

Repräsentation ökologischen Übersichtswissens

Uwe Heinrich¹ und Friedhelm Hosenfeld²

Abstract

Traditionell wird ökologisches Wissen in Form von Simulationsmodellen und Expertensystemen repräsentiert. Dabei handelt es sich im allgemeinen um sehr spezialisiertes Wissen, das nur einen Ausschnitt des ökosystemaren Wirkungsgefüges zum Gegenstand hat. Das hier vorgestellte Konzept zur Repräsentation ökologischen Übersichtswissens, das sogenannte Matrizenkonzept, versucht durch Kompartimentbildung die stofflichen Beziehungen in Ökosystemen in einem holistischen Ansatz zu betrachten. Die Beziehungen zwischen den Kompartimenten werden qualitativ und halbquantitativ beschrieben. Der Aufbau des Systems sowie prototypische Anwendungen werden dargestellt. In einem Ökologischen Informationssystem kann diese Form der Wissensrepräsentation eine wichtige Rolle bei einer intelligenteren, stärker fragestellungsbezogenen Benutzerführung spielen.

1 Wissensrepräsentation in einem Ökologischen Informationssystem

Die wesentlichen Wissensformen in einem Ökologischen Informationssystem wie KERIS (Kiel Ecosystem Research Information System) sind Fakten und Modelle (Heinrich/Hosenfeld 1997). Fakten werden als Sach- bzw. Geodaten in einem relationalen Datenbankmanagementsystem bzw. Geographischen Informationssystem verwaltet. Die Modelle befassen sich inhaltlich u.a. mit dem Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt, der Biozönose oder der Sozioökonomie (Müller et al. 1996), wobei die unterschiedlichsten Modellierungstechniken und Wissensrepräsentationen zum Einsatz kommen (Breckling/Reiche 1996). Gemein ist allen Ökosystemmodellen, daß sie einen funktional und räumlich begrenzten Ausschnitt aus dem mehrdimensionalen ökosystemaren Wirkungsgefüge beschreiben. Da die Modellentwicklung noch weit von einem holistischen numerischen Ökosystemmodell entfernt ist, wie es etwa Leser (1997) forderte, bedarf es eines einfacheren Ansatzes um die Ökosystemmodelle inhaltlich zu verknüpfen.

¹ Christian-Albrechts-Universität, Ökologie-Zentrum, Schauenburgerstr. 112, D-24118 Kiel und Institut für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie, Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, D-18051 Rostock, email: uwe-h@pz-oekosys.uni-kiel.de

² Christian-Albrechts-Universität, Ökologie-Zentrum, Schauenburgerstr. 112, D-24118 Kiel, email: friedel@pz-oekosys.uni-kiel.de

Die Fakten und Modelle werden dem Anwender über Navigationsdaten zugänglich gemacht, die mit Hilfe von Dokumentationsdaten genutzt werden können. Der Anwender muß allerdings bereits eine konkrete Vorstellung davon haben, welche Daten bzw. Modelle für die Beantwortung der Fragestellung benötigt werden. Wenn es möglich wäre, ökosystemares Übersichtswissen, das nötig ist, um die verschiedenen Ausschnitte des ökosystemaren Wirkungsgefüges in Beziehung zu setzen, in formales Wissen zu überführen, wäre eine weit intelligentere, fragestellungsbezogenere Benutzerführung möglich.

Hinsichtlich einer Weiterentwicklung zu einem Entscheidungsunterstützungssystem sind sowohl qualitative als auch quantitative Wissensrepräsentationen des gleichen Sachverhalts notwendig. Zur Entscheidungsfindung sind u.U. einfachere, wenn auch ungenauere, dafür aber schnellere und nicht so aufwendige Methoden hilfreicher als ein numerisches Modell. Der Einbau eines mathematischen Modells in ein interaktives System führt oft zu langen Antwortzeiten und frustrierten Benutzern. Es werden qualitative Modelle benötigt, die die quantitativen ergänzen, um so qualitatives Schließen bei annehmbarer Geschwindigkeit zu ermöglichen (Tanimoto 1990). Dies ist etwa erforderlich, wenn ein Entscheidungsträger einen schnellen Überblick darüber benötigt, welche Ökosystemkompartimente zur Beantwortung einer Fragestellung zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus wäre eine Bewertung hinsichtlich der Dringlichkeit der Bearbeitung der betroffenen Ökosystemkompartimente wünschenswert.

