

Entscheidungsunterstützungssysteme als Werkzeuge nachhaltiger Landnutzungsplanung

Alexander HERZIG und Rainer DUTTMANN

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Landnutzungsmanagementsystem LUMASS dient der räumlichen Erfassung von Belastungszuständen, Nutzungsunverträglichkeiten und der Ermittlung von Eignungen für Flächennutzungen in agrarisch geprägten Landschaften. Am Beispiel von Boden- und Gewässerbelastungen durch erosionsbedingte Stofftransporte wird ein in LUMASS implementierter Modellbaustein vorgestellt und seine mögliche Anwendung im Rahmen von Maßnahmenplanungen im Boden- und Gewässerschutz diskutiert.

1 Einleitung

Für die Bewertung der vielfältigen Landschaftsfunktionen und ihrer Belastungen kann heute auf ein umfangreiches Inventar an Methoden und Modellen unterschiedlicher Komplexität zurückgegriffen werden (z.B. MARKS et al., 1989; BASTIAN & SCHREIBER, 1999; GRABAUM et al., 1999). Integriert in die Methodenumgebung Geographischer Informationssysteme lassen sich diese als Bausteine für raumbezogene Entscheidungsunterstützungssysteme verwenden. Ein Beispiel für ein solches Entscheidungsunterstützungssystem soll im folgenden vorgestellt werden. Im Mittelpunkt steht dabei die Vorhersage von Bodenbelastungen durch Bodenerosion, die Bestimmung der oberirdischen Transportbahnen für Wasser und Boden sowie die Abschätzung des erosionsbedingten Sediment- und Stoffeintrages in Oberflächengewässer. Anhand ausgewählter Landnutzungsszenarien, die über die graphische Benutzerschnittstelle des hier beschriebenen Land Use Management Support Systems (LUMASS) definierbar sind, soll zudem demonstriert werden, wie sich Veränderungen in der Bewirtschaftung und in der räumlichen Nutzungsstruktur (z.B. durch eine geänderte Schlageinteilung oder durch Anlage erosionsmindernder Raumstrukturelemente) auf das oberirdische Stofftransportgeschehen auswirken.

2 Allgemeine Anforderungen an praxistaugliche Prognose- und Managementsysteme

Neben der laufenden Zustandserfassung und der Vorhersage möglicher Belastungen der Landschaftsfunktionen muss ein Landmanagementsystem in der Lage sein, die Umweltwirkungen alternativer Nutzungsweisen zu bewerten und damit zur Lösung auftretender Konflikte beizutragen. Auf diese Weise kann es wichtige Hilfen bei der Entscheidungsfindung in Planungsprozessen leisten. Derartige Systeme lassen sich als „Spatial Decision Support Systems (SDSS)“ auffassen. Diese bestehen aus einer aufeinander abgestimmten Sammlung an Daten und Modellen sowie aus Routinen für das

Prä- und Postprocessing von Modelleingangs- und -ausgabedaten, die über entsprechende Schnittstellen miteinander in Verbindung stehen (DJOKIC, 1996).

Aus Gründen der Praktikabilität enthält das hier vorgestellte System nur solche Methoden,

- die minimale Anforderungen an den Umfang der zu verwendenden Eingangsdaten stellen,
- deren Eingangsgrößen im allgemeinen flächenhaft gut verfügbar sind oder mit vergleichsweise geringem Aufwand erfasst werden können,
- die eine hinreichend genaue Aussage in Bezug auf den Bewertungsgegenstand ermöglichen und
- die in der Anwendung erprobt sind.

Um als Werkzeug für die Entscheidungsunterstützung bei konkreten Maßnahmenplanungen einsetzbar zu sein, müssen Managementsysteme wie das hier beschriebene folgende weitere Anforderungen erfüllen:

1. Möglichkeit zur Durchführung parzellenscharfer Abfrage-, Berechnungs- und Bewertungsoperationen,
2. Flexibilität in Bezug auf Parametereinstellungen für Landnutzungs- und Bewirtschaftungsszenarien (z.B. anwenderdefinierte Fruchtfolgegestaltung, Festlegung der Bearbeitungsrichtungen, Spezifizierung der Anteile von flächenhafter und linearer Bodenerosion) sowie hinsichtlich der Auswahl von Algorithmen zur Berechnung der oberirdischen Abflusswege, Hanglängen und Einzugsgebietsgrößen,
3. freie Veränderbarkeit der Geometrien von Ackerschlägen und anderen flächen- sowie linienhaften Raumstrukturelementen (z.B. Einfügen/ Entfernen von Straßen, Gräben, Ackerraine, Erosionsschutzstreifen) über die Bildschirmoberfläche sowie eine
4. leichte Bedienbarkeit und die Möglichkeit zur Interaktion (z.B. durch Plausibilitätskontrollen nach Eingabe bzw. Auswahl bestimmter Modelleinstellungen.

