



Geoökologie und Systemdenken

Armin Rempfler

Zitieren dieses Artikels:

Rempfler, A. (1999). Geoökologie und Systemdenken. *Geographie und ihre Didaktik*, 27(4), S. 173-191. doi 10.60511/zgd.v27i4.295

Quote this article:

Rempfler, A. (1999). Geoökologie und Systemdenken. *Geographie und ihre Didaktik*, 27(4), pp. 173-191. doi 10.60511/zgd.v27i4.295

Geoökologie und Systemdenken

von ARMIN REMPFER (Egerkingen)

1. Der systemare Ansatz der Geoökologie

Die Geoökologie, wie sie von TROLL, SCHMITHÜSEN und NEEF (vgl. LESER 1991, S. 22 ff.) begründet worden ist, betrachtet geographische Räume als Systeme. Ihr Forschungsgegenstand sind Geosysteme und Geoökosysteme, das heißt Wirkungsgefüge von topischer Größenordnung mit einem charakteristischen Haushalt. Geosysteme setzen sich aus den abiotischen Geofaktoren Georelief, Boden, Wasser und Klima zusammen und zeigen eine stärkere Vereinfachung der Wirklichkeit als Geoökosysteme, bei denen biotische Faktoren mitberücksichtigt werden (LESER 1991, S. 141 ff.). Geoökologische Untersuchungen an räumlichen Systemen liefern kaum 'reine' geoökologische Ergebnisse, sondern immer auch landschaftsökologische, weil sich der geoökologische Ansatz dem anthropogenen Einfluß auf die Geo(öko)systeme nicht entziehen kann.

Geoökologie und Landschaftsökologie zielen darauf ab, über die statische Geofaktorenbeschreibung hinaus auch der prozeßbezogenen Dynamik räumlicher Systeme gerecht zu werden, wobei das besondere Augenmerk auf den gegenseitigen Wechselbeziehungen zwischen Struktur- und Prozeßmerkmalen liegt. Die Strukturmerkmale zeigen auf, mit welchen Elementen ein System ausgestattet ist und wie diese organisiert und miteinander verknüpft sind. Die Prozeßmerkmale eines Geoökosystems liefern Aussagen über das Funktionieren der Stoff- und Energieaufnahme, deren Umsatz und Abgabe. Sie machen deutlich, welche Input-Output-Beziehungen vorhanden sind, wie die Prozesse geregelt werden, ob Gleichgewichtsstörungen vorhanden sind und wie die System-Outputs auf die Systemumwelt wirken.

2. Beiträge der Geoökologie zum Geographieunterricht

Der Geographieunterricht setzt sich als übergeordnetes Leitziel das Erlangen von Raumverhaltenskompetenz. Wenn mit KÖCK (z. B. 1993, S. 17) darunter im wesentlichen die Befähigung verstanden wird, in räumlichen Systemen und damit einbezogen in räumlichen Strukturen und Prozessen zu denken und zu handeln, so stellt sich die Frage, inwiefern die Geoökologie angesichts ihres systemaren Ansatzes Beiträge zur Schulgeographie leisten kann.

Fragen nach dem didaktischen Potential eines Forschungsansatzes bzw. Fachbereiches können unterschiedliche Absichten haben. Im vorliegenden Fall geht es in erster Linie darum, verwertbare Erkenntnisse im *kognitiven* Bereich zu erlangen. Mögliche Beiträge zu affektiven, instrumentalischen u.a. Qualifikationen werden nicht weiter ausgeleuchtet. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen erfolgte

eine Durchsicht diverser geoökologischer Studien nach folgenden Kriterien (vgl. REMPFLER 1998):

- Welche Strukturierungshilfen sind notwendig, um aus der Vielzahl von geoökologischen Forschungsarbeiten diejenigen auszuwählen, die für didaktische Umsetzungen in Frage kommen?
- Inwiefern kann die Geosystemlehre unterrichtliche Verwendung finden?
- Welche konkreten geoökologischen Erkenntnisse sind für die Schulgeographie brauchbar?
- Können Standorts- und Einzugsgebietsmessungen so aufgearbeitet werden, daß sie den Schülerinnen und Schülern einen vertieften Einblick in verschiedene landschaftshaushaltliche Funktionen geben? Lassen sich aus diesen Einsichten allfällige Folgen einer anthropogenen Fehlnutzung abschätzen?
- Wie sind geoökologisch ausgerichtete Unterrichtsthemen in der didaktischen Theorie einzuordnen?
- Welche Lernziele können mit geoökologischen Themen erreicht werden?
- Welche lerntheoretischen Grundsätze sind bei der Umsetzung geoökologischer Inhalte zu beachten?

Die Analyse ging von zwei Thesen aus: Geoökologische Arbeiten, die sich für didaktische Zwecke eignen, besitzen auf der *inhaltlichen Ebene* wie auf der *Ebene des Systemdenkens* einen hohen Vermittlungswert.

2.1 Inhaltliche Ebene

Bei der inhaltlichen Ebene handelt es sich um eine Dimension des kognitiven Lernens, die dem *bereichsbezogenen* Wissen, genauer dem *deklarativen* Wissen, zuzuordnen ist (ARBINGER 1998, S. 28). Sie umfaßt nach KLAFKI (1991, S. 118) Sachverhalte, die erst nach einer Auswahl und Präzisierung im Sinne pädagogischer Zielvorstellungen zu Unterrichtsthemen werden, wobei die Bestimmungskriterien immer wieder neu festzulegen sind. Mit verschiedenen Autoren (BIRKENHAUER 1988; HENNINGS 1993; SCHMIDT-WULFFEN 1994; WINKEL 1995) wird die Meinung geteilt, daß weniger die traditionellen Fachdisziplinen und mehr die wissenschaftlichen bzw. gesellschaftlich-politischen Probleme die Leitlinien dafür bilden. Die Vermittlung zwischen Wissenschafts- und Alltagsorientierung ist Sache der Geographiedidaktik. Sie hat der Frage nachzugehen, welche Problemfelder unserer Zeit eine starke räumliche und im vorliegenden Kontext eine geoökologische Dimension aufweisen. Umgekehrt scheint es sinnvoll, wenn von fachwissenschaftlicher Seite überlegt wird, welche Orientierungsfunktion ihre Disziplin für die Schule übernehmen kann.

Abb. 1 macht den Versuch, die von didaktischer Seite formulierten Problemfelder mit den Inhalten zu verbinden, die von fachwissenschaftlicher Seite für den Unterricht gesehen werden. Die Problemfelder werden nach dem Vorschlag von BIRKENHAUER (1988) in durch menschliches Handeln bedingte (man-made)