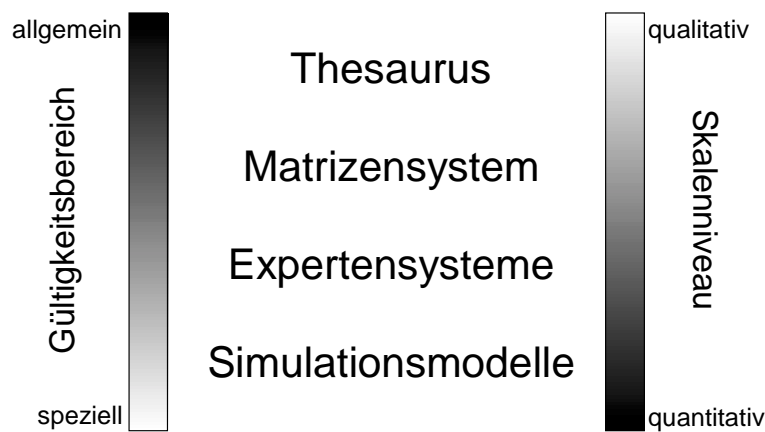


Abbildung 1
Gültigkeitsbereich und Skalenniveau ökologischer Wissensrepräsentationen

Es stellt sich also die Aufgabe ökologisches Übersichtswissen qualitativ bzw. halbquantitativ darzustellen, so daß es den oben aufgeführten Aufgaben genügt und allgemein folgende Forderungen erfüllt:

- es sollen daraus leicht Schlußfolgerungen gezogen werden können
- es soll leicht überprüft und aktualisiert werden können
- es soll leicht als relevant oder irrelevant für ein Problem erkannt werden.

Ein Versuch, ökologisches Übersichtswissen in dieser Weise verfügbar zu machen, ist das am Ökologie-Zentrum von mehreren Arbeitsgruppen entwickelte Matrizenkonzept (Clemen 1996). Dem zugrundeliegenden allgemeinen Ansatz folgend wird es zur Zeit mit Wissen bezogen auf die Naturräume der Bornhöveder Seenkette, die wiederum repräsentativ für weite Teile Norddeutschlands sind, angereichert. Das ökosystemare Wirkungsgefüge wird in Einheiten unterteilt, und die zwischen ihnen ablaufenden ökosystemaren Prozesse und Wechselwirkungen werden beschrieben. Zur verständlichen Präsentation des Wissens und der Inferenzprozesse wurde die Matrixmetapher gewählt. Diese bietet zum einen eine einfache graphische Ausgabe und erlaubt auch mehrdimensionale hierarchische Verknüpfungen anschaulich zu gestalten. Die Verknüpfung der Matrizenelemente mit dem Thesaurus, sowie die Angabe eines konkreten Zeit- und Raumbezuges liefert Aussagen darüber, welche Informationsobjekte für die Bearbeitung benötigt werden und vorhanden sind. Das Matrizenkonzept nimmt hinsichtlich seines ökologischen Gültigkeitsbereichs und seines Skalenniveaus der Wissensbeziehungen eine Position zwischen dem Hierarchischen Thesaurus und den spezielleren Wissensmodellierungsformen wie Expertensystemen und Simulationsmodellen ein (s. Abbildung 1). Das Matrizenkonzept wird im folgenden näher erläutert.

2 Ökologisches Übersichtswissen in einem Matrizen-system organisiert

Mit Hilfe eines Systems aus Matrizen werden die Informationen über die ökologischen Vorgänge in Ökosystemen so abstrahiert und formalisiert, daß die Verknüpfung verschiedener Aspekte des so repräsentierten Wissens im Rahmen eines Informationssystems vorgenommen werden kann.

2.1 Konzeptioneller Aufbau

Die notwendige Organisation der Informationen verlangt eine Abbildung der realen ökosystemaren Vorgänge auf kleine Informationseinheiten, die sich strukturell miteinander in Beziehung setzen lassen. Die Beziehungen zwischen raumstrukturellen, biozönotischen oder funktionelle Einheiten, den sogenannten *Kompartimenten*, wer-

den in Matrixform repräsentiert. Jedes Element einer Matrix stellt eine *Interaktion* zwischen zwei Kompartimenten dar.

Um auch komplexere Zusammenhänge und Beziehungen zwischen diesen Prozessen darstellen zu können, wurden die Matrizen und die in ihnen enthaltenen Interaktionen in verschiedene Ordnungen unterteilt. Zunächst wurde aber der Schwerpunkt der Forschung und Umsetzung auf Matrizen *erster Ordnung* gelegt, bei denen Quelle und Ziel der ökosystemaren Flüsse jeweils den gleichen *Haushalt* und das gleiche *Ökosystem* betreffen. Die Bedeutung dieser Begriffe im Konzept des Matrixsystems wird im folgenden ausgeführt.

