

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 40 (1999)
Heft: 3

Artikel: Bodenerosions- und Stoffhaushaltsmodellierung in der Nordwestschweiz in verschiedenen Dimensionen
Autor: Meier-Zielinski, Stefan
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088516>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bodenerosions- und Stoffhaushaltsmodellierung in der Nordwestschweiz in verschiedenen Dimensionen

Stefan Meier-Zielinski

Zusammenfassung

In der Bodenerosions- und Stoffhaushaltsmodellierung hat sich am Geographischen Institut der Universität Basel in den letzten Jahren ein Wandel in den Forschungsschwerpunkten vollzogen. Neben den weiterhin zahlreichen Untersuchungen im Feld werden vermehrt physikalisch-mathematische sowie auch einfache GIS- (Geographische Informationssysteme) gestützte, empirisch-statistische Modelle zur Beschreibung des Erosions- und des damit verbundenen Stoffhaushaltsgeschehens in den langjährigen Untersuchungsgebieten im Tafeljura und der Hochrheinebene angewendet. Damit werden vor allem die Fliesswege, Reichweiten und Übertrittstellen der Feststoffe in den Agrarökosystemen genauer nachvollzogen, um gezieltere Schutzmassnahmen einleiten zu können. In den unterschiedlichen Skalen kommen dabei verschiedene Modelle zum Einsatz. Modellanwendungen in drei unterschiedlichen Dimensionen und erste Ergebnisse der Simulationen werden vorgestellt.

Adresse des Autors: Stefan Meier-Zielinski, Geographisches Institut der Universität Basel, Abteilung Physiogeographie und Landschaftsökologie, Spalenring 145, CH-4055 Basel

1 Einleitung

1.1 Bodenerosions- und Stoffhaushaltsmodellierung am Geographischen Institut der Universität Basel

In der Forschungsgruppe Bodenerosion unter der Leitung von Prof. H. Leser wird seit 1975 geoökologische Forschung nach den Prinzipien der Landschaftsökologie betrieben.

Schwerpunkte liegen in der Beschreibung der Haushaltsbeziehungen in Landschaftsökosystemen als Mittel zur Raumbewertung sowie in der Messung der Bodenerosion und den damit verbundenen Stoffumlagerungen (vgl. *Prasuhn* 1991). Im Laufe der Jahre haben sich die Forschungsansätze und das Methodenspektrum ständig weiterentwickelt. Neben den, nach dem ganzheitlichen Ansatz betriebenen, konzeptionellen und messtechnischen Methoden, wie Kartierungen von Erosionsschäden, Abtragsmessungen auf Testparzellen und der Erfassung von Stoffumsätzen auf den Ackerschlägen durch flexible Sedimentfangkästen, kommen heute vermehrt digitale Modellansätze zur Beschreibung des Sediment- und Stoffhaushaltgeschehens in agrarisch genutzten Einzugsgebieten zum Einsatz (*Dräyer* 1996, *Meier-Zielinski* 1997).

Das Messkonzept der Forschungsgruppe Bodenerosion baut auf einem mehrstufigen Prinzip auf:

1. Die punktuelle Erfassung des Erosionsgeschehens in kleinen, in sich homogenen Einheiten auf Testparzellen und Einzelhängen (topische Dimension).
2. Das Erfassen von Sediment- und Stoffausträgen an den Vorflutern der Einzugsgebiete (chorische Dimension).

Für diese unterschiedlichen Skalen kommen vermehrt mathematisch-physikalische wie auch statistisch-empirische Erosions- und Stoffhaushaltsmodelle zum Einsatz. Für die Kalibrierung und Validierung dieser Modelle wie auch für die Entwicklung neuer Modellansätze kommt den langjährigen Messdatenreihen (über 20 Jahre) eine besondere Bedeutung zu.

1.2 Modelle und Modellbildung in der Bodenerosionsforschung

Bodenerosion ist seit langem ein bekanntes, schleichendes Umweltproblem, so dass eine Vielzahl von Modellansätzen in den letzten Jahrzehnten entwickelt wurde, um der Praxis Instrumente in die Hand zu geben, Erosionsschutzmassnahmen an den richtigen Stellen zum richtigen Zeitpunkt mit einer grösstmöglichen Schutzwirkung zu planen.

Aus diesem Grund darf man nicht beim punktuellen Prozess des Bodenabtrages stehenbleiben, sondern muss Modelle entwickeln, welche die punkthaften Abträge auf grosse Gebiete übertragen können, um die räumlichen und zeitlichen Reichweiten der geoökologischen Prozesse ermitteln zu können. In den letzten Jahrzehnten

Tab. 1 Häufig verwendete Erosionsmodelle.

Bezeichnung	räumlicher Bezug	zeitlicher Bezug
USLE	Hang	Jahr (langj. Mittel)
CREAMS	Hang	Einzelereignis
OPUS	Hang	Einzelereignis
ANSWERS	Einzugsgebiet	Einzelereignis
EPIC	Hang	Langfristsimulationen
WEPP	Hang, Einzugsgebiet	Einzelereignis Langfristsimulationen
EUROSEM	Einzugsgebiet	Einzelereignis
EROSION 2D/3D	Hang, Einzugsgebiet	Einzelereignis

wurde eine Fülle von Erosionsmodellen entwickelt und auf ihre Wirksamkeit hin untersucht. Tab. 1 zeigt eine Auswahl häufig verwendeter Modelle und ihren räumlichen sowie zeitlichen Bezug.

Es besteht jedoch für viele der Modelle ein Mangel an Daten zur Überprüfung, und es zeigt sich immer wieder, dass der Aufwand zur Anpassung der Modelle an andere naturräumliche Ausstattungen als diejenigen, in denen die Modelle entwickelt wurden, sehr hoch ist.

