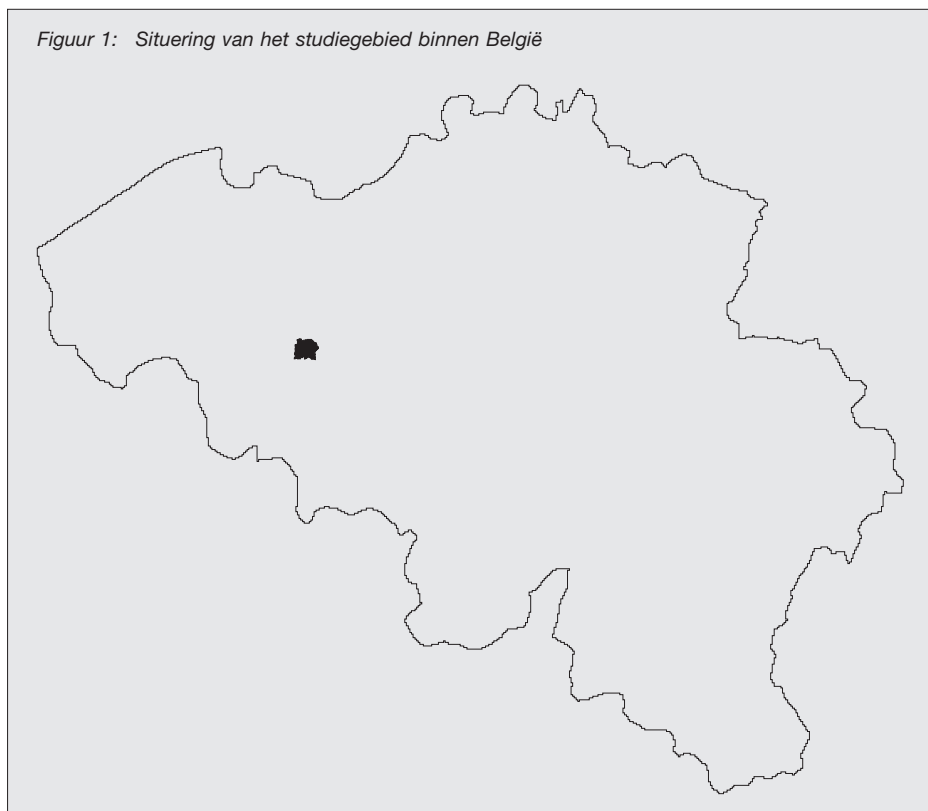
In het RUSLE-model wordt de actuele erosie berekend door

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

met

A = gemiddeld jaarlijks bodemverlies per eenheidsoppervlak ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

Figuur 1: Situering van het studiegebied binnen België



R = erosiviteitsfactor ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ j}^{-1}$)
K = bodemerodibiliteitsfactor ($t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
L = hellingslengtefactor
S = hellingsgraadfactor
C = bodembedekkingsfactor
P = bodembewerkingsfactor

Bij de berekening van de potentiële erosie worden de C- en P-factor gelijkgesteld aan 1, hetgeen overeenstemt met de erosie van een onbedekt oppervlak dat geplogd wordt op en neer de helling.

1.2. De erosiviteitsfactor R

R werd berekend op basis van het volgende empirisch verband:

$$R = 113.32 e^{0.00215 P} \quad (1)$$

met

R = erosiviteitsfactor ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ j}^{-1}$)
P = gemiddelde jaarlijkse neerslag (mm)

Op basis van de gemiddelde, jaarlijkse neerslagwaarden (periode 1984-1996) te Kruishoutem en Geraardsbergen werd de gemiddelde, jaarlijkse neerslag in het stroomgebied geschat op 804.5 mm. De R-waarde berekend op basis van vergelijking (1) bedraagt $639 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ j}^{-1}$, wat in overeenstemming is met de erosiviteitskaart opgesteld door Bollinne et al. (1980), die het studiegebied situeert in een zone met een R-waarde tussen 490 en $736 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ j}^{-1}$.

1.3. De erodibiliteitsfactor K

De erodibiliteitsfactor K wordt berekend op basis van de erosiviteitsfactor R en 5 bodemparameters (humusgehalte, structuur, permeabiliteit, minerale fractie van 2-100 μm en van 100-2000 μm). Voor de gegevens omtrent de textuur en het organisch materiaal werd gebruik gemaakt van de bemonsteringen die uitgevoerd werden bij het opstellen van de Belgische bodemkaarten. Na berekening van de K-waarde van de bemonsteringspunten binnen het studiegebied, werden deze waarden geïnterpoleerd. Hiervoor werd gebruik gemaakt van block-kriging, een interpolatiemethode uit de geostatistiek (Journel & Huijbregts, 1978; Van Meirvenne, 1991). De K-waarden in het gebied variëren tussen 0.04 en $0.10 t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, hetgeen overeenstemt met een matige tot hoge erodibiliteit.

1.4. De topografische factor LS

Het stroomgebied en de hydrologische karakteristieken ervan werden bepaald door middel van de USGS-software, ontwikkeld door Jenson & Domingue (1988). Hiervoor is een digitaal elevatiemodel (DEM) nodig. Dit DEM werd opgesteld op basis van de gedigitaliseerde hoogtelijnen van de topografische kaarten (schaal 1:10 000) van het Nationaal Geografisch Instituut van België.

Erosie is positief gecorreleerd met de hellingslengte en de hellingsgraad. De LS-factor brengt deze topografische parameters in rekening. Aangezien het RUSLE-model niet geldig is in gebieden waar netto

depositie optreedt, moeten deze gebieden vooraf geïdentificeerd worden. Dit kan gebeuren op basis van een algemene richtlijn die stelt dat netto depositie optreedt van zodra de helling kleiner wordt dan de helft van de gemiddelde helling. Deze berekening wordt enkel uitgevoerd op het concave deel van de helling, dus niet op de totale hellingslengte. Door deze regel wordt depositie na lange transportafstand bepaald, zoals ze voorkomt aan de voet van concave hellingen. Lokale depositie in microdepressies en ploegvoren kan er niet door geïdentificeerd worden. Het is enkel een kwalitatieve maatstaf die geen informatie biedt omtrent de hoeveelheid sediment die afgezet wordt.