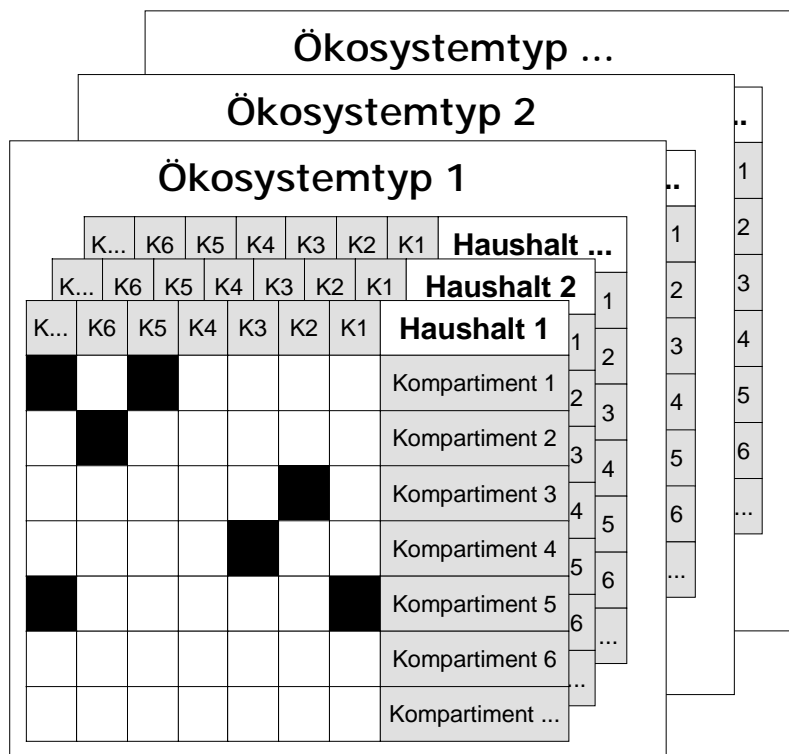


Abbildung 2
Matrixsystem als konzeptionelles Grundmodell der
ökologischen Wechselwirkungen

2.1.1 Kompartimente

Jede Matrix setzt sich aus sogenannten Kompartimenten zusammen, die sich räumlich und funktional von der „Oberflächennahen Luftschicht“ bis zum „Grundwasser“ gliedern. Insgesamt wird eine Unterteilung in etwa dreißig Kompartimente vorgenommen. Die Grobunterteilung umfaßt neben den beiden genannten „See/Wasserkörper“, „Vegetation/Phytoplankton“, „Phytophagen/Nahrungsnetz“, „Humus- und Streuauflage/Sedimentauflage“ und „Boden/Sediment“, die inhaltlich weiter differenziert werden. Tabelle 1 stellt die Grob- und Feingliederung aller Kompartimente dar. Die Flußrichtung der repräsentierten Interaktionen (s. Abschnitt 2.1.4) wird einheitlich definiert, so daß die Spaltenbeschriftungen das Quellkompartiment und die Zeilenbeschriftungen das Zielkompartiment festlegen (s. Abbildung 2), wobei prinzipiell jedes Kompartiment als Quell- und als Zielkompartiment fungieren kann.

2.1.2 Haushalte

Jede Matrix erster Ordnung repräsentiert die Prozesse für einen Haushalt (s. Abbildung 2). Der Begriff des Haushalts beschreibt in der Ökosystemforschung in erster Linie chemische Stoffe und Elemente wie etwa Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Phosphor und Mineralstoffe. Das Matrixensystem sieht jedoch auch Flüsse aus Haushalten wie Energie und Information vor und trägt damit der in der Ökosystemforschung üblichen Betrachtungsweise Rechnung.

2.1.3 Ökosystemtypen

Neben dem Haushalt stellt das Ökosystem einen wichtigen Bezug einer Matrix dar. Dabei können Ökosystemtypen wie etwa „Allgemeines Ökosystem“, „Acker“, „Wald“ und „See“ angegeben werden. Um detaillierte Aussagen machen zu können, werden einzelne Ökosysteme weiter unterteilt. So läßt sich das Ökosystem „Wald“ in die Systeme „Buchenwald“, „Erlenbruch“ und weitere differenzieren.

Die im vorliegenden Matrixensystem dargestellten Informationen beruhen auf den Forschungsergebnissen aus den Ökosystemen im Untersuchungsraum der Bornhöveder Seenkette. Prinzipiell gilt für sie als naturräumlicher Bezugsrahmen der norddeutsche Raum. Das Matrixensystem als solches ist selbstverständlich übertragbar auf andere räumliche Bezüge.