Weiter nimmt die Modellkomplexität bei den physikalisch-mathematischen Modellen immer mehr zu, ohne dass dadurch die Modellergebnisse zwangsläufig besser werden. Die Tendenzen gehen dahin, mit zunehmendem Verständnis der hydrologischen und stofflichen Prozesse immer komplexere Modelle zu entwickeln, um realitätsnäher die Schwebstoff- und Nährstoffausträge aus agrarisch genutzten Einzugsgebieten zu simulieren (*Grunwald 1997*). Physikalisch basierte Modelle haben den Vorteil, dass sie weitgehend uneingeschränkt auf andere Gebiete übertragen werden können. Allerdings benötigen sie eine hohe Zahl an Eingabeparametern, deren Herleitung oft nicht möglich ist, so dass hier wiederum Schätzverfahren eingesetzt werden müssen, welche oft nichts mit den realen Verhältnissen im Feld zu tun haben. Deswegen kommen nach wie vor empirisch-statistische Modelle zum Einsatz, deren bekanntestes und am weitesten verbreitetes Modell immer noch die von *Wischmeier & Smith (1978)* entwickelte Universal Soil Loss Equation (USLE) ist. Probleme bereitet hierbei jedoch die schon erwähnte Übertragbarkeit auf andere Gebiete (*Wischmeier 1984*).

Die Trends bei der heutigen Bodenerosionsmodellierung gehen in folgende Richtungen:

- Entwickeln beziehungsweise Weiterentwickeln bestehender Modelle durch den Einbezug möglichst vieler Parameter, um eine möglichst naturnahe Simulation zu ermöglichen. Dazu gehört auch der Einbezug einer steigenden Zahl von Wechselwirkungen im Geoökosystem.
- Die heute fortgeschrittenen GIS-Techniken ermöglichen neben der Handhabung der räumlichen Eingabedaten für die mathematisch-physikalischen Modelle auch den Einbezug von empirisch ermittelten Systemzusammenhängen mit verschiedenen Reliefanalyse- und Hydrotools, die das Erosionsgeschehen auf der Ackerparzelle und den Gebietsaustrag über den Vorfluter nachvollziehen.

In der Forschungsgruppe Bodenerosion werden bezüglich Modellierung momentan zwei Stossrichtungen parallel verfolgt:

- zum einen die Anpassung und Überprüfung bestehender Erosions- und Stoffhaushaltsmodelle für heimische Verhältnisse auf Grundlage der langjährigen Messdaten,
- zum anderen die Entwicklung eigener, einfacher, GIS-gestützter Ansätze auf statistisch-empirischer Basis zur Erklärung des Gebietsverhaltens in Abhängigkeit von der naturräumlichen Ausstattung und vom Witterungsgeschehens.

2 Methoden

2.1 Modellbildung in verschiedenen Dimensionen

Das Skalenniveau spielt in der Modellbildung eine entscheidende Rolle, da unterschiedliche Parameter bzw. Prozesse ein Skalenniveau dominieren oder auch andere Prozesse überdecken (Grunwald 1997). Je nach Dimension haben die einzelnen verwendeten Modelle Überlappungsbereiche, jedoch dürfen viele der bestehenden Erosionsmodelle im strengen Sinne nur im entwickelten Massstab und für die betreffende Fragestellung angewendet werden. Die von diesen Modellen berechneten Ergebnisse unterscheiden sich untereinander z.T. stark und weichen von der Prozessrealität in der kleinräumigen schweizerischen Kulturlandschaft stark ab. Vielen Modellanwendungen haftet das Manko an, dass sie infolge fehlender Felddatenreihen nicht kalibriert und validiert werden können. Ergebnisse solcher

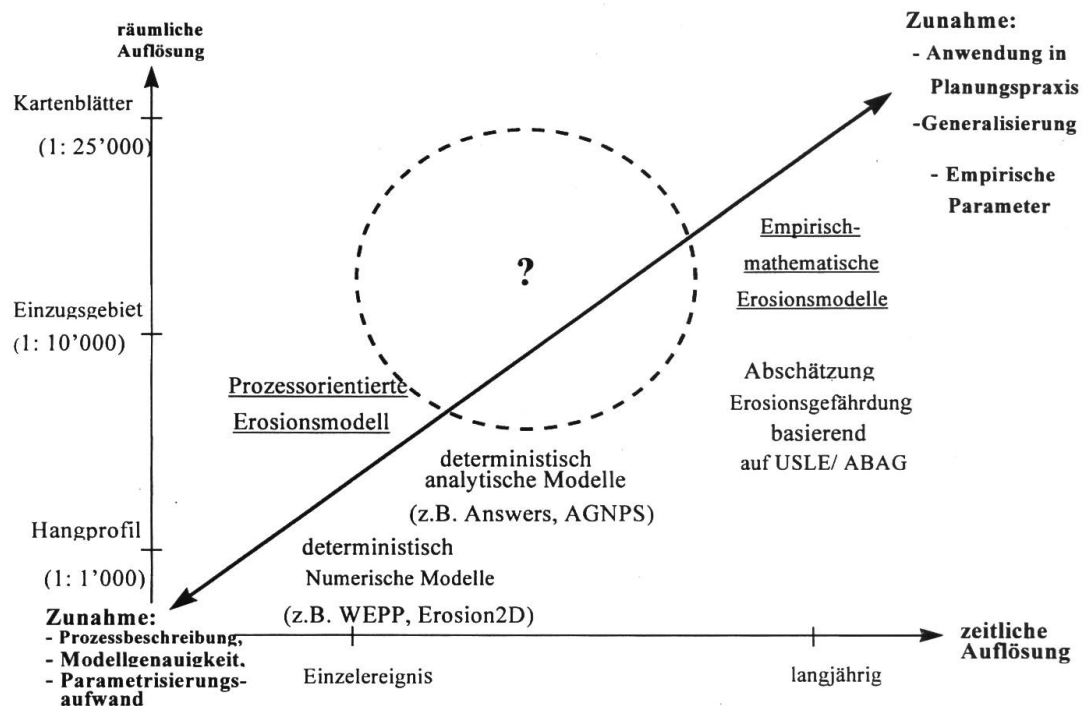


Abb. 1 Anwendungs- und Geltungsbereiche bestehender Erosionsmodelle.

