

Modellbasierte Analyse von Bodenerosion und Sedimentaustrag in den Einzugsgebieten von Dissenbach und Pulheimer Bach

Christian Hartmann

Kurzfassung der gleichnamigen Diplomarbeit, betreut durch Prof. Dr. Karl Schneider und Dr. Peter Fiener, Geographisches Institut der Universität zu Köln
Kontakt: christian.hartmann@thoughtforge.org
Köln, im September 2009

Einleitung

Bodenerosion durch Wasser auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zählt zu den größten Problemen zunehmender Bodendegradation in Mitteleuropa (EEA, 2002). Der Verlust fruchtbarer Humusschicht, Nährstoffaustrag und der Verlust von Keimlingen durch Bodenerosion können zu erheblichen Ertragseinbußen führen (Boardman und Poesen, 2006). Neben Onsite-Schäden auf Feldebene verursacht Bodenerosion auch diverse Offsite-Schäden außerhalb der Ackerflächen. Durch Sediment-, Nährstoff- und Pestizideintrag werden Fließgewässer belastet (Lal et al., 2003), lokale Überschwemmungen führen häufig zu Schäden an öffentlichem und privatem Eigentum (Boardman et al., 1994).

Über den Eintrag von Sediment und die daran gebundenen Agrochemikalien trägt Bodenerosion durch Wasser zu einem erheblichen Teil zur Qualität von Oberflächengewässern bei (Auerswald, 1997; Holland, 2004). Mit der Richtlinie 2000/60/EG, der so genannten Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), wurde EU-übergreifend ein politischer Rahmen geschaffen, um die Binnen- und Küstengewässer sowie das Grundwasser zu schützen. Dabei gilt es unter anderem einen guten ökologischen und chemischen Zustand von Oberflächengewässern zu erreichen. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, bis ins Jahr 2015 die Vorgaben der WRRL umzusetzen (EU Parlament und Rat, 2000). Die Bestandsaufnahme für Oberflächengewässer im Jahr 2004 in Deutschland hat jedoch gezeigt, dass das Erreichen der Ziele der WRRL vor allem in landwirtschaftlich geprägten Regionen aufgrund der starken Belastung der Gewässer durch Bodenerosion gefährdet ist (BMU, 2005; DWA, in Vorbereitung). Um gezielte Schutzmaßnahmen zu ergreifen, müssen jene Flächen ermittelt werden, welche in besonderem Maße zu Onsite- und Offsite-Schäden beitragen. Dabei können die Ziele von Boden- und Gewässerschutz häufig durch die gleichen Maßnahmen erreicht werden (Auerswald, 1993).

Mit Hilfe von Modellen ist es möglich, über eine räumlich differenzierte Abschätzung von Bodenerosion und Sedimentaustrag gefährdete Flächen auf Einzugsgebietsebene zu

identifizieren. Zusätzlich können die Effekte verschiedener Bodenschutzmaßnahmen und Managementszenarien simuliert werden. Auf diesem Wege können Maßnahmen vor ihrer Implementierung vergleichsweise schnell und kostengünstig getestet werden, um so individuell die jeweils effizientesten Maßnahmen zu ermitteln.

In dieser Arbeit soll das Ausmaß von Bodenerosion durch Wasser in zwei landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten (EZG) mit Hilfe des Modells WaTEM/SEDEM abgeschätzt werden (Van Oost et al., 2000; Van Rompaey et al., 2001; Verstraeten et al., 2002). Ziel der Arbeit ist es, für die EZG Dissenbach und Pulheimer Bach unterschiedliche Bodenschutzmaßnahmen zu modellieren und die Szenarien hinsichtlich der Veränderung von Bodenerosion und Sedimentaustrag zu analysieren. Dabei soll untersucht werden, welche der modellierten Maßnahmen hinsichtlich der Minimierung von Erosion und Sedimentaustrag besonders wirkungsvoll sind und wo die Ursachen für die unterschiedliche Effizienz liegen.