Quell- und Zielökosystem sind in der Regel nur bei Matrizen erster Ordnung identisch, Matrizen höherer Ordnung können Beziehungen zwischen Nachbarökosystemen repräsentieren (s. Abschnitt 2.1.5) und somit zwei Ökosysteme umfassen.

| | |
|---|------------------------------------|
| Oberflächennahe Luftschicht | |
| See/Wasserkörper | Anorganisch feste Phase |
| | Organisch feste Phase |
| | Gelöste Phase |
| | Gasförmige Phase |
| Vegetation/Phytoplankton | |
| Phytophagen-Nahrungsnetz | Vegetations-/Makrophytenoberfläche |
| | Autotrophe Organe |
| | Heterotrophe Organe |
| | Grobwurzeln |
| | Feinwurzeln |
| Humus- und Streuauflage/ Sedimentauflage | |
| Boden/Sediment | Phytophage |
| | Zoophage |
| | Saprophage |
| | Pilze |
| | Bakterien |
| | Anorganisch feste Phase |
| | Organisch feste Phase |
| | Gelöste Phase |
| | Gasförmige Phase |
| Grundwasser | |

Tabelle 1
Räumlich-funktionale Grob- und Feinaufteilung in insgesamt 33 Kompartimente

2.1.4 Interaktionen und Stoffflüsse

Die einzelnen Elemente einer Matrix stellen die Interaktionen zwischen zwei Kompartimenten dar, wobei die Richtung der Interaktion, also Quelle und Ziel, festgelegt ist. Zwischen zwei Kompartimenten einer Matrix können jedoch mehrere Interaktionen der gleichen Richtung bestehen, diese werden insgesamt als *Stofffluß* zwischen diesen beiden Kompartimenten bezeichnet. Ein *Stoffflußpfad* umfaßt alle Interaktionen zwischen zwei Kompartimenten, die nicht unmittelbar durch eine Interaktion miteinander verknüpft sein müssen, sondern auch durch mehrere miteinander kombinierte Interaktionen verbunden sein können.

Eine Interaktion stellt das kleinste Informationsobjekt des Matrixsystems dar. Alle wesentlichen Informationen werden auf der Ebene der Interaktion verwaltet und verwendet (s. Abschnitt 2.2).

2.1.5 Interaktionen höherer Ordnung

Abbildung 2 zeigt, wie sich das Matrixsystem aus einzelnen durch Haushalt und Ökosystemtyp charakterisierten Matrizen zusammensetzt. Die Matrixendarstellung eignet sich dazu, mehrere Matrizen erster Ordnung „übereinanderzulegen“, um Parallelitäten und Zusammenhänge zwischen diesen Matrizen aufzuzeigen. Ein Vergleich sowohl verschiedener Ökosysteme als auch verschiedener Stoffhaushalte ist so möglich.

Interaktionen höherer Ordnung beschreiben unter anderem die Stoffflüsse zwischen den Kompartimenten zweier verschiedener benachbarter Ökosysteme oder den Einfluß zwischen Interaktionen unterschiedlicher Stoffhaushalte.

Für Interaktionen höherer Ordnung, die den Einfluß verschiedener Interaktionen aufeinander widerspiegeln, können weitergehende Aussagen getroffen werden. Neben der Dynamik, Wirkrichtung- und Intensität wird der Einfluß durch eine funktionale Abhängigkeit beschrieben.

2.2 Wissensakquirierung

Die Ökologie setzt sich aus zahlreichen Fachdisziplinen zusammen, so daß ein sehr heterogenes Wissensumfeld mittels der jeweiligen Experten erschlossen werden muß. Die das ökologische Fachwissen für die Matrizen zur Verfügung stellenden Experten sind häufig nur für die Angaben, die sich auf einen *Haushalt* (z.B. Kohlenstoff) beziehen, verantwortlich. Meist erfolgt eine weitere Spezialisierung etwa auf ein *Ökosystem*.

Um eine fachübergreifend auswertbare Wissensbasis zu erlangen, wurde die Wissenserfassung für das Matrixsystem streng strukturiert und stark formalisiert durchgeführt.

In interdisziplinären Arbeitsgruppen wurde ein Fragebogen entwickelt, anhand dessen zu jeder im Matrixsystem dargestellten Interaktion weitere Angaben erhoben werden. Der Entwurf des Fragebogens wurde bereits eng auf die Datenbank-Repräsentation der erhobenen Daten innerhalb des Informationssystems abgestimmt (s. Abschnitt 2.3). Der Fragebogen liegt daher sowohl in Papierform als auch direkt als Datenbank-Eingabemaske vor. Um auch hier die Vergleich- und Verknüpfbarkeit der Angaben zu den verschiedenen Interaktionen zu behalten, werden die Werte größtenteils aus einer vordefinierten Menge wie beispielsweise dem Hierarchischen Thesaurus des Informationssystems KERIS entnommen, der als Navigationsinstrument im Informationssystem KERIS eine zentrale Rolle einnimmt (Heinrich/Hosenfeld 1997).

2.2.1 Quantifizierungen von Zusammenhängen

Die erste Information über eine Interaktion ist rein qualitativer Natur, denn sie gibt an, ob eine Interaktion an dieser Stelle besteht bzw. bekannt ist. Allein diese Information läßt häufig weitere Schlußfolgerungen und Auswertungen zu, wenn sie für verschiedene Interaktionen des Matrixsystems gemeinsam betrachtet wird. Andererseits bieten sich erheblich umfassendere Auswertungsmöglichkeiten, wenn eine gewisse Quantifizierung der Aussagen gelingt.

