

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 41 (2000)
Heft: 2

Artikel: Systemdenken im Geographieunterricht : Beispiel "Bodenerosion". Eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II
Autor: Rempfler, Armin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088462>

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: 15.01.2026

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

Systemdenken im Geographieunterricht – Beispiel “Bodenerosion”

Eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II

Armin Rempfler

Zusammenfassung

Der Geographieunterricht von morgen braucht neue Konzepte. Angesichts der rasanten Wissensvermehrung muss es ihm gelingen, über die Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten hinaus auch Wissen über das Funktionieren von räumlichen Systemen mit viel höherem Allgemeinheitsgrad in problemorientierter Form aufzubereiten, so dass sich Schülerinnen und Schüler damit selbsttätig und entdeckend auseinander setzen und ihr erworbenes Wissen kompetent in neuen Situationen anwenden können. Der folgende Beitrag ist direkt als Unterrichtseinheit anwendbar. Darüber hinaus ist er Anstoß für eine notwendige Diskussion über den Aufbau von strategischem Wissen auf Schul- und Hochschulebene.

1 Vorbemerkung

Die nachfolgenden Überlegungen leiten sich aus der Überzeugung ab, dass die Schulgeographie ihre Beliebtheit und Stundenzahl im 21. Jahrhundert aufrecht halten und zusätzlich ihre Effektstärke erhöhen kann, sofern sie zwei Ziele erreicht: Zum einen muss sie sich noch mehr auf die Interessen der Jugendlichen ausrichten, was nicht zwingend mit Abkehr von Wissenschaftsorientierung gleichzusetzen ist (vgl. Uhlenwinkel 2000). Zum anderen wird sie nicht darum herumkommen, neue

Adresse des Autors: Dr. Armin Rempfler, Ziellempgasse 11, CH-4600 Olten
Geographielehrer an der Kantonsschule Olten, Lehrbeauftragter für Exkursionsdidaktik
am Departement Geographie der Universität Basel

Unterrichtskonzepte sowohl auf der Basis fachwissenschaftlicher als auch allgemein- und fachdidaktischer Forschungsresultate bzw. Resultate benachbarter Disziplinen zu entwickeln. Soll letzteres erreicht werden, ist eine vermehrte Zusammenarbeit zwischen Schule und Hochschule unabdingbar. Dies kann jedoch mit den bestehenden universitären Strukturen kaum im notwendigen Umfang eingelöst werden (vgl. Leser 1999).

Das vorliegende Beispiel zeigt, dass die Brücke Schule – Hochschule geschlagen werden kann. Möglich war dies nur, weil der Verfasser – mit nicht geringem Aufwand – die Verbindung zur fachwissenschaftlichen Ausbildungsstätte auch nach mehrjähriger Tätigkeit im Schuldienst aufrecht hielt. Dafür war er auf Verständnis seitens der Schulleitung und Kooperationsbereitschaft seitens der Universität angewiesen. Angesichts der im Schulalltag ansteigenden Beanspruchung werden derartige Verbindungen eher eine Ausnahme denn die Regel sein. Erhofft man sich dennoch für den Geographieunterricht von morgen gut durchdachte und innovative Konzepte mit der nötigen Breitenwirkung, so bleibt dies unter den gegebenen Rahmenbedingungen weitgehend Illusion.

Das Ziel dieser Unterrichtseinheit besteht darin, Ergebnisse der Grundlagenforschung didaktisch zu reduzieren und unter Berücksichtigung kognitionspsychologischer Erkenntnisse so zu arrangieren, dass sie für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II eine Herausforderung darstellen und gleichzeitig Spass machen.

2 Systemdenken als Strategie eines modernen Geographieunterrichts

Arbinger (1998) macht deutlich, dass es in der kognitiven Psychologie eine minimale Übereinstimmung über die Existenz mehrerer Wissensstrukturen gibt. Das *bereichsbezogene Wissen* bezeichnet das Wissen über einen bestimmten Teil der Realität und ist im Rahmen der Schule an Fachinhalte gebunden. Diese Wissensart schliesst sowohl Kenntnisse (als deklaratives Wissen) als auch Fertigkeiten (als prozedurales Wissen) mit ein.

Das *strategische Wissen* stellt eine weitere Dimension kognitiven Lernens dar. Es beschreibt formale Erkenntnisse oder allgemeine Prozeduren, die inhaltsneutral sind. Im Gegensatz zum prozeduralen Wissen besitzen Strategien einen deutlich höheren Allgemeinheitsgrad. Ihre Darstellung als Wenn-Dann-Beziehung macht es möglich, Erkenntnisse einfacher in neuen Situationen anzuwenden. Entsprechend kann die systemanalytische Betrachtung eines geographischen Inhalts dazu führen, allgemeingültige Strukturen und Prozesse abzuleiten, die in unterschiedlichen räumlichen Kontexten verwendbar sind. Geht man davon aus, dass sich alle Erd- und Lebensräume für eine systemische Betrachtungsweise eignen, so lässt sich Systemdenken bzw. vernetztes Denken zu einem Unterrichtsprinzip erheben (vgl. Köck 1985, Köck 1997).

Die dritte Wissensstruktur – das *metakognitive Wissen* – sei der Vollständigkeit halber erwähnt. Es handelt sich um das Wissen einer Person über ihr eigenes Wissen und bildet die Grundlage für die Selbstreflexion.

3 Bodenerosion als Beispiel

Bodenerosion vermindert die Bodenfruchtbarkeit und kann zur Vernichtung der Bodensubstanz führen. Die Erosion des Bodens durch Wasser kann zudem starke Gewässerbelastungen hervorrufen. Das Problem hat sich auch in Mitteleuropa während der letzten zwanzig Jahre insofern verschärft, als der Boden stärker beansprucht wird. Zudem fand eine Veränderung der Flächennutzungen statt und die Parzellen wurden im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren umgestaltet.

Die Bodenerosionsforschung hat im Departement Geographie der Universität Basel eine lange Tradition (vgl. *Leser* 1991, 479). Ihre ökosystemare Ausrichtung, bei der die Bodenerosion als geoökologisches Phänomen betrachtet wird, macht eine didaktische Reduktion und Umsetzung mit folgenden Zielsetzungen möglich:

- Erfassung der wesentlichen Strukturen und Prozesse, die zur Bodenerosion führen,
- Analyse der Wechselbeziehungen innerhalb des Prozessgefüges “Bodenerosion”,
- Berücksichtigung der geoökologischen Systemtheorie (*Klug & Lang* 1983).

Grundlage für die schulische Aufbereitung bilden die Arbeiten von *Rohrer* (1985) im Napfgebiet und von *Prasuhn* (1991) im Basler Tafeljura. Damit sind zwei wichtige Naturraumtypen der Schweiz vertreten. Ein wesentlicher Vorteil der beiden Studien liegt in der Verwendung eines weitgehend identischen methodischen Ansatzes, so dass die Daten kompatibel sind.