PROBLEMFELDER UNSERER ZEIT MIT GEOÖKOLOGISCHER DIMENSION*		INHALTE FÜR DEN UNTERRICHT AUS FACHWISSEN- SCHAFTLICHER SICHT**
<i>man-made</i>	<i>earth-made</i>	
Wasserbelastung, -verbrauch		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, landschaftshaushaltliche Prozesse, Leben und Überleben in anderen Geozonen, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, Landschaftsdegradation, ökologische Bewertung und Planung
Bodenbelastung und -gefährdung		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, landschaftshaushaltliche Prozesse, Landschaftsdegradation, nachhaltige Nutzung, ökologische Bewertung und Planung
Luftverschmutzung		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, landschaftshaushaltliche Prozesse, ökologische Bewertung und Planung
Waldschäden und -vernichtung		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, Landschaftsdegradation, nachhaltige Nutzung, Landschaftsschutz
Artenrückgang		Ökologische Standortaufnahme, Leben und Überleben in anderen Geozonen, nachhaltige Nutzung, Landschaftsdegradation, Landschaftsschutz, ökologische Bewertung und Planung
Desertifikation		Landschaftshaushaltliche Prozesse, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, Landschaftsdegradation
Gift- und Nuklearmüll		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, landschaftshaushaltliche Prozesse, Landschaftsdegradation
Sozio-ökonomische Disparitäten (bez. Industrie, Landwirtschaft, Siedlung, Freizeit und Verkehr)		Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, landschaftshaushaltliche Prozesse, Leben und Überleben in anderen Geozonen, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, ökologische Bewertung und Planung
	Naturräumliche Disparitäten und Anpassungs- notwendigkeiten	Ökologische Standortaufnahme, Stoffkreisläufe, ökologische Gliederung der Räume, Leben und Überleben in anderen Geozonen, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, ökologische Bewertung und Planung
	Begrenztheit un- gleichmässig ver- teilter Ressourcen	Leben und Überleben in anderen Geozonen, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, ökologische Bewertung und Planung
	Naturgefahren, -katastrophen	Landschaftshaushaltliche Prozesse, Leben und Überleben in anderen Geozonen
Klimawandel	Klimawandel	Leben und Überleben in anderen Geozonen, Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung
Begrenztheit des Wachstums	Begrenztheit des Wachstums	Naturraumpotentiale, nachhaltige Nutzung, ökologische Bewertung und Planung

(Quelle: REMPFLE 1998, S. 120; wenig verändert)

*Nach AERNI & STAUB 1982; BIRKENHAUER 1988; ENGELHARD & HEMMER 1989; HÄRLE 1993; IGU 1993; HASEN-PFLUG 1996; LESER 1996; verändert.

**Nach MOSIMANN 1996; 1998; wenig verändert.

Abb. 1: Verbindung von problemorientierten und fachwissenschaftlich orientierten Inhalten.

und durch die Natur vorgegebene (earth-made) Bereiche unterteilt. Sie stellen einen Extrakt aus verschiedenen Literaturstellen dar und berücksichtigen nur jene mit geökologischem Bezug. Die aus fachwissenschaftlicher Sicht genannten Inhalte stammen aus Arbeiten von MOSIMANN (1996; 1998). Sie weisen einen geringen Grad an Problemorientierung auf und sind vor allem auf der Ebene des Systemdenkens didaktisch relevant. Deshalb werden sie denjenigen Problemfeldern zugeordnet, zu denen sie am ehesten einen Zugang herstellen.

Die gewählte Verbindung von problem- und fachwissenschaftlich orientierten Inhalten erlaubt eine recht präzise Zielformulierung, auch wenn die Verhaltensdimension damit noch unberücksichtigt bleibt. Auf der Grundlage von Abb.1 lassen sich beispielsweise folgende Lernziele ableiten:

- Die Betrachtung ausgewählter landschaftshaushaltlicher Prozesse in einem städtischen Geosystem erlaubt Einblicke in die reduzierte Grundwasserneubildung und übermäßige Vorfluterbelastung.
- Die Analyse von Stickstoff-Kreisläufen macht den übermäßigen N-Eintrag in Böden und deren Belastung und Gefährdung deutlich.
- Die vergleichende Anwendung der ökologischen Standortaufnahme bei Waldökosystemen der gemäßigten Breiten und immerfeuchten Tropen läßt Unterschiede in ihrem Schadenspotential erkennen.
- usw.

Die formulierten Lernziele bieten primär eine inhaltliche Orientierungshilfe. Sie blenden aus, welche von ihnen durch die Umsetzung geökologischer Studien tatsächlich zu erreichen sind. Dies würde nämlich bedeuten, daß konkrete Forschungsergebnisse in didaktisch umgesetzte Themen einfließen. Auf Erfahrungen dazu wird Kap. 3.3 genauer eingehen.

2.2 Ebene des Systemdenkens

Die Ebene des Systemdenkens stellt eine weitere Dimension des kognitiven Lernens dar und ist inhaltsneutral. Sie beschreibt formale Erkenntnisse oder Verhaltensweisen, die es nicht an sich gibt, sondern nur in Verbindung mit Inhalten. Weil sie „allgemeine Prozeduren umfaßt, die nicht an einen bestimmten Realitätsbereich gebunden sind, sondern in verschiedenen Situationen eingesetzt werden können“ (ARBINGER 1998, S. 29), gehört diese Ebene zum *strategischen* Wissen. Sie kann somit, sofern es sich um eine raumbezogene Strategie mit genügend hohem Allgemeingrad handelt, an jedem Raumsachverhalt angewandt werden. Entsprechend schlug KÖCK (1985, S. 18) ihre Handhabung im Sinne eines Unterrichtsprinzips und einer zu erreichenden Qualifikation vor.

Die Trennung von der inhaltlichen Ebene hat den Vorteil, daß Verhaltensweisen operationalisierbar sind. Sie können damit einer Taxierung und Hierarchisierung unterzogen werden, wie sie BLOOM & al. (1972, S. 31) bereits 1956 vorgeschlagen haben. Auch wenn diese Taxonomie kognitiver Lernziele aus heutiger

kognitionspsychologischer Sicht umstritten ist (ARBINGER 1998, S. 28), liefert sie vorläufig ein brauchbares Modell, um die Strategie des Systemdenkens zu hierarchisieren. Das bedeutet, daß allgemeingültige Regeln, die allen räumlichen Systemen immanent sind, aus einem konkreten räumlichen Kontext herausgeschält und strukturiert werden. Eine derartige *Dekontextualisierung* (ARBINGER 1998, S. 30) ist notwendig, wenn die Übertragung des erworbenen Wissens auf neue konkrete Situationen gelingen will.

Abb. 2 überträgt die Lernziele nach BLOOM auf geosystembezogenes Denken („geoökologisches Systemdenken“). Dadurch sind die Lernziele nicht mehr ganz inhaltsfrei, sondern verbinden sich mit den abstrakten Begriffsinhalten der Geosystemlehre. In einem weiteren Schritt lassen sie sich in einen konkreten räumlichen Zusammenhang einbinden. Kombiniert mit den entsprechenden Operatoren (in der linken Spalte von Abb. 2) werden sie zu praktikablen Feinzielen.

Die Kategorienbildung macht deutlich, daß Systemanalyse, -theorie und -bewertung hohen kognitiven Anforderungen entsprechen und auf der Grundlage von Wissen, Verständnis und Anwendung aufbauen. Die Kategorie „Analyse“ beinhaltet nach BLOOM die Fähigkeit zur Erfassung von Elementen, deren Beziehungen und des zugrunde liegenden Ordnungsgefüges. Sie entspricht damit der systemanalytischen Betrachtungsweise, wie sie in der geoökologischen Grundlagenforschung angewandt wird. Ihr Ziel besteht darin, jedes Systemelement unter dem Gesichtspunkt der funktionalen Bedeutung für das Gesamtsystem zu erörtern. Die fünfte Kategorie „Synthese“ meint vor allem die Fähigkeit, die in der Analyse erkannten Elemente und Beziehungen zu neuen Gebilden zusammenzufügen. Sie bietet gegenüber der analytischen Betrachtung einen wesentlich stärkeren Verallgemeinerungsgrad, indem die strukturelle und funktionale Gesetzmäßigkeit der jeweiligen Systeme als Gesamtheit erfaßt und damit zur Systemtheorie wird. Die kognitiv anspruchsvollste Kategorie „Bewertung“ setzt alle anderen Kategorien voraus und deckt sich weitgehend mit dem allgemein-systemtheoretischen Ansatz (KÖCK 1985, S. 16), bei dem es um die zwischen unterschiedlichen Systemen bestehenden strukturellen und/oder funktionalen Ähnlichkeiten bzw. Gemeinsamkeiten geht. Weil Systemvergleich und -bewertung einander nahe stehen, werden sie der gleichen Kategorie zugeordnet.