Quantitative Aspekte werden unter anderem beim zeitlichen und räumlichen Scale, der Flußgröße und der Größenordnung einer Interaktion berücksichtigt

Die Genauigkeit der quantitativen Angaben stellt immer einen Kompromiß zwischen der erwünschten Aussagentiefe und der notwendigen Verallgemeinerung dar, um durch die Allgemeingültigkeit innerhalb der spezifizierten Koordinate im Matrixsystem auch mit anderen Informationen verknüpfbar zu bleiben. Dies verdeutlicht folgendes Beispiel: Es nützt wenig, wenn für ganz bestimmte spezielle Rahmenbedingungen einer Interaktion exakte Werte angegeben werden können, diese Angaben aber innerhalb des Matrixsystems nicht mit anderen Interaktionen in Beziehung gesetzt werden können, da eine Überprüfung der Rahmenbedingungen unmöglich ist.

Folgende Angaben werden in dem Fragebogen zu jeder Interaktion erhoben:

- *Name der Interaktion*
- *Wichtigkeit und Bedeutung für das Zielkompartiment:* Für die Beschreibung der Bedeutung wurde eine grobe Klassifizierung in fünf Stufen vorgenommen.
- *Analog: Wichtigkeit und Bedeutung für das Quellkompartiment.*
- *Räumlicher Scale:* Größtmöglicher Scale innerhalb dessen die Einflußgrößen als homogen anzusehen sind.
- *Zeitlicher Scale:* Sinnvoller Scale, in dem die Interaktion nicht mehr als zeitlich konstant anzusehen ist.

- *Flußgröße und Einheit*
- *Größenordnung* (in bezug auf Flußgröße)
- *Ungenauigkeit der Größenordnung* als Faktor in bezug auf *zeitlichen Scale*
- *Ungenauigkeit der Größenordnung* als Faktor innerhalb des betrachteten *Ökosystemtyps*.
- *Literaturangaben*
- *Schlagwortzuordnung*: Semantische Integration in das Informationssystem durch Verschlagwortung mit dem Hierarchischen Thesaurus (siehe Kapitel 3).
- *Einflußgrößen*
 Zu jeder Interaktion können Einflußgrößen angegeben werden, die die Interaktion unmittelbar beeinflussen und deren Beziehung zu der Interaktion ebenfalls beschrieben wird:
 - *Bezeichnung der Einflußgröße*
 - *Zugehöriges Kompartiment*
 - *Zeitliche Dynamik*: Dynamisch, statisch, wechselhaft oder unbekannt.
 - *Wirkintensität*: Klassifizierung in fünf Intensitätsklassen.
 - *Wirkrichtung*: Verstärkend/positiv oder vermindernd/negativ.
 - *Form der Beziehung*: Angabe als Funktion/Relation.
 - *Gekoppelte Interaktion*

2.3 Wissensrepräsentation in einem relationalen Datenbanksystem

Bereits die Konzeption des Matrizensystems und in gleichem Maße die Akquirierung der Informationen berücksichtigen die Realisierung der Wissensbasis innerhalb eines relationalen Datenbanksystems. Auf diese Weise kann eine nahtlose Integration in das übergreifende Ökologische Informationssystem KERIS erfolgen. Die in Abschnitt 2.1 erläuterten Kompartimente, Haushalte und Ökosysteme sowie die Interaktionen wurden jeweils in eigenen Relationen abgebildet. Eine Interaktion ist durch Koordinaten wie Quell- und Zielkompartiment, Quell- und Zielökosystem, Haushalt und einem Zusatzbezeichner identifizierbar. Zu den Interaktionen werden je nach Ordnungszahl zusätzliche Angaben (s. Abschnitt 2.2) in weiteren Relationen abgelegt.

Wie beim Einsatz ähnlicher Repräsentationsmethoden werden bestimmte Beziehungen explizit abgelegt, aus denen auf implizite Zusammenhänge geschlossen werden kann. Es kommen verschiedene Wissensformen zur Anwendung: Neben der rein qualitativen Angabe über die Existenz von relevanten Wechselwirkungen wird semantisches Wissen genutzt, und die Flüsse werden in ihrer Größenordnung quantifiziert. Generell bestehen Bestrebungen, möglichst wenig Informationen in aus-

schließlich manuell verarbeitbarer Freitext-Form abzulegen. Statt dessen wurde - um den Preis der wissenschaftlichen Vereinfachung - viel Wert auf vordefinierte Wertebereiche gelegt, so daß die Angaben in der Datenbank miteinander vergleichbar und auswertbar sind.

