
Auswirkungen einer veränderten Landnutzungsstruktur auf die Bodenerosion

Sebastian WOLF und Ulrich WALZ

Zusammenfassung

Veränderungen in der Landnutzung bewirken meist auch eine Umgestaltung der Landnutzungsstruktur sowie der auf die Landschaft einwirkenden Prozesse. In diesem Beitrag werden die Auswirkungen einer veränderten Landnutzungsstruktur auf die Bodenerosion untersucht und im Ergebnis ein GIS-gestütztes Verfahren zur vergleichenden Analyse der Bodenerosion für verschiedene historische Zeitschnitte des Landschaftszustandes vorgestellt. Dazu werden verschiedene Modellansätze diskutiert und es wird ein neues Verfahren zur Berücksichtigung von erosiv wirksamen Fließbarrieren vorgestellt. Die Ergebnisse der durchgeführten Modellierung am Beispiel der Nationalparkregion Sächsische Schweiz belegen, dass Veränderungen der Landnutzungsstruktur die Bodenerosion in starkem Maße beeinflussen und deren Berücksichtigung einen wichtigen Faktor bei der Modellierung der Bodenerosion darstellt.

1 Einleitung

Die Bodenerosion als anthropogenes Umweltproblem führt zu starken Beeinträchtigungen der Bodenqualität und vernichtet jährlich große Flächen fruchtbareren Ackerlandes. Neben physischen Faktoren wie Niederschlagsmenge und topographischen Einflüssen wird die Bodenerosion auch durch anthropogen bedingte Faktoren wie die Landnutzung und deren Nutzungsstruktur beeinflusst. Insbesondere in Ostdeutschland, aber auch in anderen Regionen Europas haben in den letzten Jahrzehnten ausgeprägte Landschaftsveränderungen stattgefunden. Im Bereich der agrarisch genutzten Freiräume handelt es sich dabei um eine starke Entmischung der Nutzungen verbunden mit einer Vergrößerung der einzelnen Nutzungseinheiten. Abgesehen von der Untersuchung des räumlichen und zeitlichen Verlaufs dieser Entwicklung stellt sich auch die Frage nach den Auswirkungen solcher Veränderungen. Anthropogene Veränderungen in der Landnutzungsstruktur haben die auf die Landschaft wirkenden Prozesse (z. B. die Bodenerosion) vielerorts stark beeinflusst. Die Modellierung und Quantifizierung der Bodenerosion durch landschaftsverändernde Prozesse stellt daher einen wichtigen Ansatz zur Bewertung dieser Auswirkungen dar.

2 Methodik

2.1 Erosionsmodellierung und Landnutzungsstruktur

Mittlerweile existiert eine große Anzahl von empirischen Verfahren zur Modellierung von bodenerosiven Prozessen im mittelmaßstäbigen Bereich. Am weitesten verbreitet und an-

gewendet ist dabei die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG). Diese ist eine Anpassung der 1978 in den USA entwickelten Universal Soil Loss Equation (USLE) an mitteleuropäische Verhältnisse. Seit der Entwicklung dieses empirischen Verfahrens zur Vorhersage des mittleren langfristigen Bodenabtrags ist die USLE weiterentwickelt und teilweise regional angepasst wurden. Den bisher aktuellsten Stand stellt die Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) dar, welche seit 1997 verwendet wird (SCHWERTMANN ET AL. 1987, RENARD ET AL. 1997, SCHÄUBLE 1999, SCHMIDT 2001). Aufgrund ihrer einfachen Struktur, der möglichen Berücksichtigung der Landnutzungsstruktur und ihrer regionalen Anpassungen erscheint die Anwendung einer vereinfachten Version der ABAG / RUSLE als geeignet um langfristigen Auswirkungen von Landschaftsveränderungen auf die Bodenerosion zu beurteilen. Im Unterschied zur kompletten ABAG werden in der vereinfachten Variante die Faktoren Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung (C-Faktor) sowie Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktor) unter der Annahme vernachlässigt, dass diese den ungünstigsten Wert annehmen (Schwarzbrache und keine Erosionsschutzmaßnahmen). Somit handelt es sich um eine konservative Abschätzung der Bodenerosion. Dies ist für mittelmaßstäbige Untersuchungen mit langfristigen und großräumigen Betrachtungen erforderlich, da meist weder Daten zur Bewirtschaftung (Fruchtfolgen) noch zu Erosionsschutzmaßnahmen zur Verfügung stehen.