Eine weitere Präzisierung der allgemein formulierten Lernziele ist allerdings notwendig, um sie an konkreten Raumsachverhalten anwenden zu können. Grundlage dazu liefern die Arbeiten von KLUG & LANG (1983), HANTSCHHEL (1985) und KÖCK (1985) und führen, unter Beschränkung auf die oberen drei Kategorien, zu detaillierten Lernzielkatalogen auf der systemanalytischen, -theoretischen und -bewertenden Ebene (Abb. 3, 4 und 5). Es sei bemerkt, daß die Lernziele nicht operationalisiert und die Übergänge zwischen den einzelnen Lernzielkategorien nicht immer eindeutig sind. Ziele unterer kognitiver Stufen können durchaus in obere Kategorien einfließen.

TAXONOMIE KOGNITIVER LERNZIELE (NACH B. S. BLOOM ET AL. 1972)	ÜBERTRAGUNG DER TAXONOMIE KOGNITIVER LERNZIELE AUF GEOÖKOLOGISCHES SYSTEMDENKEN	FEINZIEL-BEISPIEL (NICHT OPERATIONALISIERT)
1. WISSEN Fähigkeit zur Erinnerung an Wissensbestände (konkretes, abstraktes und methodisches Wissen aus dem Gedächtnis wiedergeben können)	1. SYSTEMWISSEN ausgewählte Geoelemente und Partialkomplexe von Geosystemen, deren Funktionen und evtl. deren methodische Erfassung und damit verbundene Probleme kennen/ wiedergeben können	Niederschlag stellt als Geoelement einen wichtigen Bestandteil des Klimo- und Hydrosystems dar. Wind kann dessen Erfassung stark verfälschen.
2. VERSTEHEN Fähigkeit zur Aufnahme und Verarbeitung von Zusammenhängen (übertragen, interpretieren, extrapolieren)	2. SYSTEMVERSTÄNDNIS Funktionen von Geoelementen situativ erfassen	Niederschlag beeinflusst den Abfluss. Niederschlag in fester Form kann die Abflussmenge zeitweise reduzieren.
3. ANWENDEN Fähigkeit, verstandene Kenntnisse in konkreten Situationen anzuwenden (Aufgaben lösen, Probleme bewältigen)	3. SYSTEMANWENDUNG Kenntnisse über Geoelemente oder deren Funktionen auf neue, konkrete Situationen übertragen	Niederschlag beeinflusst die Verdunstung und damit den Anteil der Verdunstungskälte. Städtische Siedlungen sind deshalb gegenüber ihrem Umland erwärmt.
4. ANALYSE Fähigkeit, eine Ganzheit in ihre konstitutiven Elemente aufzugliedern (Elemente unterscheiden, Beziehungen zwischen Elementen/Ordnungsprinzipien untersuchen)	4. SYSTEMANALYSE wesentliche Geoelemente und Partialkomplexe eines Geosystems sowie deren Wirkungsgefüge erkennen	Niederschlag in einer städtischen Siedlung läuft zum grossen Teil als Oberflächenabfluss ab und belastet damit das Kanalisationsnetz. Der Grundwasserspeicher wird nicht aufgefüllt. Der reduzierte Verdunstungsanteil hat Konsequenzen für das Klimasystem.
5. SYNTHESE Fähigkeit, Teile/Elemente zu einem Ganzen zu fügen (schaffen einer schlüssigen „Nachricht“, einen Plan/ein System abstrakter Beziehungen erstellen, begründete Hypothese formulieren)	5. SYSTEMTHEORIE Geoelemente, Partialkomplexe und deren Wirkungsgefüge übersichtlich darstellen, als Gesamtheit erfassen	Die Tatsache, dass der Niederschlag als ein Geoelement des Klimasystems über die Elemente Oberflächenabfluss, Boden- und Grundwasser mit dem Vorfluterabfluss verknüpft ist, wird als Gesamtheit dargestellt (vgl. REMPFLE 1998, S. 140).
6. BEWERTUNG Fähigkeit, begründete Urteile abzugeben (einen Sachverhalt anhand innerer oder äusserer Kriterien beurteilen, Alternativen abwägen, Entschlüsse begründen)	6. SYSTEMBEWERTUNG die Qualität von konkreten Geosystemen vergleichen und begründet beurteilen	<ul style="list-style-type: none"> – Stadtquartiere aufgrund der gegebenen räumlichen Verhältnisse bewerten – Meinungen über Stadtquartiere prüfen und bewerten

(Quelle: REMPFLE 1998, S. 125; wenig verändert)

Abb.2: Übertragung der Taxonomie kognitiver Lernziele nach BLOOM auf geökologisches Systemdenken.

3. Ein Konzept zur unterrichtlichen Umsetzung

Die Zielsetzung, die dem folgenden Konzept zugrundeliegt, besteht darin, daß geökologisch ausgerichtete Unterrichtsthemen über die Ebene des Systemdenkens Einblicke in wesentliche Problemfelder unserer Zeit vermitteln. Um dies zu erreichen, müssen wenigstens drei Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Auswahl der Inhalte geht von aktuellen Problemfeldern aus.
- Deren didaktische Umsetzung muß sich nach den Prinzipien der geökologischen Systemtheorie richten,
- und sie hat lernzielorientiert zu geschehen.

Auf dieser Grundlage läßt sich ein Auswertekonzept erarbeiten, das eine fundierte unterrichtliche Umsetzung geökologischer Themen erlaubt. Abb. 6 zeigt im Überblick den Weg von der geökologischen Forschungsarbeit bis zu deren auszugswweisen schulischen Anwendung. Dabei wird deutlich, daß sich die Kriterien zur Durchsicht einer Forschungsarbeit sowohl auf die fachdidaktische als auch fachwissenschaftliche Ebene abstützen. Die fachdidaktische Seite gibt die inhaltlichen Leitbilder vor, indem sie relevante Problemfelder auswählt und diese mit fachwissenschaftlichen Vorstellungen verbindet. Sie bestimmt auch die Lernzielorientierung und liefert Instrumente der Hierarchisierung. Die Fachwissenschaft ihrerseits bietet Theorien und Methoden an, mit denen die Ebene des Systemdenkens eine fundierte Basis erhält. Allenfalls liegen inhaltliche Erkenntnisse vor, die es erlauben, die gewählten Problemfelder mit konkreten Fallbeispielen greifbar zu machen.

3.1 Partialkomplexe und Geoelemente als Grundbausteine von Geosystemen

Die Geosystemtheorie geht von der Vorstellung aus, daß Partialkomplexe und Geoelemente die Grundbausteine räumlicher Systeme darstellen (Abb. 7). Unter *Partialkomplexen* werden Einzelfaktoren-Subsysteme verstanden, deren Betrachtung aus methodischen Gründen Sinn macht, weil Geosysteme als Gesamtheit nicht meßbar sind (LESER 1991, S. 148). KLUG & LANG (1983, S. 23) definieren *Geoelemente* bzw. Systemelemente als stoffliche, energetische oder wasserhaushaltliche Glieder eines Systems, die isolierbar und meßbar sind. Dazu gehören zudem geographisch relevante Phänomene oder Begriffe, die quantifizierbar, qualitativ vergleichbar oder durch eine Ja-Nein-Alternative beschreibbar sind. Auch mehrere Elemente, die einzeln nicht von Bedeutung sind, können aggregiert und sodann als Geoelement betrachtet werden.

