

# Erosion und Stoffhaushalt in Landwirtschaftsgebieten

GIS-GESTÜTZTE MODELLIERUNG UNTERSTÜTZT

DAS MODERNE LANDNUTZUNGSMANAGEMENT

Wo es Ackerbau gibt, findet auch Bodenerosion statt. Doch der Bodenabtrag ist problematisch, denn er führt nicht nur zur Zerstörung des Bodens, sondern trägt auch ganz massiv zur Gewässerverschmutzung bei. Es existieren diverse Simulationsmodelle für Bodenerosion. Wissenschaftler des Geografischen Instituts zeigen, wie in Kombination mit GIS bessere und in der Praxis verwendbare Ergebnisse erzielt werden können.

## Ausmaß von Bodenerosion und diffusem Stoffaustrag

Bodenerosion ist ein weltweites Problem.

Die größten Abtragsraten werden nach der Abholzung von Wäldern und auf Kulturland in den Tropen und Subtropen erreicht. Auch in der gemäßigten Zone tritt aber im Ackerbau und Weinbau verbreitet Bodenerosion auf, weil der Boden im Jahresablauf zeitweise offen liegt.

In Deutschland erreichen die Abtragsbeträge je nach Standort und Bewirtschaftung im Durchschnitt zwischen 2–20 Tonnen pro Hektar und Jahr. Der Bodenverlust in hängigen Lagen beträgt im Durchschnitt etwa 0,5–1 Millimeter pro Jahr. Dies führt in absehbarer Zeit zu einer Zerstörung der Böden.

Mit den abgetragenen Bodenpartikeln gelangen auch Nähr- und Schadstoffe in die Gewässer. Diese sind vor allem an die Tonfraktion gebunden, welche bevorzugt ausgetragen wird. So stammen zum Beispiel mindestens 30 Prozent der diffusen Phosphorfracht aus der Bodenerosion.

Bodenerosion ist also ein wichtiger Faktor der Gewässerbelastung.

Abbildung 1  
*Rinnenerosion auf Wintergetreideparzelle. Solche Rinnen werden in West- und Mitteleuropa bis 50 cm tief.*



## Anforderungen des Boden- und Gewässerschutzes an ein modernes Landnutzungsmanagement

Bodenschutzgesetze, Gewässerschutzgesetze, die entsprechenden Verordnungen und die EU-Wasserrahmenrichtlinie enthalten heute Ziele,

Grundsätze, Richtlinien und Normen zur Vermeidung von Bodenabtrag und Minimierung des Stoffaustrages.

In einer modernen Landwirtschaft müssen durch »gute fachliche Praxis« die Bodenabträge möglichst gering gehalten werden. Mittelfristig sollen die Bewirtschafter je

nach Land bestimmte Richtwerte oder Standards des maximal zulässigen Bodenabtrags erreichen. Dies wird auch den Stoffeintrag in die Gewässer vermindern.

Eine Anpassung der Bewirtschaftung etwa durch Fruchtfolgen oder Anbautechniken reicht dabei aber vielfach nicht aus. Bei hoher Erosionsgefährdung müssen in Zukunft Maßnahmen im Einzugsgebiet wie zum Beispiel veränderte Parzellen- und Wegestruktur, Hangteilung oder Retentionsflächen hinzukommen.

Die gesamte Bewirtschaftungs-, Nutzungs- und Landschaftsplanung benötigt möglichst valide räumlich differenzierte Analysen der Erosionsgefährdung, der ab- und umgelagerten Bodenmengen und der Transportwege.

Praxistaugliche Schätzmodelle und Simulationsmodelle sind dabei auch Instrumente für Szenaranalysen und die Prognose der Wirksamkeit geplanter Maßnahmen.

**Modelle für die Simulation von Transportprozessen und die Abschätzung der Boden- und Gewässergefährdung**

Für die Simulation der Boden-erosion und den damit gekoppelten Stofftransport existieren heute eine Fülle erprobter Modelle.