Grundsätzlich ermöglicht die ABAG eine Berücksichtigung der Landnutzungsstruktur über den Hanglängenfaktor L , welcher die Auswirkung der erosiv wirksamen Hanglänge beinhaltet. Die Berechnung der erosiven Hanglänge wird jedoch vielfach als der schwierigste Teil der Erosionsmodellierung bezeichnet (RENARD ET AL. 1997, HICKEY 2000). Dies ist einerseits bedingt durch die schwierige Abgrenzung der erosiven Hanglänge und andererseits durch die Vielzahl an existierenden Berechnungsverfahren.

Traditionell wurde die Hanglänge des Gesamthanges im Gelände bestimmt, was jedoch abgesehen von Einzelhängen nur selten praktikabel ist und zu Ungenauigkeiten führt (HICKEY 2000). Das manuelle Messen der Hanglänge am Bildschirm mit GIS umfasst die gleichen Probleme. Eine exakte Berechnung der erosiven Hanglänge ist kompliziert und nicht ohne umfangreiche Kenntnisse im Umgang mit GIS, insbesondere von Abflussmodellierungen möglich. Meist werden daher durchschnittliche Hanglängen verwendet, bei denen die eigentlich variable Hanglänge als eine Konstante – meist 100 m – betrachtet wird (SCHÄUBLE 1999). Lokale Unterschiede und Einflüsse der Landnutzungsstruktur können damit nicht berücksichtigt werden. Dies ist nur bei Verwendung der exakten erosiven Hanglänge möglich.

Verschiedene Arbeiten haben sich bereits mit der Berechnung der erosiven Hanglänge beschäftigt (z. B. MOORE & WILSON 1992, DESMET & GOVERS 1995), wobei die Umsetzung der jeweiligen Verfahren nahezu immer mit Problemen verbunden ist, vor allem Software bedingt (vgl. SCHÄUBLE 1999). Im Allgemeinen erfolgt die Berechnung der Hanglänge aus einem Digitalen Geländemodell (DGM) entlang der Fließrichtung des Wassers (SCHÄUBLE 1999, HICKEY 2000). Andere Verfahren beruhen auf der Unit Stream Power Gleichung (MOORE & WILSON 1992) oder nutzen die hangaufwärts gelegene Fläche des Einzugsgebietes als Ersatz für die Hanglänge (DESMET & GOVERS 1996, HICKEY 2000). Allen Verfahren gemein ist jedoch die Verwendung von Abflussmodellierungen zur Berechnung der erosiven Hanglänge. Jedoch scheitert deren Umsetzung oft an den in GIS zur Verfügung stehenden Funktionalitäten. Weit verbreitete GIS wie ArcView 3.x und ArcGIS sind ohne Erweiterungen und Zusatzprogramme meist nicht in der Lage die sehr genauen

Multiple Flow Algorithmen umzusetzen (SCHÄUBLE 1999). Im Gegensatz dazu werden die weniger genauen Single Flow Algorithmen in nahezu jedem GIS umgesetzt. Alternativen zur Umsetzung beider Arten von Abflussalgorithmen bieten sich mit Erweiterungen (z. B. HydroTools für ArcView oder TauDEM für ArcGIS) sowie eigenständigen Programmen oder GIS wie SAGA.

Ein Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren ergab, dass nur das Einzugsgebiet basierte Verfahren nach DESMET & GOVERS (1996) die RUSLE konsequent und ohne Einschränkungen umsetzt. Zudem werden auch unregelmäßige Hänge berücksichtigt und aufgrund der existierenden Erweiterungen und Tools kann dieses Verfahren in den meisten GIS mit Multiple Flow Algorithmen umgesetzt werden.

2.2 Berücksichtigung der Landnutzungsstruktur durch Fließbarrieren

Die Einflüsse der Landnutzungsstruktur auf die Bodenerosion (über die erosive Hanglänge) können durch so genannte Fließbarrieren (z. B. Straßen, Fahrwege und Baumreihen) berücksichtigt werden. Zur Berücksichtigung dieser erosiv wirksamen Fließbarrieren wird ein neuer Ansatz vorgestellt (vgl. Abbildung 1b), der das zugrunde gelegte Prozessverständnis der Bodenerosion besser berücksichtigt. Bisherige Verfahren gehen von einer kompletten Versickerung und somit Verringerung des Erosionspotentials im Bereich der die Hanglänge bestimmenden Fließbarrieren aus (SCHÄUBLE 1999, SCHMIDT 2001; vgl. Abbildung 1a). Damit einhergehend werden auch die Auswirkungen des Oberflächenabflusses und somit des Bodenabtrags in den unterhalb der Fließbarrieren gelegenen Hangbereichen vernachlässigt. Gerade in diesen Hangbereichen sind jedoch die erosiven Folgen des kumulierten Oberflächenabflusses und somit des Bodenabtrags am stärksten.