Anwendungen müssen skeptisch betrachtet werden. Abb. 1 gibt einen Überblick über die heute häufig verwendeten Modelle und stellt diese in Beziehung zu zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie deren Komplexitätsgrad dar.

Auf der USLE basierende Modelle (langjährige Mittel, geringe räumliche Auflösung, wenig Eingangsparameter, praxisbezogen) werden den prozessorientierten, deterministischen Modellen (hohe zeitliche und räumliche Auflösung, hoher Parametrisierungsaufwand, forschungsbezogen) gegenübergestellt. Ausgereifte Methodiken und Modelle für den Anwendungsbereich dazwischen fehlen zur Zeit noch.

2.2 Anpassung und Kalibrierung des EPIC-Modells in topischer Dimension

Für die landwirtschaftliche Praxis von besonderem Interesse ist die Produktivität und Bodenfruchtbarkeit in Abhängigkeit von Frucht, Düngung und den Risikofaktoren Erosion und Stoffauswaschung. In der agronomischen Forschung werden seit längerem ökonomische Modelle für diese Fragestellungen eingesetzt, jedoch fehlt es in den meisten Fällen an realen Felddaten zu Erosionsraten und Stoffauswaschung, um die Modelle zu kalibrieren. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Agronomie der ETH Zürich wurde deshalb der Versuch gestartet, ein bodenphysikalisches Erosionsmodell mit einem ökonomischen Modell zu koppeln (*Schmid et al. 1997*).

Das Modell EPIC (*Sharpley & Williams 1990*) kann sowohl für Gefährdungsabschätzungen der landwirtschaftlichen Produktivität als auch als Inputparameter für ökonomische Modelle verwendet werden. Das unter amerikanischen Verhältnissen entwickelte Erosions- und Stoffhaushaltsmodell wurde erstmals von *Maurer (1995)* für Schweizer Verhältnisse adaptiert und wird jetzt für zwei unterschiedliche Standorte in der Schweiz (Baldeggerseeinzugsgebiet im Mittelland und Länenbachtal im Tafeljura) für eine Vielzahl von Frucht- und Bearbeitungsvarianten in der topischen Dimension kalibriert, um dann die vom Modell gelieferten Erosions- und Stoffauswaschungsraten als Inputparameter für ein ökonomisches Modell einsetzen zu können.

Ausgehend von einer homogenen Fläche von 1 ha müssen im Modell Parameter für den Bodentyp, die Bearbeitungsvarianten und pflanzenphysiologische Parameter definiert werden. Ein unabhängiger Wettergenerator sorgt für die Wettereingabedaten.

Für die vorliegenden Fragestellungen wurden drei unterschiedliche Witterungssituationen simuliert: Ein im jahrelangen Durchschnitt trockenes (wenig erosives), ein normales und ein nasses (stark erosives) Jahr. Dadurch können auch die Auswirkungen künftiger Klimaänderungen (z.B. Erhöhung der Niederschläge im Winterhalbjahr) abgeschätzt werden. In Tabelle 2 sind die simulierten Bearbeitungs- und Witterungssituationen dargestellt.

Tab. 2 Mit dem Modell EPIC simulierte Frucht-, Düngungs-, Wetter- und Bearbeitungsvarianten.

Frucht	Düngungsart	Bearbeitung	Zwischenfrucht ja/nein	Wetter
Mais	Organisch/	Normal	ja	Trocken
	Mineralisch	Minimal		Normal
Hafer	Organisch/	Normal	ja	Nass
	Mineralisch	Minimal		Trocken
Weizen	Organisch/	Normal	nein	Normal
	Mineralisch			Nass
Gerste	Organisch/	Normal	nein	Trocken
	Mineralisch			Normal
Kartoffel	Organisch/	Normal	nein	Nass
	Mineralisch			Trocken
Kunstwiese 1 Jahr	Organisch	Normal	nein	Normal
	Mineralisch			Nass
Kunstwiese 2 Jahre	Organisch/	Normal	nein	Trocken
	Mineralisch			Normal
				Nass

2.3 GIS-gestützte Parametrisierung von EROSION 3D in chorischer Dimension

Das Modell EROSION 2D/3D (*Schmidt* 1996) wurde als Planungs- und Beratungsinstrument für die landwirtschaftliche Praxis entwickelt.

Nach der Kalibrierung von EROSION 2D anhand der Abtragsdaten der langjährigen Abtragsmessungen auf den Erosionstestparzellen wurde das Einzugsgebiet des Riedmattbachtals (45 ha) mit EROSION 3D simuliert. Ziel der Modellierung ist, den Landnutzungswandel der letzten 10-15 Jahre (von überwiegend Getreide-/Maisanbau zu Grünlandwirtschaft) mit dem Modell nachzuvollziehen und anhand der Austragsmessungen für Starkniederschlagsereignisse zu kalibrieren. Damit soll die Eignung des Modells als Prognoseinstrument für landwirtschaftliche Nutzungsalternativen überprüft werden. Die langjährigen Feldmessungen erweisen sich hierbei als ausserordentlich wichtig für die Kalibrierung und Validierung des Modells. Das Modell ist mit einem Preprozessor ausgestattet, mit dessen Hilfe sich die räumlichen Daten für das Einzugsgebiet (Landnutzung, Boden) aus einem Geographischen Informationssystem (GIS) heraus einlesen lassen. Die Eingabeparameter sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3 Eingabeparameter für EROSION 3D.