DÖRNER (1991, S. 117) und KAMINSKE (1996, S. 37) weisen darauf hin, daß das Denken in Elementen, Kompartimenten und Wirkungsgefügen notwendig ist, wenn mit Systemen handelnd umgegangen werden möchte. Es liegt daher auf der Hand, die bei wissenschaftlichen Arbeiten übliche Partition eines Geosystems in seine Grundbausteine auch bei didaktischen Umsetzungen zu berücksichtigen.

<ul style="list-style-type: none"> • Jedes räumliche System* besteht aus mehreren Geoelementen, die in einer bestimmten Anordnung vernetzt sind.
<ul style="list-style-type: none"> • Jedes räumliche System bzw. Subsystem** weist Input-Output-Relationen zur Umgebung auf und ist damit „offen“.
<ul style="list-style-type: none"> • Größenordnungen von In- und Outputs erlauben wichtige Rückschlüsse auf Systemeigenschaften.
<ul style="list-style-type: none"> • Die Wechselbeziehungen zwischen den Geoelementen innerhalb eines Systems oder Subsystems können in Abhängigkeits- und Input-Output-Relationen eingeteilt werden. Abhängigkeitsrelationen beschreiben eine einseitige oder gegenseitige Wirkung eines Geoelementes auf ein anderes. Die Input-Output-Relationen meinen den Energie-, Wasser- und Stoffaustausch zwischen den Geoelementen einerseits und deren Zufuhr aus der Umgebung andererseits.
<ul style="list-style-type: none"> • Abhängigkeitsrelationen können eine positive (verstärkende) oder negative (dämpfende) Wirkung haben. Eine negative Rückkopplung bedeutet, dass die von einem Geoelement ausgehende Wirkung über andere Geoelemente und die zwischenliegenden Relationen derart zurückwirkt, dass die von dem Geoelement ausgehende Beeinflussung gedämpft wird. Die Folge ist eine Stabilitätserhaltung oder -verbesserung. Eine positive Rückkopplung bewirkt hingegen einen Verstärkungseffekt und damit eine Gefährdung der Systemstabilität.
<ul style="list-style-type: none"> • Veränderungen eines Geoelementes oder eines ganzen Subsystems bzw. Systems haben Auswirkungen auf andere Geoelemente/Subsysteme/Systeme und dadurch wiederum Rückwirkungen auf dieses selbst zur Folge.
<ul style="list-style-type: none"> • Eingriffe in Subsysteme oder Systeme sind nur unter Berücksichtigung der dadurch ausgelösten Aus- und Rückwirkungen auf die vorhandenen Strukturen und Prozesse vertretbar.

(Quelle: REMPLER 1998, S. 127)

*Mit räumlichen Systemen sind Geosysteme, Geoökosysteme oder Landschaftsökosysteme gemeint.

**Sub- oder Teilsysteme sind wie Geo-/Geoöko-/Landschaftsökosysteme zwar Systeme, jedoch nicht zwingend Geo-/Geoöko-/Landschaftsökosysteme. Subsysteme können Partialkomplexe (wie Morpho-, Hydrosystem u.a.) sein und sind dann als räumliche Manifestationen (wie Morpho- oder Hydrotop) in der Realität nicht „sichtbar“. Subsysteme können aber auch „sichtbare“ Ausschnitte eines landschaftshaushaltlich homogenen Geo-/Geoöko-/Landschaftsökosystems darstellen, die dann in ihrer Funktion vom Gesamtsystem abhängig sind (KLUG & LANG 1983, S. 23; LESER 1991, S. 145).

Abb. 3: Lernzielkatalog auf der systemanalytischen Ebene.

<ul style="list-style-type: none"> • Nur eine ganzheitliche Betrachtung, die bewusst auf Details verzichtet, kann Eigenart und Funktion eines räumlichen Systems oder Teilsystems erfassen. Das Netzwerk der Wechselwirkungen macht es aus, dass jedes System mehr ist als die Summe seiner Teile.
<ul style="list-style-type: none"> • Der Mensch ist aktiv oder passiv in räumliche Systeme eingefügt. Im Gegensatz zu allen anderen Elementen ist es ihm möglich, die Steuerung eines Systemzweckes zu erkennen, darüber nachzudenken und diesen eventuell bewusst selbst zu definieren bzw. zu verändern.
<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Systeme befinden sich in einem Fließgleichgewicht*.
<ul style="list-style-type: none"> • Die Input-Output-Relationen repräsentieren die funktionalen Beziehungen im Geosystem. Ihre Variabilität, die sich in kurzfristigen Änderungen in der Quantität, der Intensität und im Rhythmus der Prozessabläufe äussern kann, beweist die fortwährende Dynamik von Systemen.
<ul style="list-style-type: none"> • Ein naturnahes oder quasinatürliches Geosystem besitzt im Gegensatz zum technischen die Fähigkeit zur Selbstregelung: Es „schaukelt“ sich über den Weg der negativen Rückkopplungen, ohne Steuerung von aussen, in ein stabiles Gleichgewicht. Diese Adaptationsfähigkeit ist entscheidend, um den Systemzustand und das -verhalten verändernden Umweltbedingungen anpassen zu können.
<ul style="list-style-type: none"> • Systeminadäquate Eingriffe können zu irreversiblen Störungen des Systemgleichgewichts führen.
<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb von (homogenen) Geosystemen ist die vertikale Komponente der Energie-, Wasser- und Stoffumsätze gegenüber lateralen Input-Output-Relationen zu benachbarten Geosystemen von grösserer Bedeutung. Denn Energie-, Wasser- und Stoff-Inputs gelangen primär über das Klima- in das Geosystem und durchlaufen dann nacheinander das Bio- und Pedosystem. In heterogenen Naturräumen (in chorischer und regionischer Dimension) treten die horizontal oder tangential gerichteten Beziehungen dazu.
<ul style="list-style-type: none"> • Die strukturelle Charakterisierung eines räumlichen Systems ist immer zeitgebunden; sie widerspiegelt dessen jeweiligen Augenblickszustand. Demzufolge gibt es in dynamischen Geosystemen eine jahres- und sogar tageszeitlich unterschiedliche Struktur.

(Quelle: REMPFLE 1998, S. 128)

*Unter dem Fließgleichgewicht eines Systems ist ein dynamischer Gleichgewichtszustand zwischen Systeminputs und -outputs eines offenen Systems zu verstehen. Ein minimaler Entropiefluss ist vorhanden und auch aufrechtzuerhalten. Momentane Ungleichgewichte werden in einem intakten System innerhalb des Tages- oder Jahresgangs ausgeglichen (HENDINGER 1977, S. 36; KLUG & LANG 1983, S. 34).

Abb. 4: Lernzielkatalog auf der systemtheoretischen Ebene.