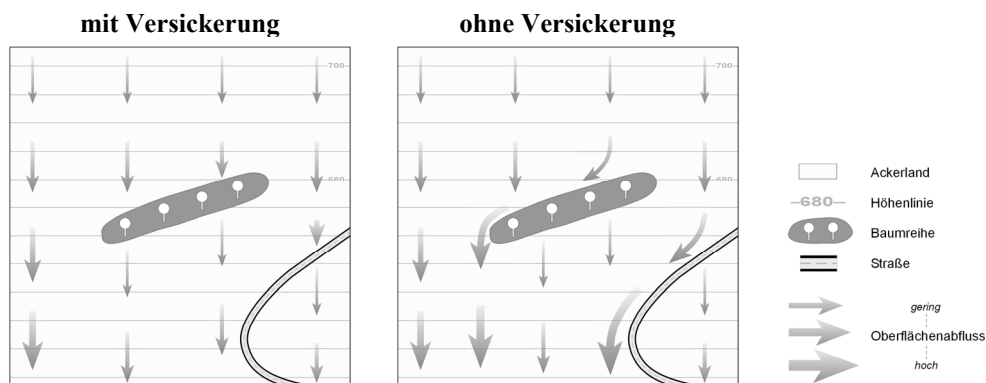


Abb. 1: Modellhafte Darstellung des Oberflächenabflusses an Fließbarrieren

In Abbildung 1 werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Berücksichtigung von Fließbarrieren auf den Oberflächenabfluss dargestellt. Entlang von Fließbarrieren führen konvergierende Abflüsse zu einem höheren Bodenabtrag, unterhalb dieser sind es hauptsächlich divergierende Abflüsse und die höhere Abflussmenge. In Hängen mit räumlich begrenzten hangparallelen Fließbarrieren (z. B. Baumreihen) bestehen dahingehend kaum Unterschiede, da kein beschleunigter Oberflächenabfluss stattfindet. Dieser Fall entspricht

daher einer geeigneten Erosionsschutzmassnahme im Sinne einer Verringerung der erodierten Hanglänge. Auch eine Berücksichtigung ohne Versickerung ist nur eine Annäherung an die Realität, da natürlich Versickerung an den Fließbarrieren stattfindet. Diese ist jedoch vergleichsweise gering, wenn berücksichtigt wird, dass im Wesentlichen Starkniederschläge für den Bodenabtrag verantwortlich sind. Aufgrund der hohen Niederschlagsmenge in kurzer Zeit kann Infiltration nur in geringem Maße und bei verringerter Fließgeschwindigkeit stattfinden. Demnach kann die Genauigkeit von Erosionsprognosen durch eine Berücksichtigung der Fließbarrieren ohne Versickerung erhöht werden.

Die Berücksichtigung von Fließbarrieren bei der Erosionsmodellierung mit GIS erfolgt im Allgemeinen über Abflussmasken und eine Modifizierung des DGM. Dabei werden die Bereiche der Fließbarrieren im DGM als NoData-Werte gesetzt oder über ein Wichtungsraster unterschiedlich in der Abflussmodellierung berücksichtigt (SCHÄUBLE 1999). Während erstere Variante zu einer kompletten Versickerung an den Fließbarrieren führt, kommt es bei der alleinigen Verwendung von Wichtungsrastern häufig zu einem Überfließen der Barrieren. Als Alternative dazu wird eine künstliche Überhöhung der Fließbarrieren vorgeschlagen, die sowohl eine Fortsetzung des Oberflächenabflusses dem Relief entsprechend ermöglicht als auch ein Überfließen dieser ausschließt. Um Sonderfälle im Bereich von Geländestufen und Böschungen auszuschließen, die bei einer Überhöhung von einem Meter durchaus auftreten kann, wird eine Überhöhung mit der maximal auftretenden Höhe des betrachteten Untersuchungsgebietes empfohlen.