Geoökofaktor	Parameter
Relief	Digitales Höhenmodell (Rasterwerte)
Boden	Lagerungsdichte, C org, Erosionswiderstand, Rauhigkeitsbeiwert, Bedeckungsgrad (Vegetation, Steine), Korngrößenverteilung für 9 Klassen, Korrekturfaktor für hydraulische Leitfähigkeit
Niederschlag	Niederschlagsdauer, Niederschlagsintensität

Die Erzeugung der Bodeninputparameter für die Modellsimulationen erfolgt, indem den einzelnen Rasterelementen der Landnutzungskarte im GIS, entsprechend der Wachstumsphase der Feldfrüchte, verschiedene nutzungsabhängige Bodenparameter (z.B. Bodenerosionswiderstand, Infiltrationseigenschaften) für die schweizerischen Agrarverhältnisse zugeordnet werden.

2.4 Einfache GIS-gestützte Modellansätze für die chorische bis regionische Dimension

Folgendes Vorgehen wurde für die Entwicklung eines einfachen GIS-gestützten empirisch-statistischen Modells gewählt (*Meier-Zielinski & Rolli 1998*).

Detaillierte Relieffanalyse:

- Berechnen der Fliesspfade des Oberflächenabflusses,
- Bestimmen der potentiellen Übertrittstellen von Sediment unter Einbezug der Landnutzung und des Wegenetzes,
- Einbezug der Ackernutzungsintensität,
- Modellierung der Bodenfeuchte im Jahresgang,
- Anbindung an den Vorfluter,
- Retentionspotential von Uferstreifen integrieren.

Die Auswahl gründet sich auf folgenden Aussagen, die in verschiedenen Publikationen der Forschungsgruppe dargestellt sind:

- Ein Grossteil (über 80 %) der Gebietsausträge über dem Vorfluter finden bei Extremereignissen statt (*Schaub 1999*).
- Dabei sind nur einzelne Flächen für den Stoffaustrag verantwortlich.
- Diese stoffliefernden (beitragenden) Flächen sind je nach Witterung, Bodenzustand, Landnutzung und Jahreszeit unterschiedlich räumlich aggregiert.
- Durch lineare Erosion werden lange Umlagerungsstrecken erreicht, die je nach Beschaffenheit der Fliesspfade bis zum Vorfluter reichen können.
- In den tonreichen Gebieten des Schweizer Tafeljura spielt die Auswaschung über das Drainageleitungsnetz eine grosse Rolle (*Meier-Zielinski 1997*).
- Modellansätze aus grossparzellierten Gebieten (z.B. USA) sind schwierig auf die Nordwestschweiz anwendbar, da z.B. mehr Flurelemente und ein dichteres Wege- und Kanalisationsnetz vorhanden sind.

3 Ergebnisse

3.1 Verlauf der Erosionsrate der EPIC-Simulationen in Abhängigkeit von Feldfrucht, Witterung und Düngung

In Abbildung 2 ist der Verlauf der Erosionsraten in Abhängigkeit von Witterungssituation, Düngereinput und Nitratpool im Boden unter Weizen dargestellt. Düngestufe 5 entspricht der Normaldüngung der Düngerichtlinien, Stufe 1 einer Nulldüngung. Generell zeigt sich, dass der Einfluss der Düngermenge über eine Ertragssteigerung vor allem zum Beginn der Wachstumsperiode auch die Erosionsraten mindert. Der Einfluss der Witterung wird gut sichtbar. Bei nasser Witterung liegt die höchste Erosionsrate bei ca. 8 t/ha * a, während ein trockenes Jahr nur zu etwa 2 t/ha * a Erosionsmaterial führt. Der Kurvenverlauf in Abb. 2c zeigt, dass durch die feuchte Witterung die Erosionsrate mit zunehmender Düngung etwas schneller fällt als bei den anderen Witterungssituationen. Die Ergebnisse der langjährigen Felddatenerfassungen in verschiedenen Teilen der Schweiz (zusammengefasst in *Schaub & Prasuhn* 1996) wurden zur Überprüfung der simulierten jährlichen Erosionsraten herangezogen.

Die von EPIC berechneten Erosions- und Auswaschungsraten wurden in ersten Testläufen als Eingabeparameter für das in Kap 2.2 erwähnte agrarökonomische Modell verwendet (*Schaub, Meier-Zielinski & Goetz* 1998).

3.2 Extremniederschlagsereignis simuliert mit EROSION 3D

In einem ersten Schritt wurde das Modell EROSION 3D für das Extremniederschlagsereignis vom 15.06.1987 mit einer Gesamtniederschlagsmenge von 52 mm simuliert und anhand der Felddaten kalibriert. Das Schadensbild der Simulation zeigt eine sehr hohe Übereinstimmung mit den im Feld kartierten Schadensbereichen. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse des Simulationslaufes in Beziehung zu den tatsächlich im Feld gemessenen Werten gestellt.