<ul style="list-style-type: none"> • Haushaltsprozesse finden in allen Geosystemen der Erde statt. Unterschiede bestehen vor allem in der Quantität und in der Zusammensetzung der Geoelemente.
<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Subsysteme oder Systeme können ähnliche oder gleichartige Systembeziehungen aufweisen.
<ul style="list-style-type: none"> • Quantifizierte In- und Outputs sowohl des Gesamtsystems als auch der Subsysteme, die das Haushaltsgeschehen des Geosystems kennzeichnen, ermöglichen eine Differenzierung innerhalb mehrerer Geosysteme.
<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Systeme sind so lange stabil, als sie aussergewöhnliche Inputs durch Selbstregelung auszugleichen vermögen und zum alten Gleichgewichtszustand zurückkehren. Die dafür benötigte Relaxationszeit* sowie die Stärke der Schwankungen im Geosystem bei solchen Störungen sind ein Mass für die Stabilität des Systems. Wenn das alte Fließgleichgewicht nicht mehr eigenständig hergestellt werden kann, ist die Belastbarkeitsgrenze überschritten. Die Konsequenz ist ein vollständiges Umkippen des Geosystems oder der Aufbau eines neuen Gleichgewichts mit veränderter Struktur.
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Diversität in einem System bedeutet hohe Stabilität. Denn je komplexer ein System aufgebaut ist, um so vielfältigere und zahlreichere negative Rückkopplungsschleifen sind möglich.
<ul style="list-style-type: none"> • Die systemare Betrachtung der Welt reduziert deren Komplexität und macht sie dadurch besser durchschaubar.

(Quelle: REMPFLE 1998, S. 129)

*Mit der Relaxationszeit ist die Erholungszeit gemeint, die ein Geosystem braucht, um auf Inputs zu reagieren und den (alten oder neuen) Gleichgewichtszustand herzustellen. Je schneller die Rückkehr erfolgt und je geringer dabei die Schwankungen im Geosystem sind, desto stabiler ist das System (KLUG & LANG 1983, S. 35 u. 166).

Abb. 5: Lernzielkatalog auf der systembewertenden Ebene.

Ausgehend von dieser Überlegung sind Forschungsarbeiten vor allem nach zwei Kriterien zu überprüfen:

- Sind die bearbeiteten Grundbausteine und deren Wirkungsgefüge transparent dargestellt?
- Eignen sie sich, um Lernziele auf der inhaltlichen Ebene und auf der Ebene des Systemdenkens zu erfüllen?

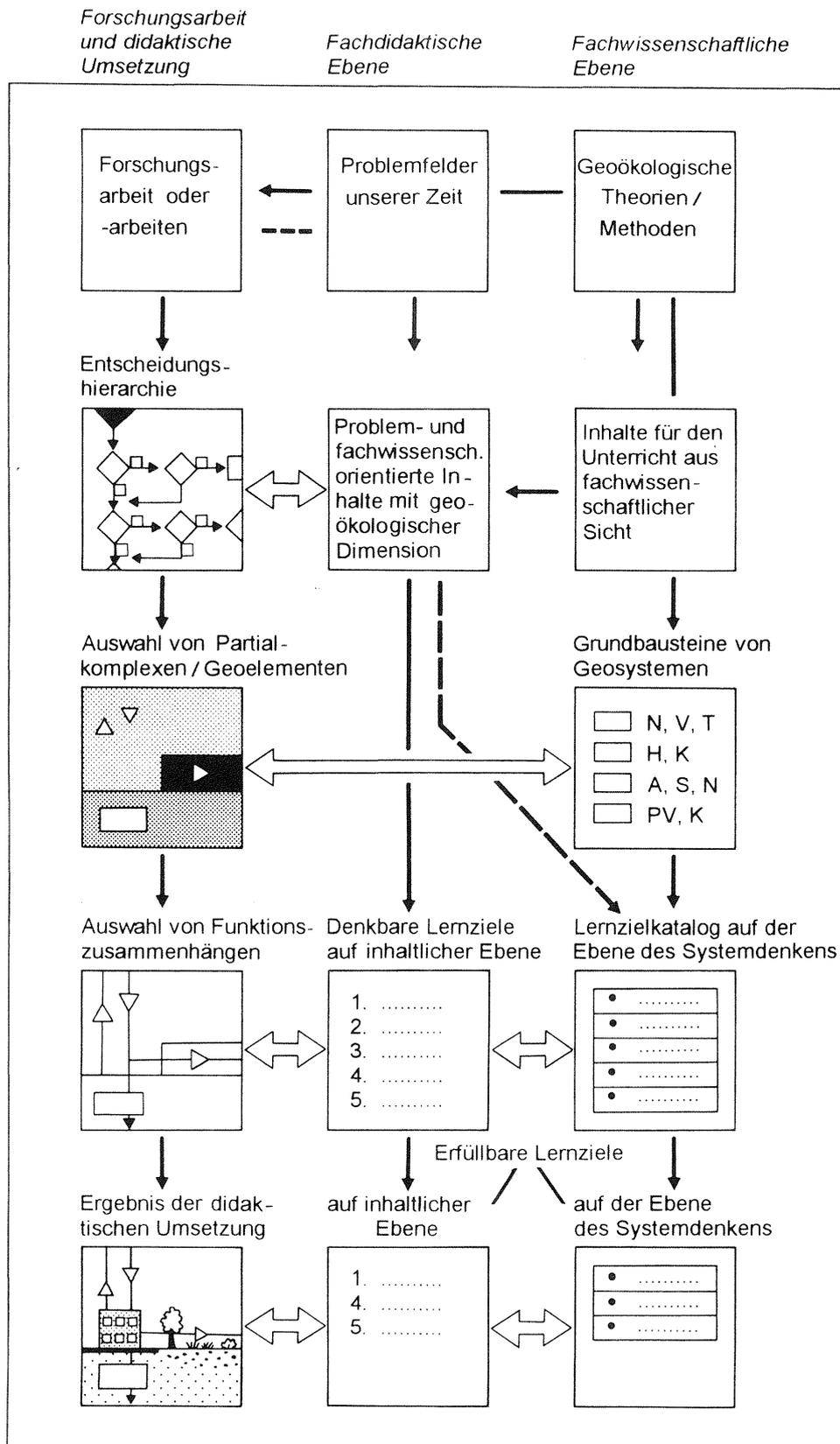
3.2 Prüfung von Forschungsarbeiten auf ihre didaktische Eignung

Abb. 8 enthält eine Entscheidungsleiter, die es erlaubt, Forschungsarbeiten auf ihre didaktische Eignung hin zu überprüfen. Sie geht davon aus, daß eine Arbeit Einblicke in problem- und fachwissenschaftlich orientierte Inhalte unserer Zeit gibt. Die hauptsächlich bearbeiteten Partialkomplexe und Geoelemente sowie deren quantitative oder qualitative Funktionszusammenhänge sollen anschaulich – im Idealfall graphisch – dargestellt sein, um für eine weitere Auswertung in Frage zu kommen. Falls sich einige der dargestellten Beziehungen zudem eignen, um Lernziele auf der inhaltlichen Ebene und/oder auf der Ebene des Systemdenkens zu erfüllen, so kann der Versuch einer didaktischen Umsetzung ins Auge gefaßt werden.

3.3 Erfahrung mit konkreten Umsetzungen

Drei Einzelaspekte wurden nach den o.a. Prinzipien bearbeitet: Der Wasser- und Klimahaushalt urbaner Siedlungsräume, die fluviale Bodenerosionsproblematik in zwei Modellgebieten sowie die geoökologische Charakterisierung von Elementarlandschaften ausgewählter Geozonen (REMPFLER 1998, S. 137 ff.; 1999). Sie liefern Einsicht in aktuelle Problemfelder unserer Zeit: Wasserbelastung/-verbrauch und (Stadt-) Klimawandel, Bodenbelastung und -gefährdung, naturräumliche und sozio-ökonomische Disparitäten (vgl. Abb. 1). Während im ersten Fall eine Handlungsanleitung für Praktiker und ein Fachartikel die Ausgangslage der Umsetzung bildeten, konnte im übrigen auf Grundlagenforschungsarbeiten zurückgegriffen werden.