Es gibt empirisch-statistische Schätzmodelle für Langfristprozesse wie die Revised Universal Soil Loss Equation (RENARD ET AL. 1997) und ereignisbezogene Simulationsmodelle.

Zu den besonders häufig angewendeten zweidimensionalen Transportmodellen gehören SWAT (große Flusseinzugsgebiete), AGNPS (kleine bis mittlere Einzugsgebiete, YOUNG ET AL. 1987) und EROSION-3D (Hänge und kleine Einzugsgebiete, von WERNER & SCHMIDT 1996).

Daneben existieren zu Tabellen und Nomogrammen aufgearbeitete Schätzverfahren für die Erosionsgefährdung, die von den Landwirtschaftsberatern und Betriebsleitern selbst angewendet werden können (MOSIMANN & SANDERS 2003).

Forschungsbedarf liegt nicht mehr primär bei der Verbesserung der Modellgleichungen. Interessant sind vielmehr folgende Aspekte:

- Die engere Koppelung an GIS durch Vereinheitlichung von Datenstrukturen und Standardisierung von Ein- und Ausgabeparametern.
- Die Generierung räumlich besser aufgelöster Basisdaten mit bekannter Variabilität zur verbesserten Fehlerschätzung (siehe Beitrag MEER & MOSIMANN).
- Die automatische, hochaufgelöste und räumlich korrekte Abbildung von Transportwegen.
- Die Quantifizierung von Unschärfen durch Berechnung von Fehlermaßen und auf Wahrscheinlichkeiten beruhenden Modellaussagen.

Einige Beispiele sollen diese Forschungsansätze verdeutlichen.

**Relief und Oberflächenstruktur bestimmen Transportwege**

Die elementaren Reliefparameter lassen sich heute mit Standardwerkzeugen kommerzieller GIS-Systeme berechnen. Für die Ableitung der komplexeren Parameter stehen Reliefmodelle (zum Beispiel SARA, SADO oder DIGEM) zur Verfügung.

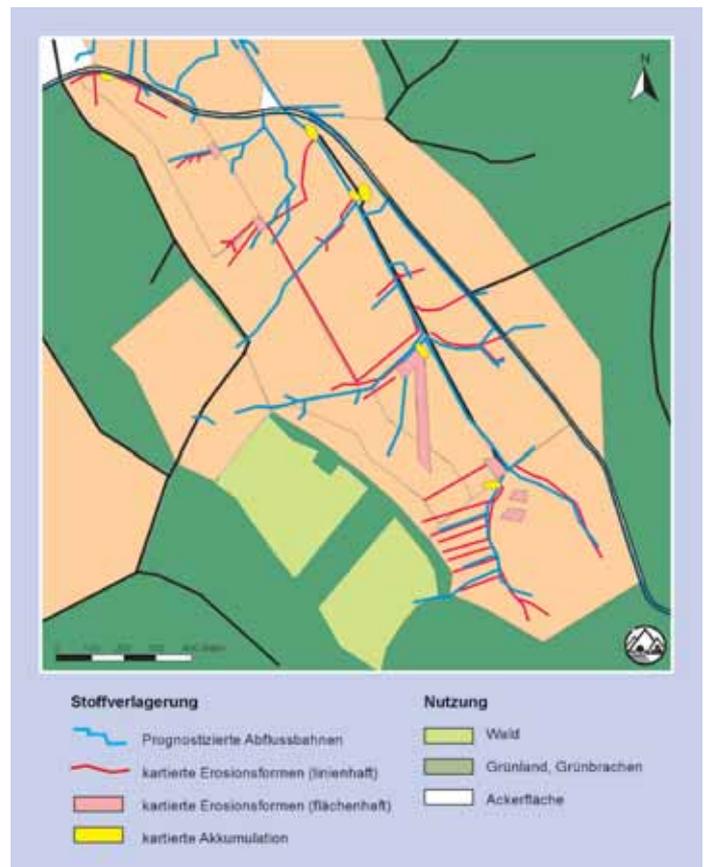
Erst in Entwicklung befindet sich aber die modellgestützte Abbildung der Oberflächenstruktur und deren Verknüpfung mit der Modellierung des Reliefs.