Om de LS-factor te berekenen worden vloeilijnen geconstrueerd op basis van de afstromingsrichting van het runoffwater. Een vloeilijn begint vanaf een pixel (= segment van de vloeilijn) met een cumulatief drainerend oppervlak gelijk aan 0, en eindigt bij een waterloop of depositiegebied. Vloeilijnen langer dan 300 m worden opgesplitst in kleinere vloeilijnen, aangezien hellingslengten langer dan 300 m zeldzaam zijn in het studiegebied. Voor elk segment van de vloeilijn wordt de LS-factor berekend. De hoogste LS-waarden situeren zich op de steilste hellingen, namelijk aan de bovenlopen van de rivieren en op de zuidelijke en westelijke hellingen.

1.5. Potentiële erosie

Binnen een GIS werd de erosiviteitswaarde R gecombineerd met de bodemerodibiliteitskaart en de LS-kaart. Dit levert een kaart op met het bodemverlies A voor elk hellingssegment (Fig. 2). De waarde van A mag niet beschouwd worden als het absolute bodemverlies van een hellingssegment, maar moet geïnterpreteerd worden als de bijdrage van het segment tot het totale, potentiële bodemverlies van de vloeilijn.

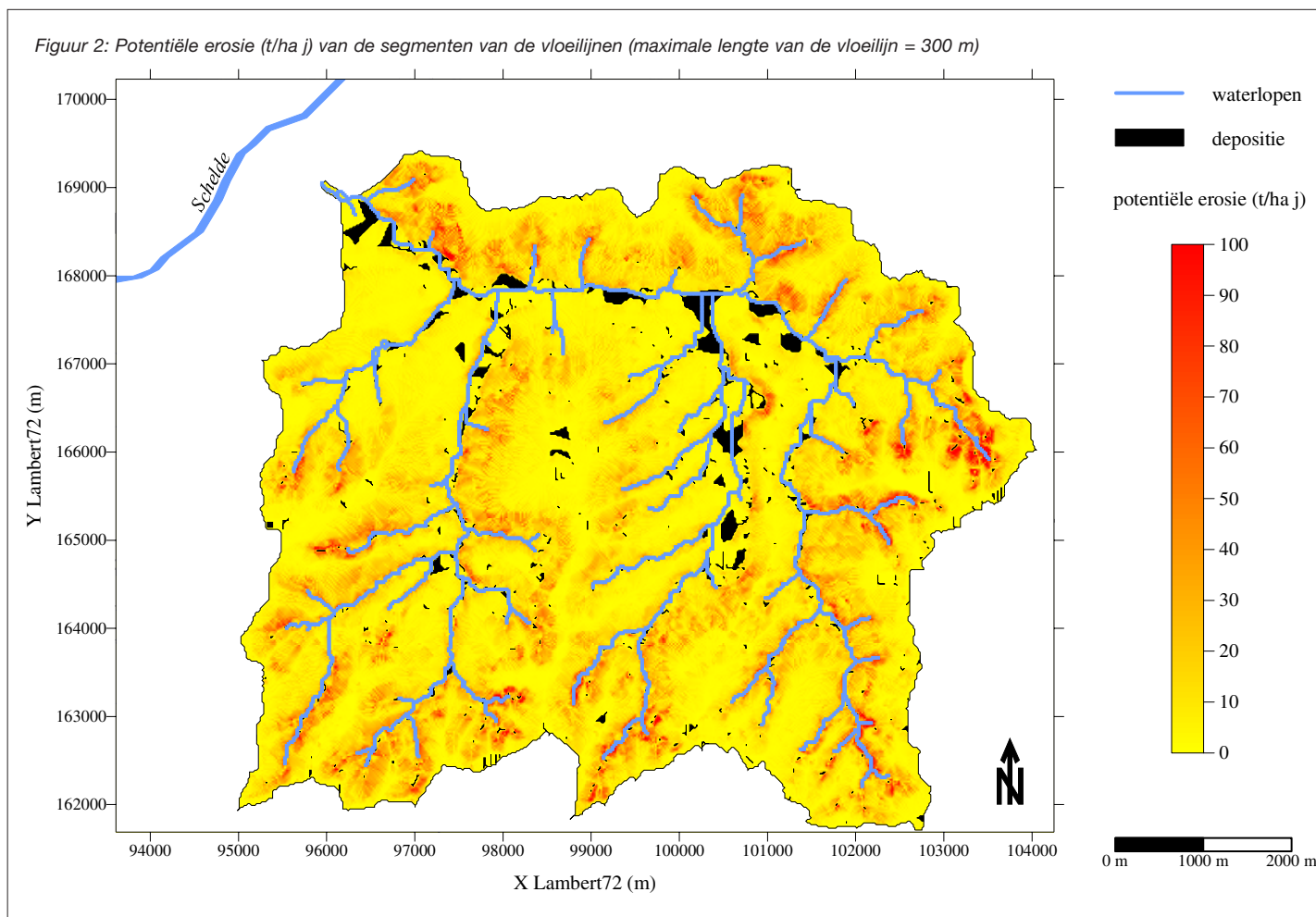
Fig. 2 toont aan dat de west- en zuidflank van de valleien het meest erosiegevoelig zijn, een gevolg van de asymmetrie van de valleien, hetgeen een relict is uit de ijstijden. De depositiegebieden werden bepaald op basis van de hierboven besproken vuistregel. Als men Fig. 2 toetst aan de bodemgebruikskaart, kunnen de erosiegevoelige akkers gelokaliseerd worden. Op deze plaatsen kan dan een actuele erosiestudie uitgevoerd worden, met toepassing van erosiebeperkende maatregelen. Anderzijds toont Fig. 2 waar er belangrijke erosie kan optreden als gevolg van een wijziging van het bodemgebruik.

2. MAATREGELEN TEGEN BODEMEROSIE

2.1. Tolerantiewaarden voor bodemerosie

De hoeveelheid erosie die getolereerd kan worden zonder rekening te houden met geulerosie, is afhankelijk van het standpunt waaruit men het verschijnsel beschouwt: ecologische, economische, off-site of on-site gevolgen. Rekening houdend met de diepte van het bodemprofiel, wordt als tolerantiewaarde T meestal $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ aangenomen (Schertz, 1983). Als deze drempelwaarde overschreden wordt, is er sprake van versnelde erosie die leidt tot een afname van de productiviteit van de bodem. In dit onderzoek wordt $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ vooropgesteld als gemiddelde tolerantiewaarde voor een vloeilijn.