Eine entscheidende Rolle für die semantische Verknüpfung mit den Informationsobjekten des Systems KERIS spielt dabei die Verschlagwortung der Interaktionen mit dem Hierarchischen Thesaurus (Heinrich/Hosenfeld 1998), die ebenfalls mit Hilfe von Relationen umgesetzt wird.

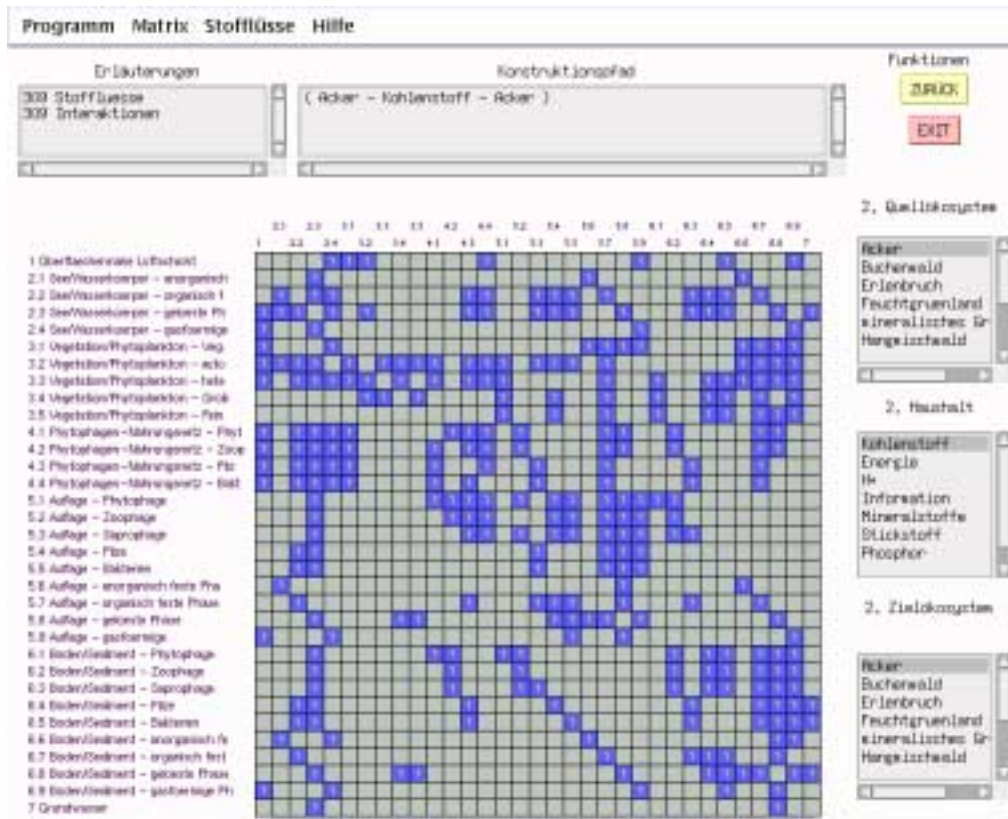


Abbildung 3

Matrizendarstellung einer Matrix 1. Ordnung in einer prototypischen Applikation

2.4 Prototypische Anwendungen

Exemplarisch wurden einige Prototypen von Matrizen-Navigationsinstrumenten (unter anderem in Java) realisiert. Durch den Einsatz dieser Prototypen kann die An-

wendbarkeit des Konzepts in bestimmten Teilbereichen untersucht werden. Andererseits werden Schwachstellen und Ansatzpunkte für Verbesserungen deutlich. Auch in dieser einfachen Form bietet das System bereits für Experten einen Gewinn, da ihr eigenes Fachwissen in Beziehung zu dem anderer Experten gesetzt wird.

Abbildung 3 zeigt den Vorteil der Matrizendarstellung, die auf einen Blick eine Übersicht über eine Matrix erster Ordnung liefert. Die Anwahl eines Matrixpunktes bewirkt das Anzeigen der vorhandenen Angaben der Interaktionen des so bestimmten Stoffflusses. Das in dieser Applikation mögliche symbolische „Übereinanderlegen“ mit farbiger Kennzeichnung der Zugehörigkeit zu einzelnen oder mehreren Matrizen gibt Hinweise auf mögliche Zusammenhänge oder parallel ablaufende Prozesse in verschiedenen Haushalten oder Ökosystemen.

Für eine detailliertere Betrachtungsweise ausgewählter Aspekte ist eine Graphendarstellung besser geeignet (Abbildung 4). Die Beziehungen zwischen einzelnen Kompartimenten können so visuell verdeutlicht und analysiert werden. In dem dort dargestellten Prototypen wird die Verfolgung einzelner Stoffflußpfade durch die Auswahl von Vorgängern oder Nachfolgern graphisch unterstützt.