Auch die Bearbeitungsrichtung, durch die Bodenbearbeitung geschaffene Leitlinien

wie zum Beispiel Fahrgassen, Wege und Bankette bestimmen Richtung und Ausmaß von Transportprozessen. Bei Prozessmodellierungen in größeren Maßstäben muss dies berücksichtigt werden.

Wie lassen sich solche Strukturen der Bodenbearbeitung in ein GIS integrieren?

- *Automatisches Erkennen der Bearbeitungsrichtung:* Die rationelle maschinelle Bewirtschaftung von Ackerparzellen



len geschieht in Richtung der längsten Ausdehnung einer Parzelle beziehungsweise eines Schlags. Zudem muss eine direkte Zufahrt vom Wirtschaftsweg zum Vorgewende bestehen. Algorithmen, welche die Bearbeitungsrichtung von Parzellen und die Lage der Ackerrandfurche GIS-gestützt automatisch ableiten, erreichen eine korrekte Vorhersage der Bearbeitungsrichtung für bis zu 98 Prozent aller Parzellen.

Abbildung 2  
Modellierte und beobachtete Stofftransportwege in einem Einzugsgebiet im Niedersächsischen Bergland. Die Modellierung bildet die Transportwege nicht exakt lagegenau, aber meist prinzipiell richtig dar. Über diese Wege gelangt ein großer Teil der Stoffe von den Ackerflächen in die Gewässer.

- *Integration der Fahrgassen in das digitale Oberflächenmodell:* Mit der Ableitung der Bearbeitungsrichtung ist auch der Verlauf der Fahrgassen mit jeweils zwei abflussbündelnden Fahrspuren festgelegt. Die Abstände der Fahrgassen entsprechen der jeweiligen Maschinentchnik und liegen zurzeit zwischen 21–27 Metern. Somit lässt sich die übliche Anzahl der Fahrgassen ebenfalls automatisch ableiten und ins Parzellenmuster integrieren.

Die modellmässig abgeleiteten Abflusswege zeigen eine zwar nicht immer lageidentische, aber prinzipiell gute Übereinstimmung mit den kartierten Abflusswegen und Erosionsrinnen (Abbildung 2).

**Szenaranalysen zur Planung von Schutzmassnahmen**

Szenaranalysen gestatten die Abschätzung der Folgen unterschiedlicher Landnutzungsstrukturen und Bewirtschaftungstechniken auf den Sedi-

**Wahrscheinlichkeitsbasierter Ansatz zur Ermittlung erosionsgefährdeter Flächen**

Die heute verfügbaren Erosionsmodelle erlauben sehr gute Abschätzungen der Abtragsbeträge (ISRINGHAUSEN ET AL. 1999).

Das Problem sind nicht mehr die Modellalgorithmen, sondern die vielfach fehlenden oder zu unscharfen Eingangsdaten. Je größer das zu beurteilende Gebiet, desto größer sind in der Regel die Datenlücken und desto unterschied-