Als het gemiddeld bodemverlies van een helling kleiner is dan $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$, is het toch mogelijk dat er grote bodemverliezen optreden op bepaalde hellingssegmenten. Daarom moet de tolerantiewaarde van de volledige vloeilijn omgerekend worden naar een tolerantiewaarde voor elk vloeilijnsegment. Deze waarde kan vervolgens vergeleken worden met het bodemverlies van het respectievelijke segment.



De berekening van de tolerantiewaarde van de vloeiïjnsegmenten gebeurt aan de hand van de volgende vergelijkingen (Renard et al., 1996):

$$Ts_i = T \cdot f_i \quad (2)$$

$$Ts = \sum_{i=1}^n Ts_i \quad (3)$$

$$Ta_i = Ts_i \cdot \frac{T}{Ts} \quad (4)$$

met

Ta_i = tolerantiewaarde van segment i ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

Ts_i = benaderende tolerantiewaarde van segment i ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

T = tolerantiewaarde van de volledige vloeiïjn ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

$$f_i = \frac{A_i}{A}$$

$$\begin{aligned} & R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot S_i \cdot \frac{(l_i^{m+1} - l_{i-1}^{m+1})}{l_n \cdot (22.13)^m} \\ &= \frac{R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot S_i \cdot \left(\frac{l_n}{22.13}\right)^m}{R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot S_i \cdot \left(\frac{l_n}{22.13}\right)^m} \\ &= \frac{(l_i^{m+1} - l_{i-1}^{m+1})}{l_n^{m+1}} \end{aligned}$$

l_n = lengte van de vloeiïjn (m)
 l_i = lengte vanaf het begin van de vloeiïjn tot aan de voet van segment i (m)
 m = hellingslengte-exponent voor segment i
 n = aantal vloeiïjnsegmenten

Bij de berekening van de potentiële erosie worden voor elk segment de bodembedekkingsfactor C en de bodembewerkingsfactor P per definitie gelijkgesteld aan 1. Door rekening te houden met deze factoren kan voor elk hellingssegment bepaald worden of het actueel bodemverlies kleiner is dan de tolerantiewaarde. Daartoe moet voor elk hellingssegment gelden:

$$C_i \cdot P_i \leq \frac{Ta_i}{A_i} \quad (5)$$

met

C_i = bodembedekkingsfactor van segment i

P_i = bodembewerkingsfactor van segment i

Ta_i = tolerantiewaarde van segment i ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

A_i = potentiële erosie van segment i ($t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)

Als de teelttechnieken en bodembedekking zodanig gekozen worden dat voor elk hellingssegment aan vergelijking (5) voldaan is, dan zal er op geen enkel segment ontoelaatbare erosie optreden, en blijft het bo-

demverlies van de volledige vloeiïjn onder de kritische drempelwaarde van $10 t \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$.

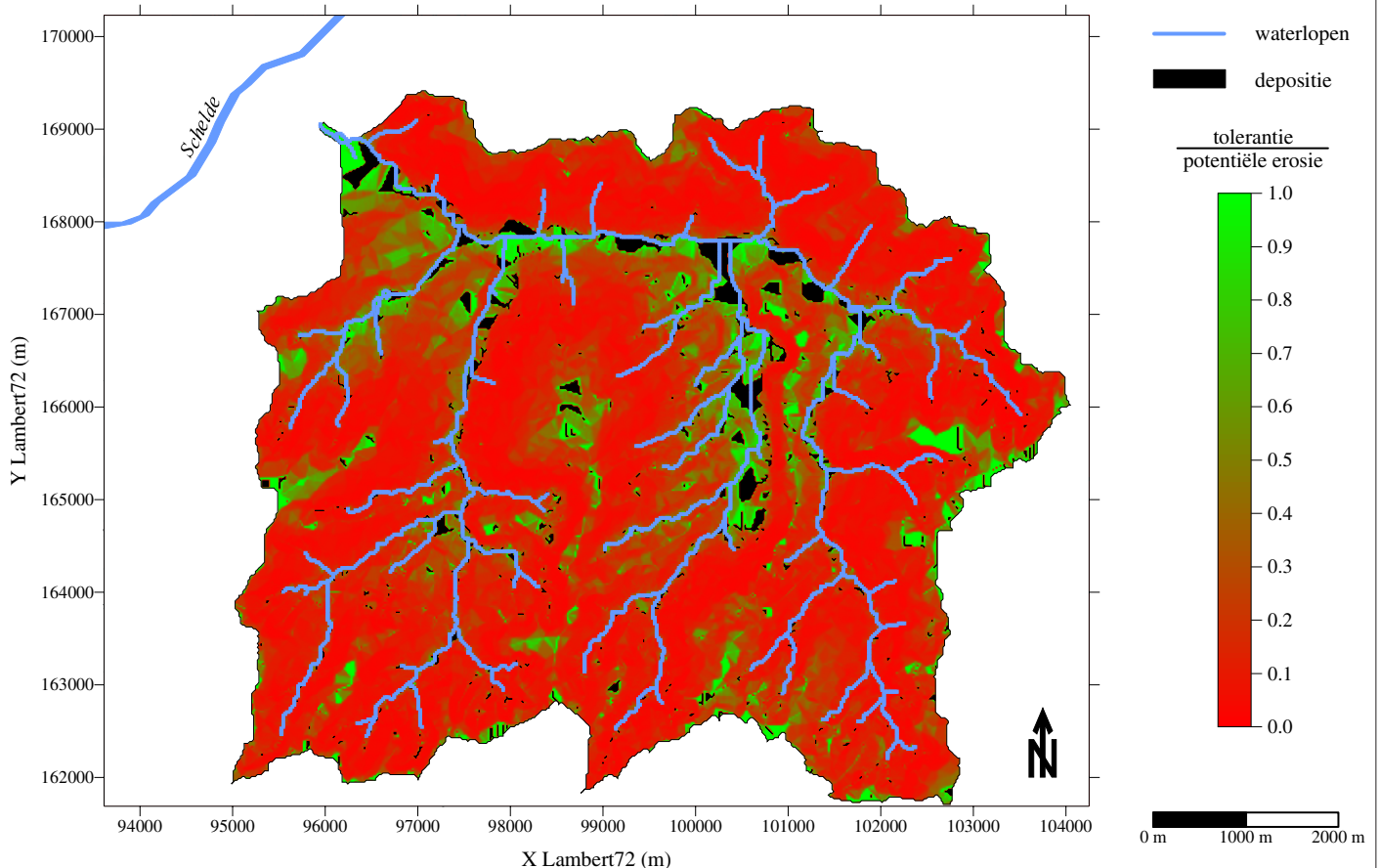
Fig. 3 stelt de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" voor van elk hellingssegment in het studiegebied. Fig. 3 is het quotiënt van de tolerantiewaarden van de vloeiïjnsegmenten en de waarden van Fig. 2. Tabel 1 toont een indeling van het erosierisico op basis van de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Ta_i/A_i), samen met de oppervlakte die elke klasse vertegenwoordigt in het stroomgebied (Fig. 3). De klassen zijn gebaseerd op de bodembedekkingsfactoren in Tabel 2. Aangezien de C -factor van een teeltrotatie kleiner is dan 0,5, is het erosierisico gering als de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" groter is dan 0,5. Het erosierisico neemt toe naarmate er minder teeltrotaties zijn die het potentieel bodemverlies onder de tolerantiewaarde kunnen houden.