3 Vorhersage erosionsbedingter Boden- und Gewässerbelastungen – Die verwendeten Methoden

Für die Abschätzung von Bodenabträgen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und zur Bestimmung partikulärer Stoffeinträge stellt LUMASS folgende Verfahren bereit:

- a) Berechnung des langjährigen mittleren Bodenabtrages auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (SCHWERTMANN et al., 1990).

Von den zwischenzeitlich von RENARD et al. (1997) in der Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) vorgenommenen Veränderungen des Ursprungsmodells wurde hier das überarbeitete Verfahren zur Berechnung des LS-Faktors übernommen.

- b) Abschätzung partikulärer Stoffeinträge in Oberflächengewässer

Das zur Bestimmung des Sedimenteintrages und dem Eintrag von partikulärem Phosphor verwendete Verfahren basiert auf der von NEUFANG et al. (1989) beschriebenen Methode.

Im Unterschied dazu erfolgt die Abschätzung des Sedimenteintrages hier allerdings nicht für jeden Gewässerabschnitt. Da höhere Stoffeinträge zumeist nicht in flächenhafter Form auftreten, sondern bevorzugt an den Enden relief- oder bewirtschaftungsbedingter

Leitbahnen vorkommen, werden hier die „Schnittpunkte“ der durch das Relief vorgegebenen oberirdischen Abflussbahnen mit Flüssen, Bächen und Gräben betrachtet und als potentielle Übertrittsstellen für erodiertes Bodenfeinmaterial ausgewiesen (vgl. Kapitel 4.2). Für jeden dieser modellgestützt ermittelten Übertrittspunkte, lässt sich anschließend ein entsprechender Sedimenteintrag berechnen. Unter Berücksichtigung der eingetragenen Sedimentmenge, dem Phosphorgehalt des Oberbodens sowie eines stoffspezifischen Anreicherungsverhältnisses kann schließlich auch der partikuläre Phosphoreintrag für die einzelnen Übertrittsstellen größenordnungsmäßig abgeschätzt werden.