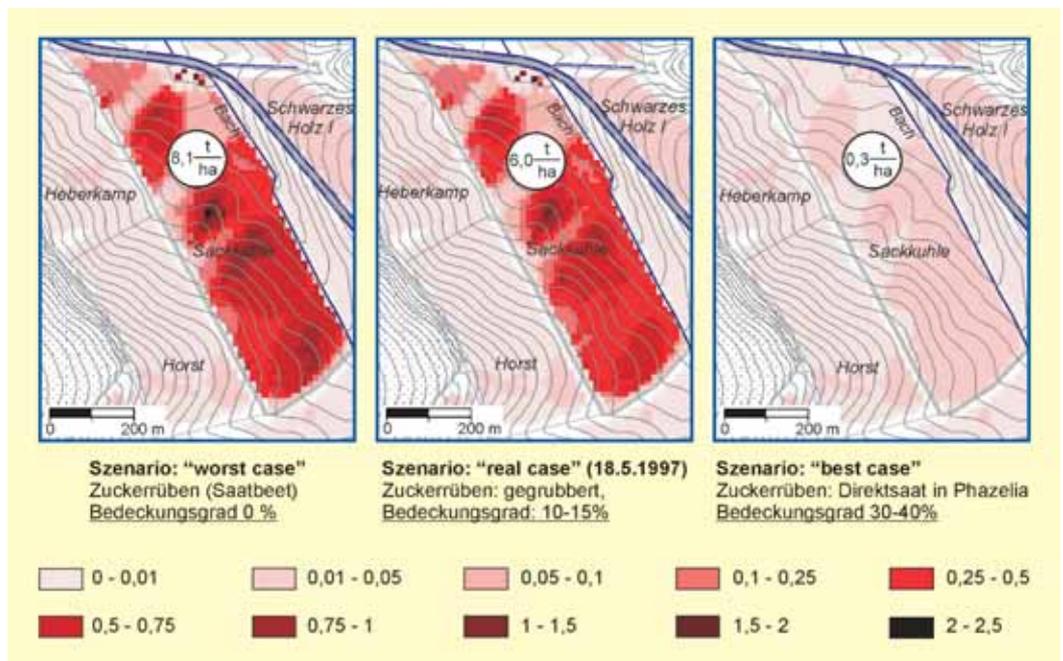


Abbildung 3  
Simulation von Bewirtschaftungsszenarien: Veränderung des Bodenabtrags (in t/ha) auf einer Ackerparzelle bei unterschiedlichen Bodenbedeckungsgraden (Niederschlagsintensität 18 mm pro Stunde, Dauer des Regens 2 h). (aus DUTTMANN & BRUNOTTE 2002)

- *Einbau der Oberflächenstrukturen ins digitale Reliefmodell:* Die mittleren Breiten und Tiefen von Oberflächenstrukturelementen wie zum Beispiel Fahrspuren, Anhaupfturken, und Bankette müssen über eine Kartierung ermittelt werden. Die daraus berechenbaren Standardwerte lassen sich den in GIS abgebildeten Strukturelementen zuordnen. Die anschließende Verschneidung mit der Reliefoberfläche ergibt ein hochaufgelöstes digitales Modell der Transportbahnen.

ment- und Stoffaustrag. Sie testen die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen für einzelne Parzellen bis hin zu ganzen Einzugsgebieten. Abbildung 3 zeigt Modellrechnungen mit AGNPS für ein Starkregeneignis im Mai 1997 in einem kleinen Einzugsgebiet im Leinebergland (DUTTMANN & BRUNOTTE 2002). Konservierende Bodenbearbeitung mit einer Direktsaat von Zuckerrüben in die abgestorbenen Rückstände der Winterzwischenfrucht Phazelia erbringt das beste Ergebnis. Der Bodenabtrag lässt sich mit dieser Technik im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung um 50–80 Prozent verringern.

licher der Datenbestand in den verschiedenen Teilbereichen. Es lassen sich deshalb für die einzelnen Rasterzellen eines modellierten Raumes vielfach nur ungefähre Aussagen treffen.

Ein wahrscheinlichkeitbasierter Ansatz wird dieser Situation an ehesten gerecht (Abbildung 4).

Eine solche Simulation arbeitet mit Verteilungsfunktionen für die Modelleingangsparameter wie Erosionsanfälligkeit des Bodens, Gründigkeit des Bodens und Fruchtfolge/Bodenbearbeitungsfaktor.

Diese Verteilungsfunktionen werden regionsdifferenziert oder im Falle des K-Faktors für die Bodenerodibilität auch für die einzelnen Bodenarten durch Auswertung aller verfügbaren Daten ermittelt.

Im GIS ermittelt das Modell für jede Rasterzelle die bestangepassten Verteilungen der einzelnen Eingangsparameter und rechnet das gesamte Wertespektrum durch. Ergebnis ist ebenfalls ein Wertespektrum der Abtragsbeträge jeder Zelle.