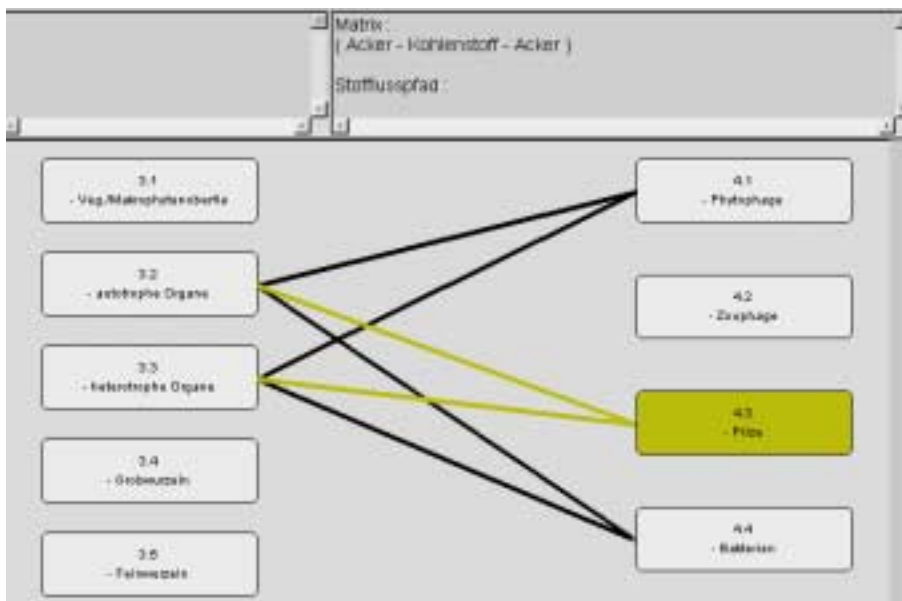


Abbildung 4
Graphendarstellung ausgewählter Stoffflüsse
Bei Bedarf können so komplette Stoffflußpfade verfolgt werden.

3 Die Stellung des Matrizensystems im Ökologischen Informationssystem KERIS

Zur Zeit werden die Matrizen im Ökologischen Informationssystem KERIS wie die anderen Informationsobjekte, u.a. Sachdaten, Geodaten und Modelle, des Informationssystems behandelt, d.h. sie sind ebenfalls mit Schlagworten aus dem Hierarchischen Thesaurus versehen und können mit Hilfe der verschiedenen Navigationsinstrumente von KERIS recherchiert werden (Heinrich/Hosenfeld 1997 und 1998). Weitergehend können sie dann mit den oben dargestellten prototypischen Anwendungen ausgewertet werden.

In Zukunft ist es vorgesehen, das Matrizensystem als weitere Navigationskomponente der Ökologischen Informationssystem neben dem Hierarchischen Thesaurus zu etablieren (s. Abbildung 5). Der Einstieg für den Anwender kann dann sowohl über den Hierarchischen Thesaurus als auch über das Matrizensystem erfolgen. Über die Verschlagwortung ist dann jederzeit eine Verzweigung zu dem jeweils anderen System möglich. Das Matrizenkonzept erlaubt es zusätzlich dem Anwender eine Entscheidungsunterstützung aufgrund einer Analyse und Bewertung der Stoffflußpfade für die weitere Vorgehensweise zu geben. Die Bewertung könnte z.B. auf einer quantitativen Analyse der Stoffströme erfolgen oder einer qualitativen Beurteilung, inwieweit sensible Ökosysteme betroffen sind.

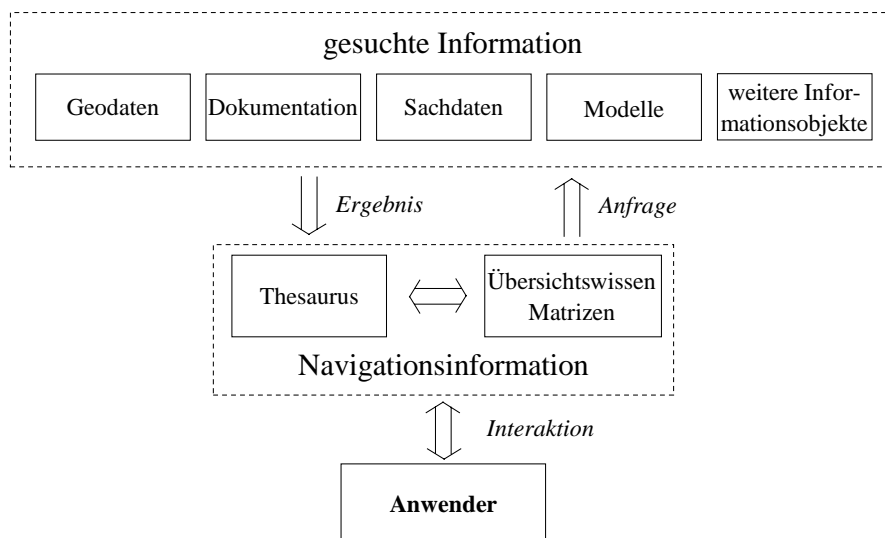


Abbildung 5
Zukünftige Stellung des Matrizensystems im
Ökologischen Informationssystem KERIS