Für alle drei Fallbeispiele liegen Synthesen vor, die den Systemcharakter der Themen auch graphisch zum Ausdruck bringen (z. B. Abb. 9). Sie sind so angelegt, daß die Struktur- und Prozeßgrößen sowie deren Wirkungsgefüge nicht einfach rezeptiv erfaßt, sondern schrittweise rekonstruiert werden bzw. Lernbarrieren eingebaut sind, die es zu überwinden gilt. Damit orientieren sich die Umsetzungsbeispiele am lerntheoretischen Konzept des „entdeckenden Lernens“ (vgl. DÖRNER & KAMINSKI 1988, S. 392 ff.; ARBINGER 1998, S. 30). Zudem sind sie so arrangiert, daß eine Auseinandersetzung mit ihnen praktisch unumgänglich zu Vergleichen und Bewertungen führt. Erkenntnisse, die aus den Themen hervorgehen, werden nach der inhaltlichen Ebene und der Ebene des Systemdenkens – differenziert nach Analyse, Theorie und Bewertung – unterschieden.



(Quelle: REMPFLE 1998, S. 132)

Abb. 6: Der Weg von der geoökologischen Forschungsarbeit zur unterrichtlichen Anwendung.

PARTIALKOMPLEXE	GEOELEMENTE
Klimosystem	Niederschlag, Verdunstung, Temperatur, Strahlung, Wind, absolute/relative Luftfeuchte, ...
Morphosystem	Hochfläche, Ober-/Mittel-/Unterhang, Talebene, Kuppe, Mulde, Hangrücken, ...
Biosystem	Algen/Pilze/Flechten, Moose, Farnartige, Samenpflanzen, Fett-/Magerwiese, Ackerland, Laub-/Nadelwald, Streu, organische Substanz, Humus, Mikro-/Meso-/Makrofauna, Dachbegrünung, Parkanlage, ...
Hydrosystem	Niederschlag, Abfluss, Verdunstung, Interzeption, Bodenfeuchte, Sickerung, Haft-/Sicker-/Grundwasser, Oberflächen-gewässer, Kanalisation, ...
Pedosystem	Porengrößenverteilung/Porenvolumen, Korngrößenzusammensetzung, Sorptionskapazität, Nährstoffe/Wärme im Boden, erodierter Boden, ...
Technosystem	Künstliche Aufschüttung, asphaltierte/zementierte Bodenoberfläche, Gebäude, Fassaden-/Dachbegrünung, Kanalisation, Drainage, Flussregulierung, Bewässerung, Düngung, Abholzung, Emission/Immission, ...

(Quelle: REMPFLER 1998, S. 134)

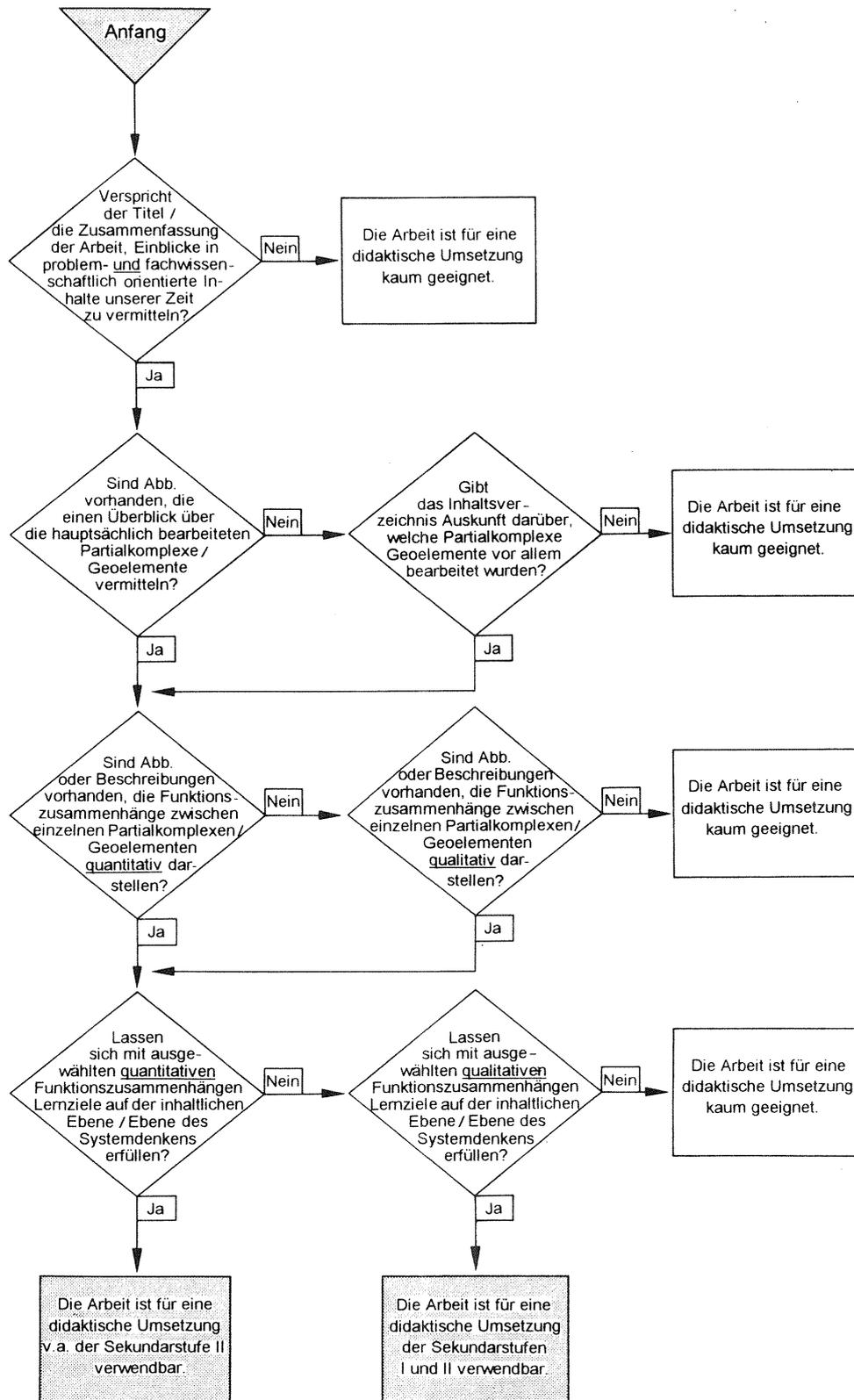
Abb. 7: Partialkomplexe und Geoelemente als Grundbausteine von Geosystemen.

Die praktischen Erfahrungen weisen darauf hin, daß das Auswertekonzept in seinen Grundzügen brauchbar, der Aufwand für die Umsetzung von Grundlagen- und angewandten Forschungsarbeiten aber sehr groß ist. Der Vermittlungswert geökologischer Grundlagenarbeiten muß allerdings relativiert werden, wenn es darum geht, Einblicke in konkrete Problemfelder unserer Zeit zu geben. Auf inhaltlicher Ebene liegt deren Qualität in erster Linie darin, Einsichten in das Prozeßgeschehen von Landschaften in der topischen Dimension zu vermitteln und damit die gängige Charakterisierung unter Betonung der strukturellen Ausstattung zu ergänzen. Dadurch erhalten Fallbeispiele eine fundierte Grundlage, um beispielsweise die Folgen einer unangepaßten Nutzung zu verdeutlichen. Ohne die Berücksichtigung anwendungsbezogener Arbeiten wird dies aber nur eingeschränkt zu leisten sein. Im Gegensatz dazu wird der Vermittlungswert geökologischer Arbeiten und der damit verbundenen Denkweise als beträchtlich eingeschätzt, wenn es darum gehen soll, Systemdenken als eine Strategie des geographischen Unterrichts zu etablieren.