Daraus lässt sich der häufigste und damit wahrscheinlichste Abtrag und die Varianz ermitteln.

**Simulation des Staubaustrages aus Ackerflächen**

Durch Wind mobilisierter Staub und die daran gebundenen Stoffe können weit verfrachtet werden. Gefährdung durch Winderosion besteht in Gebieten mit feinsandigen oder extrem schluffreichen Böden wie sie zum Teil im Norddeutschen Tiefland, in großen Flusstälern oder auf Flächen großer, kultivierter Moore vorkommen.

Abbildung 5 zeigt eine Simulation des vertikalen Staubaustrages eines Gebietes der nordwestdeutschen Geest.

Die Transportraten werden anschließend mit Hilfe der im Windkanal ermittelten relativen Bodenerodibilitätswerten an die verschiedenen Bodenarten angepasst. Die Staubquellstärke leitet sich auf der Basis der durchgeführten Experimente flächendeckend aus den Bodenschätzungsdaten ab. Ein aus Feldexperimenten ermittelter Korrekturfaktor definiert das Verhältnis von freigesetzter Staubmasse pro Flächeneinheit und tatsächlicher Austragsmenge (GROSS 2001).

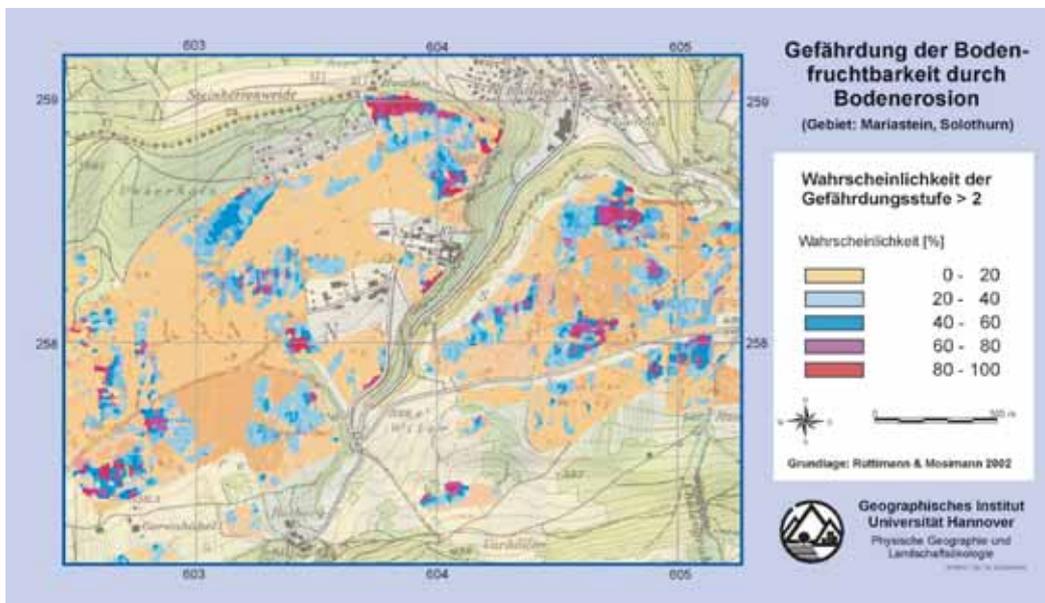


Abbildung 4 (links) Wahrscheinlichkeit der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenerosion. Wahrscheinlichkeit der Gefährdungsstufe 2 und höher.

Für die Praxis wird das Ergebnis noch weiter aufbereitet. Ein weiterer Algorithmus ermittelt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein gesetzlich festgelegter Richtwert oder für den Vollzug definierte Gefährdungsstufen überschritten werden. Bei Bodengefährdungsstufe 2 sind Schutzmaßnahmen gegen die Bodenerosion erforderlich.

Die Karte in Abbildung 4 zeigt Beratern und Behörden auf einen Blick, wo in erster Priorität entsprechende Prüfungen vor Ort erfolgen müssen.