4 Technische Implementierung der Methoden und Modellintegration in GIS

4.1 Modellintegration in GIS

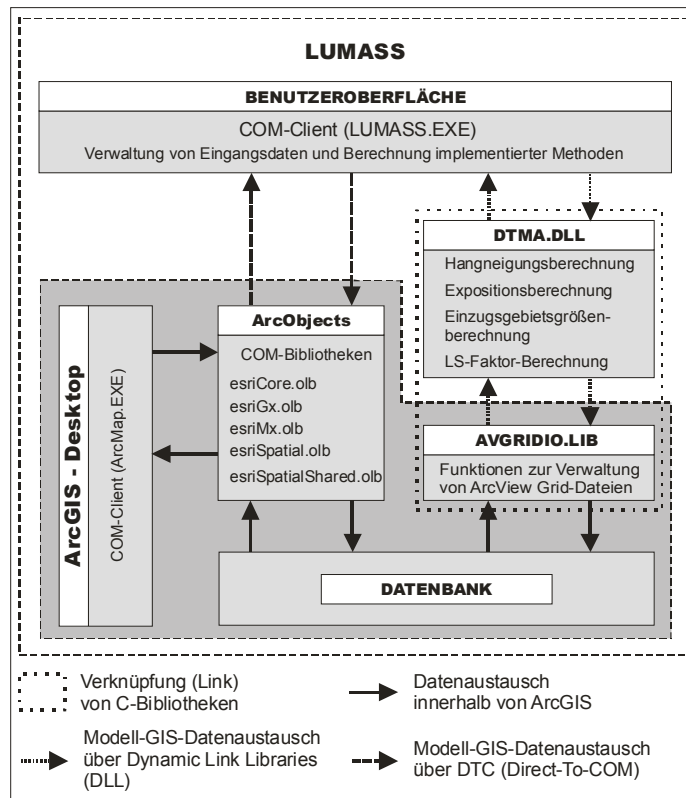


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Managementsystems LUMASS

Analog zur Vorgängerversion (vgl. DUTTMANN & HERZIG 2002) besteht auch die hier vorgestellte Weiterentwicklung von LUMASS aus verschiedenen Komponenten, die sich zum eigentlichen Managementsystem zusammenfügen (s. Abbildung 1). Ein wesentlicher Baustein ist die „Standalone-Anwendung“ LUMASS.EXE, die eine übersichtliche Oberfläche zur Einstellung der vielfältigen Berechnungsparameter bietet. Weiterhin realisiert sie die Aufrufe der einzelnen Berechnungsverfahren sowie die Kommunikation mit ArcGIS. Die zentrale Komponente für den Datentransfer zwischen GIS und Modell bildet dabei die COM (Microsoft Component Object Model) basierte Objektbibliothek ArcObjects. Sie erlaubt den freien Zugriff auf die gesamte ArcGIS-Funktionalität und wird im Fall von LUMASS über DTC (Direct To COM) und „SmartPointer“ mit Visual C++ angesteuert. Zur Berechnung der reliefbezogenen und hydrologischen Parameter konnte die Dynamic Link Library (DTMA.DLL) aus der Vorgängerversion übernommen werden. Die Verarbeitung der Rasterdaten erfolgt dabei durch eine Verknüpfung mit der ESRI-C-Bibliothek AVGRIDIO.LIB, die zum Lieferumfang der Spatial Analyst Erweiterung für ArcView und ArcGIS gehört. Die Darstellung sämtlicher Berechnungsergebnisse in Form von Karten erfolgt in ArcMap, das über ArcObjects direkt angesteuert werden kann.

4.2 Das Verfahren zur Berechnung von Einzugsgebietsgrößen, oberirdischen Fließwegen und Übertrittspunkten

Zur Berechnung oberirdischer Fließwege auf der Grundlage digitaler Geländemodelle stehen mehrere Methoden zur Verfügung. Sie unterscheiden sich vor allem durch die Art der Verteilung des Abflusses auf tieferliegende Nachbarzellen. Zur Berechnung der oberirdischen Abflusswege wie zur Berechnung des Hanglängenfaktors (L-Faktor) stellt das Landnutzungsmanagementsystem zwei „multiple“ Fließalgorithmen zur Verfügung:

- a) den Fließalgorithmus von QUINN (1991) für Gebiete mit einem engen Verhältnis von Rillen- zu Zwischenrillenerosion (Vorherrschen von flächenhafter Bodenerosion). Dieser Algorithmus teilt den Abfluss aus einer Rasterzelle proportional zum Gradienten der Steigung auf maximal acht tieferliegende Nachbarzellen auf.
- b) den Fließalgorithmus von TARBOTON (1997) für Gebiete mit einem weiten Verhältnis von Rillen- zu Zwischenrillenerosion (Vorherrschen von linienhafter Bodenerosion). Bei diesem wird der Abfluss aus einer Rasterzelle an maximal zwei tieferliegende Nachbarzellen aufgeteilt.

Infolge einer stärkeren Abflusskonzentrierung ist der letztgenannte Algorithmus gut zur Vorhersage von punktuellen Übertrittstellen an Gewässerrändern geeignet. Hierzu werden die linienhaften Elemente (Schlaggrenzen, Gräben, Bäche) gerastert und mit den Fließwegen verschnitten. Die sich aus der Verschneidung ergebenden Schnittpunkte der Fließwege mit den gerasterten Linienelementen werden dann von LUMASS als potentielle Übertrittstellen identifiziert (vgl. Abbildung 2).

Ein realistisches Abbild der Abflusspfade in der Landschaft ergibt sich erst durch den Einbezug natürlicher und künstlicher Fließbarrieren sowie abflusshemmender Strukturen (Straßen, Schlaggrenzen, Grünstreifen, Gräben) in die Fließwegerechnung. Die hier verwendeten Verfahren wurden deshalb um eine Routine erweitert, mit der den entsprechenden Fließhindernissen (z.B. Schlaggrenzen, Grünstreifen) unterschiedliche Überfließanteile zugeordnet werden können. Auf diese Weise ist es u.a. möglich, oberirdische Abflussbahnen schlagübergreifend zu erfassen.