4. Systemdenken – eine künftige Strategie des Geographieunterrichts?

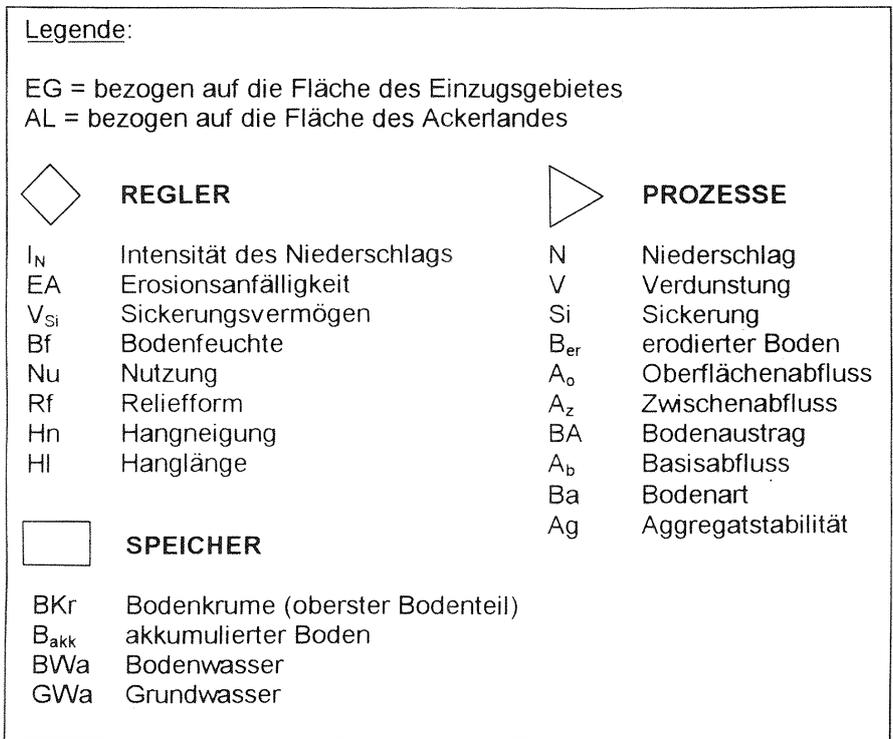
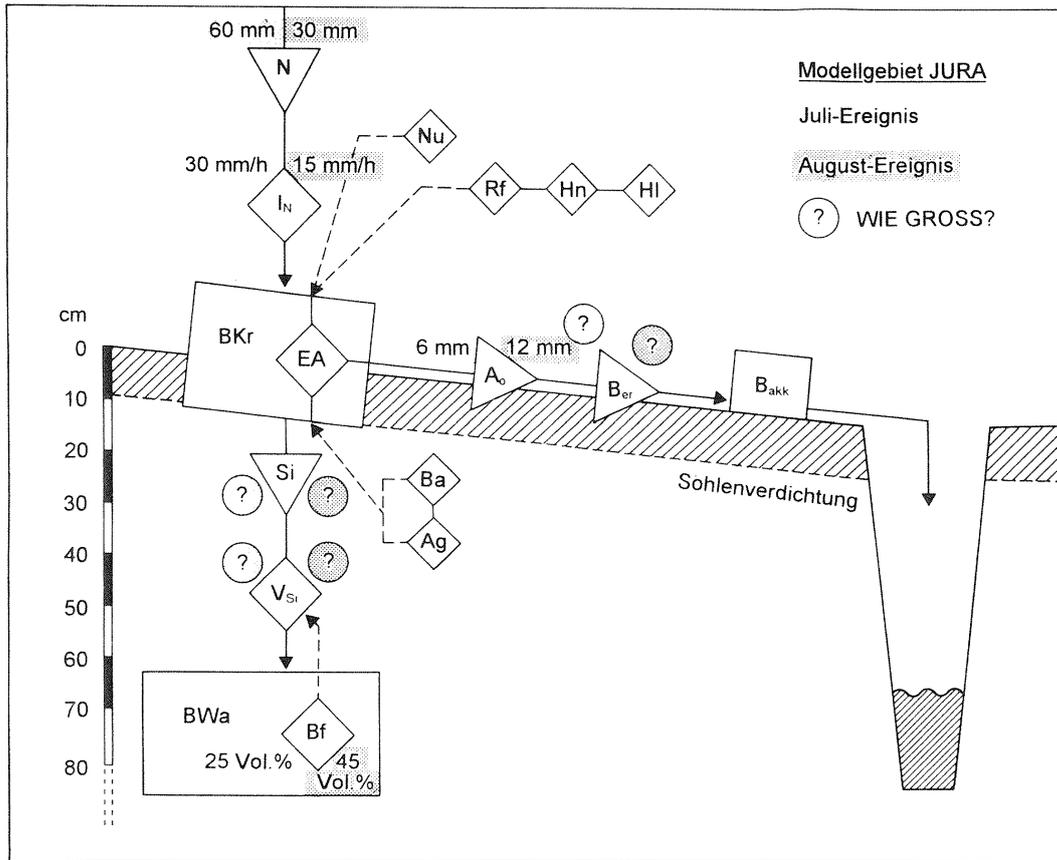
Nach CHI (1984, zit. in ARBINGER 1998, S. 29) sind verschiedene Sachverhalte denkbar, wenn von strategischer Wissensstruktur die Rede ist. Strategien müssen per definitionem allgemein einsetzbar sein, indem sie inhaltsneutral sind. Sie können als Regeln oder Wenn-Dann-Beziehungen dargestellt werden, und hierarchische Strukturen sind möglich. Schließlich sind sie gebunden an eine bestimmte Klasse von Zielsetzungen, z.B. an jene des Lernens oder Problemlösens. Das Modellkonzept der Geosystemlehre, wie es u.a. von KLUG & LANG (1983) präsentiert wurde, wird diesen Implikationen weitgehend gerecht. Sein tragendes methodisches Instrument, die Systemanalyse, liefert allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten über das Funktionieren von Geosystemen (vgl. Abb. 3 - 5) und ist in unterschiedlichen Ordnungsstufen, von der topischen bis zur geosphärischen Dimension, durchführbar. Die Zerlegung der betrachteten räumlichen Systeme in die wesentlichen Strukturen und Prozesse bildet eine wichtige Voraussetzung für kognitives Lernen und das Entwickeln von Problemlösungen. Aus all dem wird deutlich, daß Systemdenken auf der Basis der Geosystemlehre überwiegend strategisches Wissen erschließt.

Offen bleibt die Frage, inwiefern die vorliegende, stark physiogeographisch ausgerichtete Konzeption des Systemdenkens erweitert werden kann. Daß der Systemansatz bisher „vorwiegend ökologie- und umweltnahe interpretiert wurde und wird“, moniert vor allem KÖCK (1997, S. 137). Geht man aber davon aus, daß der Erwerb strategischen Wissens mit dem Vorteil verbunden ist, Erkenntnisse einfacher in neuen Situationen anzuwenden, so dürfte sich eine Ausweitung auf möglichst viele Aspekte des Geographieunterrichts lohnen. Wenn man zudem mit KÖCK (1997, S. 139 ff.) die Meinung vertritt, daß sich grundsätzlich jeder Raumsachverhalt für eine systemische Betrachtungsweise eignet und diese sogar



(Quelle: REMPFLE 1998, S. 136)

Abb. 8: Entscheidungsleiter zur Durchsicht von Forschungsarbeiten.