Grundlage einer flächendifferenzierten Abbildung des Staubaustrages sind Feldmessungen der Winderosion, Windkanalexperimente zur Ermittlung der Erodibilität der verschiedenen Böden und die Modellierung der Winderosion mit dem Modell WEELS (BÖHNER U.A. 2001).

Das Winderosionsmodell berechnet die Erosionsdauer und den Sandtransport und berücksichtigt dabei Relief und Strukturelemente der Landschaft, Bodenfeuchte, Bodenbedeckung in Abhängigkeit der phänologischen Phasen und die von der Bodenbearbeitung abhängige Bodenrauigkeit.

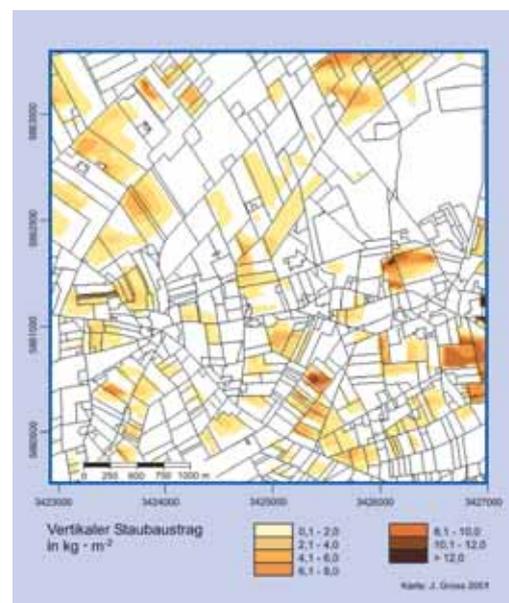


Abbildung 5 Simulation des vertikalen Staubaustrages aus Ackerflächen in der Cloppenburg Geest



**Prof. Dr. Thomas Mosiman**  
Jahrgang 1951, ist Leiter der  
Abteilung Physische Geografie  
und Landschaftsökologie



**Dr. Jens Groß**  
Jahrgang 1970 ist wissen-  
schaftlicher Mitarbeiter am  
Geografischen Institut, Abtei-  
lung Physische Geografie und  
Landschaftsökologie



**Diplom-Geograf Uwe Meer**  
Jahrgang 1967, ist wissen-  
schaftlicher Mitarbeiter am  
Geografischen Institut, Abtei-  
lung Physische Geografie und  
Landschaftsökologie

Abbildung 6  
*Stoffeintrag in Fließgewässer mit  
der Bodenerosion. Der Eintrag  
findet überwiegend immer wieder  
an den gleichen Übertrittstellen  
statt.*



### Literatur

- BÖHNER, J. et. al. (1999): Weiterentwicklung von Verfahren zur Reliefanalyse, Klimaregionalisierung, Prozessparametrisierung und Regionalisierung von Bodenmerkmalen. Göttingen
- DUTTMANN, R. & J. BRUNOTTE (2002): Oberirdische Stofftransporte in Agrarlandschaften. In: Geographische Rundschau 54, H. 5, S. 26–33
- GROSS, J. (2001): Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung winderosionsbedingter Staubausträge in Agrarlandschaften Niedersachsens. = Geosynthese H. 12, Hannover
- ISRINGHAUSEN, S., R. DUTTMANN & Th. MOSIMANN (1999): Überprüfung räumlich differenzierter Prognosen erosionsbedingter Stofftransporte durch Feldbeobachtungen. In: Wasser und Boden 51, H. 12, S. 25–32
- MOSIMANN, Th. & S. SANDERS (2003): Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen. Hannover
- RENARD, K. G. et. al. (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). = Agriculture Handbook Number 703, USDA, Washington
- YOUNG, R. A., C. A. ONSTAD, D. BOSCH & W. P. ANDERSON (1987): AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model. Users Manual. = Conservation Research Report No. 35, USDA, Washington
- VON WERNER, M. & J. SCHMIDT (1996): Erosion-3D. Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. = Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.], Dresden