4 Unterrichtliche Umsetzung

Das gewählte Fallbeispiel “Bodenerosion” lässt sich im Rahmen von fünf bis sechs Lektionen bearbeiten. Voraussetzung für dessen Verständnis bilden grundlegende Kenntnisse der Bodenkunde: Pedogenese, Humus- und Tonmineralbildung, Korngrössenzusammensetzung, Luft-, Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie Ansprache von Böden müssen in den Grundzügen verstanden sein.

Die Unterrichtseinheit ist so aufgebaut, dass sie bereichsbezogenes und strategisches Wissen vermittelt. Dafür werden in erster Linie problemorientierte Lernumgebungen unter Vermeidung direkter Informationsdarbietungen geschaffen. Es geht darum, Probleme bereitzustellen, mit denen sich die Lernenden aktiv und explorativ auseinander setzen können, um flexibel anwendbare Wissensstrukturen aufzubauen und kognitive Strategien zu entwickeln. Das bedingt einen hohen Grad an Authentizität der bereitgestellten Probleme. Nur in der Auseinandersetzung mit der spezifischen Situation wird nicht einzig Wissen, sondern auch gleichzeitig die Anwendungsbedingung dieses Wissens erworben (vgl. *Arbinger* 1998).

Die Entflechtung bereichsbezogenen und strategischen Wissens ist nicht immer vollständig möglich und in der Unterrichtspraxis auch zu theoretisch. Zur Verdeutlichung der beiden Ebenen sei im folgenden der Versuch einer Trennung trotzdem unternommen. Werden in den folgenden Kapiteln 4.1 bis 4.6 primär bereichs-

<i>Strukturierung</i>	<i>Denkbare Unterrichtsform</i>	<i>Material/Hilfsmittel</i>	<i>Zielsetzung</i>
4.1 Einstieg in die Merkmale von Systemen	Lehrer-Schüler-Gespräch, Brainstorming, Partnerarbeit	Abb. 2 und Abb. 3	<ul style="list-style-type: none"> • Merkmale von Systemen und Ökosystemen erarbeiten • Speicher- und Prozesselemente unterscheiden • Relationen zwischen Systemelementen erkennen
4.2 Einstieg in das Thema “Bodenerosion”	Lehrer-Schüler-Gespräch, Lehrvortrag	Dias, Bilder, Karten, Abb. 4	<ul style="list-style-type: none"> • individuelle Erfahrungen mit dem Thema wecken • Unterschied zwischen natürlichem und anthropogenem Abtragungsprozess klarmachen • Modellgebiete Jura und Napf kennen lernen
4.3 Erarbeitung der erosionsbeeinflussenden Systemelemente	Einzelarbeit	Abb. 5 und Abb. 6	<ul style="list-style-type: none"> • Kenntnisse über Modellgebiete vertiefen • Erosionsbeeinflussende Systemelemente anwenden • Bodenerosionsgefahr der Modellgebiete schätzen
4.4 Erarbeitung von Wasserhaushalt und Bodenerosion	Partnerarbeit	Abb. 7 – 10	<ul style="list-style-type: none"> • Jahresbilanz von Wasserhaushalt und Bodenerosion der beiden Gebiete analysieren • Analysen vergleichen und bewerten
4.5 Sicherung der erarbeiteten Erkenntnisse	Lehrer-Schüler-Gespräch, Schülerpräsentation	Hinweise in Kap. 4.5	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse besprechen
4.6 Anwendung und Vertiefung der Erkenntnisse	Einzelarbeit, Schülerpräsentation	Abb. 11	<ul style="list-style-type: none"> • Problem mit Hilfe der erarbeiteten Erkenntnisse lösen • Bedeutung von Starkregenereignissen erfassen • Ergebnisse besprechen

Abb. 1 Strukturierung der Unterrichtseinheit.

bezogene Wissensstrukturen diskutiert, wendet sich Kap. 5 explizit dem strategischen Wissen zu. Den Überblick über einen möglichen Ablauf der Unterrichtseinheit vermittelt Abbildung 1.

4.1 Einstieg in die Merkmale von Systemen

Eine erste Auseinandersetzung mit allgemeinen Merkmalen von Systemen und Ökosystemen ist insofern sinnvoll, als Abb. 3 die Grundlage für das Verständnis der komplexeren Abb. 8 und 9 bildet. Abb. 2 und 3 lassen sich miteinander verbinden, indem Bezüge zwischen einzelnen Textabschnitten und dem Raumausschnitt hergestellt werden. Bedeutend ist auch die Unterscheidung von Speicher- und Prozess-elementen: Speicher halten Stoffe, Energien oder Informationen innerhalb ihres Transfers kurz- oder langfristig zurück, während Prozesse den entsprechenden Transfer in horizontaler oder vertikaler Richtung beinhalten. Einige erkennbare Relationen zwischen Systemelementen lauten:

- $N = V + A$ (vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung).
- Je höher BWa, desto geringer A_o .
- Je höher BWa, desto höher V und GWa.

Ein System ist der Zusammenhang von Dingen, Vorgängen und/oder Teilen, die eine funktionale Einheit darstellen, die – gewissen Regeln folgend – ein geordnetes Ganzes bilden.	dehn. Familie, Lichtschalter, Badezimmer, Fluggesellschaft, Tümpel, Baum, Berg oder Schotterkörper – alle diese „Gegenstände“ weisen die Merkmale des Systems auf.	oder funktionalen Systemelemente sind durch Relationen verknüpft, in denen Stoffe, Energien und/oder Informationen ausgetauscht werden.
Ein Haufen Mehl ist im Gegensatz zu einem Brot kein System. Er verändert sich in seiner Eigenschaft kaum, ob man Mehlkörner wegnimmt oder hinzufügt. Im Brot hingegen sind einzelne Elemente zu einer bestimmten Struktur geformt. Bricht man an einer Stelle einen Teil davon heraus, so ist die Struktur des Brotes gestört.	Ein System ist etwas anderes als die Summe seiner Elemente.	Jedes Ökosystem ist ein System, aber nicht jedes System ist ein Ökosystem.
Ein System besteht aus mehreren Elementen, die nach einer bestimmten Ordnung miteinander verbunden sind. Die Elemente können sozialer, technischer oder infrastruktureller Natur sein, es kann sich aber auch um biotische oder abiotische Elemente handeln.	Ein System ist eine Menge von Elementen und eine Menge von Relationen, die zwischen diesen Elementen bestehen, wobei die Relationen die Systemstruktur repräsentieren.	Ein Ökosystem ist eine Funktionseinheit der realen Umwelt, die sich aus abiotischen und biotischen Faktoren zusammensetzt. Es handelt sich um ein sich selbst regulierendes Wirkungsgefüge, dessen stets offenes stoffliches und energetisches System sich in einem dynamischen Gleichgewicht befindet.
	Systeme sind zweckgerichtet – „willkürlich“ – abgrenzbar.	(Quellen: Kyburz-Graber et al. 1991; Leser 1997a, 1997b)

Abb. 2 Allgemeine Merkmale von Systemen und Ökosystemen.