(Quelle: REMPFLE 1998, S. 159)

Abb. 9: Bodenerosionsereignis als Beispiel einer graphisch umgesetzten Synthese.

die einzig angemessene darstellt, weil allein struktur- oder prozeßorientierte Betrachtungen Bestandteile derselben sind, so scheint eine Erweiterung um so dringlicher. Die Forderung, „den Systemansatz also zum zentralen unterrichtlichen Paradigma zu machen“ (KÖCK 1997, S. 142; vgl. auch FLATH & FUCHS 1996, S. 81 ff.), ist dabei eine Sache, ihre methodisch saubere und methodologisch begründete Ausfüllung mit konkreten Unterrichtsthemen eine andere. Es bleibt zu hoffen, daß überzeugende Beispiele vorgelegt werden, um die Strategie des Systemdenkens an möglichst vielfältigen Kontexten erwerben und verfeinern zu können.

Literatur

- AERNI, K. & B. STAUB (1982): Landschaftsökologie im Geographieunterricht. – In: *Geographica Bernensia* S 8, H. 1. - Bern.
- ARBINGER, R. (1998): Komplexität bei der Entwicklung und dem Aufbau von Wissensstrukturen. – In: *Geographie und Schule* 20, Heft 116, S. 25 - 32.
- BIRKENHAUER, J. (1988): Aufgaben der Geographiedidaktik. – In: *Praxis Geographie* 18, Heft 7/8, S. 6 - 7.
- BLOOM, B. S. / M. D. ENGELHART / E. J. FURST / W. H. HILL / D. R. KRATHWOHL (Hrsg., 1972) : *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Übersetzt von E. Fünér & R. Horn. - Weinheim und Basel.
- CHI, M.T.H. (1984): Bereichsspezifisches Wissen und Metakognition. – In: WEINERT, F.E. & KLUWE, R. H. (Hrsg.): *Metakognition, Motivation und Lernen*. - Stuttgart, S. 211 - 232.
- DÖRNER, D. (²1991): *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. - Reinbek.
- DÖRNER, D. & KAMINSKI, G. (1988): Handeln – Problemlösen – Entscheiden. – In: IMMELMANN, K. / SCHERER, K. R. / VOGEL, C. / SCHMOOCK, P. (Hrsg.): *Psychobiologie. Grundlagen des Verhaltens*. - Stuttgart/New York, S. 375 - 414.
- ENGELHARD, K. & I. HEMMER (1989): Der unterrichtliche Lernprozeß zwischen Lebenspraxis und Wissenschaftsorientierung. – In: *Geographie und Schule* 11/57, S. 26 - 33.
- FLATH, M. & FUCHS, G. (1996, Koord.): *In Systemen denken lernen - Fachdidaktische Aspekte für den Geographieunterricht [Drittes Gothaer Forum zum Geographieunterricht 1995]*. – In: *Geographische Bausteine, Neue Reihe, H. 47; Pädagogische Schriften H. 5*. - Gotha.
- HÄRLE, J. (1993): Referat zur Umwelterziehung im Geographie-Unterricht. – In: BARSCH, D. & H. KARRASCH (Hrsg.): *Geographie und Umwelt. Erfassen – Nutzen – Wandeln – Schonen. Tagungsbericht und wissen-*

- schaftliche Abhandlungen. – Verhandlungen des Deutschen Geographentages, Bd. 48. - Stuttgart.
- HANTSCHHEL, R. (1985): Die Übertragung des systemanalytischen/-theoretischen Ansatzes auf räumliche Systeme. – In: *Geographie und Schule* 7, Heft 33, S. 8 - 15.
- HASSENPFUG, W. (1996): Der Boden – Seine Bildungsbedeutsamkeit aus Sicht der geographischen Fachdidaktik. – In: Alfred-Wegener-Stiftung (Hrsg.): *Geowissenschaften in Lehrerbildung und Schule. Ein Plädoyer für die Stärkung der Geographie mit geowissenschaftlichen Inhalten in Lehrerbildung und Schule.* – *Terra Nostra* 96/10, S. 59 - 62.
- HENDINGER, H. (1977): *Landschaftsökologie.* – westermann-colleg, Raum und Gesellschaft, H. 8. - Braunschweig.
- HENNINGS, W. (1993): Strukturwandel und Bildungsreform. Überlegungen zu einer Revision der Curricula – auch in der Geographie. – In: *Geographie und ihre Didaktik* 21, Heft 3, S. 122 - 141.
- IGU – Internationale Geographische Union (1993): Internationale Charta der Geographischen Erziehung. – In: *Geographische Rundschau* 45, S. 380 - 383.
- KAMINSKE, V. (1996): Vernetztes Denken im Unterricht – Der geosystemare Ansatz in einer Klasse 11. – In: *Geographie und Schule* 18, Heft 102, S. 36 - 43.
- KLAFKI, W. (²1991): *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik.* -Weinheim und Basel.
- KLUG, H. & LANG, R. (1983): *Einführung in die Geosystemlehre.* – Die Geographie. Einführungen in Gegenstand, Methoden und Ergebnisse ihrer Teilgebiete und Nachbarwissenschaften. - Darmstadt.
- KÖCK, H. (1985): Systemdenken – geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. – In: *Geographie und Schule* 7, Heft 33, S. 15 - 19.
- KÖCK, H. (1993): Raumbezogene Schlüsselqualifikationen – der fachimmanente Beitrag des Geographieunterrichts zum Lebensalltag des Einzelnen und Funktionieren der Gesellschaft. – In: *Geographie und Schule* 15/84, S. 14 - 22.
- 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. – Münchner Studien zur Didaktik der Geographie, Bd. 10, S. 137 - 146.
- LESER, H. (1991): Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung. – (= UTB 521). - Stuttgart.
- LESER, H. (1996): Physische Geographie. – In: Alfred-Wegener-Stiftung (Hrsg.): Geowissenschaften in Lehrerbildung und Schule. Ein Plädoyer für die Stärkung der Geographie mit geowissenschaftlichen Inhalten in Lehrerbildung und Schule. – Terra Nostra 96/10, S. 77 - 79.
- MOSIMANN, T. (1996): Geoökologie und Geographie in der Schule. Bedeutung für die Bildung aus fachwissenschaftlicher Sicht. – In: Alfred-Wegener-Stiftung (Hrsg.): Geowissenschaften in Lehrerbildung und Schule. Ein Plädoyer für die Stärkung der Geographie mit geowissenschaftlichen Inhalten in Lehrerbildung und Schule. – Terra Nostra 96/10, S. 83 - 88.
- MOSIMANN, T. (1998): Landschaftsökologie in der Schule – Grundlage für das Verständnis der Welt von heute und morgen. – In: Die Erde 129, S. 21 - 37.
- REMPFLER, A. (1998): Das Geoökosystem und seine schuldidaktische Aufarbeitung. – Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 26. - Basel.
- REMPFLER, A. (1999): Wasser und Klimahaushalt in städtischen Räumen. Ein Ansatz zur Vermittlung von Systemdenken. – In: geographie heute 20, H. 172, (im Druck).
- SCHMIDT-WULFFEN, W. (1994): „Schlüsselprobleme“ als Grundlage zukünftigen Geographieunterrichts. – In: Praxis Geographie 24, Heft 3, S. 13 - 15.
- WINKEL, G. (1995): Umwelt und Bildung. Denk- und Praxisanregungen für eine ganzheitliche Natur- und Umwelterziehung. - Seelze-Velber.