2.2. Evaluatie van diverse erosiebeschermingsmaatregelen

2.2.1. Algemeen

Erosie kan men beperken door op één of meerdere deelprocessen in te werken, namelijk afbraak en transport van bodemdeeltjes verminderen en depositie doen toenemen. Dit kan gebeuren door erosiefactoren zoals topografie (LS), bodem-

Figuur 3: "tolerantie/potentiële erosie"-ratio van de segmenten van de vloeiïjnen (maximale lengte van de vloeiïjn = 300 m)



Tabel 1. Indeling van het erosierisico op basis van de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Ta_i/A_i), met aanduiding van de oppervlakte die elke klasse vertegenwoordigt in het studiegebied

Erosierisico	Ta_i/A_i	Oppervlakte (ha)
Laag	0.5 - 1	477
Matig	0.3 - 0.5	479
Hoog	0.1 - 0.3	1814
Zeer hoog	0 - 0.1	1980
Depositie en waterlopen		314

Tabel 2. Gemiddelde jaarlijkse bodembedekkingsfactoren (C), bepaald volgens USLE, van enkele veel voorkomende teeltrotaties (Ghekiere, 1997)

Teeltrotatie	C
Mais - mais - mais - aardappelen	0.47
Mais - mais - mais - raaigras	0.38
Wintertarwe - aardappelen - mais - raaigras	0.37
Wintertarwe - aardappelen - mais - suikerbieten	0.37
Aardappelen - wintertarwe - mais	0.33
Wintertarwe - aardappelen - bieten - raaigras	0.29
Suikerbieten - wintertarwe - wintergerst - suikerbieten - wintertarwe - raaigras	0.24

bedekking (C) en bodembewerking (P) aan te passen. In de volgende paragrafen zal voor diverse erosiebestrijdingsmaatregelen de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Ta_i/A_i) berekend worden voor elk hellingssegment.

2.2.2. Bodembedekking

De beste oplossing om erosie te verminderen, is de bodem voldoende bedekt te houden. Hierdoor wordt de afbraak van bodemaggregaten sterk verminderd. Aan gezien op die manier het initieel proces van bodemerosie afgeremd wordt, zal de intensiteit van de andere erosieprocessen ook sterk afnemen.

Afhankelijk van het gewas wordt erosie in mindere of meerdere mate tegengegaan. In Tabel 2 worden de gemiddelde bodembedekkingsfactoren (volgens USLE) gegeven van enkele veel voorkomende teeltrotaties (Ghekiere, 1997). De bodembedekkingsfactor C geeft de verhouding weer van het bodemverlies van een begroeid oppervlak ten opzichte van een onbegroeid oppervlak. Het is onmogelijk om op alle landbouwgronden een permanente, dichte vegetatie te voorzien. Erosie kan evenwel in belangrijke mate teruggedrongen worden door andere maatregelen, zoals:

- teeltrotaties waarbij gewassen met een hoge C-factor afgewisseld worden met gewassen die een goede bodembedekking hebben. Monoculturen van mais zouden zeker moeten vermeden worden op steile hellingen.
- wisselbouw, waarbij akkerland na een aantal jaren in weiland wordt omgezet, en vice versa.
- bodembedekking tijdens de winter en het voorjaar, door groenbemesting en oogstresidu's.

Alhoewel bodembedekking de beste oplossing is om erosie te verminderen, zal er in de volgende paragrafen geen rekening worden gehouden met een specifieke teeltrotatie. Er waren immers geen gegevens voorhanden inzake de geografische verspreiding van het bodemgebruik binnen het studiegebied. Op basis van de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Ta_i/A_i), die voor diverse erosiebegrenzingsmaatregelen wordt berekend, kan er bepaald worden voor welke teeltrotaties het bodemverlies onder de tolerantiewaarde blijft. Hiervoor moet de C-factor van de teeltrotatie kleiner zijn dan de verhouding " Ta_i/A_i ". Indien de verhouding groter is dan 0.5 is het erosierisico gering: een landbouwgewas biedt voldoende bescherming omdat de C-factor ervan kleiner is dan 0.5. Als de verhouding " Ta_i/A_i " kleiner is dan 0.5 moet een gewas genomen worden met een C-factor

die overeenstemt met de waarde van " Ta_i/A_i ", of moeten er bijkomende erosiebegrenzingsmaatregelen genomen worden. Grasland en bos bieden de ultieme oplossing, omwille van hun totale bodembedekking ($C = 0.003$).