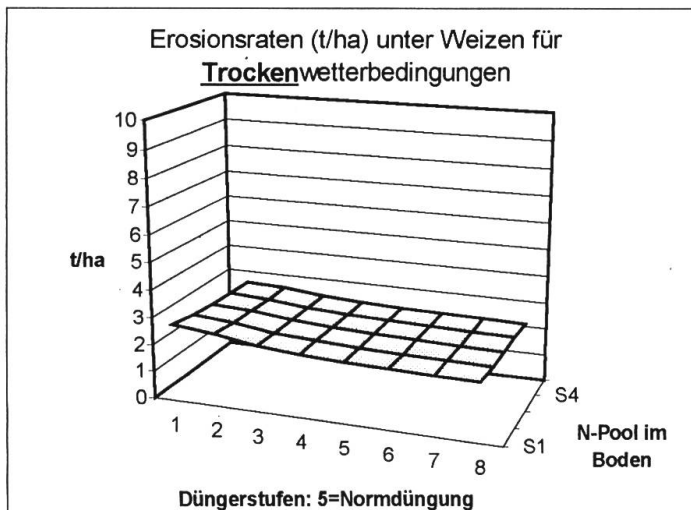
Nach der Kalibration, durch das Anpassen der Infiltrationsrate des Bodens, konnte das Abflussverhalten mit einer hohen Übereinstimmung nachvollzogen werden. Die gemessene Abflussmenge weicht bei einer prozentualen Abflussmenge von 1.8 % vom Gesamtniederschlag nur um 17 % vom gemessenen Wert ab. Bei der Nettoerosion ergibt sich eine etwas grössere Abweichung, da hier die Kalibration, vor allem des bodenbedingten Erosionswiderstandes sehr viel schwieriger ist.

Tab. 4 Vergleich der gemessenen und simulierten Werte für das Niederschlagsereignis vom 15.6.1987 an der Pegelmessstelle P 30 (s. Abb. 4).

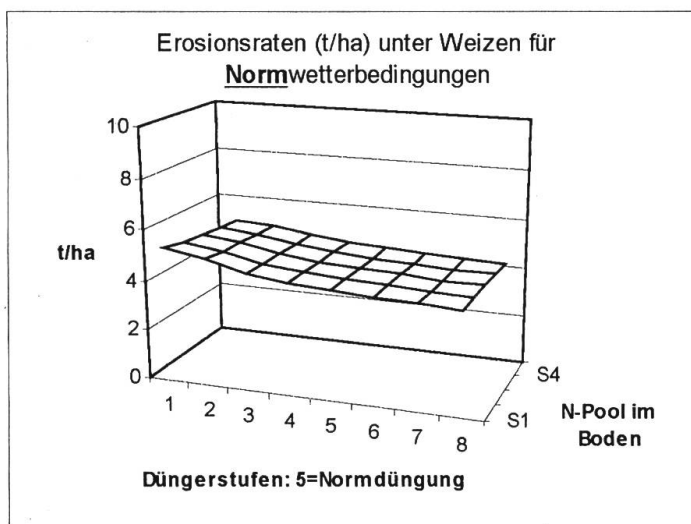
15.06.1987	Gemessene Werte	Simulierte Werte	Fehler
Abfluss in % vom NN	1.82	2.21	17.60 %
Sediment in t/ha	0.09	0.157	42.60 %

Abb. 2
 Verlauf der Erosionsraten unter Weizen in Abhängigkeit von Witterung und Düngereinput.

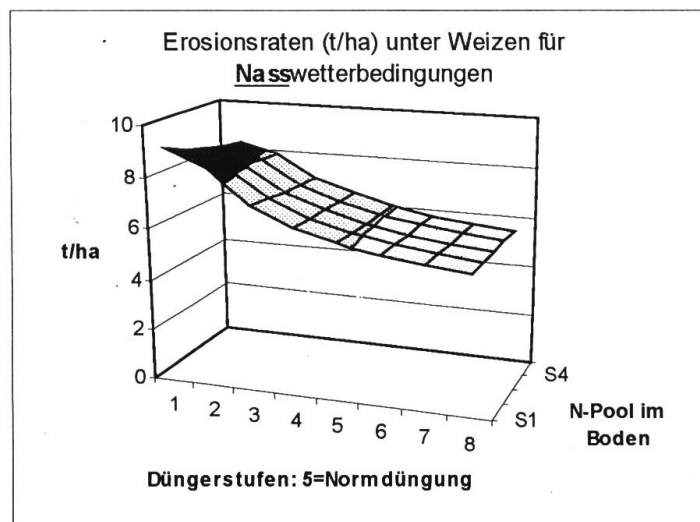
2 a)



2 b)



2 c)