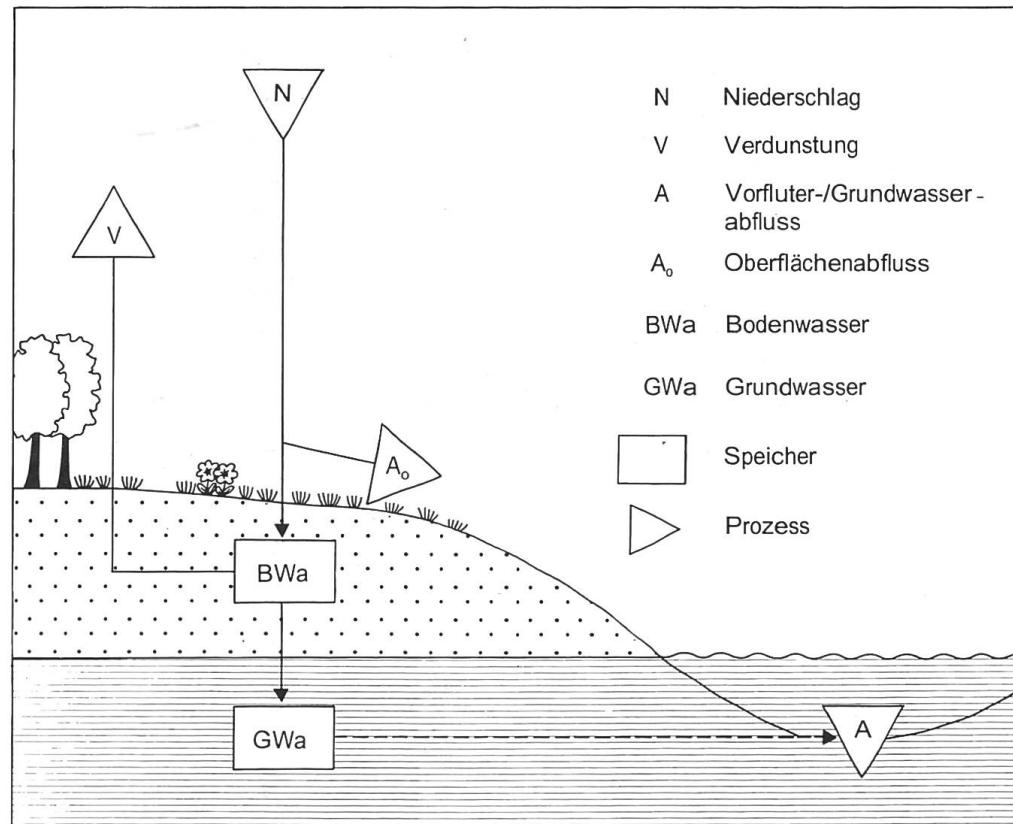


Abb. 3 Am Wasserhaushalt beteiligte Elemente und Relationen.
(Quelle: Rempfer 1999a, leicht verändert)

4.2 Einstieg in das Thema “Bodenerosion”

Es bieten sich zahlreiche Möglichkeiten an, um die Erosionsproblematik bewusst zu machen. Angeregt sei lediglich der Versuch, eigene Beobachtungen der Schülerrinnen und Schüler mit einzubeziehen. Die Erkenntnis, dass es sich bei Bodenerosion um eine Sonderform der Abtragung handelt, die weit über den Umfang natürlicher Abtragungsprozesse hinausgeht, kann mithelfen, das Thema gedanklich besser einzuordnen. Einführungen dieser oder ähnlicher Art lassen sich schliesslich mit einer kurzen Präsentation der zu bearbeitenden Gebiete (Tafel-)Jura und Napf verbinden, indem grobe Thesen über deren Erosionsgefährdung aufgestellt werden. Eine zusätzliche Visualisierungshilfe bietet Abb. 4 mit einem Überblick über Topographie und Grössenverhältnisse.

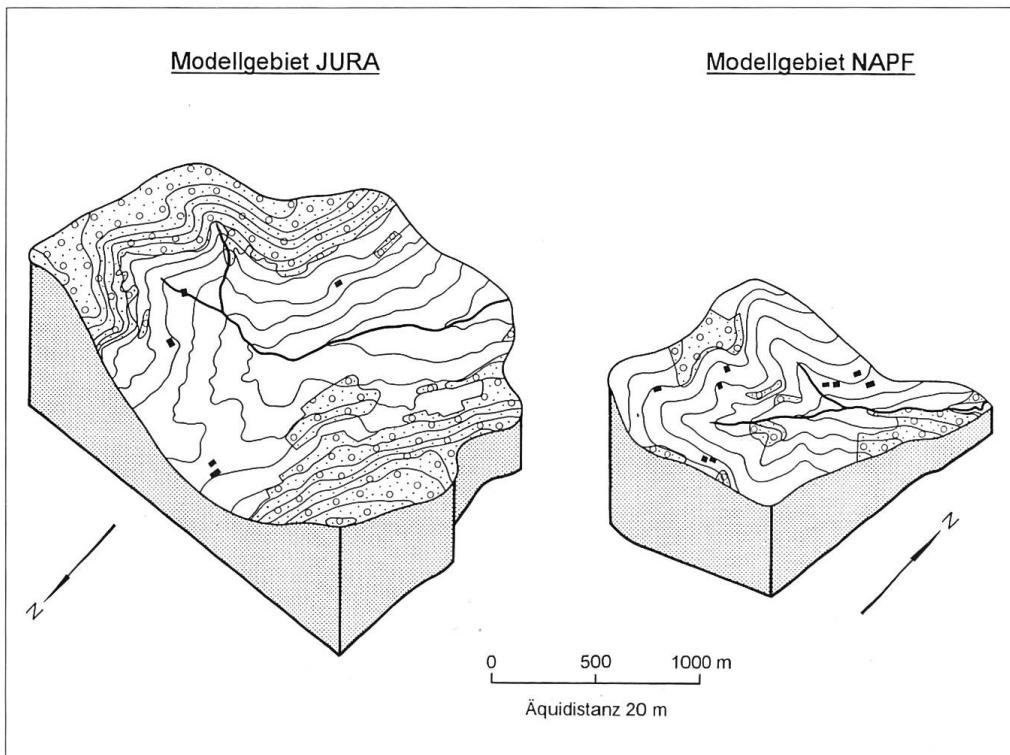


Abb. 4 Topographie und Grössenverhältnisse der Modellgebiete JURA und NAPF.
(Quelle: Rempfler 1998)

4.3 Erarbeitung der erosionsbeeinflussenden Systemelemente

Eine differenziertere Annäherung an die zwei Modellgebiete erlauben Abb. 5 und 6. Sie sind so gestaltet, dass die potentielle Bodenerosionsgefahr der beiden Gebiete anhand ihrer naturräumlichen Ausstattung und Nutzungsverhältnisse (Abb. 5) summarisch und vergleichend geschätzt werden kann. Eine einfache Matrix (Abb. 6) macht eine grobe Gewichtung möglich, die allerdings nur für schweizerische Verhältnisse gültig ist. Damit werden im wesentlichen drei Ziele erreicht:

- Vertiefung der Kenntnisse über die beiden Modellgebiete JURA und NAPF.
- Erfahrung mit der Vielfalt erosionsbeeinflussender Systemelemente, die zudem einen weiteren Elementtyp, den Regler, repräsentieren. Regler steuern im System den Durchfluss von Stoffen, Energien oder Informationen. Sie entscheiden, welche der möglichen Verzweigungen geöffnet werden und welche Mengen durchfliessen dürfen.
- Erkenntnis, dass die Erosionsanfälligkeit in beiden Modellgebieten etwa im mittleren Bereich liegt, wobei im Napf tendenziell höher als im Jura. Ausnahmen bilden die relativ hohe Aggregatstabilität der Böden im JURA sowie die kurzen Hanglängen in beiden Gebieten, die eher auf eine geringe Gefährdung hinweisen. Die vorherrschende Reliefform in beiden Gebieten, die starken Hangneigungen im Modellgebiet NAPF sowie das Auftreten von Mais als eine Hauptanbaufrucht im JURA lassen hingegen ein grosses Erosionspotential vermuten. Die Bearbeiter der beiden Gebiete beurteilen das Gefährdungspotential auf der Grundlage der naturräumlichen Ausstattung und Nutzungssituation ähnlich (vgl. Rohrer 1985, 220; Prasuhn 1991, 81).