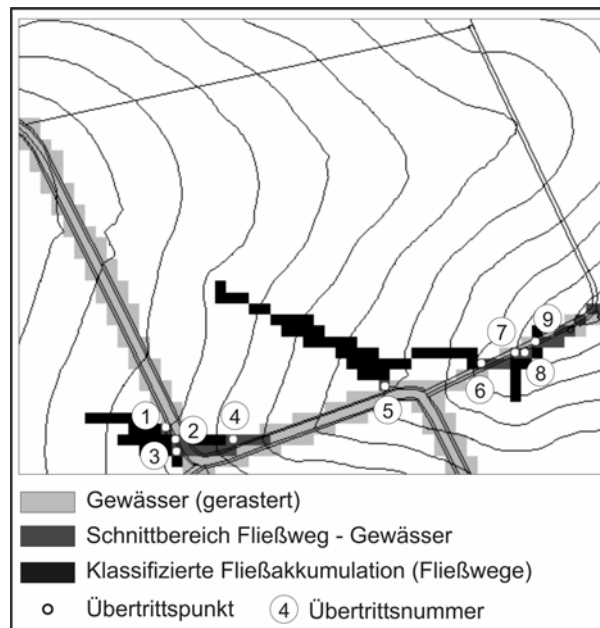


Abb. 2: Prinzip der Ableitung von Übertrittsstellen in angrenzende Gewässer

5 Modellergebnisse

Für den in Abbildung 2 dargestellten Schlag wurden insgesamt neun potentielle Übertritte von LUMASS ermittelt. Feldkartierungen der letzten Jahre zeigen, dass drei dieser Punkte (4, 5, 9) auch in der Realität höhere Sediment- und Phosphoreinträge aufweisen. Für eine Zuckerrübe – Zuckerrübe – Winterweizen – Fruchtfolge ergeben die Modellrechnungen im langjährigen Mittel hohe Sedimenteinträge von 10 bis 34 Tonnen pro Jahr und Phosphoreinträge von 36 bis 122 Gramm pro Jahr. Dies ist vor allem auf den langen Zeitraum unbedeckten Bodens im Winter vor der Zuckerrübensaat im Frühjahr zurückzuführen. Eine längere Bodenbedeckung in diesem Zeitraum, wie sie bei einer Raps – Winterweizen – Winterweizen – Fruchtfolge unter konventioneller Bodenbearbeitung erreicht wird, senkt die berechneten Sedimenteinträge auf etwa ein Drittel. Unter konservierender Bodenbearbeitung können diese Werte laut Berechnungsergebnis nochmals um etwa die Hälfte reduziert werden. Analoge Verhältnisse ergeben sich hier auch für die modellierten Phosphoreinträge.

6 Literatur

- BASTIAN, O. & K.-F. SCHREIBER [Hrsg.] (1999): Analyse und räumliche Bewertung der Landschaft. Berlin, Heidelberg.
- DJOKIC, D. (1996): Toward a general-purpose Decision Support System using existing technologies. In: Goodchild, M.F., L.T. Steyaert, B.O. Parks et al. [Eds.] (1996): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues. GIS World Books, Ft. Collins, S. 353 – 355.
- DUTTMANN, R. & A. HERZIG (2002): Prognose von Boden- und Gewässerbelastungen mit einem GIS-basierten Modellsystem. In: Abhandl. 53. Dt. Geographentag, Leipzig 2001.
- FEDRA, K. (1996): Distributed models an embedded GIS: Integration strategies and case studies. In: Goodchild, M.F., L.T. Steyaert, B.O. Parks et al. [Eds.] (1996): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues. GIS World Books, Ft. Collins, S. 413-417.
- GRABAUM, R., B.C. MEYER & H. MÜHLE (1999): Landschaftsbewertung und -optimierung. Ein integratives Konzept zur Landschaftsentwicklung. UFZ-Bericht, Nr. 32/1999, Leipzig, 109 S.
- MARKS, R., M.J. MÜLLER, H. LESER, H.-J. KLINK [Hrsg.] (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Bd. 229, Trier.
- MEYER, B. (2001): Landscape assessment. In: Krönert, R., U. Steinhardt & M. Volk [Hrsg.] (2001): Landscape Balance and Assessment. Berlin, Heidelberg, S. 203-249.
- MOSIMANN, TH., I. KÖHLER & I. POPPE (2001): Entwicklung prozessual begründeter landschaftsökologischer Leitbilder für funktional vielfältige Landschaften. In: Berichte zur Deutschen Landeskunde, Bd. 75, H. 1, S. 33-66.
- NEUFANG, L., K. AUERSWALD & W. FLACKE (1989): Automatisierte Erosionsprognose- und Gewässerverschmutzungskarten mit Hilfe der dABAG - ein Beitrag zur standortgerechten Bodennutzung. In: Bayer. Landwirtschaftl. Jahrbuch, Bd. 66 (7), S. 771-789.
- QUINN, P., K. BEVEN, P. CHEVALLIER & O. PLANCHON [Eds.] (1991): The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. In: Hydrological Processes, Vol. 5, S. 59-79.
- RENARD, K.G., R.G. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. MCCOOL & D.C. YODER [Hrsg.] (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In: U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404 S.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl., Stuttgart.
- TARBOTON, D.G. (1997): A new method for the determination of flow directions and up-slope areas in grid digital elevation models. In: Water Resources Research, Vol. 33 (2), S. 309-319.
- WISCHMEIER, W. H. & D. D. SMITH (1978): Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. USDA, Agricultural Handbook, No. 537, Washington D.C., 58 S.