Eine Anwendung könnte z.B. folgendermaßen ablaufen:

Ökologische Planungsaufgaben sind im allgemeinen auf einen konkreten Raumausschnitt der Erdoberfläche bezogen. Das könnte im Falle eines Landschaftsplanes das Verwaltungsgebiet einer Kommune sein oder im Falle einer Umweltverträglichkeitsprüfung ein beliebiger Raumausschnitt um das Untersuchungsobjekt. Der Anwender selektiert diesen Raumausschnitt entweder direkt mit einem Schlagwortbrowser aus dem Thesaurus oder adäquater mit Hilfe einer GIS-Schnittstelle vor einem Kartenhintergrund zur Orientierung. Über die Verschlagwortung können im Matrizensystem die betroffenen Ökosystemtypen selektiert und fragestellungsbezogen analysiert und bewertet werden. Nach einer Entscheidung, welche Systeme, Haushalte bzw. Kompartimente weiter untersucht werden sollen, erhält der Anwender die Auskunft welche Informationsobjekte hierfür benötigt werden und welche für diesen Raumausschnitt tatsächlich verfügbar sind.

4 Schlußfolgerungen

Dieser erste Versuch, ökologisches Übersichtswissen in Form von stofflichen Beziehungen in einem Matrizensystem abzubilden, hat sich bereits als sehr interessant und lehrreich für alle Beteiligten erwiesen. Die prototypischen Auswertesysteme zeigten Zusammenhänge in den Systemen auf, die ohne diese nur sehr schwer zugänglich gewesen wären. Die einheitliche Formalisierung der Ökosysteme ist die Stärke dieses Ansatzes und ermöglicht erst die hier angedeuteten weitgehenden Auswertemöglichkeiten. Gerade dies erweist sich aber bei der Wissensakquisition als großes Hindernis. Die Ökologie ist aufgrund ihrer Komplexität und der Tendenz in der Wissenschaft zu immer größerer Spezialisierung in zahlreiche Disziplinen zersplittert. Jede Teildisziplin hat ihre traditionelle Betrachtungsweise und muß nun zugunsten der Vereinheitlichung auf ihren gewohnten Blickwinkel verzichten. Die hier vorgenommene Einteilung der Ökosysteme, Haushalte und Kompartimente sowie die qualitativen und halbquantitativen Angaben zu den Beziehungen zwischen ihnen verlangen von den Experten eine sehr anspruchsvolle Wissensgeneralisierung.

Solche oder auch andere Formen der Wissensgeneralisierung sind in einem so komplexen Umfeld, wie sie Umweltinformationssysteme oder Ökologische Informationssysteme darstellen, dringend erforderlich, um intelligentere Navigations- und Entscheidungsunterstützungssysteme entwickeln zu können.

Literaturverzeichnis

- Breckling, B., Reiche, E.-W. (1996): Modellierungstechniken in der Ökosystemforschung -eine Übersicht, in: Breckling, B., Asshoff, M. (eds.): Modellbildung und Simulation im Projektzentrum Ökosystemforschung, Ecosys, 4, pp. 17-26
- Clemen, T. (1996): Einführung in das Ökologische Informationssystem, in: Breckling, B., Asshoff, M. (eds.): Modellbildung und Simulation im Projektzentrum Ökosystemforschung, Ecosys, 4, pp. 281-288
- Heinrich, U., Hosenfeld, F. (1997): Das Ökologische Informationssystem KERIS im Internet, in: Geiger, W. et al. (eds.): Umweltinformatik '97: 11. Internationales Symposium der Gesellschaft für Informatik (GI), Straßburg 1997, Marburg, pp. 718-729
- Heinrich, U., Hosenfeld, F. (1998): Multimediale Recherche und Präsentation heterogener Umweltinformationen, in: Riekert, W.-J., Tochtermann, K. (eds.): Hypermedia im Umweltschutz: 1. Workshop Ulm 1998, Marburg, pp. 49-61
- Leser, H. (1997): Landschaftsökologie, 4. Aufl., Stuttgart
- Müller, F., Fränze, O., Widmoser, P., Windhorst, W. (1996): Modellbildung in der Ökosystemforschung als Integrationsmittel von Empirie, Theorie und Anwendung - eine Einführung Informationssystem, in: Breckling, B., Asshoff, M. (eds.): Modellbildung und Simulation im Projektzentrum Ökosystemforschung, Ecosys, 4, pp. 1-16
- Tanimoto, S. L. (1990): KI: Die Grundlagen, München