Naturräumliche Ausstattung/ Nutzungsverhältnisse	Modellgebiet Jura	Modellgebiet Napf
Naturräumliche Einheit	Tal und Hochfläche des Tafeljura	extramoränales Hügelland des höheren Mittellandes, Napfgebiet
Fläche des Einzugsgebietes	270 ha	102 ha
Höhe ü. M.	450 - 690 m	670 - 835 m
Oberflächennaher Untergrund	kalkreicher Hangschutt und Hanglehm aus Ton und Mergel	weitgehend entkalkte mittelländische Molasse aus Sandstein und Nagelfluh
Niederschlags-Jahressumme	1050 mm	1470 mm
Temperatur-Jahresmittel	8.0 °C	6.3 °C
Wald, (Ödland, überbaute Fläche)	40 %	17 %
Landwirtschaftliche Nutzfläche	60 %	83 %
Dauergrünland	35 %	18 %
Ackerland	25 %	65 %
Hauptanbaufrüchte	Mais und Wintergetreide	Wintergetreide und Hackfrüchte
Dominante Reliefform im ackerbaulich genutzten Teil	stark strukturiertes Kleinrelief mit zahlreichen Wölbungen; nur vereinzelt gestreckte Hänge	abwechslungsreiches Kleinrelief mit zahlreichen Wölbungen; zusätzlich Bodenwellen und Dellen
Hangneigung der intensiv bewirtschafteten Flächen	7° - 11°; z.T. Äcker bis > 15°	> 11°; z.T. Äcker bis 30° *
Dominierende Hanglänge	50 m	30 m
Dominierender Bodentyp mit Bodenart	tonig-lehmige Kalk-Braunerde	sandig-lehmige saure Braunerde
Aggregatstabilität	1 - 2	1 - 3
Intensität der Niederschläge (R-Faktoren)	<ul style="list-style-type: none"> • R = 105 • 80 - 95 % des Erosionsvermögens im Sommer • wenige Starkniederschläge dominieren die Jahreserosionskraft 	<ul style="list-style-type: none"> • R = 120 • 75 - 80 % des Erosionsvermögens im Sommer • wenige Starkniederschläge dominieren die Jahreserosionskraft

*Traditioneller Hang-Ackerbau: Äcker in diesen Steilstufen werden mit Hilfe mechanischer Seilwinden gepflügt. Die Eisaat geschieht in Handarbeit.

Abb. 5 Naturräumliche Ausstattung und Nutzungsverhältnisse der beiden Modellgebiete.
(Quelle: Rempfler 1998)

Das gewählte Vorgehen erlaubt nur eine pauschale Aussage, die sich auf die Gesamtgebiete bezieht. Tatsache ist, dass Bodenerosion in beiden Modellgebieten kein flächenhaftes, sondern ein lineares und lokales Problem ist, was im übrigen für weite Teile des schweizerischen Mittellandes gilt (Mosimann et al. 1990, 35). Es sind wenige Starkregenereignisse im Sommer, die den Hauptteil der Erosionsschäden bewirken (vgl. Abb. 5 unterste Zeile und Kap. 4.6).

Erosionsbeeinflussende Systemelemente	Gefahr der Bodenerosion		
	gering	mittel	gross
• <i>Nutzung (Nu)</i>			
Wald, Dauergrünland			
Ackerland			
Wintergetreide, Hackfrüchte			
Mais			
• <i>Reliefform (Rf)</i>			
gestreckter Hang			
konvexe/konkave Wölbungen			
• <i>Hangneigung (Hn)</i>			
0° - 4°			
> 4° - 11°			
> 11°			
• <i>Hanglänge (Hl)</i>			
10 - 50 m			
> 50 - 100 m			
> 100m			
• <i>Bodenart (Ba)</i>			
Sand, Ton			
sandiger Lehm, toniger Lehm			
schluffiger Lehm			
Schluff			
• <i>Aggregatstabilität des Bodens (Ag)*</i>			
1 - 2			
3			
4			
• <i>Intensität der Niederschläge (IN) **</i>			
R < 100			
R 100 - 150			
R > 150			

*Die *Aggregatstabilität* ist ein Mass für die mechanische Festigkeit des Bodens. Stabile Aggregate schützen die Bodenoberfläche vor Verschlammung und gewährleisten ein hohes Sickerungsvermögen.

** Bei den vorliegenden Zahlen wurde die maximale Intensität der Niederschläge mit der darin enthaltenen Energie gekoppelt. Daraus ergeben sich langjährige Durchschnittswerte (sog. R-Faktoren), die ein gutes Mass sind für die Erosionsstärke der Niederschläge im entsprechenden Gebiet.

Abb. 6 Matrix zur Gewichtung erosionsbeeinflussender Systemelemente.
(Quelle: Rempfler 1998)

Erklärungen

- *Wasserhaushaltsgleichung:* Im langjährigen Mittel gilt für Einzugsgebiete die Gleichung: $N = V + A$. Bei kürzerfristiger Betrachtung muss auch die zeitlich limitierte Rücklage – vergleichbar mit der finanziellen Rücklage im Sparstrumpf – berücksichtigt werden. Das bedeutet dann: $N = V + A + GW_a$.
- *Abfluss aus einem Einzugsgebiet:* Ein Teil des Niederschlags, der in ein Einzugsgebiet (System) gelangt, verlässt dieses irgendwann wieder als Abfluss. Dieser Abfluss teilt sich, in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, in Oberflächen- (A_o), Zwischen- (A_z) und Basisabfluss (A_b) auf. A_o gelangt nach einem Niederschlagsereignis direkt in den Bach/Vorfluter und verlässt das Einzugsgebiet. Die Menge hängt wesentlich vom Sickerungsvermögen (V_{Si}) des Gebietes ab. A_z beschreibt den Abfluss, der, ausgehend vom Bodenwasser, horizontal (oder schräg) im Boden transportiert wird, z.B. über einer wasserstauenden Bodenschicht. Unter A_b versteht man den Abflussanteil im Vorfluter, der vom Grundwasserstrom und Zwischenabfluss gespiesen wird. A_b wird vor allem dann sichtbar, wenn ein Bach trotz tagelanger Trockenheit noch Wasser führt.