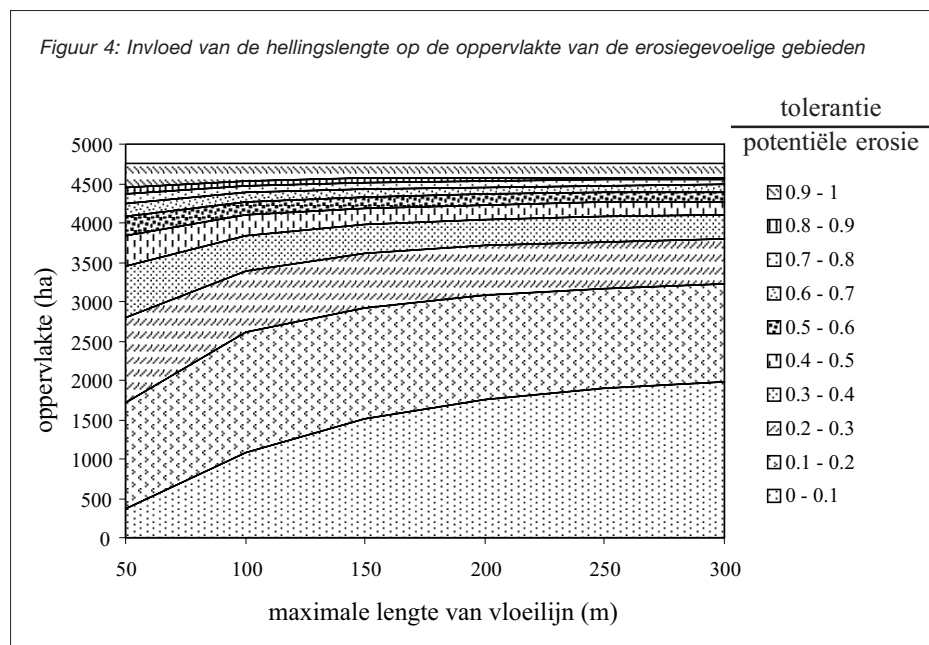
2.2.3. Hellingslengte

Een techniek die vaak toegepast wordt bij erosiebestrijding is het inkorten van de hellingslengte. Dit kan gebeuren door tussen de percelen grasstroken aan te leggen, hagen aan te planten of greppels te graven. Deze erosiebegrenkende maatregel vermindert voornamelijk de snelheid van het afstromende water, waardoor er depositie optreedt aan het einde van het perceel. Na verloop van tijd zullen dan natuurlijke terrassen (graftern) ontstaan.

Voor het stroomgebied van de Markebeek is nagegaan wat het effect is van het inkorten van de hellingslengte op de gemiddelde, jaarlijkse erosie. Hiervoor werd de LS-factor berekend van elk hellingssegment, waarbij de maximale lengte van de vloeilijn stapsgewijs ingekort werd met 50 m. Voor elke situatie werd de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Ta_i/A_i) berekend van elk segment. Na indeling van deze waarden in klassen werd er bepaald hoeveel oppervlakte elke klasse inneemt binnen het stroomgebied. De resultaten zijn voorgesteld in Fig. 4. Deze figuur toont aan dat de oppervlakte van de erosiegevoelige gebieden slechts significant afneemt als de hellingslengte ingekort wordt tot maximaal 100 m.

Voornamelijk op de zwakkere hellingen komt het effect van de kortere hellingslengten tot uiting. Op de steilere hellingen wordt de potentiële erosie voornamelijk bepaald door de hellingsgraad (S-factor), en in mindere mate door de hellingslengte (L-factor).

Figuur 4: Invloed van de hellingslengte op de oppervlakte van de erosiegevoelige gebieden



2.2.4. Teelttechnieken

Twee teelttechnieken kunnen erosie verminderen, namelijk verhoging van het humusgehalte en een aangepaste bodembewerking.

2.2.4.1. Humusgehalte

Er werd onderzocht hoe de K-waarde van de bodemmonsters evolueerde bij een absolute toename van het humusgehalte met 0.25 %, 0.5 %, 1 % of 1.5 %. Hieruit kon besloten worden dat een toename van de organische stof in de bodem de K-factor in beperkte mate doet afnemen. Bovendien is een toename van het humusgehalte slechts op lange termijn te verwezenlijken. Het moet bijgevolg eerder beschouwd worden als een middel dat de algemene toestand van de bodem verbetert, en tegelijk erosie beperkt. In combinatie met andere maatregelen kan een hoger humusgehalte op lange termijn de erosie verminderen.

Voor elk hellingssegment werd de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" berekend bij toenemende humusgehalten. Als maximale hellingslengte werd 100 m genomen. Uit de resultaten bleek dat bij toenemend humusgehalte er een beperkte lineaire afname is van het erosierisico: voor de risicoklasse 0-0.1 neemt de oppervlakte af met 22 % als het humusgehalte absoluut toeneemt met 1.5 %. Voor de risicoklassen 0.1-0.9 is er nauwelijks een wijziging in oppervlakte merkbaar.

2.2.4.2. Contour-ploegen

Een techniek die specifiek gericht is op het bestrijden van erosie, en op korte termijn resultaten oplevert, is het ploegen volgens de hoogtelijnen (contour-ploegen). Hierdoor blijft een groot deel van het water in de voren staan en wordt de snelheid van het afstromend water verminderd, zodat de bodemdeeltjes op korte afstand gaan sedimenteren. Het effect van contour-ploegen wordt in rekening gebracht door de P-factor in het RUSLE-model.

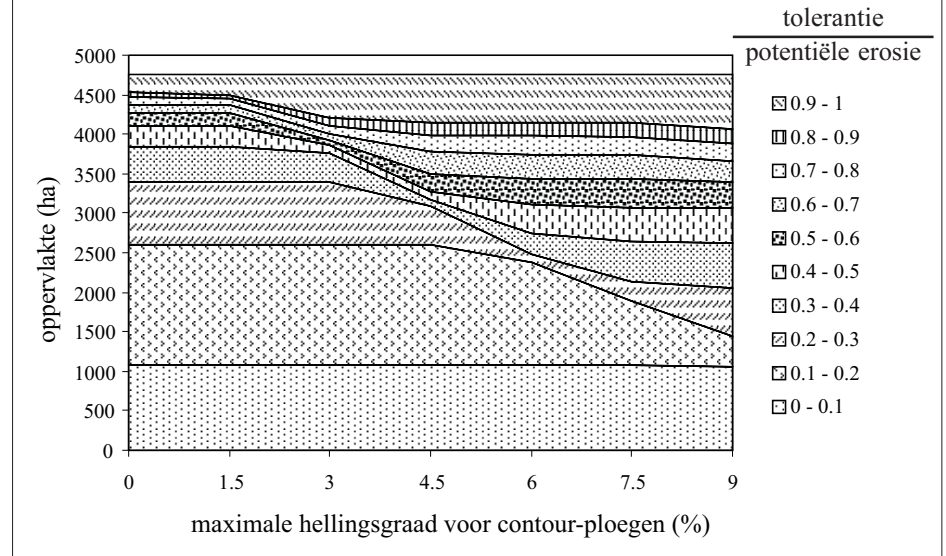
Omdat het RUSLE-model veel gegevens vergt voor de berekening van de P-factor, werd het effect van contour-ploegen bepaald aan de hand van USLE (Wischmeier & Smith, 1978). De waarden die USLE hanteert voor de P-factor bij contour-ploegen worden gegeven in Tabel 3. Er is een limiet-hellingslengte omdat bij toenemende hellingslengte er steeds meer neerslagwater gaat accumuleren in de ploegvoren, waardoor er een gelijke hoeveelheid runoff ontstaat als bij het ploegen volgens de helling. Indien de limiet overschreden wordt, dan wordt $P = 1$ voor het resterende deel van de vloeilijn.