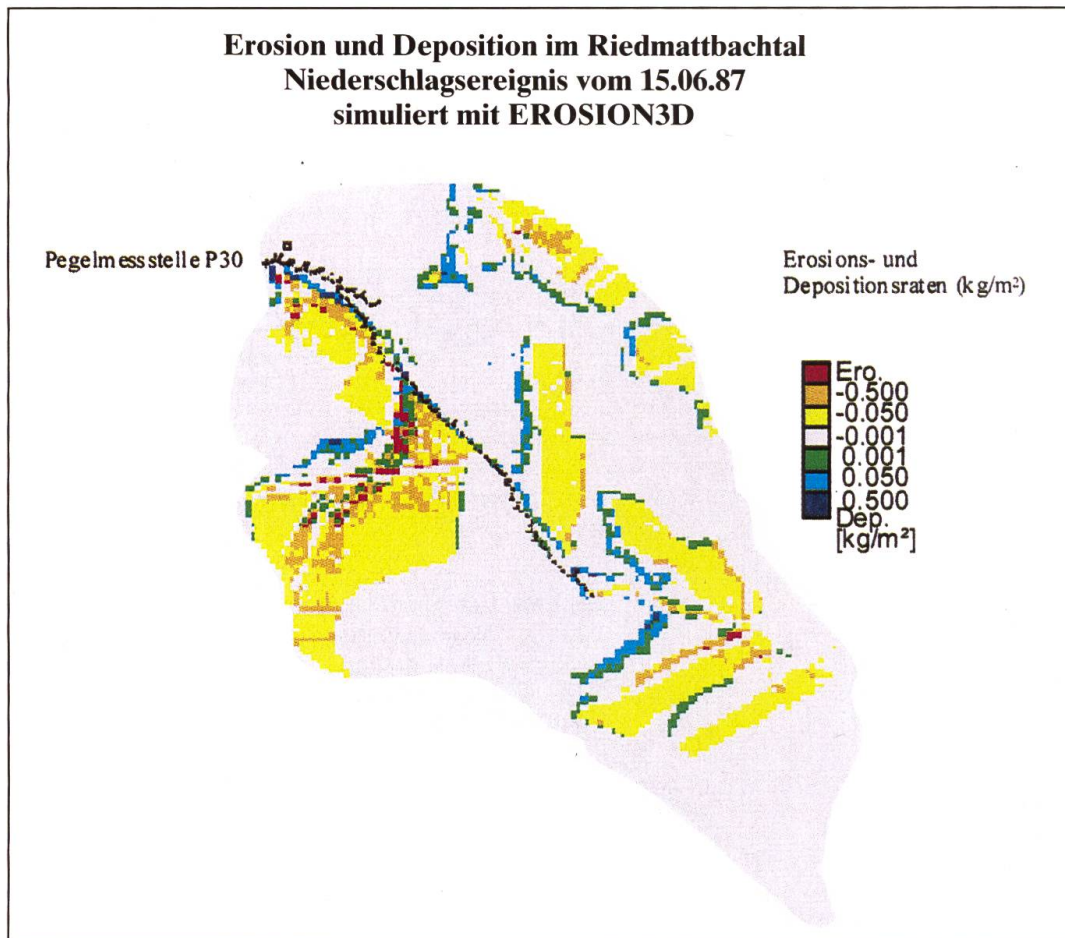


Abb. 3 Starkniederschlagsereignis von 15.6.1987 simuliert mit EROSION 3D.

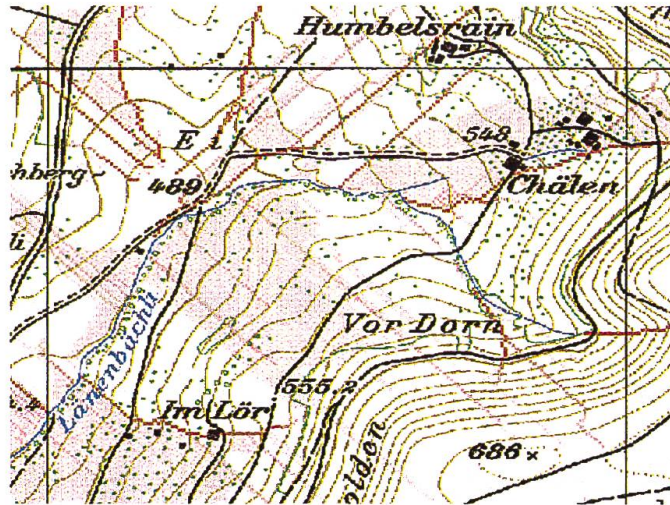
In Abbildung 3 ist ein mit EROSION 3D simuliertes Starkniederschlagsereignis vom 15.7.1987. dargestellt. Das Schadensbild zeigt eine hohe Übereinstimmung mit den Feldkartierungen auf den Ackerschlägen.

3.3 Ein GIS-gestütztes Vorhersagemodell für die Planungspraxis

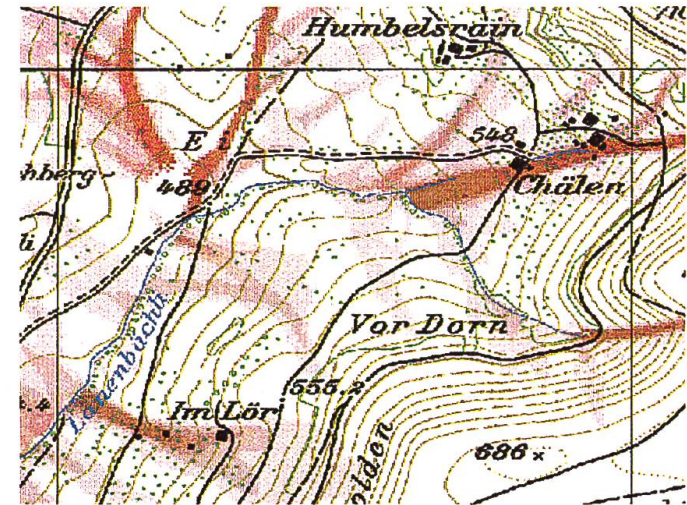
Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der detaillierten Reliefanalyse des digitalen Höhenmodells für einen Gebietsausschnitt des Länebacheinzugsgebietes im Baselbieter Tafeljura. Die Reliefanalyse stellt den ersten Schritt auf dem Weg zu dem eingangs erwähnten empirisch-statistischen Modell für chorische bis regionale Dimensionen dar (*Meier-Zielinski, in Bearb.*).

Der Vergleich der mittels Reliefanalyse gefundenen Fliesspfade und Übertrittstellen mit verschiedenen Feldbegehungen nach extremen Niederschlagsereignissen mit on-site und off-site Schäden zeigt eine hohe Übereinstimmung der Fliesspfade und vor allem auch der Übertrittstellen.