2.3 Anwendung in der Nationalparkregion Sächsische Schweiz

Eine erste Anwendung der vorgestellten und diskutierten Methodik erfolgte anhand der Nationalparkregion Sächsische Schweiz. Aufgrund einer umfangreichen Datengrundlage der Landnutzung basierend auf historischen Karten konnten die Veränderungen der Landnutzungsstruktur in diesem Untersuchungsgebiet mit verschiedenen Zeitschnitten über einen Zeitraum von fast 100 Jahren betrachtet werden. Aufgrund der großen Ausdehnung der Nationalparkregion Sächsische Schweiz von etwa 380 km² wurden neben der Gesamtbetrachtung auch mehrere kleinere Testgebiete im Detail untersucht, um die kleinräumige Entwicklung genauer zu interpretieren.

3 Entwicklung in der Nationalparkregion Sächsische Schweiz

Zur Interpretation der Ergebnisse der Modellierung ist die Entwicklung des Ackerlandes von entscheidender Bedeutung, da sich Veränderungen der Landnutzungsstruktur in der Anzahl der Ackerflächen sowie deren Größe auswirken. Dafür wurden die Ackerflächen von 1900 bis 1992 schlagbezogen ausgewertet. In diesem Zeitraum ist ein genereller Rückgang der Gesamtfläche an Ackerland um etwa 30 % festzustellen. Nach den kriegsbedingt geringen Veränderungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist die mittlere Schlaggröße nach 1940 durch den Zusammenschluss der Bauern in landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften stark angestiegen und vervierfachte sich nahezu. Entsprechend verringerte sich die Zahl der Ackerschläge in der heutigen Nationalparkregion von über 3.000 auf weniger als 700. Diese flurbereinigenden Maßnahmen und Flächenzusammenlegungen haben zu einem Ansteigen der erosiven Hanglänge und somit einer Erhöhung des Bodenabtrags geführt (vgl. Abbildung 2).

Allein aufgrund von Veränderungen der Landnutzungsstruktur, respektive der erosiven Hanglängen, hat der Bodenabtrag in den letzten 100 Jahren auf 40 % der Ackerflächen in der Nationalparkregion Sächsische Schweiz zugenommen, insbesondere nach 1940. Die Zunahme des Bodenabtrags hat dabei vorwiegend auf Ackerflächen stattgefunden, die eine hohe natürliche Erosionsgefährdung aufweisen. Gerade diese reagieren jedoch umso empfindlicher auf Veränderungen der Landnutzungsstruktur. Neben den vergleichsweise gering gefährdeten Ebenheiten werden in der Nationalparkregion Sächsische Schweiz auch natürlich stark gefährdete Flächen ackerbaulich genutzt. Demzufolge ist die Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen der Landnutzungsstruktur im betrachteten Untersuchungsgebiet besonders groß.

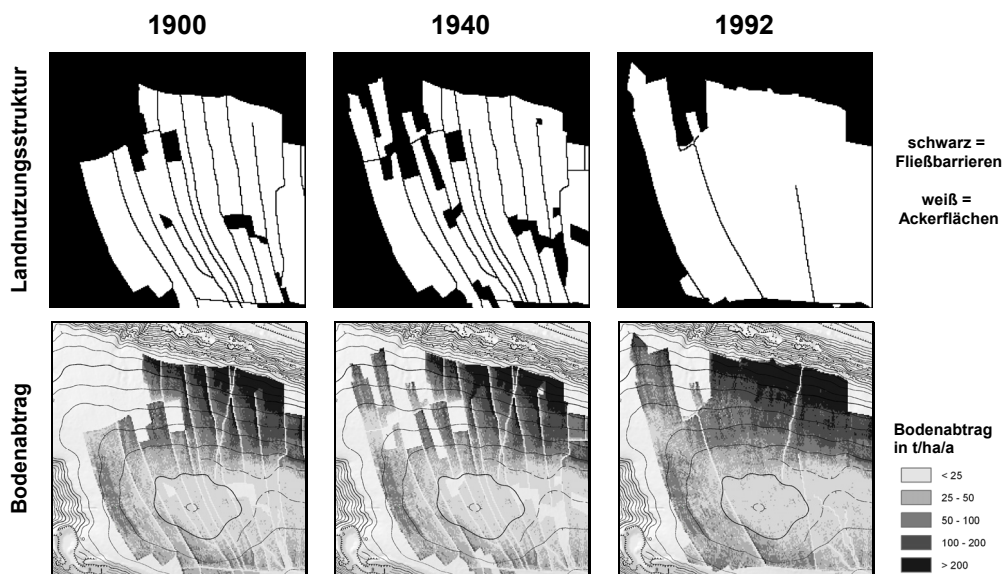


Abb. 2: Entwicklung des Bodenabtrags durch Veränderungen in der Landnutzungsstruktur von 1900 bis 1992