Modellierung

WaTEM/SEDEM ist ein konzeptionelles, rasterbasiertes Modell zur räumlich differenzierten Abschätzung von Bodenerosion und Sedimentation. Das Modell schätzt mittlere jährliche Erosion und Sedimentation im langjährigen, das heißt mindestens 10-jährigen Mittel ab. Es wurde unter anderem in Belgien umfangreich getestet und kalibriert (Van Oost et al., 2000; Van Rompaey et al., 2001; Verstraeten et al., 2002). Eine Kalibrierung an Verhältnisse in NRW und eine anschließende Validierung des Modells ist aufgrund der Datenlage nicht möglich.

Neben Bodeneigenschaften und topographischen Faktoren hat die Erosivität der Niederschläge in Verbindung mit der Bodenbedeckung besonders großen Einfluss auf die Erosionsrate. Die Bodenbedeckung kann über die Wahl der Fruchtfolge durch den Landwirt beeinflusst werden. Der Einfluss der Bodenbedeckung auf die Erosionsanfälligkeit wird über den so genannten Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor) ermittelt. Auf Grundlage von Kartierungen wurden in beiden EZG die Fruchtfolgen für jeden einzelnen Acker ermittelt. Mit Hilfe dieser Daten wurden die C-Faktoren für sieben typische Fruchtfolgen berechnet (Schwertmann et al., 1987). Die Modellierung verschiedener Szenarien erfolgt über die Veränderung des C-Faktors. Zunächst wurde der aktuell angenommene Zustand simuliert (Baselineszenario), um in einem weiteren Schritt die Wirkung verschiedener Bodenschutzmaßnahmen abzuschätzen.

Konventionelle Bodenbearbeitung: Für das Baselineszenario wird tiefgründig wendende Bodenbearbeitung mit einer tiefen Pflugfurche vor der Getreidesaat angenommen. Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln werden ebenfalls nach tiefer Pflugfurche gesät (Schwertmann et al., 1987). Neben konventioneller Bodenbearbeitung sollen an dieser Stelle drei weitere der insgesamt elf Szenarien vorgestellt werden.

Konservierende Bodenbearbeitung: Der Boden wird nur minimal bearbeitet. Anstelle von tiefer, wendender Bodenbearbeitung erfolgt im gesamten Anbausystem nur flaches Einmischen der Ernterückstände. Die Getreideaussaat geschieht mit Fräse-Sämaschine-Kombinationen oder als Direktsaat ohne vorherige Bodenbearbeitung. Als Folge des Einmischens der Ernterückstände beträgt die Bodenbedeckung durch den Mulch unmittelbar nach der Aussaat bereits mindestens 40 % (Schwertmann et al., 1987). Hinzu kommt der Einsatz einer Winterzwischenfrucht (Senf) nach der Ernte des Wintergetreides im Jahr vor der Zuckerrübenaussaat.

Flächenstilllegung: Für jedes EZG wurde 10 % Flächenstilllegung modelliert. Die betroffenen Felder wurden anhand von Modellergebnissen des Baselineszenarios abgeleitet. Bei den stillgelegten Flächen wird Dauerbrache angenommen, das heißt eine dauerhafte Umwandlung von Ackerfläche in Grünland. Bei den stillgelegten Flächen handelt es sich nicht zwangsläufig um ganze Felder, oft wurden nur Teilflächen stillgelegt. Erosionsanfällige Flächen in Gewässernähe wurden bevorzugt ausgewählt.

Grasfilterstreifen: Hier wird die Wirkung von Grasfilterstreifen (GF) an allen Ufern modelliert. Ausgenommen sind Uferregionen, an denen bereits Dauergrünland oder Wald kartiert wurden. Aufgrund der Auflösung des Modells haben die GF eine Breite von 20 m, obwohl sie real oft eine geringere Breite von teilweise nur wenigen Metern haben. Die C-Faktoren ändern sich gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung nur im Bereich der GF.

Ergebnisse

Unter Annahme von konventioneller Bodenbearbeitung ist ein Großteil des EZGs Dissenbach von Erosion betroffen. Werte von $>20 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ konzentrieren sich im Norden und Osten des EZGs, auch in der Mitte gibt es eine Häufung von Höchstwerten. Im Westen befinden sich größere Flächen mit geringen Erosionsraten von 1 bis $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auffallend sind die Gebiete in Fließgewässernähe. Bis auf vereinzelte Pixel überwiegen hier minimale Erosionsraten

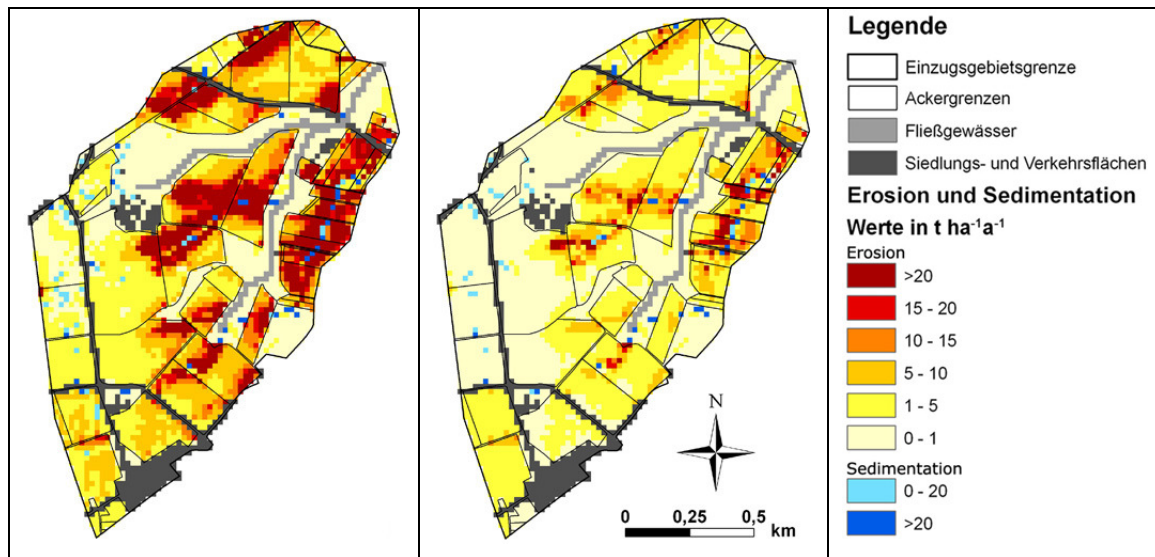


Abb. 1: Nettoerosion und Nettosedimentation unter konventioneller Bodenbearbeitung (links) und konservierender Bodenbearbeitung (rechts) im EZG Dissenbach.

zwischen 0 und $1\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$. Dies erklärt sich durch die Landnutzung. In Fließgewässernähe befinden sich überwiegend Grünland und bewaldete Flächen, die aufgrund ihres niedrigen C-Faktors zu entsprechend geringen Erosionsraten führen (Abb. 1, links). Unter Annahme konservierender Bodenbearbeitung nimmt die Erosion deutlich ab. Bis auf wenige Kernbereiche liegen die Erosionsraten nun unterhalb von $5\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ (Abb. 1, rechts).

Unter Annahme von konventioneller Bodenbearbeitung weisen weite Flächen des EZGs Pulheimer Bach Erosionsraten von 1 bis $5\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ auf. Nördlich und östlich von Geyen bis zu den Grenzen des EZGs gibt es vermehrt Flächen mit minimalen Erosionsraten von 0 bis $1\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$. Einige Flächen sind durch eine Konzentration von Rasterzellen mit Erosionsraten $>20\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ gekennzeichnet. Solche Kernzonen befinden sich vor allem in zwei Bereichen südlich und südwestlich von Pulheim sowie im Norden von Manstedten. Eine besonders starke Ballung von Zonen maximaler Erosion befindet sich rund um Glessen. Einige der Bereiche liegen hier in unmittelbarer Nähe zum Fließgewässer, wodurch der Sedimenteintrag in das Gewässernetz begünstigt wird (Abb. 2, oben). Unter Annahme von konservierender Bodenbearbeitung wird die Erosion drastisch verringert, weite Flächen weisen nun Erosionsraten von unter $1\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ auf (Abb. 2, unten).

Erosion und Sedimentaustrag fallen im EZG Dissenbach aufgrund der steileren Hänge in allen Szenarien höher aus als im EZG Pulheimer Bach. Auf Grundlage der Modellergebnisse des Baselineszenarios wurden im EZG Dissenbach 70 %, im EZG Pulheimer Bach 27 % der Ackerflächen als besonders erosionsgefährdet eingestuft. Die mittlere Erosionsrate (E) im EZG Dissenbach liegt in unter Annahme konventioneller Bodenbearbeitung bei $10\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$, und konnte unter der Annahme von konservierender Bodenbearbeitung um 73 % gesenkt

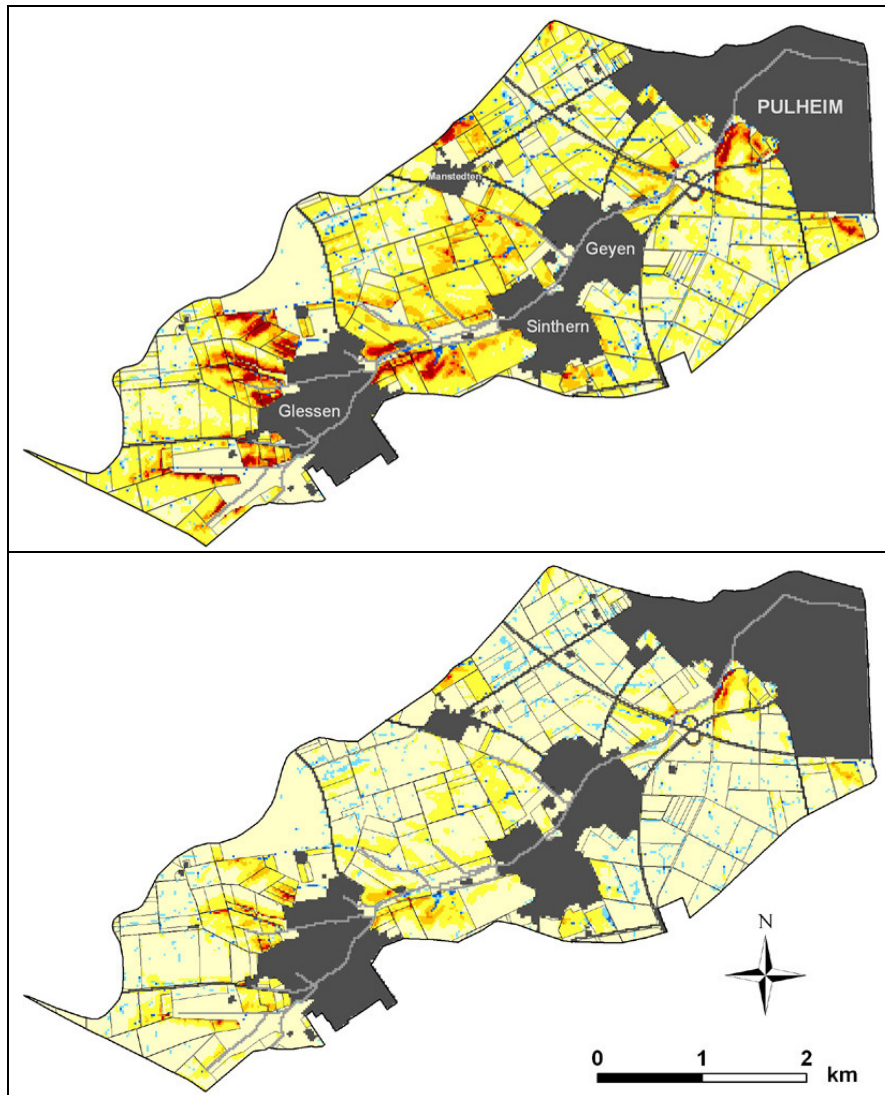


Abb. 2: Nettoerosion und Nettosedimentation unter konventioneller Bodenbearbeitung (oben) und konservierender Bodenbearbeitung (unten) im EZG Pulheimer Bach, Legende siehe Abb. 1.

werden (ΔE). Der Sedimentaustrag (SY) sinkt je nach Szenario zwischen 4 und 67 %. Im EZG Pulheimer Bach liegt E unter Annahme konventioneller Bodenbearbeitung bei $3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und konnte bis zu 70 % gesenkt werden. Werte für ΔSY liegen je nach Szenario zwischen 13 und 75 % (Tab. 1). Die mittleren Erosionsraten sind im EZG Pulheimer Bach zwar wesentlich geringer als im EZG Dissenbach, es gelangt jedoch ein größerer Anteil des erodierten Materials in das Fließgewässernetz. Das Sedimenteintragsverhältnis (SDR) liegt im EZG Dissenbach zwischen 7,7 und 13,8 % und ist damit trotz steilerer Hänge und geringfügig höherer Niederschlagsintensitäten (R -Faktor) deutlich kleiner als im EZG Pulheimer Bach. Hier liegt das SDR zwischen 18,2 und 25,6 % (Tab. 1). Diese Ergebnisse gehen auf die unterschiedliche räumliche Anordnung der Landnutzung in Verbindung mit der räumlichen Verteilung der Hangneigung zurück. Im EZG Dissenbach sind im Mittel die Hänge zwar

Tab. 1: Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse ausgewählter Szenarien beider EZG.

EZG Dissenbach	E	ΔE	SY	ΔSY	SDR
Konventionelle Bodenbearbeitung	10,0	-	2,4	-	12,8
Konservierende Bodenbearbeitung mit Zwischenfrucht	2,7	-73	0,8	-67	14,1
10% Flächenstilllegung	8,3	-17	1,8	-25	7,7
Grasfilterstreifen an allen Ufern	9,9	-1	2,1	-13	9,8
EZG Pulheimer Bach					
Konventionelle Bodenbearbeitung	3,0	-	0,8	-	24,5
Konservierende Bodenbearbeitung mit Zwischenfrucht	0,9	-70	0,2	-75	25,6
10% Flächenstilllegung	1,8	-40	0,5	-38	23,1
Grasfilterstreifen an allen Ufern	2,9	-3	0,6	-25	19,6

E=mittlerer Erosionsrate ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$); ΔE=Veränderung der Erosionsrate (%); SY=Sedimentaustrag ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$); ΔSY=Veränderung Sedimentaustrags (%); SDR=Sedimenteintragsverhältnis (%).

steiler, in Gewässernähe ist die Neigung jedoch vergleichsweise gering. Zudem wird ein Großteil der gewässernahen Flächen als Grünland genutzt, nur 21 % der Uferbereiche grenzen an Ackerflächen. Im EZG Pulheimer Bach grenzen dagegen 78 % der Uferbereiche außerhalb von Siedlungen direkt an Ackerflächen. Die maximale Hangneigung liegt im EZG Pulheimer Bach bei 19,2°, im EZG Dissenbach bei 13,5°. Gerade die Uferbereiche weisen im EZG Pulheimer Bach an einigen Stellen steilere Hänge auf als im EZG Dissenbach. Die Summe dieser Einflussfaktoren führt trotz der geringeren Erosionsrate im EZG Pulheimer Bach zu einem höheren SDR.

Da im EZG Dissenbach nur auf 58 %, im EZG Pulheimer Bach auf 100 % der Ackerflächen Fruchtfolgen mit Zuckerrüben angenommen werden, ist die Verminderung von Erosion und Sedimentaustrag für Szenarien mit Zwischenfrucht im EZG Pulheimer Bach deutlicher ausgeprägt. Insgesamt unterschätzt WaTEM/SEDEM die Wirkung der Winterzwischenfrucht, da die Erosion über die Regenerosivität berechnet wird und diese im Winter gering ausfällt. Die im Winter vor allem über Sättigungsabfluss ausgelöste Bodenerosion wird vom Modell nicht berücksichtigt.

Zusammenfassung

Die Modellergebnisse zeigen, dass Bodenerosion und Sedimentaustrag durch angepasste Landwirtschaft deutlich verringert werden können. Es ist anzuraten zumindest die Felder, die als besonders erosionsgefährdet eingestuft wurden, konservierend zu bearbeiten. Dies wären im EZG Dissenbach 70 %, im EZG Pulheimer Bach 27 % der Ackerflächen. Für

gewässernahe Flächen, die trotz konservierender Bodenbearbeitung weiterhin hohe Erosionsraten aufweisen, ist unter Umständen eine Stilllegung sinnvoll. Dies gilt insbesondere für das EZG Pulheimer Bach, da hier eine vergleichsweise hohe Anzahl von Ackerflächen direkt an das Fließgewässernetz grenzt. Im EZG Dissenbach wird hingegen der Großteil gewässernahe Flächen bereits als Grünland genutzt. Auch Grasfilterstreifen führen zu einem verminderten Sedimenteintrag. An Stellen erhöhter Erosion in Gewässernähe wären Filterstreifen somit unter Umständen eine Alternative zu Flächenstilllegungen.

Literatur

- Auerswald, K., 1993. Gewässerschutz durch Bodenschutz, Agrarspectrum 21: Belastung der Oberflächengewässer aus der Landwirtschaft. Gemeinsame Lösungsansätze zum Gewässerschutz. Wissenschaftliche Arbeitstagung, Bonn: 150-160.
- Auerswald, K., 1997. Feststofftransport in Fließgewässern. In: Stahr, K., Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P., Frede, H.-G., Horn, R. und Guggenberger, G. (Hrsg.), Handbuch der Bodenkunde. Wiley, Weinheim: I-12.
- BMU (Hrsg.), 2005. Die Wasserrahmenrichtlinie - Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Paderborn.
- Boardman, J., Ligneau, L., de Roo, A. und Vandaele, K., 1994. Flooding of property by runoff from agricultural land in northwestern Europe. *Geomorphology*, 10 (1-4): 183-196.
- Boardman, J. und Poesen, J., 2006. Soil erosion in Europe: major processes, causes and consequences. In: Boardman, J. und Poesen, J. (Hrsg.), *Soil erosion in Europe*. Wiley, Chichester: 479-487.
- DWA, in Vorbereitung. Berücksichtigung der Bodenerosion bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. DWA-Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V. (DWA).
- EEA (Hrsg.), 2002. Auf dem Boden der Tatsachen: Bodendegradation und nachhaltige Entwicklung in Europa, Umweltthemen-Serie, 16. Europäische Umweltagentur (EEA), Kopenhagen.
- EU Parlament und Rat (Hrsg.), 2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, Brüssel.

- Holland, J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103 (1): 1-25.
- Lal, R., den Biggelaar, C. und Wiebe, K.D., 2003. Measuring on-site and off-site effects of soil erosion on productivity and environment quality. In: Francaviglia, R. (Hrsg.), *Agricultural impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis. Proceedings of the OECD expert meeting on soil erosion and biodiversity indicators*, Rom: 75-86.
- Schwertmann, U., Vogl, W. und Kainz, M., 1987. *Bodenerosion durch Wasser*. Ulmer, Stuttgart.
- Van Oost, K., Govers, G. und Desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15 (6): 577-589.
- Van Rompaey, A.J.J., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G. und Poesen, J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26 (11): 1221-1236.
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J. und Govers, G., 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil Use and Management*, 18: 386-394.