

Einzugsgebietsbezogene Erosionsmodellierung und Erstellung von Gewässerbelastungskarten

Martin Meyer, Ernst-Walter Reiche, Uwe Heinrich und Marek Filipinski

Synopsis

Modelling erosion in catchment areas and making of waterpollution maps

The research area »Farver Au« is located in eastern Schleswig-Holstein, a region formed by the Weichsel Glacial Age with a hilly relief. An erosion model with GIS-interface which is based on the USLE-approach was applied. The topographic parameters were computed by analysing a Digital Elevation Model. This method takes into account linear landscape structures, like waters and hedges. It was assumed that these structures reduce the slope length and lead to complete deposition. The underlying assumptions, however, were not verified. This approach was realized by a combined analysis of pixel and vector data and it allows the estimation of soil deposition into waters. The influence of landuse on erosion was analysed by computing various landuse scenarios.

Erosion, Einzugsgebiet, Geographisches Informationssystem, Digitales Höhenmodell, Nutzungsszenario, Gewässerbelastung

erosion, watershed, geographical information system, digital elevation model, landuse scenario

1 Einleitung

Als Hauptquellen diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer sind der Grundwasserzustrom, der Oberflächenabfluß sowie die Bodenerosion zu nennen. Eine Überversorgung der Gewässer mit Nährstoffen führt zu ungewünschten Eutrophierungsercheinungen. Eine Voraussetzung für die sinnvolle Planung und Umsetzung von eintragsreduzierenden Maßnahmen bildet die wissenschaftlich fundierte Analyse dieser Prozesse.

Ein geeignetes Instrumentarium zur Beschreibung und Quantifizierung der Bodenerosion sind Simulationsmodelle (Erosionsmodelle). Ein Geographisches Informationssystem (GIS) bietet sich als zusätzliches methodisches Werkzeug an, um flächenscharfe Aussagen für Einzugs- und Teileinzugsgebiete zu erarbeiten. Ein GIS koordiniert die räumliche Verortung der Ergebnisse und liefert notwendige Parameter für die flächenhafte Modellierung.

Für das Einzugsgebiet der Farver Au, welches im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet (Ostholstein) gelegen ist, wurde ein Verfahren zur Abschätzung der mittleren langjährigen Bodenerosion durch Wasser angewendet. Dieses automatisierte, digitale Verfahren bietet wesentliche Vorteile gegenüber analogen Abschätzungsmethoden. So können beispielsweise komplexe Hangformen berücksichtigt werden und die erosionshemmende Wirkung linienhafter Landschaftselemente geht in die Berechnungen mit ein. Darüber hinaus wird die durch die Erosion verursachte, potentielle Sedimentfracht bezogen auf das Gewässernetz bilanziert. Als Eingangsdaten werden u.a. amtliche digitale Datensätze wie z.B. ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) und das DHM25 (Digitales Höhenmodell 1:25.000) verwendet.

2 Erosionsmodellierung mit der USLE (ABAG)

Viele Erosionsmodelle – insbesondere physikalisch-deterministischer Modelle – sind in ihrer Einsatzmöglichkeit in der Praxis oder Planung durch ihren spezifischen Parametrisierungsaufwand stark eingeschränkt. Dies gilt besonders bei der einzugsgebietsbezogenen Modellierung großer Gebiete.

Die Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER & SMITH 1965, 1978) berücksichtigt sechs erosionsrelevante Parameter, die den Abtrag hinreichend genau beschreiben. Das USLE-Modell verknüpft diese Parameter in einer Gleichung. Sie besteht aus folgenden multiplikativ miteinander verknüpften Faktoren:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Die Gleichung besagt, daß der langfristige jährliche Bodenabtrag A eine Funktion der empirisch ermittelten Faktoren R, K, L, S, C und P sei.

Die Faktoren der USLE:

- A: Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha
- R: Regen- und Oberflächenabflußfaktor in N/h
- K: Bodenerodierbarkeitsfaktor, Maß für die Erodibilität eines Bodens, wird von einer Reihe von Bodeneigenschaften bestimmt, $t/ha \cdot m^2/kJ \cdot h/mm = t \cdot h/(ha \cdot N)$
- L: Hanglängenfaktor, dimensionslos

- S: Hangneigungsfaktor, dimensionslos
- C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor, dimensionslos
- P: Erosionsschutzfaktor, dimensionslos

Der L-Faktor und der S-Faktor bilden gemeinsam den Topographiefaktor LS.

Aufgrund des empirischen Charakters des USLE-Modells war für den Einsatz in Deutschland eine Anpassung an deutsche Verhältnisse notwendig (SCHWERTMANN & al. 1987). In der dabei entwickelten Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) wurden die regional variablen Eingangsparameter unter deutschen Boden-, Klima-, und Anbaubedingungen bestimmt. Durch Kombination der ABAG mit einem GIS (ARC/INFO) konnten Bodenabträge für Einzugsgebiete mit differenziertem Relief errechnet werden. Dieses Modell wird differenzierte Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (dABAG) genannt (AUERSWALD & al. 1988, FLACKE & al. 1990). Das Digitale Höhenmodell (DHM) wird durch Triangulation in Dreiecke vermascht. Hangneigung und Exposition werden ermittelt und für eine Kaskadierung genutzt. So können Einzelflächen hinsichtlich ihrer Reliefbeschaffenheit untergliedert und entsprechend ihrer topologischen Situation vernetzt sein.

Die Verwendung eines Digitalen Höhenmodells zur Berechnung der Hanglängen und Hangneigungen in einem Einzugsgebiet ist bei der Erosionsmodellierung inzwischen üblich. Dadurch ist die räumliche Basis der Erosionsmodellierung durch die Auflösung des DHM definiert. Die rasterbezogene Berechnung der potentiellen Erosion ohne Berücksichtigung linienhafter Strukturen im Raum kann jedoch keine korrekten Ergebnisse liefern. Bei der DHM-Auswertung zur Bestimmung des LS-Faktors in Einzugsgebieten werden linienhafte Strukturen zumeist nicht berücksichtigt, weil sie in einem Digitalen Höhenmodell häufig nicht komplett erfaßt sind. Dadurch besteht die Gefahr, die LS-Werte zu überschätzen. Erosive Hanglängen enden nicht, wie in der Realität, am Knick oder an einem Bach, sondern werden darüber hinaus berechnet.

Zur Lösung der angesprochenen Problematik wurde im Ökologie-Zentrum der Universität Kiel ein Lösungsansatz entwickelt, der durch Kopplung verschiedener Modelle die Vektordaten in die Rasterdaten integriert (MEYER 1996, unveröff.). Dieses Verfahren wird im Kapitel 4 vorgestellt.

3 Berechnung der USLE-Faktoren

3.1 Regenfaktor R

Die Erosivität der Niederschläge in Schleswig-Holstein wurde von NAUNIN (1990) untersucht. Es

standen 18 Stationen als Meßnetz zur Verfügung. Für das Untersuchungsgebiet wurde der R-Faktor von Lensahn verwendet. Hier wird mit 32.08 N/h ein für Schleswig-Holstein mittlerer Wert erreicht. Zur Ermittlung von Jahreswerten ist es notwendig, einen Zuschlag zu den von NAUNIN (1990) vorgestellten R-Faktoren zu errechnen (SAUERBORN 1994). Der Zuschlag ergibt sich aus dem prozentualen Verhältnis der Niederschlagssummen von März bis November zu der Jahressumme. Durch Addition dieses Zuschlags erreicht Lensahn einen (Jahres-) R-Faktor von 40.1 N/h.

3.2 Bodenerodierbarkeitsfaktor K

Hochaufgelöste Körnungsdaten, wie sie zur Berechnung des K-Faktors nach SCHWERTMANN & al. (1987) nötig sind, liegen für das Untersuchungsgebiet nicht vor. Als einzige Bodeninformationsquelle sind die Daten der Bodenschätzung (Grablochbeschriebe und Bodenschätzkarten) zugänglich und interpretierbar. Aus dem Klassenzeichen kann bereits vereinfacht der K-Faktor ermittelt werden, falls keine anderen Informationen vorliegen. Allerdings ist durch dieses Verfahren keine direkte Zuordnung von K-Faktoren für Grünlandstandorte möglich (SCHWERTMANN & al. 1987). Weiterhin bezieht sich das Klassenzeichen auf den gesamten Bodenkörper und nicht nur auf den erosionsrelevanten Oberboden.

Die Daten der Bodenschätzung wurden digital erfaßt und mit dem Programm REIBOTRA (REICHE 1991) in die Bezeichnungen der wissenschaftlichen Bodenkunde übersetzt. Ergebnis dieser Prozedur sind grabloch-, d.h. horizontbezogene, Bodenzustandsinformationen (z.B. Bodenart des Oberbodens), die, in die Fläche übertragen, zu einer Bodenformenkarte ausgewertet wurden. Die Übereinstimmung zwischen im Gelände vorgefundenen und nach diesem Verfahren abgeleiteten Bodenarten wurden von GÖBEL (1997) sowie REICHE & SCHLEUB (1992) bestätigt.

Mittels einer Regressionsanalyse wurde anhand eines laboranalytisch erhaltenen Bodendatensatzes repräsentativer Böden Ostholsteins ermittelt, mit welchen flächenhaft – durch die Bodenschätzung – vorliegenden Bodeneigenschaften der K-Faktor für Böden vereinfacht beschrieben werden kann (MEYER 1996, unveröff.). Der Anteil an Schluff [%] ist hierbei am besten geeignet:

$$K\text{-Wert} = 0.0272926 \cdot \text{Schluff} [\%]^{0.67933} \quad (2)$$

$$(r^2 = 0.88, n=100)$$

Mit der Gleichung 2 konnte der K-Faktor für den Gesamtbodendatensatz, d.h. auch für alle Grünlandstandorte des Untersuchungsgebietes berechnet wer-

den. Aus diesem Grund wurde der Berechnung mit Hilfe der Regressionsgleichung der Vorzug gegenüber der direkten Ableitung aus dem Klassenzeichen gegeben. Für die sog. Standardflächen, die bei der Bodenschätzung nicht erfaßt worden sind, können keine Angaben zur bodenbedingten Erosionsgefährdung gemacht werden. Dies sind die nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie z.B. Wälder, Siedlungen und Gewässer. Sie erhalten einen K-Faktor von 0. Für Moorböden kann ebenfalls keine Angabe gemacht werden, da kein Ton oder Schluff im Boden vorhanden ist. Dies trifft auf viele Grünlandstandorte zu. Der K-Wert der Moorböden wird auf 0.02 festgelegt, damit diese Flächen nicht völlig aus der Modellierung herausfallen.

3.3 Bedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C

Die Flächennutzungsinformationen für das Einzugsgebiet der Farver Au konnten der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung sowie den ATKIS-Daten entnommen werden. Für die Ackerflächen ist jedoch aus diesen Informationsquellen keine Fruchtfolge abzuleiten. Aus diesem Grund wird für alle Ackerflächen die Einhaltung einer typischen, den standörtlichen Bedingungen angepaßten Fruchtfolge zur Berechnung des C-Faktors vorausgesetzt. Für Ackerflächen mit einer Bodenzahl > 50 wird eine Fruchtfolge von W-Weizen – W-Gerste – Raps angenommen, bei Standorten mit einer Bodenzahl < 50 wird eine Fruchtfolge mit Roggen – W-Weizen – Ackergras (Kleegras) zugrundegelegt.

Zum Vergleich wird eine Hackfrucht in die Fruchtfolge integriert und als Nutzungsszenario (Variante B) modellhaft berechnet. Für Ackerflächen mit einer Bodenzahl > 50 wird W-Weizen – W-Gerste – Zuckerrüben berechnet, bei solchen mit einer Bodenzahl < 50 wird als zweite Fruchtfolge Roggen – W-Weizen – Mais angenommen. Als dritte Nutzungsvariante wird auf allen landwirtschaftlich genutzten Flächen von fehlender Bodenbedeckung ausgegangen (Schwarzbrache). Die dritte Nutzungsvariante kann Aufschluß darüber geben, auf welchen Flächen bei unangepaßter Nutzung durch die bestehende Relief-

und Bodensituation ein hohes Erosionsrisiko besteht. Die Tabelle 1 gibt über die C-Faktoren und die Verteilung der Fruchtfolgen einen Überblick. Grünlandnutzungen erhalten einen C-Faktor von 0.004 (in den Varianten A und B).

3.4 Topographiefaktor LS

Mit einem geeignetem Werkzeug (Computerprogramm) ist eine automatisierte Berechnung des LS-Faktors aus einem digitalen Geländemodell möglich. Dabei werden folgende DHM-Auswertungsroutinen benötigt:

- Expositionsbestimmung als Grundlage für die nachfolgende Kaskadierung,
- Ermittlung der Hangneigung zur Berechnung des S-Faktors,
- Raster- oder Flächenkaskadierung zur Bestimmung der Hanglänge,
- Ermittlung der Länge einer Kaskade zur Berechnung des L-Faktors.

Am Ökologie-Zentrum wurden diese Berechnungen mit dem Programm TOPNEW2 durchgeführt (MEYER & REICHE 1997, unveröff.).

Neben wechselnden Reliefbedingungen innerhalb eines Erosionshanges kann auch die Erdierbarkeit des Bodens (K-Faktor) oder die Bodennutzung (C-Faktor) wechseln. Hinsichtlich K und C heterogene Hänge können mit der Gleichung 3 berechnet werden (AUERSWALD & al. 1988). Die C- und K-Werte werden an das DHM angehängt und können nun zusammen mit den Reliefdaten eingelesen und verrechnet werden.

$$KLSC = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot K_i \cdot C_i \cdot \frac{l_i^{1+m}}{22.1^m} - S_i \cdot K_i \cdot C_i \cdot \frac{l_{i-1}^{1+m}}{22.1^m}) / l \quad (3)$$

- mit: K_i, C_i = K- bzw. C-Faktor des i-ten Teilstücks
 l_i = Hanglänge (m) bis zur Unterkante des i-ten Teilstücks
 S_i = Hangneigungsfaktor des i-ten Teilstücks
 m = Hanglängenexponent des Gesamthanges

Tab. 1
Übersicht über Fruchtfolgetypen und deren C-Faktoren.

Fruchtfolgetyp	Bodenzahl	C-Faktor	Nutzungsvariante
Weizen-Gerste-Raps	> 50	0.095	A
Weizen-Gerste-Zuckerrüben	> 50	0.154	B
Roggen-Weizen-Futterpflanzen	< 50	0.064	A
Roggen-Weizen-Mais	< 50	0.174	B
Schwarzbrache	alle Böden	1	C

Table 1
Overview of crop rotation types and their C-values.

3.5 Erosionsschutzfaktor P

Im Untersuchungsgebiet liegen keine schlagbezogenen Informationen über erosionsmindernde Maßnahmen vor. Deshalb wird bei der Modellierung der P-Faktor gleich 1 gesetzt.

4 Modellerweiterungen zur Berücksichtigung linienhafter abfluhemmender Landschaftselemente

Wie bereits erwähnt, reduzieren Knicks, Hecken, Strassen oder Gewässer die erosiven Hanglängen in der Landschaft, wenn sie durch ihre Art und Lage das hangabwärts fließende Wasser abbremsen oder ableiten und dadurch eine Sedimentation bewirken (SCHWERTMANN & al. 1987).

Die ABAG läßt zwar keine Abschätzung der Sedimentation zu, aber es gibt durchaus Versuche, dieses Manko zu beseitigen. HENSEL & BORK (1988) schätzten die Akkumulation mit Hilfe der Differenzbildung der einzelnen Hangsegmente. Weiterhin arbeiteten AUERSWALD (1989) und NEUFANG & al. (1989) mit dem Sedimenteintragsverhältnis SDR, wodurch der Sedimenteintrag in ein Gewässer in Abhängigkeit von seiner Einzugsgebietsgröße abschätzt werden kann, um zu Prognosekarten der Gewässerverschmutzung zu gelangen.

Der vorliegende Ansatz kennzeichnet sich dadurch, daß der »potentielle Sedimenteintrag« berechnet wird, indem bilanziert wird, wieviel Bodenabtrag auf dem Hang bis zu einer Erosionsbarriere, z.B. einem Vorfluter, zu verzeichnen ist.

Die technische Realisierung der Berücksichtigung von linienhaften Strukturelementen erfolgt durch die Verknüpfung bzw. Zusammenführung von Vektor- und Rasterinformationen in dem Programmpaket DILAMO (REICHE & al. i. d. Bd.). Hierfür werden die Rasterdaten (Höhendaten) mit den vorliegenden Vektordaten (Boden-, Topographie- und Nutzungsinformationen) mit Hilfe eines GIS verschnitten. Dadurch erhält jeder Punkt des DHM die Information in wel-

chem Polygon er liegt. Wird nun bei der Rasterkaskadierung festgestellt, daß sich die Polygonnummer innerhalb eines Hanges verändert, wird überprüft, ob die Trennlinie (Arc) eine Abflußbarriere oder einen Vorfluter darstellt. Liegt eine Abflußbarriere vor, erfolgt eine separate Erosionsberechnung für zwei Teilhänge (oberhalb und unterhalb der Barriere). Rasterflächen, die an einen Vorfluter grenzen, erhalten eine besondere Codierung, so daß bei der Auswertung dieser Sachverhalt Berücksichtigung finden können.

Mit Hilfe des Programms TOPNEWP2 wird anschließend der Bodenabtrag auf der Grundlage der für komplexe Hänge modifizierten Bodenabtragsgleichung (AUERSWALD & al. 1988) pixelweise berechnet. Entlang eines Hanges werden die jeweiligen Abtragswerte zur Sedimentfracht summiert. Sobald ein Erosionshang an einer Abflußbarriere endet, wird angenommen, daß das Bodenmaterial vollständig sedimentiert. Endet der Hang an einem Vorfluter wird die abgetragene Bodenmenge als Sedimenteintrag dem entsprechenden Gewässerabschnitt zugeordnet. Entlang eines Vorfluterstranges werden alle potentiellen Bodeneinträge summiert und können anschließend zur einer Gewässerbelastungskarte verarbeitet werden (Abb. 2).

5 Ergebnisse

Vergleicht man die Resultate der Erosionsmodellierung mit und ohne Barriereberücksichtigung, so unterscheiden sich die durchschnittlichen Hanglängen erheblich: 205 Meter ohne Barrieren, 110 Meter mit Barrieren. Diese Diskrepanz belegt, daß zu einer genaueren Berechnung der Bodenabträge die abfluhemmenden Landschaftselemente einbezogen werden sollten. Im Gebiet der Farver Au wurde die Bodenerosion für eine Fläche von insgesamt 2602 ha berechnet. Der Großteil der berechneten Bodenabträge findet auf Ackerflächen statt (99 %). Die Abbildung 1 zeigt die räumliche Ausprägung der Bodenerosion durch Wasser im Einzugsgebiet für die drei Nutzungsvarianten. Die Gesamterosion ist in der Tabelle 2 für die drei Berechnungsvarianten charakteri-

Tab. 2

Berechnete Erosion.

Berechnungsbasis	Erosion in t pro Jahr	Erosion in t pro ha
3 jährige Fruchtfolge: Weizen, W.-Gerste, Raps bzw. Getreide, Grünfütter		
Variante A	1773	0,68
Fruchtfolge mit Getreide und Mais oder Zuckerrüben als Hackfrucht		
Variante B	3043	1,17
ohne Bodenbedeckung		
Variante C	21757	8,36

Table 2

Computed erosion.

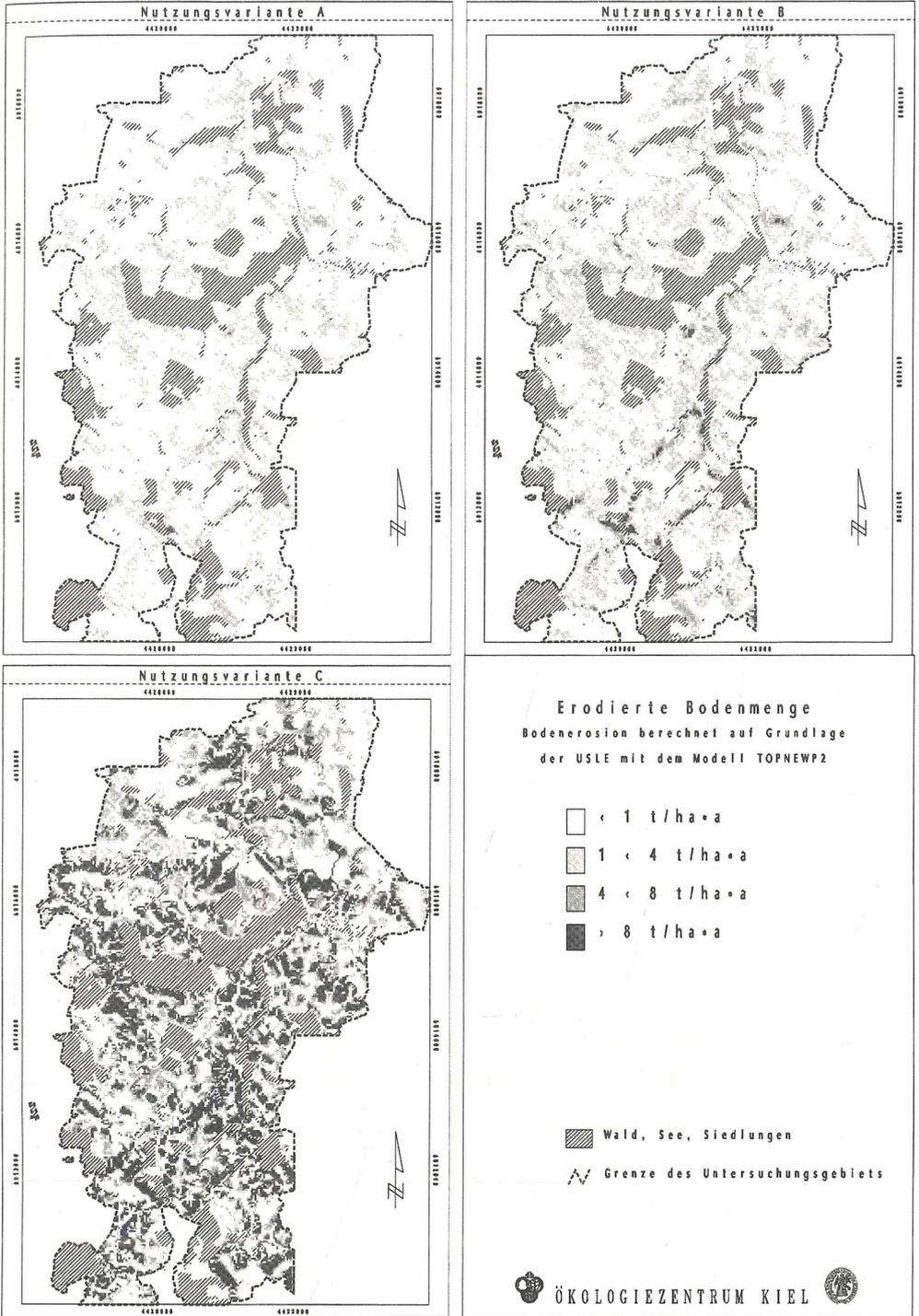


Abb. 1 Karte der berechneten Bodenerosion für drei Nutzungsvarianten.

Fig. 1 Map of computed erosion for three landuse scenarios.

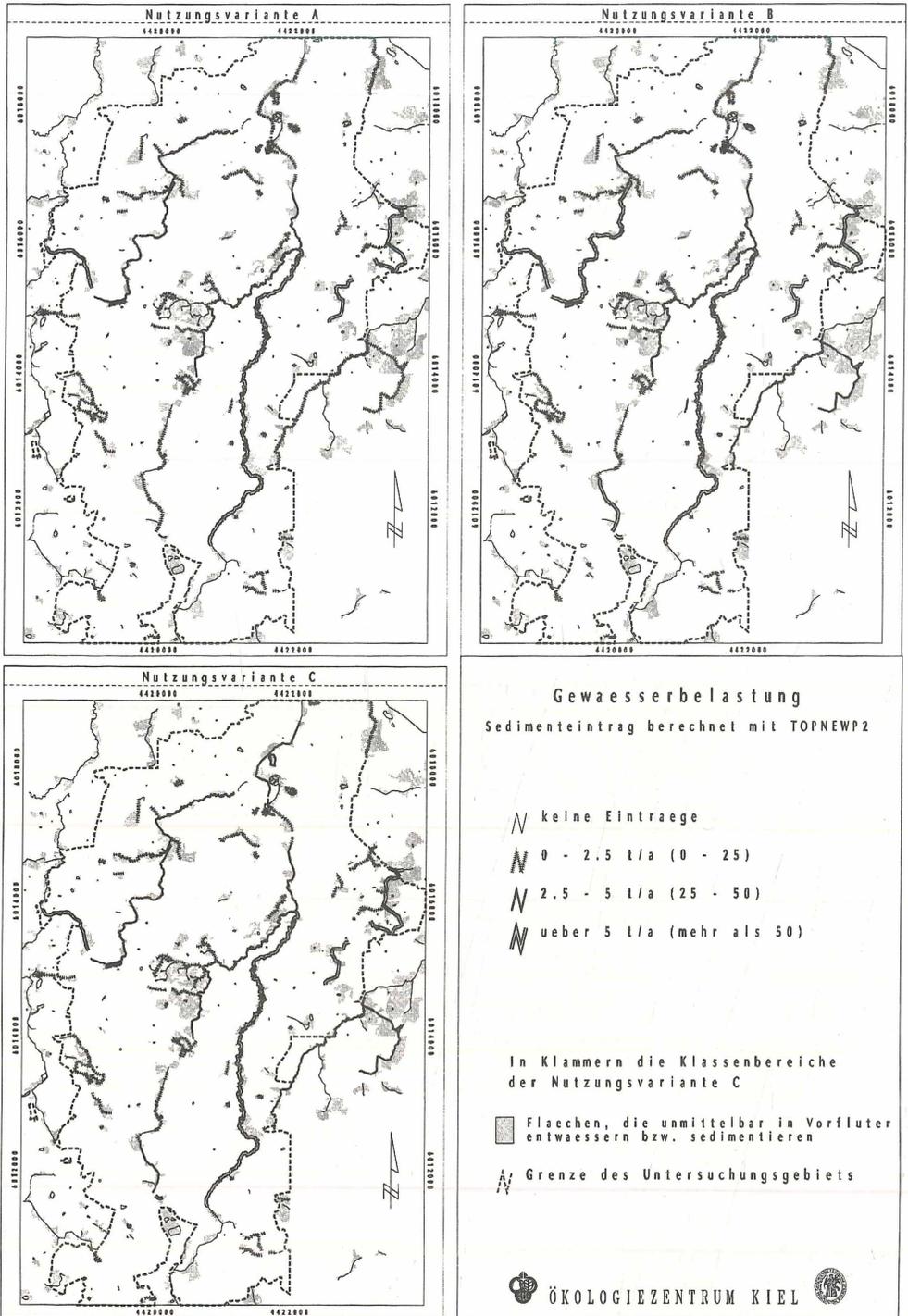


Abb. 2
Karte der Gewässerbelastung durch erodiertes Bodenmaterial für drei Nutzungsvarianten.

Fig. 2
Map of the waterpollution by eroded soil matter for three landuse scenarios.

siert. Es zeigt sich deutlich der Einfluß der Hackfrüchte (Variante B) im Vergleich zu der Nutzungsvariante A (ohne Hackfrüchte). Darüber hinaus wird auch deutlich, zu welch enormen Anteil die Vegetation, selbst in einer Agrarlandschaft, zur Reduzierung der Bodenerosion beiträgt.

Ein Vorteil des hier angewendeten Verfahrens zur Erosionsberechnung liegt darin, daß Raster-, Polygon- und Linieninformationen in Kombination ausgewertet werden. Damit ist neben der Einbeziehung von linienhaften Elementen, die sich durch eine abflußhemmende Wirkung auszeichnen, auch eine Bilanzierung des Erosionsanteils möglich, welcher als Sedimentfracht in Gewässer gelangt. In der Abbildung 2 werden die einzelnen Vorfluterabschnitte entsprechend der für sie berechneten Sedimenteinträge abgestuft dargestellt. Darüber hinaus sind die unmittelbar an die Gewässerränder angrenzenden Hänge gekennzeichnet, von denen der Sedimenteintrag ausgeht. Insgesamt gelangen – bei den getroffenen Annahmen – zwischen 4 und 5 % des Bodenabtrags in die Gewässer (Teiche, Bäche, Gräben und Flüsse) des Untersuchungsgebietes. Die Korrektheit der Annahmen und die Qualität der Aussagen muß allerdings noch im Gelände überprüft werden. Weiterhin ist die Modellrechnung in hohem Maße von der Güte der Ausgangsdaten abhängig. Durch die Verwendung von amtlichen Grundgeometrien ist hier zumindest eine einheitliche Datengrundlage geschaffen, die die Vergleichbarkeit von Modellierungsergebnissen erleichtert.

Das Land Schleswig-Holstein bemüht sich, auf der Grundlage der vorliegenden Berechnungen Teilflächen mit besonders hoher Eintragsgefährdung für nahegelegene Gewässer Nutzungsänderungen zu erwirken.

6 Zusammenfassung

Im Ökologie-Zentrum der Universität Kiel wurde die ABAG in ein Verfahren eingebunden, mit dessen Hilfe eine einzugsgebietsbezogene Abschätzung der Bodenerosion möglich ist. Diese Methode berücksichtigt die Wirkung von linienhaften Landschaftselementen und ist an flächendeckend verfügbare Eingangsdaten angepaßt. Am Beispiel des Einzugsgebietes der Farver Au wird die Einsatzfähigkeit des Verfahrens getestet. Folgende Ausgangsdaten wurden digitalisiert bzw. weiterverarbeitet:

ATKIS-Geometrien (digital vorliegend),
 Biotop- und Nutzungstypenkartierung (analog vorliegend),
 Bodendaten der Reichsbodenschätzung (analog vorliegend),
 Digitales Höhenmodell (digital vorliegend).

Durch kombinierte Auswertung von Raster- und Vektor- bzw. Polygonkarten ist es möglich, die erosi-

onshemmende Wirkung von linienhaften Landschaftselementen wie Hecken oder Knick zu berücksichtigen. Weiterhin wird ein Verfahren zur Abschätzung der potentiellen Sedimenteinträge in die Gewässer durch die Bodenerosion vorgeschlagen. Die Kennzeichnung von gewässernahen Flächen, die vermutlich für einen wesentlichen Teil des sedimentbedingten Stoffeintrag verantwortlich sind, kann bei der konkreten Umweltplanung genutzt werden.

Danksagung

Die vorliegende Untersuchung wurde vom Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein ermöglicht. Die topographischen Datengrundlagen stellte das Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein zur Verfügung. Das Finanzamt Oldenburg (i. Holst.) hat die Originaldaten der Reichsbodenschätzung bereitgestellt. Das Modellsystem wurde im Rahmen des durch das BMBF geförderte Projekt »Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette« entwickelt.

Literatur

- AUERSWALD, K., 1989: Prognose des P-Eintrags durch Bodenerosion in die Oberflächengewässer der BRD. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft.* 59/II, S. 661–664.
- AUERSWALD, K., FLACKE, W. & L. NEUFANG, 1988: Räumlich differenzierte Berechnung großmaßstäblicher Erosionsprognosekarten. – *Modellgrundlagen der dABAG. – Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 151, S. 369–373.
- FLACKE, W., AUERSWALD, K. & L. NEUFANG, 1990: Combining a modified universal soil loss equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash. – *Catena* 17, S. 383–397.
- GÖBEL, B., 1997: Messung und Modellierung des flächenhaften Wasser- und Stofftransports aus landwirtschaftlich genutzten Flächen auf zwei Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung der Bereitstellung bodenkundlicher Daten für die Modellrechnung. – *EcoSys Beiträge zur Ökosystemforschung Suppl.* Bd 19, 135 S.
- MEYER, M., 1996: Erprobung und Anwendung von Methoden zur einzugsgebietsbezogenen Modellierung der Phosphatdynamik terrestrischer Ökosysteme. Diplomarbeit, Kiel.
- MEYER, M. & REICHE, E.-W., 1997: Dokumentation zum Modell TOPNEW2. Kiel.
- NAUNIN, R., 1990: Die Starkregen in Schleswig-Holstein. Diplomarbeit, Kiel.
- NEUFANG, L., AUERSWALD, K., & W. FLACKE,

- 1989: Automatisierte Erosionsprognose- und Gewässerverschmutzungskarten mit Hilfe der dA-BAG – ein Beitrag zur standortgerechten Bodennutzung. – Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 7, S. 771–789.
- REICHE, E.-W., 1991: Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffdynamik in Böden. – Kieler Geographische Schriften 79.
- REICHE, E.-W., MEYER, M. & I. DIBBERN, in diesem Band: Integration von Methoden zur digitalen Landschaftsanalyse und Ökosystemmodellierung. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie.
- REICHE, E.-W. & U. SCHLEUB, 1992: Untersuchungen zur Aussagegenauigkeit von Daten der Bodenschätzung anhand der Ergebnisse einer aktuell durchgeführten Bodenkartierung mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS). – Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 67, S. 249–252.
- SAUERBORN, P., 1994: Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. – Bonner Bodenkundliche Abhandlungen 13.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ, 1987: Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer, Stuttgart.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH, 1965: Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky-Mountains. – Agriculture Handbook 282.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH, 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. – Agriculture Handbook 537.

Adresse

Martin Meyer
 Dr. Ernst-Walter Reiche
 Dr. Uwe Heinrich
 Ökologie-Zentrum der Universität Kiel
 Schauenburger Straße 112
 24118 Kiel

Dr. Marek Filipinski
 Landesamt für Natur und Umwelt
 Hamburger Chaussee 25
 24220 Flintbek

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Reiche Ernst-Walter, Meyer Martin, Heinrich Uwe, Filipinski Marek

Artikel/Article: [Einzugsgebietsbezogene Erosionsmodellierung und Erstellung von Gewässerbelastungskarten 91-98](#)