Aufgaben

1. Kontrollieren Sie, ob die Wasserhaushaltsgleichung – bei kürzerfristiger Betrachtung – in den Modellgebieten JURA und NAPF je aufgeht! Es handelt sich um die in mm angegebenen, schraffierten Werte.
2. Diskutieren Sie die Unterschiede in Bezug auf $N-V-A_b$, die zwischen den beiden Modellgebieten bestehen. Wie können diese erklärt werden? Berücksichtigen Sie die naturräumliche Ausstattung und Nutzungsverhältnisse der Gebiete (vgl. Abb. 5).
3. A_o ist eine wichtige Einflussgröße im Bodenerosionsgeschehen. Warum ist A_o in beiden Modellgebieten relativ niedrig? (Der Unterschied von 30 mm ist praktisch zu vernachlässigen.) Suchen Sie nach Begründungen. Berücksichtigen Sie die naturräumliche Ausstattung und Nutzungsverhältnisse der Gebiete (vgl. Abb. 5).

Erklärungen

- Auf Ackerflächen erodierte Bodenmaterial (B_{er}): Lössgebiete im Basler Hochrheintal (Möhliner Feld, AG) weisen durchschnittliche jährliche Bodenerosionsraten von 5000 kg/ha auf. Damit gehören sie zu den am stärksten von Bodenerosion betroffenen Gegenden der Schweiz.
- *Schweb:* Unter Schwebstoffen versteht man organische und mineralische Partikel, die im Bach-/Flusswasser transportiert werden. Sie sind immer vorhanden, aber vor allem nach intensiven Regenfällen aufgrund der Braunfärbung gut sichtbar. Die gesamten Schwebstoffausträge aus einem Einzugsgebiet setzen sich aus den Materialien zusammen, die durch Bodenaustrag (BA) und Basisabfluss (A_b) weggeführt werden. BA besteht aus erodiertem Material von Ackerflächen (B_{er}) wie auch von Feldwegen und anderen bebauten Flächen. Schweb in A_b stammt von "natürlicher" Erosion, d.h. Bachbetterosion.
- *Stofffracht:* Mit dem Wasser beziehungsweise Schwebmaterial werden auch Nährstoffe aus dem Einzugsgebiet transportiert und gehen damit verloren.

Aufgaben

4. a) Wie sind die auf Ackerflächen erodierten Bodenmengen von JURA und NAPF gesamtschweizerisch einzuordnen?
b) Was passiert offenbar mit einem Grossteil des erodierten Bodenmaterials?
c) Wie ist die deutlich höhere Menge an erodiertem Boden im NAPF zu erklären?
5. Wie lassen sich in beiden Gebieten die grossen Mengen an Schwebstoffen im BA erklären?
6. Abgesehen vom Verlust im Einzugsgebiet kann die Stofffracht anderweitig zu Problemen führen. Inwiefern?

Abb. 7 Erklärungen und Aufgaben zu den Abb. 8 und 9.

4.4 Erarbeitung von Wasserhaushalt und Bodenerosion

Den Kern der zweiten Erarbeitungsphase bilden Abb. 8 und 9 mit der Legende in Abb. 10. Es handelt sich um vereinfachte graphische Synthesemodelle, welche die Jahresbilanz von Wasserhaushalt und Bodenerosion der zwei Untersuchungsgebiete zusammenfassen. Alle wesentlichen am Erosionsgeschehen beteiligten Systemelemente sind in ihrer Funktion als Speicher, Regler oder Prozesse festgehalten. Damit kann die vorangegangene Schätzung der Erosionsanfälligkeit den gemessenen Werten gegenübergestellt werden. Erfahrungsgemäß bereitet die Informationsfülle derartiger Modelle Schwierigkeiten. Die Form der Darstellung lehnt sich

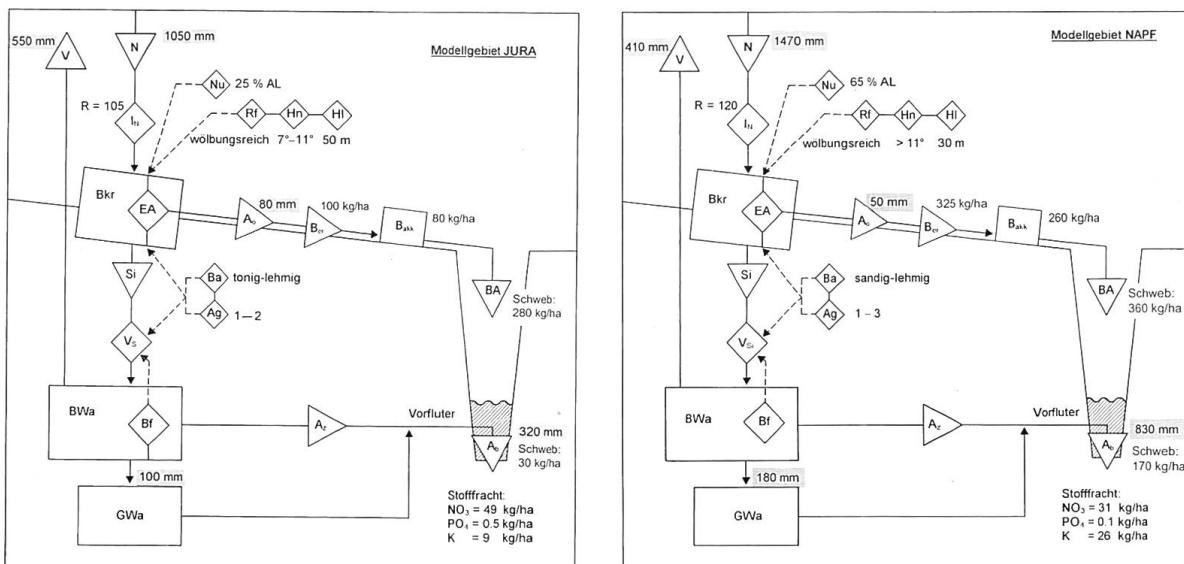


Abb. 10 Legende zu den obigen Abbildungen

REGLER	PROZESSE	SPEICHER
I_n	Niederschlag	Bkr
EA	Verdunstung	B_{akk}
V_s	Sickerung	BW_a
Bf	erodierter Boden	GW_a
Nu	Oberflächenabfluss	
Rf	Zwischenabfluss	
Hn	Bodenaustrag	
Hi	Basisabfluss	
	Bodenart	
	Aggregatstabilität	

Abb. 8 links oben:

Jahresbilanz von Wasserhaushalt und Bodenerosion im Modellgebiet JURA.

Die Daten geben Mittelwerte von sieben Messjahren wieder, die insgesamt relativ erosionsarm waren.
(Quelle: Rempfle 1998, leicht verändert)

Abb. 9 rechts oben

Jahresbilanz von Wasserhaushalt und Bodenerosion im Modellgebiet NAPF.