Contour-ploegen kan op steile hellingen praktische problemen geven. Bovendien bestaat op steile hellingen soms het gevaar dat er sterke geulerosie optreedt door con-

Tabel 3. P-factor voor contour-ploegen, volgens USLE (Wischmeier & Smith, 1978)

Helling (%)	factor P	Limiethellingslengte (m)
1 - 3	0.6	120
3 - 6	0.5	90 - 100
6 - 9	0.5	60
9 - 13	0.6	35
13 - 17	0.7	25
17 - 21	0.8	20
21 - 25	0.9	15

Figuur 5: Invloed van contour-ploegen op de oppervlakte van de erosiegevoelige gebieden, als de maximale hellingslengte = 100 m



tour-ploegen. Daarom werd de P-factor enkel berekend voor hellingen kleiner dan 9 %.

Naar analogie met Fig. 4 is de invloed van contour-ploegen bepaald op het aantal erosiegevoelige gebieden. Hiervoor werd de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" berekend voor elk hellingssegment rekening houdend met contour-ploegen. Als maximale hellingslengte werd 100 m genomen. De maximale hellingsgraad waarop contour-ploegen werd toegepast, werd stapsgewijs verhoogd tot 9 %. De resultaten zijn weergegeven in Fig. 5. Deze figuur toont aan dat contour-ploegen de erosiegevoelige oppervlakte vermindert naarmate de techniek toegepast wordt op steilere hellingen. Een logisch gevolg van het feit dat de meest erosiegevoelige gebieden gesitueerd zijn op de steilste hellingen. In Fig. 5 komt er bij de intermediaire klassen een opeenvolgende af- en toename van de oppervlakte voor. Doordat er op steilere hellingen geplougd wordt, gaan er stelselmatig meer gebieden met een hoog erosierisico minder erosiegevoelig worden. Hierdoor stijgen ze een klasse, zodat een afname in de ene klasse een toename in de andere klasse teweegbrengt.

2.2.5. Combinatie van maatregelen

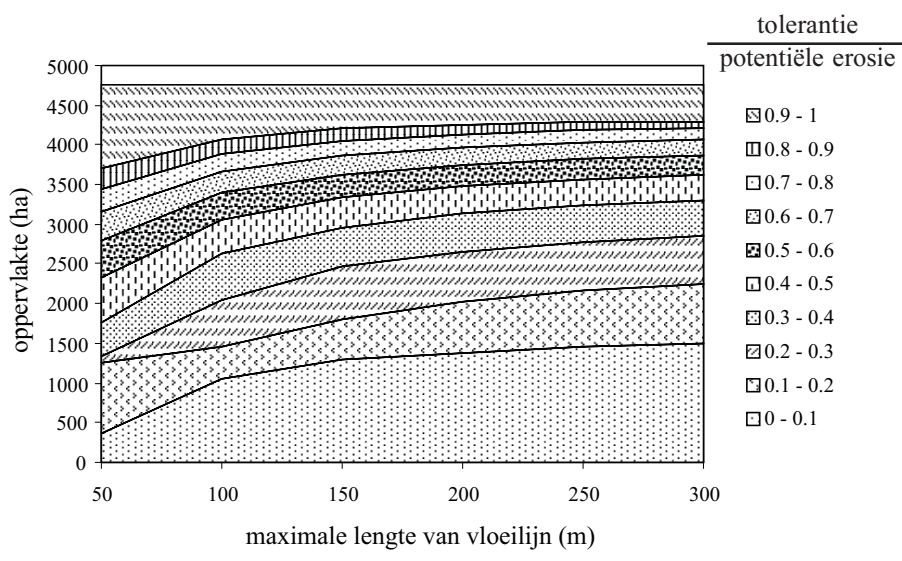
Aangezien het effect van contour-ploegen

afhankelijk is van de hellingslengte (Tabel 3), werd ook de invloed op het grondverlies nagegaan van het inkorten van de hellingslengte in combinatie met contour-ploegen op hellingen kleiner dan 9 % (Fig. 6). Als Fig. 6 vergeleken wordt met Fig. 5 dan blijkt dat voornamelijk de oppervlakte van de klasse 0.1-0.2 sterk afneemt. Contour-ploegen heeft ook een belangrijke invloed op de oppervlakte van de klasse 0-0.1, voornamelijk bij lange hellingslengten (> 200 m). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat bij een maximale hellingslengte van 300 m, 39 % van de oppervlakte van de klasse 0-0.1 een helling heeft kleiner dan 9 %. Als de hellingslengte maximaal 100 m is, heeft slechts 4 % van de oppervlakte van klasse 0-0.1 een helling kleiner dan 9 %. Contour-ploegen kan bijgevolg de oppervlakte van de klasse 0-0.1 in sterkere mate doen afnemen bij langere hellingslengten.

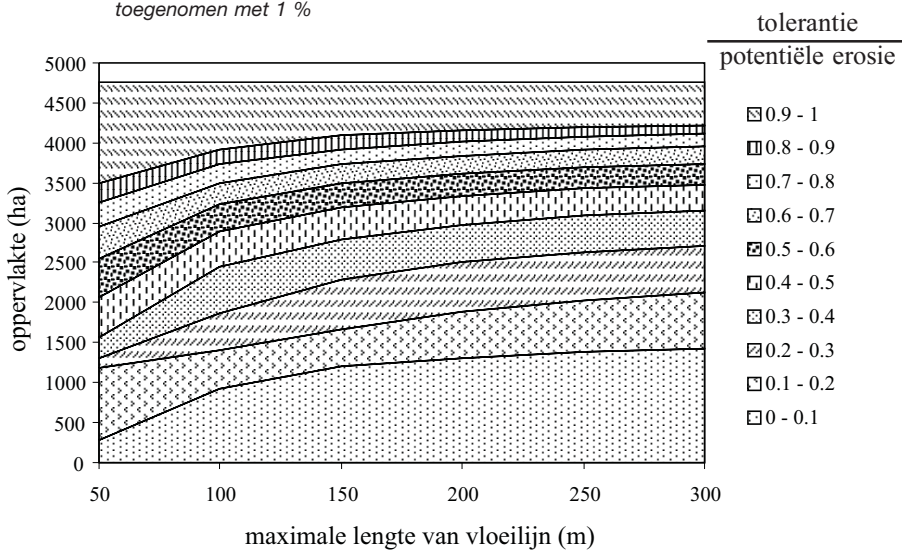
In vergelijking tot Fig. 5 is in Fig. 6 de oppervlakte van de klassen 0.5-1 sterk toegenomen, voornamelijk bij de korte hellingslengten (< 150 m). Door het inkorten van de hellingslengte wordt het effect van contour-ploegen minder beperkt door de limiet-hellingslengte (Tabel 3).