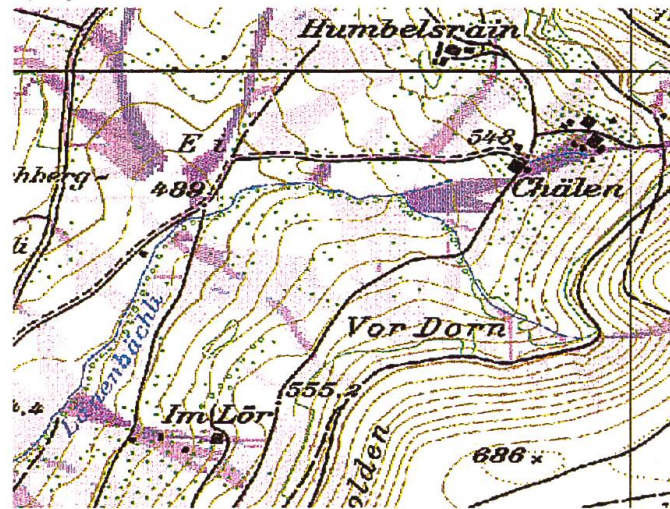
Abb. 4 Fließwege und Abflussverteilung für den Ausschnitt Chälen im Länenbachtal, berechnet nach verschiedenen Algorithmen. Zur anschließenden Berechnung der Übertrittsstellen ist nur die Variante C geeignet, da diese die im Feld kartierten Fließpfade (erfasst durch Erosionskartierungen) am besten widerspiegelt.



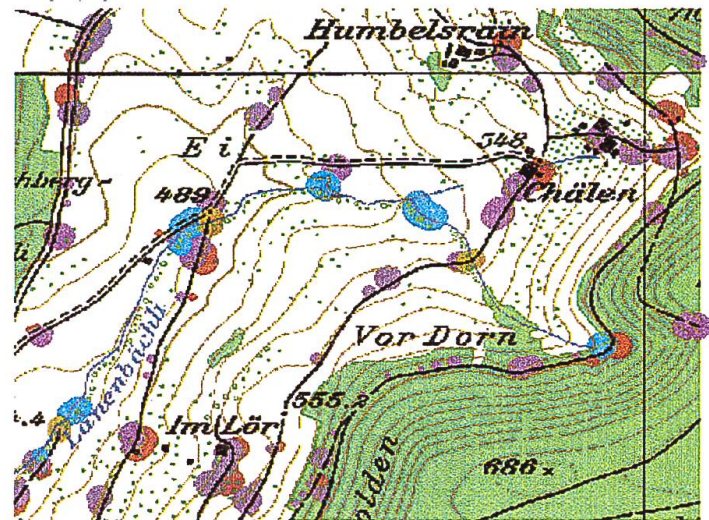
A) Flow (D8), DHM25



B) Flow (nach Desmet & Govers, 1996)



C) Flow, DHM25 mit Strassenverlauf



D) Übertrittsstellen

- Acker auf Strasse
- Strasse in Vorfluter
- Strasse in Acker
- Acker in Vorfluter

4 Diskussion

Die von EPIC berechneten Erosions- und Auswaschungsraten stimmen gut mit den im Feld beobachteten und aus der Literatur bekannten Ergebnissen überein. Ein grosser Vorteil des EPIC-Modells ist die Möglichkeit, eine grosse Anzahl von Langzeitsimulationen unter Einbezug eines künstlichen Wettergenerators durchzuführen. Somit stellt das Modell ein geeignetes Instrument dar, um Erosions- und Auswaschungsdaten zu generieren, die für ein ökonomisches Entscheidungsmodell relevant sind (*Schaub, Meier-Zielinski & Goetz 1998*). Es lassen sich verschiedene Nutzungsalternativen und die damit verbundenen ökonomischen Folgen abschätzen. So können auch politische Entscheidungen im Zuge von Agrarreformen durch Simulationsergebnisse eines Erosionsmodells möglicherweise in die eine oder andere Richtung beeinflusst werden.

EROSION 3D erwies sich in den ersten Testläufen als geeignetes Instrument, um die extremen Niederschlagsereignisse im Schweizer Tafeljura für das Einzugsgebiet des Riedmattbachtals (47 ha) zu simulieren. Die für die Norwestschweiz ausgeschiedenen Pflanzenparameter ergaben eine gute Übereinstimmung des Erosionsschadensbildes des Modells und der langjährigen Schadenskartierungen nach diesen Regenereignissen. Die gefährdeten Bereiche im Einzugsgebiet werden vom Modell sehr gut wiedergegeben. Um weitergehende Aussagen über die Modellgüte und vor allem die Frage, ob sich der Landnutzungswandel im Einzugsgebiet mit dem Modell nachvollziehen lässt, machen zu können, werden weitere Modellläufe mit Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Intensität durchgeführt.

Die GIS-gestützte Reliefanalyse, als Schritt auf dem Weg zu einem für die chorische Dimension geeigneten Vorhersagemodell für Erosionsschäden und deren Folgen für die Agrarlandschaft, zeigt eine gute Übereinstimmung mit den im Feld herrschenden kleinräumigen Strukturen der Agrarlandschaft. Die nächsten Schritte sind der Einbezug der aktuellen Bodenfeuchtesituation und eine detailliertere Analyse der Landnutzung und der Uferstreifenvegetation.

Abschliessend stellt sich die Frage, ob es für die Praxis sinnvoll ist, hochkomplexe physikalisch-mathematische Modellansätze für die einzelnen Naturräume zu adaptieren, oder ob einfache empirisch-statistische, vor allem GIS-gestützte Modellansätze nicht eher das räumliche Muster der Agrarlandschaften bei extremen Niederschlagsereignissen und damit verbundenen Stoffumlagerungen wiedergeben und vor allem für die Praxis besser handhabbar sind? Zum jetzigen Stand der Arbeiten lässt sich diese Frage nicht eindeutig beantworten, zumal es sich zeigt, dass in den unterschiedlichen Skalen unterschiedliche Modellansätze zu brauchbaren Ergebnissen führen können.

5 Fazit

Die verwendeten Modellansätze erwiesen sich für den entsprechenden Skalenbereich als geeignet, das Erosions- und Stoffumsatzverhalten zu modellieren. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Modelle sind:

1. Das EPIC-Modell wurde für amerikanische Agrarlandschaften entwickelt. Es mussten erst geeignete Parameter für schweizerische Verhältnisse sowohl für die Bearbeitungsvarianten als auch für Pflanzenwachstumsparameter gefunden werden. Auch die Kalibration des Modells erwies sich als schwierig, da es zur Zeit noch an den nötigen Messwerten für eine so grosse Spannbreite von Ackerfrüchten, Düngungsvarianten und Wettersituationen mangelt. Sind diese Hindernisse einmal überwunden, eignen sich die Modellergebnisse jedoch gut als Eingabeparameter für Agrarökonomische Modellansätze.
2. Beim Modell EROSION 3D bestand die Hauptschwierigkeit in der nutzungsabhängigen Erstellung der Bodeneingangsparameter. Hierfür wurde für die Schweizer Feldfrüchte ein eigener wachstumsabhängiger Parameterkatalog erstellt, der die verschiedenen, vom Modell benötigten Bodenparameter zur Verfügung stellt. Durch einen eigenen Preprozessor lässt sich das Höhenmodell, die Landnutzung und die Flurstruktur einfach aus einem Raster-GIS in das Modell integrieren.
3. Langjährige Felddatenerhebungen und damit ein breites Spektrum von Daten unterschiedlicher Niederschlagsereignisse und Flurstrukturen sind unabdingbar für die Kalibrierung und Validierung bestehender physikalisch-mathematischer Erosions- und Stoffhaushaltsmodelle. Gleichzeitig liefern Felddaten die Grundlage für die Entwicklung und Überprüfung einfacher, für die Praxis tauglicher, empirisch-statistischer, GIS-gestützter Vorhersagemodelle.

Literatur

- Desmet P.J.J. & Govers G. 1996. Comparison of routing algorithms for Digital Elevation Models and their implications for the prediction of the location of ephemeral gullies. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10: 311-331.
- Dräyer D. 1996. *GIS-gestützte Bodenerosionsmodellierung im Nordwestschweizer Tafeljura*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 22: 1-234.
- Grunwald S. 1997. *GIS-gestützte Modellierung des Landschaftswasser- und Stoffhaushaltes mit dem Modell AGNPSm*. Boden und Landschaft, 14, Giessen, 1-190.

- Maurer B. 1995. *Modellierung des langjährigen Rückganges der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenerosion*. Oberlehrerarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel, als Manuskript vervielfältigt.
- Meier-Zielinski S. 1997. Bestimmung der Auswaschungsgefährdung unter Verwendung von GIS-Methoden. *Regio Basiliensis* 38/3: 217-228.
- Meier-Zielinski S. & Rolli S. 1998. Modelling of Contributing Areas with Meso-Scale Effects in Landscape Ecology. *Wiener Mitteilungen, Wasser – Abwasser – Gewässer: Experiences with Soil Erosion Models*, Wien, 151: 303-310.
- Meier-Zielinski S. (in Bearb.). *GIS-gestützte Stoffhaushaltsmodellierungen in verschiedenen Dimensionen zur Bestimmung von Erosionsschutzmassnahmen und langjährigen Klimaveränderungen auf die Stoffhaushaltsbilanz – Ein Modellvergleich*. Dissertation, Geographisches Institut der Universität Basel.
- Prasuhn V. 1991. *Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt*. *Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie*, 16: 1-327.
- Schaub D. & Prasuhn V. 1996. A soil erosion map of Switzerland as a planning tool for sustainable land use. In: 9th Conf. Intern. ISCO, Bonn, *Towards Sustainable Land Use*, 334.
- Schaub D., Meier-Zielinski S. & Goetz R.U. 1998. Simulating long-term erosion effects on soil productivity for central Switzerland using the EPIC model. In: Summer W., Klaghofer E. & Zang W. (eds): *Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes. IAHS-Publication* 249: 195-201.
- Schaub D. 1999. *Gebietsbilanzen von Bodenerosion und den damit verbundenen Stoffumlagerungen*. Habilitation, Geographisches Institut der Universität Basel, 1-210.
- Schmid H.J., Keusch A., Goetz R., Schaub D. & Lehmann B. 1997. Management der Verschmutzung aus diffusen Quellen – Eine empirische Analyse anhand von Phosphorabträgen von landwirtschaftlich genutzten Flächen in einem Binnensee. In: *38. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues in Freising (6.-8.10.1997)*. Proceedings. 1-9.
- Sharpley A.N. & Williams J.R. 1990. *EPIC-Erosion/productivity Impact Calculator: 1. Modell Documentation*. In: U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin, No. 1768.
- Schmidt J. 1996. *Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geneigter landwirtschaftlicher Nutzflächen*. *Berliner Geographische Abhandlungen*, 1-148.
- Wischmeier W.H. & Smith D.D. 1978. *Prediction Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No. 537.
- Wischmeier W.H. 1984. The USLE – Some Reflections. *Journal of Soil and Water Conservation* 39/2: 105-107.