In Abbildung 2 ist die Entwicklung der Landnutzungsstruktur und der Bodenerosion anhand eines Testgebietes bei Krippen dargestellt. Allgemein zeigen sich die höchsten Abtragsraten im Unterhangbereich nach Norden hin zum Elbtal. Neben den steigenden erosiven Hanglängen erhöht sich in diesem Unterhang auch die Hangneigung. Die damit verbundene konvexe Wölbung des Hanges führt zu einer Verstärkung der Wirkung der ohnehin großen Hanglängen und somit zu sehr hohen prognostizierten Bodenabträgen. Neben den 1900 fast ausschließlich senkrecht zu den Höhenlinien verlaufenden Fahrwegen sind bis 1940 vereinzelt quer zum Hang verlaufende Zufahrten hinzugekommen. Unterhalb dieser Bereiche zeigt sich ein deutlicher Rückgang des Bodenabtrags durch die Verkürzung der erosiven Hanglängen. Durch die Flächenzusammenlegungen und den Wegfall von Fahrwegen innerhalb der Ackerflächen hat der Bodenabtrag in diesem Testgebiet nach 1940 auf über 60 % der Fläche zugenommen. Neu erschlossene Ackerflächen, wie im Nordwesten des Testgebietes, sind in Hangbereichen geringer Neigung gelegen und weisen

demnach trotz hoher Hanglängen überwiegend geringe bis mittlere Bodenabträge auf. Unabhängig von der hohen Gefährdung haben nahezu keine Flächenstilllegungen in den traditionell genutzten Unterhangbereichen stattgefunden.

4 Ausblick

Am Beispiel des Untersuchungsgebietes können mit dem vorgestellten Verfahren zur Erosionsmodellierung die Auswirkungen von Veränderungen der Landnutzungsstruktur aufgezeigt werden. Die Ergebnisse belegen den starken Einfluss der Landnutzungsstruktur auf die Entwicklung der Bodenerosion. Somit zeigt sich eine Notwendigkeit der generellen Berücksichtigung der Landnutzungsstruktur bei der Erosionsmodellierung, da sonst der Bodenabtrag unterschätzt wird. Darüber hinaus erscheint die verwendete Methodik geeignet, neben historischen Betrachtungen auch die Auswirkungen von Veränderungen der Landnutzungsstruktur auf den Bodenabtrag zu simulieren und somit in die Landschaftsplanung einzubeziehen. Der daraus resultierende Einsatz von landschaftsstrukturellen Erosionsschutzmaßnahmen kann zu einer Verkürzung der erosiven Hanglängen beitragen und die Gefahr von irreversiblen Bodenverlusten und rückläufigen Erträgen verringern.

Literatur

- DESMET, P., AND G. GOVERS (1996): *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427-433.
- HICKEY, R. (2000): *Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS*. Cartography, 29 (1): 1-8.
- MOORE, I.D. AND J.P. WILSON (1992): *Length-slope factors for the revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation*. Journal of Soil and Water Conservation, 47: 423-428.
- RENARD, K.G.; G.R. FOSTER; G.A. WEESIES; D.K. MCCOOL AND D.C. YODER (1997): *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. USDA-ARS Agriculture Handbook 703. Washington D.C.
- SCHÄUBLE, H. (1999): *Erosionsprognosen mit GIS und EDV – Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft*. Diplomarbeit an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Institut für Geographie.
- SCHMIDT, M. (2001): *Bewertung der Anwendbarkeit zweier GIS-gestützter Modelle zur Vorhersage der Bodenerosion in agrarisch genutzten Einzugsgebieten*. Diplomarbeit an der Katholischen Universität Eichstätt, Mathematisch-Geographische Fakultät
- SCHWERTMANN, U.; W. VOGL UND M. KRANZ (1987): *Bodenabtrag durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen*. Stuttgart.
- WOLF, S. (2006): *Bodenerosion als Funktion veränderter Landnutzungsstruktur – Modellierung der Entwicklung am Beispiel der Nationalparkregion Sächsische Schweiz*. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Institut für Geographie