Die Daten geben Mittelwerte von zwei Messjahren wieder, die nach Auffassung des Bearbeiters die Obergrenze der Gebietserosionsleistung aufzeigen. (Quelle: Rempfle 1998, leicht verändert)

deshalb konsequent an diejenige von Abb. 3 an und ist kongruent zu den in Abb. 6 verwendeten Kürzeln für die Regler. Ein Arbeitsblatt mit Erklärungen und Aufgaben (Abb. 7) bietet zusätzliche Hilfestellung, um “problemlösendes Lernen” zu ermöglichen: Ausgehend vom präsentierten Endergebnis sind die Strukturen und Zusammenhänge rückschreitend zu rekonstruieren (vgl. *Klafki* 1991, 146).

4.5 Sicherung der erarbeiteten Erkenntnisse

Folgende Sachverhalte gehen aus den Abb. 8 und 9 sowie den Erklärungen und Aufgaben in Abb. 7 hervor:

- Der Wasserhaushalt eines Geosystems setzt sich aus den Elementen Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Rücklage (im Grundwasserspeicher) zusammen. Aufg. 1 bestätigt die Wasserhaushaltsgleichung bei kürzerfristiger Betrachtung (JURA: $1050 = 550 + 80 + 320 + 100$, NAPF: $1470 = 410 + 50 + 830 + 180$).
- Die Glieder des Wasserhaushalts unterscheiden sich in den Modellgebieten v.a. im geringeren Niederschlag und Basisabfluss sowie in der höheren Verdunstung des Juras (Aufg. 2). Die höheren Niederschläge im NAPF hängen mit der Alpenrandnähe zusammen. Der geringere Basisabfluss und die höhere Verdunstung im JURA können im wesentlichen auf drei Sachverhalte zurückgeführt werden: Das Gebiet besitzt aufgrund des grösseren Waldanteils eine höhere Retentionsfähigkeit. Das in der Pflanzendecke zurückgehaltene Wasser wird direkt wieder verdunstet. Auch die tonhaltigeren Böden binden das Wasser stärker und begünstigen damit die Verdunstung. Entsprechend kleiner fällt die Speisung des Grundwasserkörpers bzw. des Basisabflusses aus. Verdunstungsfördernd wirkt zudem die höhere Durchschnittstemperatur im JURA.
- Der jahresdurchschnittlich geringe Anteil des Oberflächenabflusses liegt im allgemein guten Sickerungsvermögen der beiden Gebiete begründet (Aufg. 3). Der Hanglehm aus Ton und Mergel im JURA ist an sich schlecht durchlässig. Dies wird im Sommer aber weitgehend kompensiert durch mehrere Zentimeter breite Schrumpfungsrisse, die auf den tonreichen Böden durch Austrocknung entstehen können. Erhöht wird das Sickerungsvermögen zudem durch einen relativ hohen Anteil an Kalksteinen, die auf und im Boden vorhanden sind. Die Molasse aus Sandstein und Nagelfluh im NAPF ist schlecht verfestigt und klüftig und kann somit viel Wasser aufnehmen. Hinzu kommt die sandig-lehmige Bodenart und der ebenfalls relativ hohe Steingehalt.
- Aufg. 4 a): Die Bodenerosionsrate, die sich auf die Fläche des jeweiligen Einzugsgebietes bezieht, ist in beiden Modellgebieten im schweizerischen Vergleich als gering einzustufen, entgegen der groben Einschätzung aufgrund der naturräumlichen Ausstattung und Nutzungsverhältnisse (vgl. Kap. 4.3). Spitzenergebnisse werden im Löss des Hochrheintals erreicht (*Schaub* 1989, 197). Jura und Mittelland bzw. Voralpengebiet zählen aufgrund der vergleichsweise geringen Erosionsanfälligkeit der Böden und der vielfältigen Bewirtschaftung nicht zu den am stärksten gefährdeten Gebieten Mitteleuropas (*Mosimann et al.* 1990). Auf Einzelräckern können aber durchaus jährliche Umlagerungsmengen von bis zu 20 t/ha auftreten.

Aufg. 4 b): Ein grosser Teil – vier Fünftel – des erodierten Bodenmaterials wird nur über kurze Strecken transportiert und dann akkumuliert. Nur 20 % gelangt in den Vorfluter und wird als Schwebstoff aus dem Einzugsgebiet getragen. Das akkumulierte Material verliert an Qualität, weil es aufgrund der dichten, plattigen Lagerung einen gehemmten Luft- und Wasserhaushalt aufweist. Seine Ablagerung kann zudem Schäden an bestehenden Kulturen herbeiführen.

Aufg. 4 c): Der deutlich höhere Anteil an umgelagertem Bodenmaterial im Testgebiet NAPF bestätigt die z.T. bereits in Kap. 4.3 festgestellten Beobachtungen: Eine höhere Niederschlagsmenge, geringerer Wald- und höherer Ackerlandanteil, sehr steile Hanglagen und eine geringere Aggregatstabilität der Böden können als Begründungen herangezogen werden.

- Die Bodenerosion auf Ackerflächen (B_{er}) leistet ihren Anteil am Bodenaustrag (BA) mit weniger als 20 % zu einem geringen Anteil (Aufg. 5). Die Belastung der Bäche mit Schwebstoffen durch Bachbetterosion – vor allem im NAPF – und Abspülung von Bodenmaterial von Feldwegen und anderen bebauten Flächen ist bedeutend grösser. Eine zusätzliche Rolle spielt die quantitativ nicht fassbare Abspülung bei Regenereignissen ohne sichtbare Erosionsspuren.
- Ausgetragene Nährstoffe können anderenorts zu starken Gewässerbelastungen führen (Aufg. 6). Nitrat beispielsweise als auswaschungsbeeinflusster Stoff gelangt vorwiegend über die Sickerung und den Zwischenabfluss in den Vorfluter. Eine zu starke Anreicherung kann zur Überdüngung von Seen führen. Phosphat und Kalium sind primär erosionsbeeinflusste Stoffe.

4.6 Anwendung und Vertiefung der Erkenntnisse

Die Feststellung, dass im jährlichen Durchschnitt geringe Bodenerosionsraten auftreten, ist insofern zu relativieren, als lokal und zeitlich beschränkt sehr starke Erosionsschäden auftreten können (vgl. Kap. 4.3). Die Bedeutung von Starkniederschlagsereignissen im Sommer wird anhand eines Beispiels aus dem JURA thematisiert. Die Problematik liegt aber im Modellgebiet NAPF sehr ähnlich. Die gewichtige Frage, welche Konstellationen im Landschaftshaushalt starke Bodenumlagerungen provozieren, ist in Abb. 11 als Interpolationsproblem formuliert (vgl. Dörner & Kaminski 1988). Der Anfangszustand der Problemsituation ergibt sich aus dem Vergleich der beiden Ereignisse: Während das Juli- gegenüber dem August-Ereignis die doppelte Niederschlagsmenge und -intensität notiert, steht es um die Bodenfeuchteverhältnisse und die oberflächliche Abflussmenge genau umgekehrt. Der Zielzustand liegt darin, die mit Fragezeichen versehenen Elemente “Sickerung”, “Sickerungsvermögen” und “erodierter Boden” in ihrem Umfang qualitativ zu schätzen.