Er werd ook onderzocht wat het effect is van een kortere hellingslengte in combinatie met een absolute toename van het humusgehalte met 1 %. Het resultaat is

Figuur 6: Invloed van de hellingslengte op de oppervlakte van de erosiegevoelige gebieden, als er contour-ploegen wordt toegepast op hellingen < 9 %



Figuur 7: Invloed van de hellingslengte op de oppervlakte van de erosiegevoelige gebieden, als er contour-ploegen wordt toegepast op hellingen < 9 % en het humusgehalte is toegenomen met 1 %



analoog aan Fig. 4, waarbij door het hogere humusgehalte er een bijkomende afname is van de oppervlakte van risicoklasse 0-0.1 met 15 %. De oppervlakte van de klassen 0.1-0.9 varieert weinig in vergelijking tot Fig. 4.

Een combinatie van de drie maatregelen (inkorten van de hellingslengte, contour-ploegen en een hoger humusgehalte) is weer gegeven in Fig. 7. Een vergelijking van Fig. 7 met Fig. 6 toont aan dat voornamelijk contour-ploegen in combinatie met kortere hellingslengten de oppervlakte met een hoog erosierisico sterk reduceert. Een hoger humusgehalte is vooral belangrijk op hellingen groter dan 9 %, waar contour-ploegen moeilijk is toe te passen. In dit opzicht kan een systeem van wisselbouw nuttig zijn. Een tijdelijk weiland zorgt enerzijds voor een goede bodembescherming en anderzijds voor een hoger humusgehalte.

Fig. 8 toont de verhouding "tolerantie/potentiële erosie" (Tai/Ai) indien de hellingslengte maximaal 100 m is, en er geploegd wordt volgens de hoogtelijnen op hellingen kleiner dan 9 %. Deze maatregelen zijn praktisch uitvoerbaar en laten een rendabele bedrijfsvoering toe. Een vergelijking van Fig. 8 met Fig. 3 toont aan dat een combinatie van deze relatief eenvoudige maatregelen het erosierisico in sterke mate kan vermin-

Tabel 4. Oppervlakte die elke erosierisicoklasse vertegenwoordigt in het studiegebied als de maximale hellingslengte = 100 m en bij contour-ploegen op hellingen < 9 %

Erosierisico	Oppervlakte (ha)
Laag	1687
Matig	1010
Hoog	1003
Zeer hoog	1050
Depositie en waterlopen	314

deren: in Fig. 8 is de oppervlakte met een zeer groot erosierisico ($Tai/Ai < 0.1$) afgenomen met 47 % of 930 ha (Tabel 4).

BESLUIT

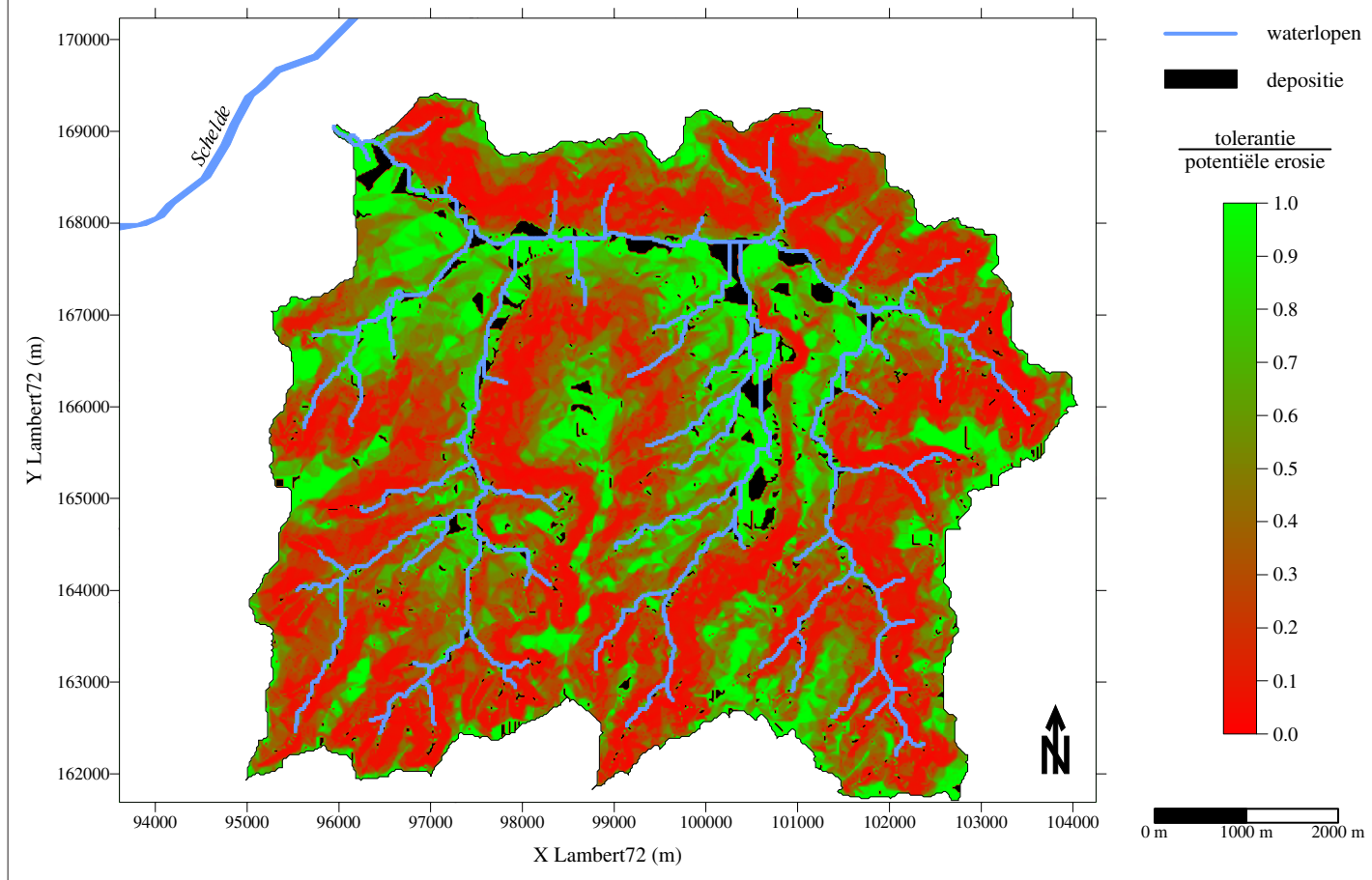
De potentiële erosiekaart die in deze studie werd gecreëerd, is geen weergave van het actueel bodemverlies, maar is een basisdocument voor een duurzame ruimtelijke planning van het stroombekken. Gebruik makende van de bodemgebruikskaart kunnen de gebieden gelokaliseerd worden waar grote bodemverliezen kunnen optreden wanneer geen bodembedekking aanwezig is en er geen erosiebetuugingsmaatregelen genomen worden. Op deze plaatsen is een actuele erosiestudie aangewezen om meer concrete beleidsmaatregelen uit te werken. Anderzijds toont de potentiële erosiekaart welke gebieden het gevoeligst zijn voor erosie indien het bodemgebruik verandert.