Wird die Beziehung zwischen Bodenfeuchte und Sickerungsvermögen (bzw. Sickerung) sowie zwischen erodiertem Bodenmaterial und Oberflächenabfluss erkannt, so ist die Lösung des Problems einsichtig: Beim Juli-Ereignis wurden im ganzen Einzugsgebiet knapp 30 m^3 Bodenmenge umgelagert, beim August-Ereignis eine Menge von 170 m^3 Bodenmaterial. In der dreiwöchigen Trockenperiode, die dem ersten Ereignis vorausging, bildeten sich ausgeprägte Schrumpfungsrisse an der Bodenoberfläche. Der Bodenwasserspeicher trocknete aus und führte zu einer entsprechend niedrigen Bodenfeuchte. Die Konsequenz war ein hohes

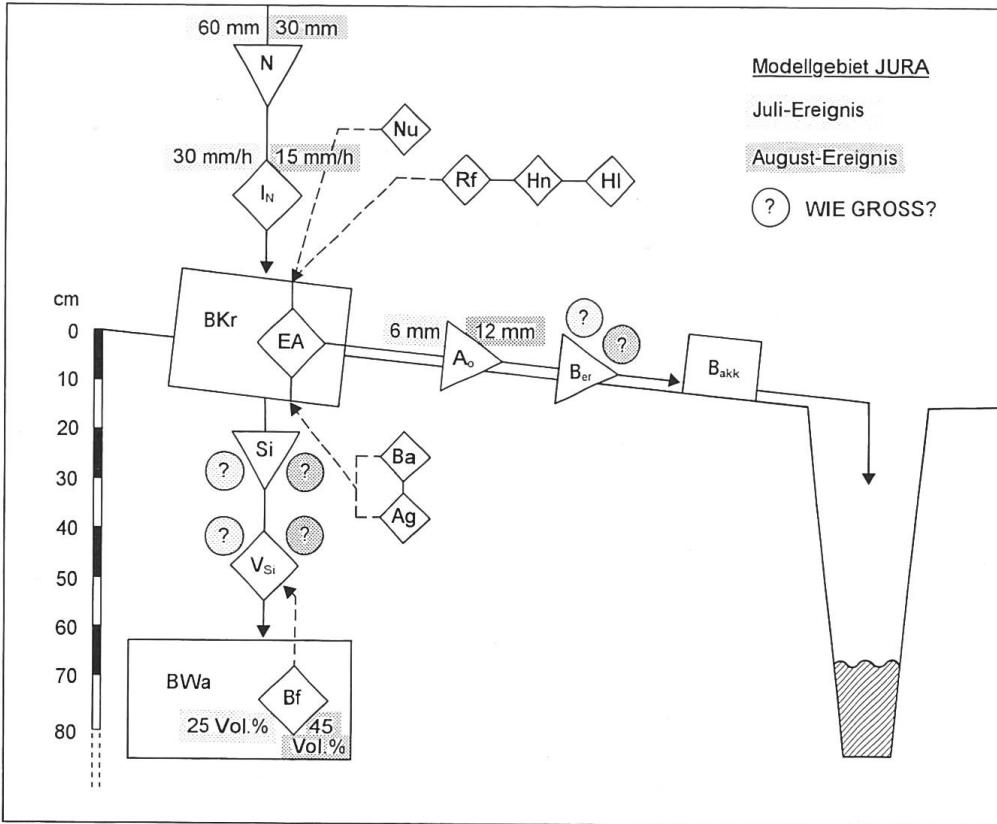


Abb. 11 Zwei Bodenerosionsereignisse im JURA bei sommerlichem Starkregen. Die Ereignisse fanden am 24. Juli und 3. August statt. Die mit Fragezeichen versehenen Elemente Si, V_{Si} und B_{er} sind in ihrem Umfang *qualitativ* zu schätzen.
 (Quelle: Rempfler 1998, leicht verändert)

Sickerungsvermögen, so dass ein Grossteil des Niederschlags aufgenommen werden konnte und ein relativ geringer oberflächlicher Abfluss entstand. Die Bedeutung der hohen Niederschlagsintensität rückte angesichts des enormen Sickerungsvermögens in den Hintergrund. Zehn Tage später war der Boden aufgrund der vorausgehenden Niederschläge immer noch sehr feucht. Die Sickerung war bei dem Folgeereignis gehemmt, während der Anteil des Oberflächenabflusses und damit die erodierte Bodenmenge erhöht wurde. Wesentlich verschärft wurde die Situation durch den Umstand, dass viele Felder inzwischen geeggt und neu eingesät worden waren, was in einer Tiefe von ca. 10 cm zu einer Sohlenverdichtung geführt hatte. Die gelockerte Ackerkrume konnte dadurch sehr leicht erodiert werden.

Ein hoher Oberflächenabfluss allein bewirkt nicht zwingend grosse Bodenumlagerungen. Denn oberflächlicher Abfluss besitzt an sich nur einen geringen erosiven Effekt. Seine Bedeutung liegt in erster Linie in der Transportfunktion. Erst unter der Voraussetzung, dass abtransportierbares Bodenmaterial vorliegt, kann Oberflächenabfluss seine Wirkung voll entfalten.

Auch wenn derartige Extremeschäden nur etwa alle vier Jahre auftreten, sind es doch wenige vergleichbare Sommerereignisse, die im langjährigen Durchschnitt 80-95% der gesamten Umlagerungsmenge ausmachen. Damit wird die Relativität von Erosionsaussagen über ganze Gebiete deutlich. Eine weitere Möglichkeit zur

starken Bildung von Oberflächenabfluss ergibt sich im Frühjahr bei noch gefrorenem oder übersättigtem Boden. Schneeschmelzen v.a. verbunden mit Niederschlägen vermögen dann sehr grosse Abflussspenden zu erbringen. Dies spielt mehr im NAPF und weniger im JURA eine zusätzliche wichtige Rolle innerhalb des Erosionsgeschehens.

5 Aufbau von strategischem Wissen

Die Zerlegung der betrachteten räumlichen Systeme in ihre Strukturen, Prozesse und Wechselbeziehungen, wie sie im Rahmen dieser Unterrichtseinheit vorgenommen wird, gibt Einblick in allgemeingültige Gesetzmässigkeiten von Geosystemen. Um das strategische Wissen, das damit erworben und aufgebaut werden kann, nicht ausschliesslich an den Kontext der Bodenerosion zu binden, ist es in weitere authentische Situationen einzubetten (vgl. z.B. *Rempfler* 1999a). Denn unterschiedliche Kontexte für die Wissensanwendung bieten Gewähr dafür, dass kognitive Strategien mit der Zeit in neuen komplexen Situationen angewandt werden können (*Arbinger* 1998). Ein solches Angebot setzt aber voraus, dass die allgemeinen Gesetze aus dem konkreten Beispiel herausgeschält und bewusst gemacht werden.

Prinzipien, die für Geosysteme allgemein einsetzbar sind, werden u.a. von *Klug & Lang* (1983) ausführlich beschrieben (vgl. auch Abb. 2). Eine detaillierte und hierarchisierte Liste findet sich bei *Rempfler* (1998, 1999b). Leicht veränderte Auszüge daraus lauten etwa:

- Jedes räumliche System weist Input-Output-Relationen zur Umgebung auf und ist damit offen (z.B. über N, V und A). Die Offenheit macht sich etwa dort bemerkbar, wo die ausgeführten Stofffrachten zu Belastungen führen.
- Abhängigkeitsrelationen in einem System beschreiben eine einseitige oder gegenseitige Wirkung eines Elementes auf ein anderes. Sie können eine positive oder negative Wirkung haben. Negativ bedeutet, dass die von einem Element ausgehende Wirkung über andere Elemente und die zwischenliegenden Relationen derart zurückwirkt, dass die von dem Element ausgehende Beeinflussung gedämpft wird. Die Folge ist eine Stabilitätserhaltung oder -verbesserung. Eine positive Rückkopplung bewirkt hingegen einen Verstärkungseffekt und damit eine Gefährdung der Systemstabilität. Eine derartige einseitige Abhängigkeitsrelation besteht zwischen A_o und B_{er} , die über die Beziehung $A_o - Si/V_{Si} - Bf$ positiv rückgekoppelt ist. Wenn die Störgrösse N auftritt, kommt es – unter Annahme geringer Bf – zu geringem A_o und hoher Si aufgrund von hohem V_{Si} und geringer Bf. Das Endglied dieser Kausalkette ist geringer B_{er} . Allmählich erhöht sich Bf, was eine Verringerung von V_{Si} und Si und somit eine Erhöhung von A_o hervorruft. Die Konsequenz ist auch eine Erhöhung von B_{er} , vorausgesetzt, dass N genügend lange anhält und überhaupt erodierbares Bodenmaterial vorhanden ist.
- Eingriffe in Systeme sind nur unter Berücksichtigung der dadurch ausgelösten Aus- und Rückwirkungen auf die vorhandenen Strukturen und Prozesse vertretbar. So ist jeder Systemeingriff, der das Sickerungsvermögen negativ beeinflusst, hinsichtlich der Bodenerosionsgefahr problematisch.

- Je komplexer ein System aufgebaut ist, um so vielfältigere und zahlreichere negative Rückkopplungsschleifen sind möglich. Für die vorliegenden Modellgebiete heisst das konkret, dass u.a. ein angemessener Anteil an Wald und Dauergrünland, viele kleinere Ackerschläge und eine abwechslungsreiche ackerbauliche Nutzung realisiert werden.

6 Praktische Erfahrungen und Ausblick

Im Rahmen der Anpassung der Lehrpläne an die Maturitätsverordnung erhielt das Thema Boden und Kulturlandschaftswandel an der Kantonsschule Olten einen prominenten Platz. Das Fallbeispiel Bodenerosion lässt sich nahtlos in besagten Themenblock einfügen. Die Durchführung in einer 11. Jahrgangsstufe fiel erstaunlich positiv aus. Überraschend war vor allem, dass sich die Schülerinnen und Schüler von der Komplexität des Themas nicht abschrecken liessen und die Problemstellungen als Herausforderung empfanden. Hauptsächlich moniert wurde die Notwendigkeit, sich zu Beginn der Unterrichtsreihe mit sehr vielen neuen Begriffen auseinanderzusetzen. Auch verunsicherte das fehlende spezifische Vorwissen bei der Abschätzung der Erosionsgefahr zu Beginn der Unterrichtseinheit (Kap. 4.3). Der Lerneffekt wurde im Verhältnis zum Aufwand als angemessen bewertet. Drei von siebzehn Schülerinnen und Schülern stellten den Sinn der vermittelten Inhalte in Frage.

Offen bleibt die Frage, inwiefern die hier stark physiogeographisch ausgerichtete Konzeption des Systemdenkens erweitert werden kann. Angesichts der besseren Verwendbarkeit strategischen Wissens gegenüber bereichsbezogenem Wissen müsste sich eine Ausweitung auf möglichst viele Aspekte des Geographieunterrichts lohnen.

Literatur

- Arbinger R. 1998. Komplexität bei der Entwicklung und dem Aufbau von Wissensstrukturen. *Geographie und Schule* 20(116): 25-32.
- Dörner D. & Kaminski G. 1988. Handeln – Problemlösen – Entscheiden. In: Immelmann K., Scherer K.R., Vogel C. & Schmoock P. (Hrsg.): *Psychobiologie. Grundlagen des Verhaltens*. Stuttgart, 375-414.
- Klafki W. 1991. *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim, 1-327.
- Klug H. & Lang R. 1983. *Einführung in die Geosystemlehre. Die Geographie. Einführungen in Gegenstand, Methoden und Ergebnisse ihrer Teilgebiete und Nachbarwissenschaften*. Darmstadt, 1-187.
- Köck H. 1985. Systemdenken – geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. *Geographie und Schule* 7(33): 15-19.

- Köck H. 1997. Der systemtheoretische Ansatz im Geographieunterricht. In: Convey A. & Nolzen H. (Hrsg.): *Geographie und Erziehung. Festschrift für Hartwig Haubrich zum Abschied von der Pädagogischen Hochschule Freiburg*. Münchener Studien zur Didaktik der Geographie 10: 137-146.
- Kyburz-Graber R., Marfurt F. & Portmann J. 1991. *Integrierte Naturlehre*. Zürich, 1-147.
- Leser H. 1991. *Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Stuttgart, 1-647.
- Leser H. 1997(a). *DIERCKE-Wörterbuch Allgemeine Geographie*. München, 1-1037.
- Leser H. 1997(b). *Umwelt: Geoökosysteme und Umweltschutz*. Handbuch des Geographieunterrichts, Bd. 11, Köln, 1-395.
- Leser H. 1999. Landschaftsökologie, Geoökologie und Schule geographie heute. *Geographie und ihre Didaktik* 27(2): 57-70.
- Mosimann Th., Crole-Rees A., Maillard A., Neyroud J.A., Thöni M., Musy A. & Rohr W. 1990. *Bodenerosion im schweizerischen Mittelland – Erosion du sol sur le Plateau suisse*. Bericht 51 des Nationalen Forschungsprogrammes “Nutzung des Bodens in der Schweiz”. Liebefeld-Bern, 1-262.
- 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: 1-372.
- Rempfler A. 1998. *Das Geoökosystem und seine schuldidaktische Aufarbeitung*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 26: 1-204.
- Rempfler A. 1999(a). Wasser- und Klimahaushalt im städtischen Raum. Ein Ansatz zur Vermittlung von Systemdenken. *geographie heute* 20(172): 36-40.
- Rempfler A. 1999(b). Geoökologie und Systemdenken. *Geographie und ihre Didaktik* 27(4): 173-191.
- Rohrer J. 1985. *Quantitative Bestimmung der Bodenerosion unter Berücksichtigung des Zusammenhangs Erosion-Nährstoff-Abfluss im oberen Langetal-Einzugsgebiet*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 6: 1-242.
- Schaub D. 1989. *Die Bodenerosion im Lössgebiet des Hochrheintales (Möhliner Feld/Schweiz) als Faktor des Landschaftshaushaltes und der Landwirtschaft*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 13: 1-228.
- Uhlenwinkel A. 2000. Alltag – von Jugendlichen gewünscht, von Geographen ignoriert. *Praxis Geographie* 30(1): 4-7.