Een potentiële erosiekaart biedt enkel een vergelijking van de erosiegevoeligheid tussen gebieden onderling. Om te weten waar er een te groot bodemverlies is, moet voor elk segment van de vloeilijnen de tolerantiewaarde bepaald worden. De verhouding "tolerantie/potentiële erosie" laat wel toe een onderverdeling te maken naar erosierisico.

Aangezien het studiegebied gekenmerkt wordt door een hoge potentiële erosie werd er nagegaan welke erosiebetuugingsmaatregelen het meest efficiënt zouden zijn. Door simulaties werd de invloed begroot van hellingslengte, humusgehalte en contour-ploegen op erosieverliezen. Algemeen kan hierbij gesteld worden dat, voor een welbepaalde teeltrotatie, contour-ploegen en het inkorten van de hellingslengte erosie het sterkst verminderen. Een hoger humusgehalte heeft een beperkte invloed inzake erosiebestrijding. Bijgevolg moet deze maatregel eerder beschouwd worden als een doelstelling op langere termijn, die kadert in een algemeen verbeterd bodembeheer.

Om erosie op korte termijn efficiënt aan te pakken zal er moeten gezocht worden naar een combinatie van bodembedekking en bodembewerking. Een nateelt of groenbemester is een eerste doelstelling die zou moeten nagestreefd worden, aangezien tijdens de winter belangrijke bodemverliezen optreden. Is deze maatregel onvoldoende

Figuur 8: "tolerantie/potentiële erosie"-ratio van de segmenten van de vloeilijnen (maximale lengte van de vloeilijn = 100 m), met contour-ploegen op hellingen < 9 %.



dan biedt het inkorten van de hellingslengte een bijkomende oplossing. Contourploegen is eveneens een goede erosiebestrijdingsmaatregel, maar slechts weinig landbouwers zijn gemotiveerd om dit toe te passen, omwille van de minder gemakkelijke toepasbaarheid op steile hellingen. Indien al deze maatregelen onvoldoende blijken, kan eventueel geopteerd worden voor een systeem van wisselbouw, waarbij het perceel gedurende de helft van de teeltrotatie onder grasland ligt. Dergelijke maatregelen moeten natuurlijk te combineren zijn met het type landbouwbedrijf en het rendabele beheer ervan. De meeste van deze erosiebestrijdingsmaatregelen zijn evenwel te verwezenlijken zonder belangrijke meerkosten. Bovendien zal een goede erosiebestrijding een meeropbrengst opleveren voor de landbouwer en lagere maatschappelijke kosten veroorzaken inzake waterbeheer.

REFERENTIES

- BIESEMANS, J., VAN MEIRVENNE, M., GABRIELS, D. & GHEKIERE, G. (1998). Bodemerosiemodellering binnen een GIS: een case-studie in het stroomgebied van de Kemmelbeek. *Water*, 98, 9-16.
- BOLLINNE, A., LAURANT, A., ROSSEAU, P., PAUWELS, J.M., GABRIELS, D. & AELTERMAN, J. (1980). Provisional rainerosivity map of Belgium. In: De Boodt, M. & Gabriels, D. (eds.). *Assessment of erosion*. New York, John Wiley & Sons, 111-120.
- BRADFORD, J.M. & FOSTER, G.R. (1996). Interrill soil erosion and slope steepness factors. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 909-915.
- EASTMAN, R.J. (1997). *Idrisi for Windows version 2.0, user's guide*. Massachusetts, Worcester, Clark University.
- GHEKIERE, G. (1997). Het begroten van het actueel erosierisico in het stroomgebied van de Kemmelbeek. *Afstudeerwerk*, Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen.
- JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 1593-1600.
- JOURNAL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. (1978). *Mining geostatistics*. London, Academic Press, 600 p.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K. & YODER, D.C. (1996). *Predicting soil erosion by water - A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook: 703. Draft 1996. Washington D.C., U.S.D.A.-Agricultural Research Service.
- SCHERTZ, D.L. (1983). The basis for soil loss tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation*, 38, 10-14.
- SCHIETTECATE, W. (1997). Inventarisatie van de potentiële erosie in het stroomgebied van de Markebeek (Maarkedal). *Afstudeerwerk* Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, 139 p.
- VAN MEIRVENNE, M. (1991). *Characterization of soil spatial variation using geostatistics*. Proefschrift tot het bekomen van de graad van Doctor in de landbouwwetenschappen, Gent, Faculteit Landbouwwetenschappen, 168 p.
- VOET, M. (1997). Sedimentafvoer in kleine stroomgebieden. *Water*, 92, 10-14.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning*. Agriculture Handbook: 537. Washington DC, United States Department of Agriculture.

ir. W. SCHIETTECATE
bio-ingenieur, IWT doctorandus aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne, Universiteit Gent
 Coupure Links 653
 9000 Gent
 tel.: 09/264 60 55, fax: 09/264 62 47
 e-mail: wouter.schiettecate@rug.ac.be

Prof. Dr. ir. D. GABRIELS
FWO-onderzoeksleider aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne

Prof. Dr. ir. M. VAN MEIRVENNE
Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne

ir. J. BIESEMANS
IWT doctorandus aan de Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne