



GREIFSWALDER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN

Band 39

**Beiträge zum 16. Kolloquium Theorie und
quantitative Methoden in der Geographie
Gemeinsame Tagung der Arbeitskreise
AK Theorie und Quantitative Methoden
in der Geographie und AK Geographische
Informationssysteme in der
Deutschen Gesellschaft für Geographie
(DGfG)**

KOOPERATION UND INTEGRATION

von

Raimund Rödel & Klaus D. Aurada



**INSTITUT FÜR
GEOGRAPHIE UND GEOLOGIE
ERNST-MORITZ-ARNDT-UNIVERSITÄT
GREIFSWALD**

GREIFSWALD 2006

**Beiträge zum 16. Kolloquium Theorie und quantitative
Methoden in der Geographie
Gemeinsame Tagung der Arbeitskreise AK Theorie und
Quantitative Methoden in der Geographie und AK
Geographische Informationssysteme in der Deutschen
Gesellschaft für Geographie (DGfG)**

KOOPERATION UND INTEGRATION

herausgegeben von

Raimund Rödel & Klaus D. Aurada

GREIFSWALD 2006

Impressum

ISBN: 978-3-86006-280-8

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Herausgeber: Raimund Rödel & Klaus D. Aurada

Redaktion: Raimund Rödel,
Klaus D. Aurada

Layout: Brigitta Lintzen, Raimund Rödel

Grafik: Autoren

Herstellung: KIEBU-Druck Greifswald

Kontakt: Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Geographisches Institut
Friedrich-Ludwig-Jahn-Str. 16,
D-17487 Greifswald
e-mail: geogra@uni-greifswald.de

Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Inhalt

	Seite
1. Systemtheoretischer Überblick	
1 MARGRAF, OTTI (Leipzig): Quantitative Geographie - ein systemtheoretisches Konstrukt	1
2 AURADA, KLAUS D. (Greifswald): Angewandte Geographie = Geographie kooperativer Systeme	15
3 KLÜTER, HELMUT (Greifswald): Ein systemtheoretischer Ansatz in der Humangeographie	25
2. Raumstrukturen	
4 SCHUMACHER, U. & U. WALZ (Dresden): Landschaftszerschneidung in Sachsen - Bewertung von Freiraumstrukturen auf der Basis grenzüberschreitender Geodaten	39
5 GRABAUM, R. (LEIPZIG): Verortung linearer Landschaftsstrukturen mittels mehrkriterieller Optimierung	49
6 THINH, N. X. (Dresden): Neue Entwicklungen in der zellulären Simulation der Flächennutzungsdynamik	63
7 ZÖLITZ-MÖLLER, R. (Greifswald): GIS-gestützt Modellszenarien des Meeresspiegelanstiegs an der südlichen Ostseeküste zur Entscheidungsunterstützung in der Regionalplanung: Das Beispiel Usedom	75
8 HERZIG, A. (Kiel): Nachhaltige Landnutzungsoptimierung mit dem Landmanagementsystem LUMASS	89
3. Zeitstrukturen	
9 WIECZOREK, U. (Augsburg): Synoptische Visualisierung der Veränderung der Sonneneinstrahlung und von Indikatoren des Klimawandels von 100 ka b.p. bis 100 ka a.p.	99
10 RÖDEL, R. (Greifswald): Modellierung zeitlicher Prozesse in instabilen räumlichen Feldern	113
11 KOCH, A. (München): Agentenbasierte Simulation sozialräumlicher Interaktionsprozesse. Ein systemtheoretischer Ansatz zur Überwindung des Komplementaritätsproblems	123
12 POHL, T. (Hamburg): Zeitgeographische Prozesse in der Stadt und ihre Relevanz für raumstrukturelle Disparitäten (Werkstattbericht aus dem Forschungsprojekt "VERA - Verzeitlichung des Raumes")	137
13 MÜLLER, S. (Dresden): Optimierung von Schulnetzen bei schrumpfender Bevölkerung	145
14 Der Arbeitskreis „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“	156

16. Kolloquium Theorie und quantitative Methoden in der Geographie

Gemeinsame Tagung der Arbeitskreise AK Theorie und Quantitative Methoden in der Geographie und AK Geographische Informationssysteme in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG)



Wissen lockt.
550 Jahre Universität Greifswald

KOOPERATION UND INTEGRATION

23.-25.02.2006 in Greifswald

Der Arbeitskreis Theorie und quantitative Methoden in der Geographie in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) führt in zweijährigem Turnus Fachtagungen durch. Am Vom 23. bis 25. Februar 2006 fand in Greifswald das 16. Kolloquium zu Theorie und quantitativen Methoden in der Geographie statt. Die Wahl Greifswalds erfolgte aus folgenden Gründen:

- Im Jahr 2006 beging die **Universität Greifswald** das **550jährige Jubiläum** ihrer Gründung; sie gehört damit zu den ältesten Universitäten Deutschlands; seit 1881 ist in Greifswald die Geographie mit einem Lehrstuhl vertreten.
- Im Rahmen der **Herausbildung systemtheoretischer Vorstellungen** spielten neben den "präfraktalen" Überlegungen des Mathematikers FELIX HAUSDORFF (alias PAUL MONGRÉ) (1868 - 1942), der in Greifswald zwischen 1913 und 1921 lehrte, OLIVER HEAVISIDE (1850 - 1925) in der Operatorenlehre und WILLIAM MORRIS DAVIS (1850 - 1934) in der Physischen Geographie (Geomorphologie) eine bedeutende Rolle. Beide waren im Jahr 1906 für eine Ehrenpromotion durch die damalige Philosophische Fakultät der Universität Greifswald vorgesehen, für DAVIS ist sie 1906 (also vor 100 Jahren) auch erfolgt. Greifswald repräsentiert damit sowohl einen wissenschaftshistorischen Hintergrund als auch einen kleinen Knotenpunkt in dieser wissenschaftlichen Entwicklungslinie; die Tagung will daran erinnern.

Die Tagung widmete sich vor dem Hintergrund der Entwicklung in sozioökonomisch und -ökologisch arbeitenden Disziplinen dem Thema „**Integration und Kooperation**“ in der Geographie sowohl im intra- als auch interdisziplinären Rahmen.

Der vorliegende Tagungsband fasst die Ergebnisse zweitägigen wissenschaftlichen Austauschs und fruchtbarer Diskussion zusammen.

Die Herausgeber

Quantitative Geographie - ein systemtheoretisches Konstrukt

Otti Margraf, Leipzig

Zusammenfassung: Um die Kompliziertheit oder Komplexität geographischer oder allgemein räumlicher Phänomene in Inhalt, Raum und Zeit in ihrer inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Ausprägung quantitativ zu erfassen, zu beschreiben oder widerzuspiegeln, bedient man sich häufig des Datenquaders als Gedankenmodell. Unter Berücksichtigung häufig angewandter quantitativer und statistischer Verfahren und Methoden in der Geographie ergibt sich ein methodisch sinnvoller roter Faden zur Zerlegung des Datenquaders und einer sukzessiven Abarbeitung der unterschiedlichen Vektoren (Merkmalsvektoren, Zeitreihen) und Matrizen (Datenmatrix, Strukturmatrix etc.). Im Ergebnis dessen kann das komplexe System geographischer Erscheinungen in drei Subsysteme zerlegt (De-komposition) werden, in das eigentliche inhaltliche Phänomen bzw. den Raum oder den Prozess als System (z.B. Migration, Migrationsgebiet und Migrationsprozess). Das Systemkonzept angewendet auf den Datenquader dient dabei einerseits zur Beschreibung von zumeist in der physischen Geographie untersuchten real existierenden „natürlichen“ Systemen (Modell der Realität) und andererseits als Gedankenkonstrukt zur Systematisierung der subjektiven Erkenntnisse, Erfahrungen und Zusammenhänge, wie es z.T. in der Humangeographie angewandt wird. Es bietet aber als drittes, im methodischen Sinne von den konkreten spezifischen Inhalten abstrahierend und fokussiert auf zu lösende oder zu analysierende Problemklassen die Möglichkeit, Erfahrungen und Herangehensweisen zwischen der Physischen und Humangeographie auszutauschen oder u.a. ein Begriffsgerüst zu entwickeln, das nicht nur der methodischen, sondern auch der inhaltlichen Verständigung zwischen unterschiedlichen disziplinentorientierten Herangehensweisen dient. So lassen sich z.B. Begriffe wie „regionale Unterschiede“ gegenüber einer „räumlichen Differenzierung“ unabhängig von Physischer oder Humangeographie allgemeiner definieren und ableiten. Der methodisch orientierte systemtheoretische Ansatz zeigt damit einen Weg ausgehend von der Systemidentifikation, d.h. die problemorientierten Bestimmung von System, Systemelementen und -relationen über die Systemanalyse, d.h. die zielorientierte Auswahl von Objekt-, Merkmals- oder Zustandsanalyse bis hin zur Systemsynthese, d.h. das Zusammenfügen z.B. der zeitlichen und räumlichen Komponente zu „regionalen Entwicklungstypen“ auf.

1 Einführung

Im Rahmen der in der Geographie stattfindenden aktuellen Schnittstellendiskussion über „Integrative Projekte“ zwischen Physischer und Humangeographie und zu „Methodischen und konzeptionellen Problemen der Gesellschaft – Umwelt - Forschung“ die sich in DFG – Rundgesprächen und diversen Tagungen manifestiert, werden sowohl systemanalytische Ansätze, als auch gemeinsam nutzbare

Methodologien in die Diskussion eingebracht. Mit dem Beitrag sollen früherer Arbeiten zur Formalisierung und Algorithmisierung quantitativer Herangehensweisen durch eine sukzessive Beantwortung inhaltlicher Fragestellungen (MARGRAF, 1983, 1987, 1991a, 1991b) unter dem systemtheoretischen Ansatz einer „Quantitativen Geographie“ beleuchtet und für die Schnittstellenproblematik aufbereitet werden.

Zum anderen ist es dem Autor ein Bedürfnis mit diesem Beitrag auch den kontinuierlichen Ausbau des sowohl systemtheoretischen wie systemanalytischen Ansatzes in der (Geo-) Hydrologie durch Klaus AURADA zu würdigen, dem dieses Kolloquium unter der Überschrift „Kooperation und Integration“ basierend auf systemtheoretischen Ansätzen gewidmet ist. Sein Engagement für das Systemkonzept ist nicht nur seinen und den Beiträgen seiner Schule im Rahmen des Arbeitskreises „Theorie und Quantitative Methoden in der Geographie“, deren langjähriger Sprecher er war, abzulesen, sondern er hat auch die systemtheoretischen Betrachtungen der Quantitativen Geographie als Gedankenkonstrukt durch den Autor seit Anfang der 80er Jahre maßgeblich mit initiiert.

Ziel ist es die für einen Einsatz quantitativer Verfahren notwendigen inhaltlichen Abstraktionsstufen zu nutzen, um eine sowohl begriffliche, wie auch allgemein geo-räumlich orientierte inhaltliche Ebene zu finden, um gemeinsame oder zumindest ähnlich gelagerte Probleme und Herangehensweisen zu formulieren. Es steht also die Frage, kann unter dem methodischen Blickwinkel einer systemtheoretischen Betrachtungsweise die Quantitative Geographie als methodisches Konstrukt und Methodologie, ein Bindeglied zwischen Physischer und Humangeographie für ähnlich gelagerten Problemen und Herangehensweisen sein?

2 Der Datenquader - Quantifizierung räumlicher Erscheinungen in Inhalt, Raum und Zeit

Blütezeiten der Entwicklung „quantitativer Methoden“

„Quantitative Forschungsmethoden in der Geographie hat schon HUMBOLDT angewandt. RITTER speziell hat an dem Problem gearbeitet, wie sich räumliche Beziehungen zahlenmäßig darstellen lassen, und hat den Vorschlag gemacht, Beziehungen in Zahlenreihen auszudrücken, THÜNEN schuf als erster in der Weltwissenschaft ein mathematisches Modell einander im Raum ablösender Zonen ...“ (SAUSCHKIN, 1978, S. 213)

Wie man sieht hat die quantitative Beschreibung und Erklärung geographischer Phänomene im Rahmen empirischer Untersuchungen eine lange Tradition. Das sich dabei Blütezeiten mit Phasen kontroverser Diskussionen abwechseln ist dabei zumeist dem Grad der Übereinstimmung von Anspruch und Möglichkeiten an die quantitativen Methoden und Modelle geschuldet. Die Polarisierung zwischen quantitativer und qualitativer Herangehensweise wäre so ein Beispiel einer kontroversen, mehr akademischen Diskussion, denn wie man an der quantitativen Auswertung qualitativer Fragebögen bzw. qualitativer Merkmale sieht, bilden beide Ansätze methodisch gesehen eher eine Einheit als sich gegenseitig ausschließende Untersuchungsansätze.

Blütezeiten der Entwicklung „quantitativer Methoden“ mit Parallelen zur allgemeinen Wissenschaftsentwicklung sind deutlich sichtbar.

Bereits um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert verzeichnete man einen verstärkten Einsatz mathematischer Methoden und Verfahren zur Bewältigung der in größeren Mengen anfallenden numerischen (Zahlen-) Informationen aus Erfassungs- (Statistiken) und Messprogrammen in der Geographie. Beispiele hierfür sind

- **PENCK'S Volumeberechnungen** von Höhen und Tiefen der Erdoberfläche anhand der Approximation des Reliefs durch Prismen als geometrisch-regelmäßige Körper, inklusive eines linearen Interpolationsansatzes (PENCK, 1890) oder
- **AUERBACH'S „Gesetz der Bevölkerungskonzentration“** (AUERBACH, 1913) über die Verteilung der städtischen Bevölkerung eines Landes; heute als Rank-Size-Rule (Ranggrößenregel), ZIPF-Formel oder PARETO-Verteilung bekannt.

Mit der sog. „Quantitativen Revolution“ und der Herausbildung der „Quantitativen und Theoretischen Geographie“ (auch Metageographie) als Teildisziplin der Geographie wurden durch zahlreiche methodische und theoretische Diskussionen im Umfeld des Einsatzes quantitativer Verfahren, Methoden und Modelle auch disziplingeschichtlich entsprechende Spuren hinterlassen. Der verstärkte Einsatz mathematischer, geometrischer, statistischer u.a. Verfahren erfolgte insbesondere auf der Basis fachlich begründeter theoretischer Ansätze über die zu untersuchenden Erscheinungen und Phänomene sowie der zunehmenden rechentechnischen Verarbeitung raumbezogener Daten.

Letztendlich erreichte die Anwendung quantitativer Verfahren und Modelle mit dem zunehmenden Einsatz Geographischer Informationssysteme eine neue Qualität. Die Methodendiskussion verschiebt sich immer mehr weg von den theoretisch-methodischen Diskussionen hin zu einem pragmatischen, anwendungsorientierten Einsatz. Im Rahmen der „Quantitativen Revolution“ konnte man mangels Speicherkapazität und Rechenleistung nur sehr verallgemeinerte, stark abstrahierte Untersuchungsgegenstände quantitativ abbilden und analysieren, deshalb auch die starke theoretische Komponente die aber dem Anwender in seinen Detailkenntnissen vor Ort kaum etwas Neues bieten konnten. Inzwischen ist die heute verfügbare Flut an quantitativen Informationen (Statistiken, Messprogramme, Luft und Satellitenbilder) nur noch mit Hilfe der verfügbaren Rechen- und Speicherkapazität von Computern zu bewältigen. Als Resultat werden sehr detaillierte quantifizierte Ergebnisse geliefert, so dass sich die Diskussion über die quantitativen Verfahren und Modelle von den inzwischen mehr oder weniger gesicherten theoretischen Hintergrunddiskussionen hin zu einer anwendungsorientierten Ergebnisdiskussion der Nutzer gewendet hat.

Quantifizierung in Inhalt, Raum und Zeit

Der Einsatz quantitativer und mathematischer Methoden setzt voraus, dass man die zu untersuchenden Erscheinungen quantifiziert, d.h. mit Maß und Zahl charakterisiert. Ein Konzept zur quantitativen Widerspiegelung räumlicher Erscheinungen findet man bereits 1952 bei CATTEL zur Erläuterung seiner faktorenanalytischen Techniken (vgl. CATTEL, 1978, S.323). Die Quantifizierung oder Datenerfassung für das zu untersuchende Phänomen erfolgt dabei durch die Auswahl der Objekte (**Wer?**), d.h. die untersuchten Personen bei CATTEL bzw. die Geobjekte in den Geowissenschaften, deren inhaltliche Charakteristik (**Was?**) anhand quantifizierbarer Variablen, Merkmale, Eigenschaften etc. und der unterschiedlichen gemessenen Zustände (**Wann?**) der Objekte durch die Zeit.

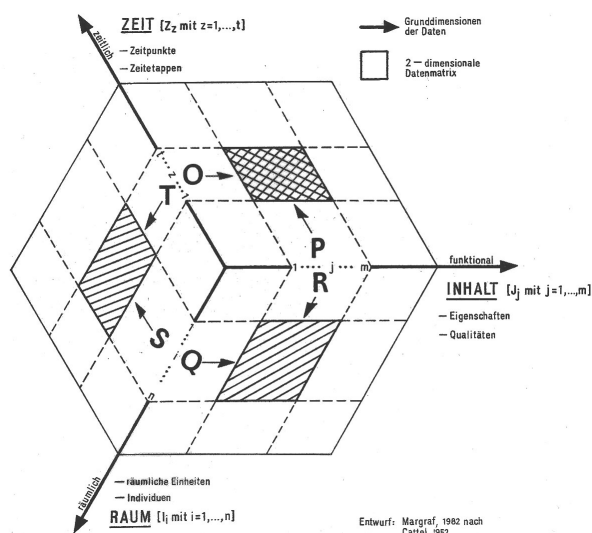


Bild 1.1 - Der Datenquader als vielseitiges Daten-, Methoden- und Verarbeitungsmodell (MARGRAF, 1983 nach CATTEL)

Der inzwischen vielfach als Datenmodell verwendete Datenwürfel (Bild 1.1) ist dabei aber eher ein Datenquader da man wohl nicht generell von dem Sonderfall einer gleichen Anzahl (Dimensionen) von Objekten, Merkmalen und Zeitschnitten ausgehen kann. Neben der 1-dimensionalen, gerichteten Zeit können die räumlichen Objekte in ihrer 1-, 2- oder 3-dimensionalen Ausprägung betrachtet werden und die ausgewählten Merkmale spannen entsprechend der korrelativen Zusammenhänge einen unterschiedlich dimensionierten, linear unabhängigen Merkmalsraum auf. Deshalb sollte man bei der quantitativen Charakterisierung von räumlichen Erscheinungen in Inhalt, Raum und Zeit eher allgemein von drei Grunddimensionen sprechen.

Weitere inhaltliche Datenmodelle

Neben dem Datenquader existieren bzw. wurden weitere zumeist 2-dimensionale Matrizenkonzepte als Datenmodelle zur quantitativen Widerspiegelung spezifischer Phänomene, insbesondere zur Untersuchung von räumlichen Interaktionen entwickelt. Genannt seien hier nur das Dyadenkonzept (Bild 1.2) der operationalen Feldtheorie einer regionalen Geographie von BERRY (1964) und die Interpretation der Interaktionsmatrizen als normale Objekt-Merkmal-Tabelle von SLATER (1976).

		Interaktionen (Relationen)			
Paare von Objekten	O_{ij}^1	a_{11}			
	...				
	O_{ij}^k	a_{1k}			
	...				
	O_{ij}^n	a_{1n}			

Bild 1.2 - BERRY's Dyadenkonzept (1964)

Indem BERRY die Möglichkeit von Interaktionen zwischen zwei Geobjekten (Städte, Regionen etc.) selbst als Objekte betrachtet, werden die konkreten Interaktionen, wie Migration, Pendlerströme, Verkehrs- und Kommunikationsverbindungen zwischen den Quell- und Zielorten als Geobjekte nicht mehr als quadratische Strukturmatrizen erfasst, sondern zu Merkmalsvektoren einer ganz normalen Datentabelle. Dabei widerspiegeln die Zeilen der Tabelle die Möglichkeit der Interaktion zwischen zwei Geobjekten und die Spalten der Tabelle konkrete Interaktionen (Migration, Pendler etc.) in ihrer räumlichen Ausprägung. Praktisch kann man somit mehrere Interaktions- oder Strukturmatrizen, die unterschiedliche Beziehungsgeflechte charakterisieren, in einer Datentabelle zusammenstellen und analysieren.

SLATER hingegen verwendet die erfassten quadratischen Strukturmatrizen mit den Quell- und Zielorten von Interaktionen (Telefonströme) als Zeilen und Spalten. Er interpretiert sie aber als ganz normale Datentabelle. Dabei werden entweder die Quellorte als Geobjekte und die Zielorte als Variablen interpretiert oder umgekehrt. Somit konnte er entweder die Zielgebiete faktorenanalytisch als linear unabhängige Faktoren bestimmen oder umgekehrt die Quellgebiete.

3 Der Datenquader - mehr als ein Datenmodell

Wie bereits CATTEL gezeigt hat, verbirgt sich hinter dem Datenquader mehr als nur ein Datenmodell zur quantitativen Widerspiegelung der zu untersuchenden Erscheinungen in Inhalt, Raum und Zeit. Der Datenquader lässt u.a. in folgender Weise interpretieren:

Der Datenquader als **inhaltliches Datenmodell** zur quantitativen Widerspiegelung räumlicher Erscheinungen in Inhalt - Raum - Zeit (inhaltliche, räumliche und zeitliche Merkmale).

Der Datenquader als **Methodenmodell** im Sinne einer Verallgemeinerung der faktorenanalytischen Herangehensweise von CATTEL (O/P oder Q/R und S/T - Techniken), in dem analog zu SLATER die entsprechenden Objekt-, Merkmals-, und Zustands-Vektoren als Zeilen oder Spalten der 3 möglichen Datenmatrizen in ihrem Charakter als Träger oder Ausprägung der erfassten Werte definiert werden.

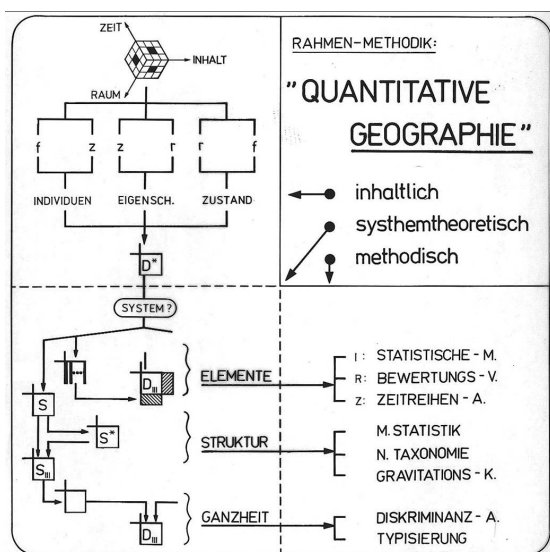


Bild 1.3 - Rahmenmethodik MARGRAF (1994)

Der Datenquader als **Verarbeitungsmodell** beinhaltet und berücksichtigt auch die unterschiedlichen Dimensionen der zu analysierenden Datenbasis. Je nach dem ob man mehrere Scheiben des Datenquaders (spreadsheet), konkrete Datentabellen (Matrizen) bzw. ausgewählte Zeitreihen, bestimmte Merkmalsvektoren oder die Charakterisierung der Objekte (Vektoren) quantitativ analysieren will, werden die entsprechenden Verfahren (Clusteranalyse, Zeitreihenanalyse etc.) ausgewählt.

Die systemtheoretische Betrachtungsweise des Datenquaders als **konzeptionelles Modell (Konstrukt)** für eine problemorientierte Auswahl (Bild 1.3) der sinnvoll einzusetzenden quantitativer Methoden und Verfahren (MARGRAF, 1986, 1994). Eine konkrete Anwendung dieser Rahmenmethodik findet sich bei SCHULZE/MARGRAF (2000).

Der Datenquader als inhaltliches Datenmodell

Wie bereits erwähnt, sind die Kategorien Inhalt, Raum und Zeit zur quantitativen Widerspiegelung räumlicher Erscheinungen nur eine Art konzeptioneller Grunddimensionen.

Bereits hinter der konzeptionellen **inhaltlich-sachlogische Grunddimension (INHALT)** verbergen sich eine Vielfalt an Dimensionen in Form der erfassten Merkmale, Variablen und Eigenschaften, die wiederum inhaltliche, räumliche und zeitliche Dimensionen (inhaltliche Mehrdimensionalität) der zu untersuchenden Erscheinungen verkörpern. Wegen dieser inhaltlichen Vielfalt ist dann auch mit Interkorrelationen, dem Problem der Multikollinearität und Redundanzen zu rechnen, die in den meisten Fällen eine Datenreduktion erfordern um die inhaltliche Variabilität in ihrer Multidimensionalität sinnvoll zu reduzieren.

- So sind z.B. **inhaltliche Eigenschaften** zur Beschreibung des Phänomens Erosion: Niederschlag, Bodenbeschaffenheit, Hangneigung etc. oder zur Beschreibung des Phänomens Migration: Weg- und Zuzüge, Arbeitslosigkeit, Attraktivität im Service- oder Umweltbereich etc.
- Die **räumliche Eigenschaften** dienen zur weiteren Beschreibung und räumlichen Differenzierung sowohl der Geobjekte als auch der Beziehungen zwischen ihnen. Das betrifft einerseits die Geometrie, d.h. die Lokalisierung auf der Erde in Form von Koordinaten und die Topologie, d.h. die Lagebeziehungen in Form von Nachbarschaften, Anfangs- und Endpunkt einer Interaktion, Adjazenz und Inzidenz.
- Die **zeitlichen Eigenschaften** dienen zur Beschreibung von Veränderungen, wie Differenzen zur Charakterisierung von Zu- und Abnahme, Stagnation, Stabilität etc.

Auch hinter der konzeptionellen **georäumlichen** Grunddimension (**RAUM**) verbergen sich bezüglich Geometrie, Kartographie oder der geographischen Dimensionsstufenlehre unterschiedliche quantitative und qualitative Dimensionen.

- Anhand der **geometrischen Dimensionen** können die Geobjekte in 0-dimensionale Punkte (Standorte, Messpunkte), 1-dimensionale Linien (Flüsse, Trassen), 2-dimensionale Flächen (Einzugsgebiete, Regionen) und 3-dimensionale Körper (Relief, geologische Körper) unterschieden werden.
- Hinter den **geographischen Dimensionsstufen** verbirgt sich die inhaltliche Differenzierung von klein- zu großräumigen Untersuchungen und Phänomenen z.B. als lokale, regionale, nationale, internationale oder globale Dimension oder in der Naturraumtypengliederung ausgehend von den Regionen über die Meso-, Mikro-, Nano- und Geochoren bis zu den Geotopen.
- Die unterschiedlichen **Maßstabsebenen** hingegen dienen einer methodischen Differenzierung nach kartographischen Darstellungs- und Gestaltungsprinzipien. So unterscheidet man u.a. zwischen großen Kartenmaßstäben ($> 1:10\,000$) für kleinräumige Darstellungen über mittleren Kartenmaßstäben ($1:10\,000 - 1:300\,000$) bis hin zu kleinen Kartenmaßstäben ($< 1:300\,000$) für großräumige Darstellungen.

Die **zeitliche** Grunddimension (**ZEIT**) ist zwar eine 1-dimensional gerichtete Größe, kann aber über die Erfassung von Veränderungen über Intervalle (Differenzenbildung) u.a. spezifischen Vorgehensweisen auch weiter differenziert werden.

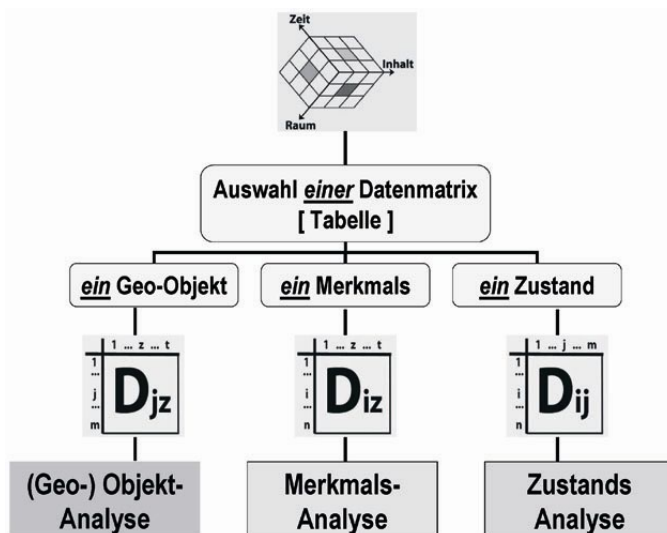
Der Datenquader als Verarbeitungsmodell

Mit dem Datenquader als Verarbeitungsmodell soll die schrittweise Zerlegung vom Datenquader über die Datenmatrix bis zum Datenvektor verstanden werden. Sie ist die Grundlage für die unterschiedlichen methodischen Herangehensweisen, sprich mathematischen und quantitative Verfahren und Methoden zur Verarbeitung 3- bis 1-dimensionaler Datenbasen.

Die **Verarbeitung 3-dimensionaler Datenbasen** basiert in der Praxis auf der gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Scheiben des Datenquaders. Einerseits können das sog. „spreadsheets“ sein, d.h. eine Aneinanderreihung mehrerer vergleichbarer Tabellenblätter, die mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen (EXCEL) gleichzeitig verarbeitet werden können. Andererseits basiert die Analyse mul-

tispektraler Luft- und Satellitenbilder ebenfalls auf der gleichzeitigen Analyse mehrerer Datenscheiben die unterschiedliche Spektralbereiche charakterisieren.

Hinter der **Verarbeitung 2-dimensionaler Datenbasen** verbirgt sich die herkömmliche Verarbeitung der erfassten Datentabellen (2-dimensionaler Datenmatrizen). Geht man vom oben erläuterten Datenquader aus, bedeutet dies die Fixierung einer der Grunddimensionen, für die man eine konkrete Scheibe aus dem Datenquader zur Analyse auswählt. Je nach dem welche Grunddimension man fixiert kann man von einer entsprechend definierten „Analyse“ (Bild 1.4 und 1.5) sprechen, d.h. fixiert man



- die Zeit, ergibt sich die Zustandsanalyse für einen konkret fixierten Zeitpunkt,
- den Inhalt, ergibt sich die Merkmalsanalyse für ein konkret fixiertes Merkmal,
- den Raum, ergibt sich die Objekt- oder Individuenanalyse für ein konkret fixiertes Geoobjekt,

Bild 1.4 - Analysemöglichkeiten und Auswahl der zugehörigen zweidimensionalen Datenmatrix

Bei der **Verarbeitung 1-dimensionaler Datenbasen** werden z.B. mit Hilfe der Zeitreihenanalyse einzelne Spalten- oder Zeilenvektoren einer Datenmatrix des Datenquaders analysiert. In der Praxis handelt es sich dabei meist um

- Zeitreihen, d.h. die Betrachtung der Merkmalswerte zu verschiedenen Zeitpunkten bzw. Zeitintervallen für ein Merkmal an einem bestimmten Ort,
- Merkmalsvektoren, d.h. die Berücksichtigung der Merkmalswerte mehrerer Geoobjekte (Orte) für ein Merkmal zu einem bestimmten Zeitpunkt,
- Zensus, d.h. die Betrachtung der Merkmalswerte verschiedener Merkmalen für ein bestimmtes Geoobjekt (Ort) zu einem bestimmten Zeitpunkt.

4 Der Datenquader - Grundlage eines systemtheoretischen Ansatzes der „Quantitativen Geographie“ als ein methodisches Konstrukt

Im Weiteren soll der Datenquader als konzeptionelles Modell für einen systemtheoretischen und systemanalytische Ansatz von der Datenbereitstellung über die Datenauswahl bis zur Datenanalyse im Sinne eines auf Erfahrungen und Erkenntnissen basierenden methodisch-inhaltlichen Gedankenkonstrukts dienen. Ziel ist die Herleitung und Abarbeitung eines methodischen roten Fadens (Bild 1.3) für

quantitative Herangehensweisen und Analysen auf der Basis konkret geforderter inhaltlicher Entscheidungen.

Zunächst gilt es, eine Abbildung zwischen dem Systembegriff (systemtheoretischen Ansatz) und der allgemeinen quantitativen Beschreibung einer räumlichen Erscheinung durch den Datenquader herzustellen. Basierend auf der Grunddefinition und -begriffen eines Systems, wie System, Systemelemente, -relationen und Ganzheit, werden diese mit der im Datenquader fixierten quantitativen Beschreibung einer räumlichen Erscheinung belegt.

Der Datenquader als konzeptionelles Modell zur Identifizierung möglicher Systeme

Ein konkretes System definiert sich über die Systemelemente und die dazugehörigen Systemrelationen (Beziehungen, Strukturen), die in ihrer Ganzheit zur Realisierung oder Ausübung einer bestimmten Systemfunktion dienen. Der Datenquader bietet dabei zwei Möglichkeiten der quantitativen Beschreibung eines Systems. Zum einen über eine normale Datentabelle (Matrix) die eine Beschreibung der Systemelemente darstellt und aus der die Systemrelationen (Systemstruktur) abgeleitet oder berechnet werden können. Zum anderen kann das System z.B. anhand einer Interaktionsmatrix bereits durch seine Strukturmatrix beschrieben werden, mit den definierten Zeilen und Spaltenköpfen als Systemelementen. Im Detail lässt sich das wie folgt beschreiben (Bild 1.5).

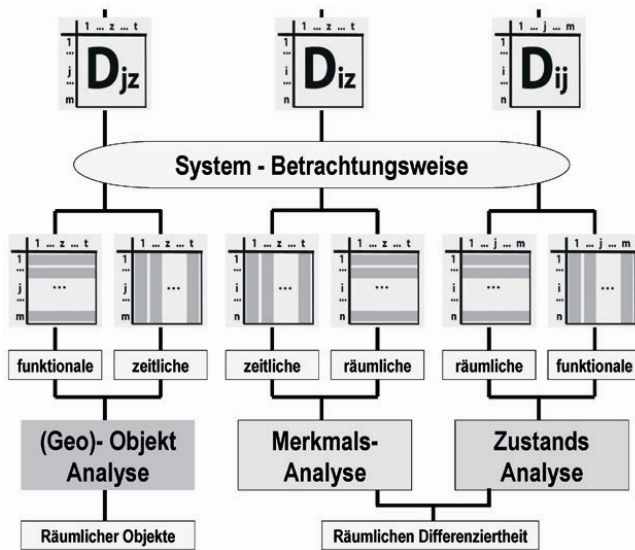


Bild 1. 5 - Wahl der Systemelemente zur Systemidentifikation und Analyse der Systemrelationen.

Die Charakterisierung der Systemelemente, zwischen denen sich die Struktur des Systems als Abhängigkeiten, Zusammenhänge zwischen Merkmalen, Ähnlichkeiten zwischen Geobjekten (räumlichen Einheiten) oder Veränderungen zwischen Zeitpunkten (Zuständen) ableiten, berechnen lässt. Konkrete Beispiele wären die Berechnung von Korrelationsmatrizen mittels funktionaler Objekt- oder Zustandsanalyse zwischen den Merkmalen als Systemelemente, die Berechnung von Ähnlichkeitsmatrizen mittels räumlicher Zustands- oder Merkmalsanalyse zwischen den Geobjekten als System-

Die **Elemente** des jeweiligen zu untersuchenden Systems können über die als spalten- oder zeilenorientierte Datenvektoren der erfassten Merkmale, Geoobjekte und Zeitpunkte einer zu untersuchenden Erscheinung mit Hilfe der erfassten Datenmatrizen definiert, charakterisiert oder beschrieben werden.

Die **Relationen** (Struktur) des jeweiligen zu untersuchenden Systems ergibt sich aus den auf den Werteausprägungen basierenden Beziehungen zwischen den als Elementen ausgewählten Datenvektoren in Form einer quadratischen Strukturmatrix. Mit anderen Worten, eine Datenmatrix enthält mit ihren Zeilen oder Spalten (allg. Vektoren)

elemente oder die Berechnung von Veränderungsmatrizen mittels zeitlicher Objekt- oder Merkmalsanalyse zwischen den Zeitpunkten (Zuständen) als Systemelemente.

Die **Ganzheit** (Funktion des Systems) wird zumeist als „das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ beschrieben. Berücksichtigt man bei den Analysen die Gesamtheit aller Relationen zwischen allen Elementen ergibt sich das „mehr“ in der quantitativen Beschreibung der neuen Qualitäten. So kann man durch die Ausschaltung der in einer Korrelationsmatrix manifestierten Redundanz aussagefähigere, linear unabhängige Faktoren ableiten; räumliche Einheiten werden zu Typen klassifiziert; oder die erfassten Zustände werden zu charakteristischen Prozessen.

Somit ergeben sich für die im Datenquader quantifizierte räumliche Erscheinung drei unterschiedlich betrachtbare und zu definierende **Systeme**. Entsprechend der Auswahl der Systemelemente nach den drei Grunddimensionen kann man das zu untersuchende Phänomen von seiner inhaltlichen Komponente als System (Merkmale als Elemente) oder bei der Auswahl der Geobjekte oder Zeitpunkte als Systemelemente, das zu untersuchende Gebiet bzw. den zu untersuchenden Zeitraum (Prozess) als System betrachten. Mit anderen Worten, entsprechend den ausgewählten Systemelementen kann man folgende Systeme betrachten:

- das Phänomen, d.h. die Erosion oder die Migration, analysierbar mittels funktionaler Zustands- oder Objektanalyse;
- den Raum d.h. das Erosions- oder das Migrations- *Gebiet*, analysierbar mittels räumlicher Zustands- oder Merkmalsanalyse; oder
- die Zeit, d.h. den Erosions- oder Migrations- *Prozeß*, analysierbar mittels zeitlicher Merkmals- oder Objektanalyse.

Systemidentifikation - Systemanalyse - Systemsynthese

Sowohl die differenzierte Systemidentifikation mit der darauf abgestimmten unterschiedlichen Systemanalyse sind eigentlich nur eine Zerlegung oder sog. Dekomposition großer oder komplexer Systeme bzw. der zu untersuchenden Erscheinung in seiner räumlichen und zeitlichen Ausprägung. Deshalb spielt nach der Systemidentifikation und der Systemanalyse die Systemsynthese eine gewichtige Rolle.

Die **Systemidentifikation** als Entscheidung für das Phänomen (Inhalt) an sich, seine räumliche (Raum) oder zeitliche (Zeit) Ausprägung führt entweder zum untersuchten Phänomen, oder zum untersuchten Gebiet bzw. untersuchten Prozess als System. Die Systemidentifikation erfolgt im Rahmen des konstruierten methodischen roten Fadens (Bild 1.3) in zwei Schritten.

- Im ersten Schritt entscheidet man sich je nach Untersuchungsziel oder verfügbaren Datenbasis für eine Zustandsanalyse zu einem fixen Zeitpunkt, für die Merkmalsanalyse eines konkreten Merkmals oder für die Individuen- bzw. Objektanalyse eines ausgewählten Standortes, Gebietes etc. als quantitative Formen der Systemanalyse. Dies entspricht der oben dargelegten Fixierung einer der Grunddimensionen um verarbeitbare 2-dimensionalen Datenmatrizen aus dem Datenquader zu erhalten.
- Im nächsten Schritt kann man sich anhand der für die Untersuchung ausgewählten Datenmatrix für die Spalten oder Zeilen der ausgewählten Matrix als Systemelemente ent-

scheiden. Bei einer Zustandsanalyse bedeutet dies z.B. die Entscheidung für eine räumliche Zustandsanalyse mit den Geobjekten (Zeilen) als Systemelemente oder für eine inhaltliche Zustandsanalyse mit den Merkmalen (Spalten) als Systemelemente. Analog kann man sich bei einer Merkmals- oder Eigenschaftsanalyse für eine räumliche Merkmalsanalyse mit den Geobjekten (Zeilen) als Systemelemente oder für eine zeitliche Merkmalsanalyse mit den Zuständen oder Erfassungszeitpunkten (Spalten) als Systemelemente entscheiden.

Die konkrete **Systemanalyse** orientiert sich an die im Datenquader als Verarbeitungsmodell dargestellten Verarbeitungsstufen (Bild 1.3) von der Analyse der das ausgewählte System beschreibenden Datenmatrizen bis zur Analyse der Datenvektoren (Merkmalsvektor, Zeitreihe etc.). Berücksichtigt man den dargestellten systemanalytischen Ansatz als konzeptionelles Schema (Bild 1.6) verbergen sich hinter

- der Analyse von Datenvektoren mit Zeitreihenanalyse, Bewertungsverfahren, eindimensionale statistische Maßzahlen etc. die Element-Analyse;
- der Analyse der Datenmatrizen von der Datenaufbereitung über die Ableitung von Beziehungen und Relationen bis zur Datenreduktion vor allem Struktur-Analysen.

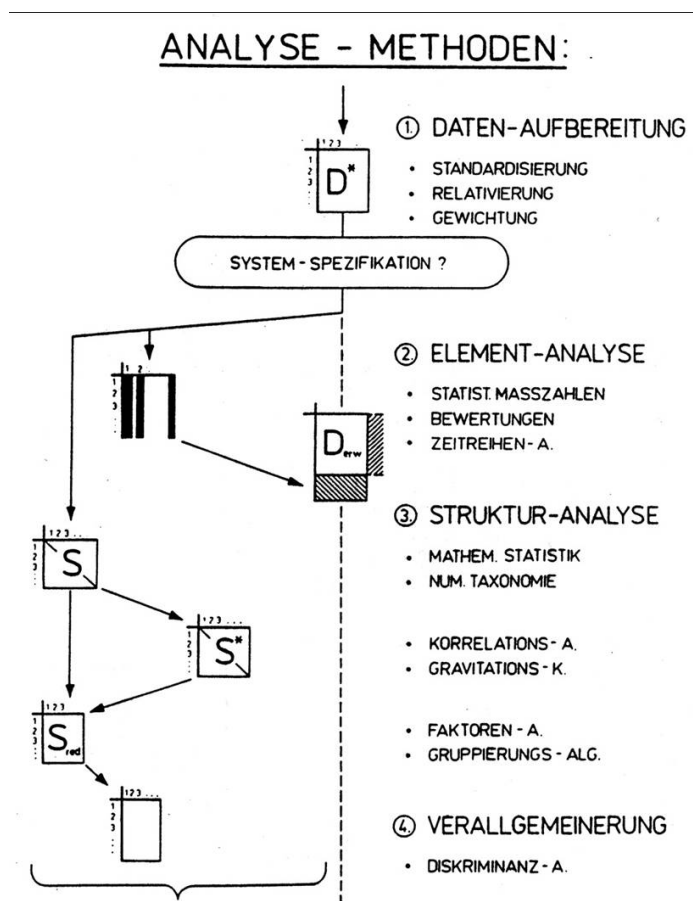


Bild 1. 6 - An Datenvektoren und Datenmatrizen orientierte Analysemethoden.

inhaltliche, räumliche und zeitliche Komponente wieder schrittweise zusammen zu fügen. So ist z.B. das Zusammenfügen der zeitlichen (Prozess) und räumlichen (Region) Komponente zu „regionale Entwicklungstypen“ eine denkbare Variante der Systemsynthese.

Von der Erstellung oder Berechnung der Strukturmatrizen, ihrer Aufbereitung bis zur Beseitigung von Redundanzen reichen die eingesetzten quantitative Verfahren von der Mathematischen Statistik und Numerischen Taxonomie im Allgemeinen über Korrelationsanalyse und Gravitationskonzept bis zur Faktor-, Cluster- und Diskriminanzanalyse im Besonderen. Im Ergebnis erhält man je nach Systemansatz Kausalstrukturen, Äquivalenz- oder Ähnlichkeitsstrukturen bzw. Ordnungs- und Organisationsstrukturen. Im Rahmen der Datenreduktion erfolgt eine inhaltliche Faktorisierung zur Merkmalsreduktion, eine Gruppierung räumlicher Objekte zu Typen oder eine methodisch orientierte Orthogonalisierung der untersuchten Mehrdimensionalität.

Das Ziel der **Systemsynthese** besteht in diesem Zusammenhang darin, die Zerlegung (Dekomposition) großer Systeme für ein komplexes Phänomen in seine

5 Das Systemkonzept zwischen Physischer und Humangeographie

Wie die Diskussionen zur Schnittstellenforschung zeigen, dient das Systemkonzept in der Physischen Geographie eher zur Beschreibung, Abbildung oder Modellierung real existierender (natürlicher) Systeme (Landschaften), während in der Humangeographie das Systemkonzept eher als ein Gedankenkonstrukt zur Beschreibung, Systematisierung, Abbildung oder Modellierung subjektiver Erkenntnisse, Erfahrungen, Zusammenhänge etc. genutzt wird.

Der vorgelegte, methodische orientierte, d.h. auf der quantitative Herangehensweisen basierende systemtheoretische und -analytische Ansatz versucht beiden Ansätze des Systemkonzepts gerecht zu werden. Zum einen dient der Datenquader und die daraus abgeleitete systemanalytische Vorgehensweise zur quantitativen Analyse als Beschreibung, Abbildung oder Modell quantitativ erfasster „realer“ Erscheinungen und Phänomene und deren Analyse im Sinne der Physischen Geographie. Der Ansatz ist aber andererseits in seiner weiteren Interpretation von Vektoren, Matrizen, etc. als Systemelemente und -relationen auch gedankliches Konstrukt im Sinne der Humangeographie, hier mehr der methodischen Erkenntnisse, Erfahrungen, Zusammenhänge beim Einsatz quantitativer und mathematischer Methoden.

Der Vorteil dieser methodischen Betrachtungsweise besteht darin, dass man bei der Anwendung verfügbarer Verfahren und Methoden erst einmal inhaltlich abstrahierend die inhaltliche Problemklasse bestimmen muss, für die das Verfahren oder die Methode entwickelt wurde. Damit werden schon relativ häufig die „Grenzen“ oder Unterschiede zwischen Physischer und Humangeographie verwischt. Dabei darf man nicht vergessen, dass man durch die konkrete Parametrisierung das konkret zu analysierend physische oder humangeographische Phänomen trotzdem inhaltlich adäquat widerspiegeln kann.

Im Rahmen des vorgelegten, methodisch orientierten Systemkonzepts von der Systemidentifikation, über Systemanalyse bis zur Systemsynthese und der notwendigen inhaltlichen Abstraktion zur Anwendung konkreter quantitativer Verfahren und Methoden entwickelt sich bereits automatisch ein Begriffsgerüst (vgl. Tab. 1.1), das nicht nur der methodischen, sondern auch der inhaltlichen Verständigung zwischen unterschiedlichen disziplingorientierten Herangehensweisen dient.

Tab. 1. 1 - Allgemeines Begriffsgerüst zur quantitativen Beschreibung und Analyse geographischer Erscheinungen.

	Inhalt	Raum	Zeit
Elemente	Eigenschaften: Alter der Einwohner Bodeneigenschaften	Formale räumliche Basiseinheiten: Meßpunkte Streckenabschnitte Rasterfelder Zählbezirke	Zeitpunkte: Meßzeitpunkt Erfassungsdatum
wesentliche Elemente	Qualitäten Altersgruppen	Inhaltliche räumliche Basiseinheiten:	Charakteristische Zeitpunkte:

	Bodensubstrat	Arbeitsamtbezirke Landschaftstypen Naturraumtypen Siedlungskategorien Verwaltungseinheiten Wahlbezirke	Impakt-Zeitpunkt Maxima (auch relativ) Min.: = Tiefpunkt Max.: = Höhepunkt Wendepunkt Umschwung
Relationen	Abhängigkeiten Zusammenhänge	geom. Nachbarschaften Interaktionen Kopplungen Ströme Verflechtungen	Veränderungen: Zunahme Abnahme
wesentliche Relationen	Kausalitäten	inhaltl. Nachbarschaft Anbindung Hierarchie	Stabilität Entwicklungen
Ganzheit	Linear unabhängige Faktoren	Klassifikation Typisierung	charakteristische Entwicklungen
System	das Phänomen	das Gebiet	der Prozess
Analyseziel	Regelmäßigkeiten Gesetzmäßigkeiten	Ordnungsmuster Organisationsformen	Projektionen Vorhersagen/Prognosen

6 Methodologien und Schnittstellenforschung

Im Rahmen der Diskussionen um konkrete Beispiele für gemeinsame Projekte und Vorgehensweisen von Physischen und Humangeographen werden auch immer wieder Methodologien als eine mögliche Verbindung oder gemeinsame Vorgehensweise genannt. Da Methodologien zumeist Abstraktionen von bewährten Einzelfällen und individuellen Vorgehensweisen zur Untersuchung von Phänomenen oder zu Lösung von Aufgaben sind, ist natürlich der inhaltliche Abstraktionsgrad entscheidend. Unter dem Gesichtspunkt der Quantitativen Geographie kann man im Wesentlichen drei Abstraktionsstufen unterscheiden.

Beim Einsatz **interdisziplinärer Methoden** ist für den Einsatz der Verfahren keine inhaltliche, räumliche oder zeitliche Spezifizierung nötig, da die Methoden und Verfahren sich nur auf das konzentrieren was in den Daten, sprich Merkmalsausprägungen steckt, wie die Variabilität (Varianzstatistik) der erfassten Merkmale. Man hat es also mit allgemein interdisziplinär nutzbaren Verfahren, Methoden oder Methodologien zu tun, wie z.B. die Mathematische Statistik, Graphentheorie und Matrizenrechnung, Optimierungsverfahren etc. Beredtes Beispiel hierfür ist die Parallelität zwischen dem Aufschwung der Quantitativen Geographie, der Biometrie oder der Ökonometrie in den 60er und 70er Jahren des

letzten Jahrhunderts (quantitative Revolution) die sich analytisch-methodisch gegenseitig stark beeinflussten.

In der zweiten Abstraktionsstufe kann man z.B. neben Inhalt und Zeit, den Raum weiter spezifizieren und kommt somit zu den räumlichen Verfahren oder im Fall der Erde zu den **geowissenschaftlichen Methoden**. Sie erleben insbesondere durch die Entwicklung Geographischer Informationssysteme einen enormen Aufschwung. Im Ergebnis entstehen, basierend auf der Fixierung der Besonderheiten zur Beschreibung des Raumes, georäumliche Verfahren, Methoden und Methodologien. So kann man einerseits die Geometrie des Raumes, d.h. die Beschreibung der räumlichen Lokalisierung, Ausbreitung etc. durch Koordinaten nutzen. Um eine inhaltlich-qualitative Charakteristik des Raumes vorzunehmen, kann man andererseits Distanzen im Sinne der Raumüberwindung (räumliche, zeitliche oder kostenmäßig) verwenden oder drittens topologische Eigenschaften, wie die Beschreibung von Nachbarschaften, Inzidenz und Adjazenz etc. verwenden. Dazu gehört weiterhin die Verwendung unterschiedlicher Metriken (euklidische, Manhattan- oder Schachbrett-Metrik) um bestimmte Verhaltensweisen der untersuchten Phänomene und Objekte zu beschreiben. Ein Beispiel für die den Übergang von der ersten zur zweiten Abstraktionsstufe ist das mathematisch statistische Verfahren der Autokorrelation, d.h. in dem man einen Datenvektor durch schrittweise Verschiebung mit sich selbst korreliert. Im Ergebnis einer zeitlichen bzw. räumlichen Spezifizierung wurden sowohl die Methoden im Sinne einer zeitlichen Autokorrelation zur Bestimmung von Tages- oder Jahresgängen bzw. im Sinne einer räumlichen Autokorrelation z.B. zur Bestimmung von räumlichen Innovationswellen, weiterentwickelt. Letztere Verfahren lassen sich z.Z. im Rahmen der Geofernerkundung relativ einfach einsetzen, da basierend auf der Rasterstruktur sich die räumliche Verschiebung (lag) leichter definieren, bestimmen und verarbeiten lässt.

In der dritten Abstraktionsstufe kann man die von Geographen für ihre Untersuchungen speziell weiter entwickelten geowissenschaftlichen Methoden als **geographische Methoden** zusammenfassen. Neben der Spezifizierung des georäumlichen Aspektes, ist hier auch immer eine inhaltliche Spezifizierung der Problemklasse zu sehen. Beispiele hierfür sind die Grenzgürtelmethode oder die Zentralorttheorie mit ihren Methoden zur Bestimmung der Zentralität oder von Einzugsbereichen. Ein charakteristisches Beispiel für den Abstraktionsschritt von den geowissenschaftlichen Methoden zur geographischen Methodik sind die inhaltliche Spezifizierungen der Überlagerung und Verschneidung als allgemeine räumliche Verfahren im Rahmen Geographischer Informationssysteme zur Abgrenzung und Klassifizierung von Regionen oder Gebieten im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfungen oder der Bufferbildung zur Abgrenzung von Einzugsgebieten einerseits oder von Lärmbelastungszonen andererseits.

7 Ausblick

Eine formalisierte Quantitative Geographie in der hier dargelegten Form als Methodologie und auch der Einsatz des Systemkonzepts zur Strukturierung methodischer Vorgehensweisen bietet im Rahmen der Schnittstellenforschung vielfältige Möglichkeiten um ähnlich gelagerter Probleme und Herangehensweisen in der Physischen wie Humangeographie, insbesondere unter der Spezifizierung des räumlichen Aspektes herauszuarbeiten. Das konzeptionelle Schema basiert ja zum einen auf der

inhaltlichen Abstraktion methodischer Lösungswege für eine allgemeine, übergreifende Nutzung und kann zum anderen wegen des **Analogieschlusses** zur Bereicherung und gegenseitigen Befruchtung von inhaltlich-methodischen Vorgehensweisen beitragen. Da sich die meisten Anwendungen und Beispiele im Bereich der interdisziplinären oder geowissenschaftlichen Methoden bewegen, könnte man sich im Rahmen der Schnittstellenforschung einmal stärker den geographischen Methoden zuwenden, was aber eine inhaltlich präzise Definition der konkreten Problemlösung oder Herangehensweise von der Problemstellung über die Gegebenheiten und angestrebten, gesuchten Lösungen bzw. Zielstellungen bis zur konkreten methodischen Vorgehensweise voraussetzt.

Literatur

- AUERBACH: Gesetz über die Verteilung der städtischen Bevölkerung eines Landes. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Vol. 59, pp. 74 - 76, 1913.
- BERRY, B.J.L: Approaches to Regional Analysis: A Synthesis. In: Annals of A.A.G. Vol. 54, pp 2 - 11, 1964.
- CATTEL, R.B.: A quantitative analysis of the change in the culture pattern of Great Britain.1837-1937 by P-technique. In: Acta Psychologica, Vol. 9, pp 99 - 121, 1953.
- CATTEL, R.B.: The scientific use of factor analysis in behavioral an life science. New York, London 1978. (S 323)
- LEYKAUF, J.; MARGRAF, O. & R. THÜRMER: Quantitative Territorialanalyse. Potsdam, 1989.
- MARGRAF, O.: Geographische Strukturanalyse unter dem methodischen Gesichtspunkt einer sukzessiven Abarbeitung von Datenmatrizen. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Vol. 127 pp 153 - 159, 1983.
- MARGRAF, O.: Quantitative Analyse hierarchischer Strukturen. In: Beiträge zur Forschungstechnologie, Band 16, 146 p., 1987.
- MARGRAF, O.: Systemanalytischer Ansatz zur geographischen Objektbestimmung. In: Freiburger Geographische Hefte, Heft 34, pp 21 - 24, 1991a.
- MARGRAF, O.: Quantitative Geographie - Eine Rahmenmethodik zur inhaltlichen Verarbeitung von Attributdateien in GIS. In: Salzburger Geographische Materialien, Heft 16, pp 117 - 130, 1991b.
- PENCK, A.: Die Volumenberechnung von Höhen und Tiefen der Erdoberfläche. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Vol. 36 pp 153 - 159, 1890.
- SAUSCHKIN, J.G.: Studien zur Geschichte und Methodologie der geographischen Wissenschaften. Gotha/Leipzig, 1978.
- SCHULZE, M. & O. MARGRAF: Eine sozio-ökonomische Typisierung der russischen Städte während der Transformationsphase. In: Europa Regional, Vol. 8, pp 43 - 61, 2000
- SLATER, P.B.: A hierarchical regionalization of Japanese prefectures using 1972 interprefectural migration flows. In: Regional Studies, Vol. 10, pp 123 - 132, 1976.

Geographie

= Geographie kooperativer Systeme

Klaus D. Aurada, Greifswald

Zusammenfassung: In der Geographie hat sich in den letzten Dezennien ein fachspezifisch ausgestaltetes System-Konzept zellularer Räume persistent-konservativer Struktur etabliert. Als Summe co-evolvierender (Selbstorganisation und Organisation) und co-respondierender (Selbstregulation und Regulation) Systeme ermöglicht ein co-operierendes System nicht nur die Erklärung der Naturraumgenese und -dynamik, sondern auch seiner konvergenten bzw. divergenten Kolonisierung und Implementierung mit Hilfe technischer Sach- und Handlungssysteme. Die Einhaltung sozio-ökologisch oder -ökonomisch definierter Randbedingungen zwischen Sicherheit (Versorgungspotenzial) und Risiko (Gefährdungspotenzial) kann unter Berücksichtigung eines natürlich variierenden und tendenziell verändernden Ereignisraumes nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden („Konzept der sozioökologischen Regulation“ des BMBF).

Wissenschaftshistorischer Hintergrund

Die Geographie sieht sich nach klassifizierenden Vorarbeiten VARENIUS´ (1650) in der konzeptionellen Nachfolge ALEXANDER VON HUMBOLDTS (1808, 1845-62).

Das der weiteren Entwicklung zu Grunde liegende Landschafts-Konzept ist um die Mitte des 20. Jahrhunderts insbesondere von TROLL (1899-1975), SCHMITHÜSEN (1909-1984) und NEEF (1909-1984) landschaftsökologisch ausgestaltet worden; PREOBRAZHENSKIJ (1977) faßt diese Entwicklung allerdings als Spezialfall des System-Konzepts auf. Die Weiterentwicklung dieses Konzepts kann durch die Aufnahme von Entwicklungsimpulsen des biophysikalisch orientierten Ökosystemkonzepts der Biologie und der geophysikalisch orientierten Quantitativen Geomorphologie und Systemhydrologie, deren Wurzeln sich bereits bis in das ausgehende 19. Jahrhundert zurückverfolgen lassen, gekennzeichnet werden (AURADA 2003).

Allerdings ist es notwendig, daran zu erinnern, dass der als holistisch kolportierte Naturbegriff HUMBOLDTS sowohl funktional als auch struktural zu interpretieren ist: "Alles in der Natur wirkt nach den ihm gegebenen Gesetzen **gleichzeitig** durch einander und die verschiedenen Naturerscheinungen bieten nicht das Bild einer Kette, sondern eines Netzes, in dem jede Masche nicht allein mit der vorausgehenden und der nachfolgenden, sondern auch mit den seitlich stehenden verbunden und von

ihnen abhängig ist" (so HUMBOLDT's „Kosmos“ kommentierend WITTWER 1860, 430). Auch die etwa 100 Jahre später entstandene Systemtheorie (WUNSCH 1985) als Betrachtungsweise komplexer (dynamischer) Systeme, als der „Laws of organization and organizational forces...“ (BERTALANFFY 1968, 27), artikuliert ein System nicht nur aus Elementen und den Wechselbeziehungen zwischen diesen Elementen, sondern auch als Ordnung bzw. Organisiertheit dieser Elemente.

Die Geographie benötigt als erdoberflächenorientierte und raum-/ zeitdifferenzierende bzw. - integrierende Wissenschaft neben der funktionellen jedoch immer auch eine konstitutionelle Betrachtungsweise: „Wissenschaftliches Denken in der Geographie ist - **neben** dem Denken in synergetischen und ökologischen Zusammenhängen - immer ganz wesentlich ein Denken in Grenzen“ (NEEF 1980, 6; Hervorhebung: Autor). Erst die Erweiterung der funktionalen Betrachtungsweise der Systemtheorie durch den Übergang von Systemen ohne Raumstruktur zu Systemen mit Raumstruktur (WUNSCH 1977) ermöglichte die Charakteristik eines Erdoberflächenausschnitts als zelluläres Geosystem mit konservativ-persistenter Struktur (AURADA 1982). Somit führen trendfreie Prozesse zur Abbildung einer räumlich-zonalen Variabilität und trendbehaftete Prozesse zur Abbildung einer räumlich-zonalen Drift bzw. können - invers - aus entsprechenden räumlichen Strukturen erschlossen werden.

Fachliche Vorleistungen formulierten P. BUACHE (1700-1773) 1752 mit dem "charpenture du globe" („Erdgezimmer“) (mit Bezug auf WISOTZKI 1897 bei BECK 1973, 134), R. LUCERNA (1931) mit einer „chronologische Flächengliederung“ (Fazetten) und E. MARKUS (1889-1971) 1936 mit einem „ökogenen Entwicklungsgang“; zu Recht gebührt MARKUS damit ein Platz in der Weltgeschichte der Landschaftslehre (ROOSAARE 1994, 31). In diesen Zusammenhang gehört auch K. HERZ' (1924-1993) „Evolution der Landschaftssphäre“ (1984 a) und seine „Autometamorphose der Landschaft“ (1984 b). Er mahnt posthum (HERZ 1994), die Intentionen SCHLÜTERS (1906) aufgreifend: „Der Evolutionsaspekt verlangt aber auch die Korrektur des altüberlieferten Begriffspaares Natur- und Kulturlandschaft, das das Entwicklungsverständnis des Landschaftsphänomens der Erde ... unzulässig verkürzt“ (a.a.O., 84). Außerhalb der Geographie wird dieser Prozess als „evolutionär-historisch“ (SIEFERLE (1998, 53) bzw. „koevolutionär“ (HABERL 1998, 36) interpretiert.

Unter Berücksichtigung dieser notwendigen Korrektur des Landschaftsphänomens können Erdoberflächensysteme (HUGGETT 1985) als Ausschnitt der Erdoberfläche mit persistenter und damit konservativer zellulärer Struktur sowohl als strukturell differenziertes (konstitutionelles) Ergebnis ihrer bisherigen Entwicklung (als evolvierendes System) als auch als prozeßtragender (funktioneller) Zustandsraum mit einer bestimmten strukturellen Disposition (als auf äußere Einflüsse reagierendes respondierendes System) gekennzeichnet werden. Damit befinden sie sich zu einem konkreten Zeitpunkt der Gegenwart in einem bestimmten (wahrscheinlicheren) Zustand einer von der bisherigen Entwicklung abhängigen begrenzten Menge alternativer (unwahrscheinlicherer) Zustände. Die heterogene Strukturierung des Geosystems widerspiegelt somit seine heterochrone Entwicklung (AURADA 1982); SOLNCEV (1981) spricht von einer „Chronoorganisation“ im Sinn einer raumzeitlichen Organisation der Geosphäre.

Kolonisierung der Natur

Mit dem Wandel als Veränderung in Raum und Zeit und der Wechselwirkung räumlich und zeitlich benachbarter Veränderungen als systemtheoretische Grundkategorien (W. R. ASHBY 1903-1972; 1958)

können sowohl geographisch wirkende und systemtheoretisch zu interpretierende Ordnungsprinzipien als auch anthropogene Einwirkungen erklärt werden. Mit dieser Verknüpfung wird das Eintreten des Menschen und das Eingreifen der menschlichen Gesellschaft in die Biosphäre und ihre naturgeschichtliche Entwicklung in Übereinstimmung mit dem „Ökologischen Grundwiderspruch“ HÖRZ' gesehen; „Der Mensch als Störfaktor im Geosystem“ (HAMBLOCH 1986) wird wertfrei relativiert (AURADA 2003).

HÖRZ (1986) formuliert diesen „Ökologischen Grundwiderspruch“ als „... Einheit zweier Gegensätze. Auf der einen Seite gibt es Entwicklungszyklen der Natur, in die der Mensch als Naturwesen eingepasst ist. Auf der anderen Seite stehen Entwicklungszyklen des gesellschaftlich organisierten Menschen, für den die Natur Existenzbedingung ist. Der Mensch als Natur- und gesellschaftliches Wesen verkörpert selbst die Einheit dieser Gegensätze. Der ökologische Grundwiderspruch, (...), lautet: Die notwendige Ausnutzung der Naturressourcen zur Gestaltung der Existenzbedingungen des Menschen führt zur ständigen Veränderung natürlicher Entwicklungszyklen durch den Menschen. Die Lösung des Grundwiderspruchs erfolgt stets unter spezifischen natürlichen und gesellschaftlichen Bedingungen“ (a.a.O., 14).

Bereits bei A. v. HUMBOLDT (1769-1859) und C. RITTER (1779-1859) war der Mensch, oder besser der vergesellschaftete Mensch (die Menschheit des damaligen Sprachgebrauchs), als Gegenstand der wissenschaftlichen Geographie berücksichtigt bzw. als „Cultur-Sphäre“ einbezogen worden. Mit seiner Auffassung des „Isolierten Staates“ (1826), als isoliertem System der „THÜNENSchen Kreise“ eines landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichen Systems, hatte bereits J. H. v. THÜNEN (1783-1850) „... das Systemdenken in der Wirtschafts- und Sozialwissenschaft begründet“ (KRÜGER 1995, 186); der Wert der Natur für den wirtschaftenden Menschen wird zunächst in einer „Bonitierung der Erde“ (A. PENCK 1858-1945, 1925) gesehen.

Erst mit O. SCHLÜTERS (1872-1959) „Morphologie der Kulturlandschaft“ (1906) und den von ihm gewählten Begriffen der Ur-, Natur-, Alt- und Kulturlandschaft als historisch-genetische Synonyma der Veränderlichkeit der Landschaft in der Zeit ist eine Korrektur der vordergründig kausalorientierten Betrachtungsweise F. RICHTHOFENS (1833-1905) und A. HETTNERs (1859-1941) nachweisbar (SCHMITHÜSEN 1976). Interessant ist, dass SCHLÜTER offenbar durch die Intentionen der „Grundlinien einer Philosophie der Technik“ (1877) des Geographen E. KAPP (1808 - 1896) beeinflusst worden ist (BECK 1973, 327), der – von der Geographie bisher nicht wahrgenommen – als Begründer der Technikphilosophie angesehen wird (ROPOHL 1999, 13).

Da die naturgesetzlich determinierten Prozesse der Selbstorganisation einerseits irreversibel unter evolvierenden Gleichgewichtsbedingungen verlaufen, können sie und ihre räumlichen Entsprechungen hinsichtlich ihrer zeitgerichteten Veränderlichkeit anthropogen nur retardiert (verzögert) oder akzeleriert (beschleunigt) werden: sie sind nur einer anthropogen langfristig wirkenden Organisation bzw. Raumordnung von Strukturen zugänglich. Andererseits laufen die naturgesetzlich determinierten Prozesse der Selbstregulation reversibel unter pulsierenden (Fließ-) Gleichgewichtsbedingungen ab und können, wie auch ihre räumlichen Entsprechungen, nur durch eine anthropogene kurzfristige, ständig wiederkehrende, Regulation bzw. Bewirtschaftung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Funktionsfähigkeit des physiogenen Systems stabilisiert bzw. optimiert werden (AURADA 1982).

HABERL (1998) kennzeichnet diese Entwicklung insgesamt als Kolonisierung: „Wesentliches Merkmal ist nicht nur der Eingriff in die Natur, sondern auch die Permanenz dieser Eingriffe: Von Kolonisie-

rung kann man nur dann sprechen, wenn ein dynamisches System auf Dauer beeinflusst und gesteuert wird, um es in einem bestimmten Zustand zu halten oder definierte Vorgänge ablaufen zu lassen“ (a.a.O., 35), und ergänzt: „Kolonisierung steht ... in einem engen Zusammenhang mit der Technik- und Technologieentwicklung und der gesellschaftlichen Organisationsform“ (a.a.O., 36).

Implementierung der Natur

Eine erste Reaktion auf diese inzwischen global wirkende Entwicklung artikuliert bereits G. P. MARSH (1801-1882), der in „Man and Nature“ (1864) „Umwelt-Regeneration“ als „...great political and moral revolutions in the governments and peoples by whom those region are now possessed ...“ (Zitat nach OLWIG 1996, 644) reklamiert. Zwar ist „Die Technik, der Inbegriff menschlicher Vernunft und vorausschauender Planung, (ist) an dem hochgesteckten Ziel der Beherrschung und Steuerung der komplexen Natur eindrucksvoll gescheitert“ (DIENEL 1994, 73), aber „Es gibt Alternativen in der Industriegesellschaft, aber keine **zu** ihr“ (HUBER 1982, 10; Hervorhebung im Orig.); „Die Re-Naturalisierung ist kein gangbarer Weg“ (HABERL 1998, 39).

Aus einem breiten Spektrum von Begriffen über gesellschaftliche Strukturen und auch unterschiedlicher Betrachtungsweisen entwickelte sich der Begriff des „sozialen Systems“, der von ROPOHL in einer „Systemtheorie der Technik“ (1979 und 1999) mit dem „soziotechnischen System“ kompatibel gestaltet worden ist. Sie beschreibt die Beziehungen zwischen einem menschlichen, hierarchisch aufgebauten Handlungssystem und einem gegenständlichen Sachsystem gesellschaftlicher Herkunft. Eine Übersicht über technikphilosophische bzw. technikhistorische Entwicklungslinien geben HUBIG, HUNING & ROPOHL (2000).

Dieses hierarchisch übergeordnete soziogene System bildet - aus naturwissenschaftlicher Sicht - soweit den Rahmen eines physiogen-anthropogenen Geosystems, als es konstitutionell (raumordnend) und funktionell (prozessbewirtschaftend) dieses System durch technische Sach- und Handlungssysteme (ROPOHL 1999) gestaltet, nutzt und verändert: historisch in der Abfolge einer konvergent-, später divergent-naturraumnutzenden Kolonisierung und schließlich einer naturraumverändernden Implementierung (vgl. Bild 2.1).

Dieser Standpunkt eröffnet die Möglichkeit, anthropogene Beeinflussung sowohl als Regulation (Bewirtschaftung) von Selbstregulationsprozessen als auch als Organisation (Raumordnung) von Selbstorganisationsprozessen der Natur definieren zu können, da die anthropogen stabilisierende oder destabilisierende Beeinflussung von Prozessen oder Zuständen der Erdoberflächensysteme berücksichtigt werden kann (AURADA 1982).

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraumes trendfrei und innerhalb des Schwankungsverhaltens der pulsierenden bzw. evolvierenden Systemzustände des physiogenen Systems, sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems konvergent; es existieren keine Nutzungskonflikte, es werden keine Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation und/ oder einer strukturbezogenen Organisation erforderlich (= konvergent-kolonisiertes Geosystem).

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraums trendbehaftet und überschreitet damit tendenziell zunehmend das Schwankungsverhalten der pulsierenden bzw. evol-

vierenden Systemzustände des physiogenen Systems, sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems divergent; es existieren zunehmende Nutzungskonflikte, es werden Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation bzw. der strukturbezogenen Organisation erforderlich (= divergent-kolonisiertes Geosystem).

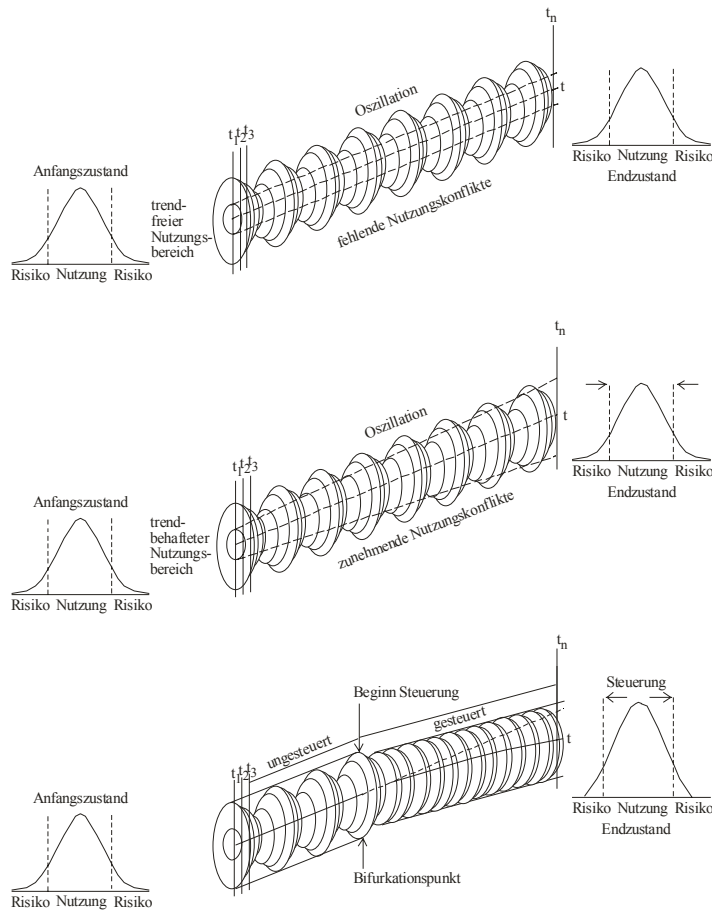


Bild 2. 1 - Veranschaulichung eines konvergent-kolonisierten (oben) bzw. divergent-kolonisierten (Mitte) Systems durch Implementierung eines technischen Systems (unten) im Rahmen natürlicher natürlicher Variabilität.

Da in der industriellen Gesellschaft zunehmend die konfliktfreie Integration des anthropogenen Teilsystems in das natürliche System aufgegeben wird, nimmt tendenziell die Nutzung der Natur so intensiv zu, dass innerhalb des divergent-kolonisierten Systems die Funktionsfähigkeit des natürlichen Teilsystems eingeschränkt wird. Funktionen, die in ihrer allgemeinsten Form als Erhöhung des Versorgungspotenzials und Verringerung des Gefährdungspotenzials charakterisiert werden können, müssen durch technische Systeme unterstützt bzw. ersetzt werden; es erfolgt nicht mehr nur eine Kolonisierung, sondern eine Implementierung („Ergänzung“) der Natur durch die Implantation technischer Sach- und Handlungssysteme ROPOHLS (1999).

"Ein Grundsignum der Industrialisierung ist, daß ehemals dezentrale, ver- einzelte und lokale Ver- und Entsorgungsvorgänge, Produktions- und Verbrauchsverläufe immer mehr in voneinander abhängige Gesamtsysteme gebracht werden" (BAYERL & VON BORRIES 1998, 13).

Es kommt dadurch zu zeitlichen Diskontinuitäten zwischen Funktionsfähigkeit und Nutzungsfähigkeit des physiogenen Systems. Ein technischer Ausgleich ist an den Schnittstellen "Entnahme" und "Einleitung" möglich und führt zur Entwicklung zeitdiskontinuitäten-ausgleichender Pufferkapazitäten (Wasserwirtschaft: Talsperren, Bergwirtschaft: Halden, Landwirtschaft: Lagerkapazität, Abfallwirtschaft: Deponien usw.), die die Diskrepanz zwischen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Förderung, Verteilung, Nutzung bzw. Versorgung auszugleichen gestatten. RADKAU (1993) bemerkt bezüglich derartiger „Large Technical Systems" (Begriff nach HUGHES 1989; vgl. aber auch JOERGES 1992, 69), dass es "Durch seine geographische Ausdehnung oder sein Umgreifen unterschiedlicher Subsysteme ... einen Umfang besitzt, der Transport-, Koordinations- und Schnittstellenprobleme aufwirft (a.a.O., 379) (vgl. Tab. 2. 1).

Tab. 2. 1 - Kooperative Systeme der Energie- und Wasserversorgung (Versorgungspotenzial) und des Hochwasserschutzes (Gefährdungspotenzial) im Rahmen einer Matrix von Funktionsklassen technischer Sachsysteme nach ROPOHL (1999, 125; Zahlenangaben für Deutschland).

ENERGIEVERSORGUNG

Output-Attribute Y, RY, TY		Zustands-Attribut Z
l	Wandlung	Zustandsveränderung
n	Y ≠ X (qual., quant.)	X ≠ const, Z ≠ const
p		
u	Wasser ► Energie [4,1 % bzw. 7,3 %] (660 EVU)	
t	Laufwasserkraftwerke: 354 (3 063, 6 MW)	
-	Speicherkraftwerke: 49 (362,9 MW)	
A	Pumpspeicherwerke: 31 (6 682,6 MW)	
t		
t	Transport	Zustandserhaltung
r	Y = X, RY ≠ RX, TY ≠ TX	X ≠ const, Z = const
i		
b	Freileitungen / Kabel (Dt. ≥ 110 kV): 116 000 km	
u	Energieverbundsystem UCPT: 2,286 Mio km ²	
t	(Leistungsvermögen: 382 GW / 1 437 TWh a ⁻¹)	
e		
	Speicherung	
	Y = X, RY = RX, TY ≠ TX	
X	Versorgungspotenzial [492,7 Mrd. kWh]: 100 %	
RX	Talsperren: 4329,6 Mio m ³ (FE: 66 893 km ²)	
TX	Oberbecken: 37,8 Mio m ³ (teilweise ohne FE)	

WASSERVERSORGUNG

Output-Attribute Y, RY, TY		Zustands-Attribut Z
l	Wandlung	Zustandsveränderung
n	Y ≠ X (qualitativ, quantitativ)	X ≠ const, Z ≠ const
p		
u	Rohwasser ► Trinkwasser	
t	6 959 Wasserversorgungsunternehmen	
-	18 798 Trinkwasserschutzgebiete (GW und OW)	
A	mit 38 100 km ² Fläche der Einzugsgebiete	
t		
t	Transport	Zustandserhaltung
r	Y = X, RY ≠ RX, TY ≠ TX	X ≠ const, Z = const
i		
b	Trinkwasser-Rohrleitungen: 385 000 km	
u	Abwasser-Kanalisation: 445 731 km	
t	(Fernwasserversorgungssysteme: 26 % Anteil)	
e		
	Speicherung	
	Y = X, RY = RX, TY ≠ TX	
X	Vers.-potenzial [71,4 + 3,6 = 75,0 Mrd. m ³]: 105 %	
RX	GW (Poren-, Kluft-): 353 300 km ² (3 530,1 Mio m ³)	
TX	OW: 85 Talsperren: 19 048 km ² (1 366,8 Mio m ³)	

HOCHWASSERSCHUTZ

Output-Attribute Y, RY, TY		Zustands-Attribut Z
l	Wandlung	Zustandsveränderung
n	Y ≠ X (qualitativ, quantitativ)	X ≠ const, Z ≠ const
p		
u	HW-Abfluß ► bordvoller (schadloser) Abfluß	
t	HW-Schutz: 291 TS + 149 HRB (≥ 0,3 Mio m ³)	
-		
A	Transport	Zustandserhaltung
t	Y = X, RY ≠ RX, TY ≠ TX	X ≠ const, Z = const
t		
r	Gewässernetz: 30 000 km (Deiche: 9 945 km)	
i	[Verlust Retentionsflächen: 17 000 – 33 200 km ²]	
b	Überschwemmungsgebiete: HQ10: 14 500 km ²	
u	HQ100: 17 000 km ²	
t		
e	Speicherung	
	Y = X, RY = RX, TY ≠ TX	
X	(Gefährd.-potenzial [21,2 - 1,1 = 20,1 Mrd. m ³): 95 %	
RX	steuerbare HW-Speichervol.: 1,069 Mrd. m ³ (~ 25 %)	
TX	steuerbare HW-Bildungsfl.: 66 893 km ² (50 – 83 %)	

Zeichenerklärung:

RX, RY Raumkoordinaten
 TX, TY Zeitkoordinaten
 const unverändert

Quellennachweise:

Energieversorgung: nach LAWA (1998), AURADA (1999) und HEIMERL & GIESECKE (2004)
 Wasserversorgung: nach LAWA (1998) und AURADA (1999)
 Hochwasserschutz: nach LAWA (1998) und AURADA (1999)

Da sich in diesen Systemen der Stoffwechsel Natur-Gesellschaft vollzieht, werden ihre Versorgungs- und Schutzfunktionen durch die raum-zeitlich variierende „Verfügbarkeit“ und „Beherrschbarkeit“ der natürlichen Ressourcen begrenzt; die Systeme erlangen damit die Dimension sozioökologischer und sozioökonomischer Systeme. Die Überlagerung natur-, technik- und sozialgeschichtlicher Entwicklungslinien und als deren historisch entstandenes Ergebnis ihre räumlich organisierte Struktur, die wiederum Träger gegenwärtiger Prozessabläufe ist, legen die Kennzeichnung dieser Systeme als kooperative Systeme nahe (AURADA 2003).

Kooperation mit der Natur

Speicherräumenausbau und -bewirtschaftung bieten sowohl durch eine räumlich differenzierte planmäßige Implementierung technischer Systeme in natürlich entstandene Gewässereinzugsgebiete bzw. Einzugsgebietskörper und das i.a. hierarchisch strukturierte Gewässernetz als auch durch die mit ihrer Hilfe mögliche Beeinflussung des klimatisch gesteuerten - respondierenden - Abflusses dieser natürlichen Systeme ein zur Verifizierung des skizzierten theoretischen Rahmens gut geeignetes Beispiel.

In die Anfangsjahre des modernen Talsperrenbaus in Deutschland im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts fällt nicht nur die Möglichkeit der Erzeugung elektrischer Energie durch Wasserkraft, sondern auch ihrer Übertragung über größere Entfernungen (1891). Damit wurden jedoch von vornherein in die Bewirtschaftungsmöglichkeit des aufgestauten Wasserkörpers zwei konkurrierende Strategien (Nutzraum versus Schutzraum) integriert. Die Wasserkraftnutzung verlangt nach einem möglichst gefüllten Stauraum, um effektiv Energie erzeugen zu können, der Hochwasserschutz erfordert einen möglichst entleerten Speicherraum, um effektiv Hochwasserabflüsse zurückhalten zu können; beide Systemzustände sind kurzfristig aus sowohl ökologischen (Durchlaßfähigkeit des Unterlaufes) als auch technischen Gründen (Grundablaßkapazität des Speicherraumes) nicht ineinander zu überführen (vgl. Bild 2.2).

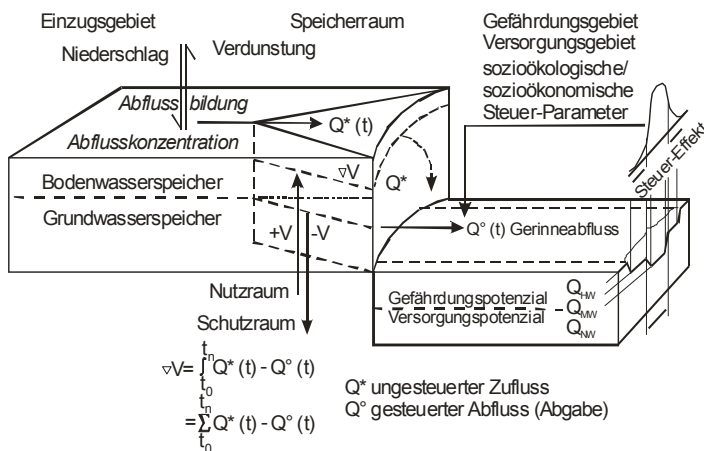


Bild 2.2 - Veranschaulichung eines Speicherraums im Rahmen eines kooperativen Systems.

gehalten.

Allerdings kann der damit festgelegte Nutzungskorridor nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden, dessen Grenzwerte (z. B. sozioökologisch motivierte Mindestwassermenge oder sozioökonomisch motivierter Ausuferungswasserstand) zugleich die Einbindung in ein soziogenes System repräsentieren. Damit ist aber zugleich ein co-operierendes (kooperatives) System entstanden.

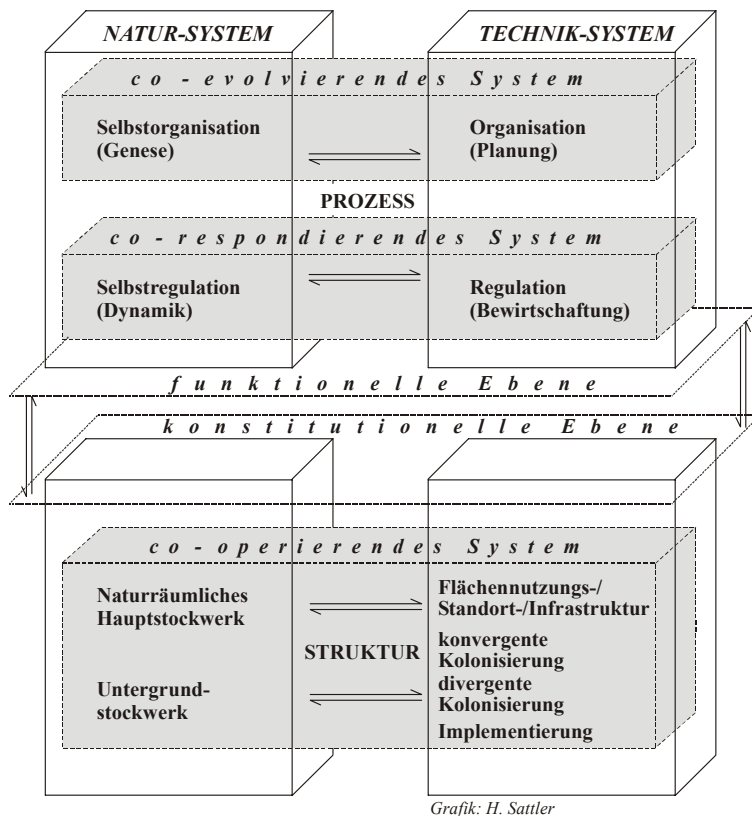
Da die wirtschafts- und sozialpolitischen Anforderungen von Zielstellungen der Soziosphäre ausgehen und im Rahmen des o.a. „Ökologischen Grundwiderspruchs“ (HÖRZ 1986) in die Wechselbeziehungen mit „Ökosphäre“ (L. COLE 1958 [STODDART 1965, 243]) im Rahmen einer „Technosphäre“

Die entstehenden Netzwerke umfassen dabei nicht nur, wie aus der Sicht des Technikers nahegelegt, Leitungsnetze, etwa zur Energie- oder Wasserversorgung und -entsorgung, oder z.B. Verkehrsnetze, sondern auch natürlich entstandene „Netze“, wie das i.a. hierarchisch aufgebaute Gewässersystem. Mit seiner Hilfe wird z.B. in Talsperren gespeichertes Wasser zur Erhöhung der Versorgungspotenzials (Niedrigwasseraufhöhung) abgegeben oder zur Verminderung des Gefährdungspotenzials (Hochwasserdämpfung) zurück-

(F. RAPP 1978 [ROPOHL 1999, 253]) eingreifen, kann die (Kultur-) Landschaft synonym für jeweils komplementäre sowohl co-evolvierende als auch co-respondierende Systeme und damit als ein co-operierendes (kooperatives) Geosystem gekennzeichnet werden (AURADA 2003).

Fazit

Ausgehend von systemtheoretisch begründeten Auffassungen zur Selbstorganisation (Genese) und Selbstregulation (Dynamik) natürlicher Geosysteme und zur Organisation (Planung) und Regulation (Bewirtschaftung) durch technische Systeme im Rahmen soziogener Systeme kann das o.a. „HUMBOLDT'sche Netz“ sinnverwandt als co-evolvierendes System + co-respondierendes System = co-operierendes (kooperatives) System interpretiert werden (Bild 2. 3).



Grafik: H. Sattler

Bild 2. 3 - Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes (kooperatives) System

Dieses Konzept vereinfacht es, nicht nur zu einem Verständnis zwischen naturwissenschaftlicher, technischer und soziologischer Sichtweise, sondern auch zu ihrer Integration mit gesellschaftlich motivierten Handlungsoptionen beizutragen. Es vervollständigt den Weg von den „Ansichten der Natur“ (HUMBOLDT 1808) zum „Verständnis der Natur“ (GLOY 1995/96) durch eine „Voraussetzung der Natur“ im Rahmen der Dynamik der „modernen Welt“ (RAPP 1994).

Das jüngst im Rahmen des Forschungsverbundes netWORKS des BMBF (HUMMEL & KLUGE 2004) entwickelte „Konzept der sozial-ökologischen Regulation“ (OFFENBERGER 2006, 24) fußt auf „Auradas Konzept der Regulation in interdependenten Hybridsystemen“, so

SCHRAMM (2004, 26): „Das Interdependenzsystem geht konzeptionell durch die Betrachtung der wechselseitigen Abhängigkeiten der Integrationsebene wesentlich über das hybride System von Neef (1967) hinaus (Aurada et al. 2000)“ (a.a.O., 28); der Begriff des mehr passiv zu interpretierenden „Interdependenzsystems“ (AURADA et al. 2000) ist zwischenzeitlich durch ein aktives „Kooperatives System“ (AURADA 2003) ersetzt worden.

Literatur (Auswahl):

- ASHBY, W.R. (1958): General Systems Theory as a new discipline. *General Systems Yearbook*, 3: 3-6
- AURADA, K.D. (1979): Ergebnisse geowissenschaftlich angewandter Systemtheorie (Vorhersage und Steuerung lang- und kurzfristiger Prozessabläufe). *Petermanns Geogr. Mitt.* 123/ 4, 217-224
- AURADA, K.D. (1982): Zur Anwendung des systemtheoretischen Kalküls in der Geographie. *Petermanns Geogr. Mitt.* 126/ 4, 241-249
- AURADA, K. D. (1999): Die Bildungs-, Nutzungs- und Bewirtschaftungsbedingungen des Wasserdargebots in Deutschland. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 143/ 5-6: 333-347
- AURADA, K. D., RÖDEL, R. & S. UNVERZAGT (2000): Möglichkeiten und Grenzen von Vorhersagen des Systemverhaltens. http://www2.rz.hu-berlin.de/geo/gk/leute/publik/tag_band.html
- AURADA, K.D. (2003): Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes Geosystem. *Erdkunde*, 57/ 4: 309-330
- BAYRL, G. & B. v. BORRIES (1998): Geschichte und Umweltsystem. In: FRÄNZLE, O., MÜLLER, F. & W. SCHRÖDER (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Ecomed, Landsberg a.L. (Grundwerk 1997), 3. Erg.-lief. (1998): 18 S.
- BECK, H. (1973): *Geographie. Europäische Entwicklung in Texten und Erläuterungen*. Karl Alber, Freiburg und München: 510 S. (= *Orbis Academicus*, II/ 16)
- BERTALANFFY, L. v. (1968): *General Systems Theory. Foundations, Development, Applications*. Braziller, New York: 289 pp.
- DIENEL, H.-L. (1994): Homo Faber – Der technische Zugang zur Natur. In: NACHTIGALL, W. & C. SCHÖNBECK (Hrsg.): *Technik und Natur*. VDI-Verlag, Düsseldorf: 13-84 (= *Technik und Kultur*, VI)
- Gloy, K. (1995): *Das Verständnis der Natur*. Bd. 1: Die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens. C.H. Beck, München: 354 S.
- GLOY, K. (1996): *Das Verständnis der Natur*. Bd. 2: Die Geschichte des ganzheitlichen Denkens. C.H. Beck, München: 274 S.
- HABERL, H. (1998): Kolonisierung von Natur. In: HABERL, H., KOTZMANN, E. & H. WEISZ (Hrsg.): *Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur*. Springer, Wien, New York: 34-39 (= *iff Texte*, 3)
- HAMBLOCH, H. (1986): Der Mensch als Störfaktor im Geosystem. Westdeutscher Verlag, Opladen: 41 S. (= *Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge G 280*)
- HERZ, K. (1984): Die Evolution der Landschaftssphäre. *Geogr. Berichte*, 29: 81-90 (= 1984 a)
- HERZ, K. (1984): Beziehungen zwischen Korrelationsdynamik und Autometamorphose der Landschaftseinheiten. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 128/ 2: 127-131 (= 1984 b)
- HERZ, K. (1994): Ein geographischer Landschaftsbegriff. *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden*, 43/ 5: 82-89
- HÖRZ, H. (1986): Philosophie und Ökologie. *Sitz.-ber. Akad. Wiss. DDR, Math.- Naturw.- Techn.*, 5 N: 5-24
- HUBIG, C., HUNING, A. & G. ROPOHL (Hrsg.) (2000): *Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie*. Edition Sigma, Berlin: 415 S. (= *Technik – Gesellschaft – Natur*, 2)
- HUGGETT, R.J. (1985): *Earth Surface Systems*. Springer, Berlin et al.: 270 pp. (= *Springer Series in Physical Environment*, 1)
- HUMBOLDT, A.V. (1808): *Ansichten der Natur*. J.G. Cotta, Tübingen: 334 S.
- HUMBOLDT, A.V. (1845-1862): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. 4 Textbde. u. Atlasband (hrsg. von T. Bromme). Cotta, Stuttgart und Tübingen, 1845-1858, u. Atlas, Kraus & Hoffmann, 1851-1854, 1 Reg.-band, 1862
- HUMMEL, D. & T. KLUGE (2004): *Sozial-ökologische Regulationen*. (Forschungsverbund netWORKS, 9), Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin: 52. S.
- HUNING, A. (1990): Der Technikbegriff. In: Rapp, F. (Hrsg.): *Technik und Philosophie*. VDI-Verlag, Düsseldorf: 11-25 (= *Technik und Kultur*, I)
- JOERGES, B. (1992): Große technische Systeme. Zum Problem technischer Größenordnung und Maßstäblichkeit. *Technik und Gesellschaft*, 6: 41-72

- KAPP, E. (1877): Grundlagen einer Philosophie der Technik - Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten. Westermann, Braunschweig: 360 S.
- KRÜGER, H. (1995): Thünens Beitrag zur Erforschung des Systemcharakters der Landwirtschaftsbetriebe. In: STAMER, H. & G. FRATZSCHER (Hrsg.): Johann Heinrich von Thünen. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 186-189
- LAWA (1998): Talsperren und Rückhaltebecken in der Bundesrepublik Deutschland mit mehr als 0,3 hm³ Speicherraum. Kulturbuchverlag, 2. Aufl., Berlin: 72 S.
- LEEDER, M. R. (1997): Sedimentary basins: tectonic recorders of sediment discharge from drainage catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 229-237
- LUCERNA, R. (1931): Fazettierung. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 77/ 1-2: 1-7
- MARKUS, E. (1936): Geographische Kausalität. *Eesti Vabariigi Tartu Ülikooli Tolmetused (Acta et Commentationes Universitatis Tatuensis [Dorpatensis])*, A: *Mathematica, Physica, Medica*, XXX/ 5: 202 S.
- MARSH, G.P. (1864): *Man and Nature or: Physical Geography as Modified by Human Action*. Scribner, New York, London.
- MÜLLER, L. (1998): *Handbuch der Elektrizitätswirtschaft*. Springer, Berlin et al.: 415 S.
- NEEF, E. (1980): Über Grenzen in physisch-geographischen Komplexen. In: Kishimoto, H. (ed.): *Geography and its Boundaries*. Bern, 81-87
- OFFENBERGER, M. (2006): *Nachhaltige Ver- und Entsorgung. Impulse aus der sozialökologischen Forschung*. BMBF, Bonn & Berlin.
- OLWIG, K.R. (1996): Recovering the Substantive Nature of Landscape. *Annals of the Ass. American Geographers*, 86/ 4: 630-653
- PERELMAN, A.I. (1977): Zur Geochemie der Technogenese. *Z. angew. Geologie*, 23/ 3: 111-115
- Preobrazhenskij, V.S. (1977): Formen von Integrationsprozessen in der Geographie. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 121/ 3: 175-177
- RADKAU, J. (1993): Entwicklungsprozesse und gesellschaftliche Entscheidungsspielräume in der Geschichte großtechnischer Systeme. In: ALBRECHT, H. & C. SCHÖNBECK (Hrsg.): *Technik und Gesellschaft*, VDI-Verlag, Düsseldorf: 373-410 (= *Technik und Kultur*, X)
- RAPP, F. (1978): *Analytische Technikphilosophie*. Karl Alber, Freiburg & München: 226 S.
- ROOSAARE, J. (1994): Physical Geography in Estonia: Bridging Western and Eastern School of Landscape Synthesis. *GeoJournal*, 33.1: 27-36
- ROPOHL, G. (1999): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*, Hanser, München, 2. Aufl.: 360 S.
- SCHMITHÜSEN, J. (1976): *Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde*. Walter de Gruyter, Berlin und New York: 349 S.
- SCHRAMM, E. (2004): *Naturale Aspekte sozialökologischer Regulation*. Frankfurt/M. (unveröff. Zwischenbericht aus dem Analysenmodul „Ressourcenregulation“ im Verbundvorhaben „netWORKS“).
- SIEFERLE, R.P. (1998): Was ist Natur? In: HABERL, H., KOTZMANN, E. & H. WEISZ (Hrsg.): *Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur*. Springer, Wien und New York: 100-103 (= *iff Texte*, 3)
- SOLNCEV, V.N. (1981): Chronoorganizacija geograficeskich javlenii (Zeitorganisation geographischer Erscheinungen). In: *Geofizika landschafta (Geophysik der Landschaft)*, Mysl, Moskva: 40-68
- STODDART, D.R. (1965): Geography and the Ecological Approach. The Ecosystem as a Geographic Principle and Method. *Geography*, 50: 242-251
- VAREN, B. (1650): *Geographia Generalis, In qua affectiones generales Telluris explicantur*. Elsevier, Amsterdam: 786 S.
- WITTEW, W. C. (1860): *Alexander von Humboldt. Sein wissenschaftliches Leben und Wirken den Freunden der Naturwissenschaften dargestellt*. Weigel, Leipzig: 400 S.
- WUNSCH, G. (1977): *Zellulare Systeme*. Akademie-Verlag, Berlin: 150 S. (= *Wiss. Tb.*, 194)
- WUNSCH, G. (1985): *Geschichte der Systemtheorie*. Akademie-Verlag, Berlin: 205 S. (= *Wiss. Tb.*, 296)

Ein systemtheoretischer Ansatz in der Humangeographie¹

Helmut Klüter, Greifswald

Zusammenfassung: Der Gebrauch des Wortes „System“ ist in modernen Wissenschaften nahezu inflationär. Auch die Geographie bildet keine Ausnahme. Dabei fällt auf, dass einzelne geographische Richtungen und Raumwissenschaften das Wort System keineswegs einheitlich benutzen: „Raumsysteme“ und „Geosysteme“, „Städtesysteme“ und „Siedlungssysteme“, „Geographische Informationssysteme“ und „Regionalsysteme“ – all das lässt Systematik, also genau das, was angestrebt wird – vermissen. Die im Folgenden genutzte Systemtheorie geht diese Frage radikal an: Sie verzichtet auf einen eigenen geographischen Systembegriff und importiert stattdessen Systemkategorien aus Kybernetik, Technik- und Sozialwissenschaften. Raum wird als besondere Form der Abstraktion reformuliert und – im Bereich der Humangeographie – für soziale Systeme instrumentalisiert. Insbesondere für formale Organisationen und ihre vielfältigen Steuerungs- und Informationsaufgaben bieten Programmräume als spezifische Abstraktionen erhebliche Kapazitäts-, Rationalisierungs- und Effektivitätsgewinne. Daraus ergeben sich interessante Verknüpfungsmöglichkeiten zur Praxis und Lösungsansätze für Probleme der theoretischen Geographie als Informations- und Organisationswissenschaft.

Zum Systembegriff

1. Spätestens seit den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts wird der traditionelle analytische Systembegriff, der auf den Begriffen „Struktur“, „Element“, „Relation“ basiert, in Frage gestellt. Neurobiologie, Physik und kognitive Wissenschaften gehen von Einheiten aus, von denen nur bekannt ist, dass sie operieren, also aktiv werden, und im Aufbau ihrer System-Umwelt-Differenzierung die Aufmerksamkeit anderer und deren Reaktionen abrufen. In den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts begann Niklas Luhmann, diese Gedanken für Verwaltungswissenschaft und für Soziologie zu nutzen. In seiner Theorie sozialer Systeme ging er ebenfalls von Einheiten aus, die über ihre Operationen – und hier vor allem über Kommunikationen – fassbar werden. Dieses Vorgehen hat gegenüber anderen Methoden den Vorteil, dass Struktur, Element und Relation als ableitbare Kategorien dargestellt werden können. Der *Kontingenzrahmen* wird *dadurch erheblich erweitert*, zumal dann auch bei sozialen Systemen die Grenzen zwischen System und Umwelt funktionalisiert betrachtet werden können.

¹ Herrn Roland Wenk danke ich für wertvolle Anregungen.

2. Vor diesem Hintergrund ist der deskriptiv angelegte „große“ Systembegriff in Sozialwissenschaften und Geographie, der auf Gesellschaft, Landschaft, Volk, Nation oder „den Menschen“ zielte, kaum durchzuhalten. In den Naturwissenschaften sprach oder spricht man von Öko- und Geosystemen. Dieser Systembegriff sagt nicht viel mehr aus, als dass eigentlich alles mit allem zusammenhängen müsse

Unter heutigen Komplexitätsbedingungen sollte die Arbeitsfrage lauten:

„Wie klein muss ein System konzipiert werden, damit sein Objektbereich durchschaubar und/oder steuerbar bleibt und es dennoch optimale, also „große“ Leistungen erbringt?“

„Klein“ bedeutet dabei nicht „an Abmessungen klein“ oder „geographisch klein“. Es bedeutet, dass es an Byte klein sein muss. Es darf nicht zu viel Speicherplatz im Gehirn, im Computer oder im Management Team besetzen.

Die sozialwissenschaftliche Antwort auf diese Frage heißt nach Luhmann „*Organisation*“. Es geht dabei um formale Organisation, also vorzugsweise um Unternehmen, Behörden, Haushalte, Verbände. Organisation ist eine Art Prototyp des sozialen Systems, leistet es doch qualitativ und quantitativ mehr als die Summe möglicher Einzelleistungen seiner Teile. Die optimale Kombination von Organisationsprogramm, Mitgliedschaftsregeln und Stellen (als Aufgaben für personale Systeme) ermöglichen als sinnvolles Miteinander diesen Erfolg. Um ihn über einen gewissen Zeitraum hinweg zu stabilisieren, haben Organisationen einen entsprechend hohen *Programmierungsbedarf*.

Als weiterer Typ sozialer Systeme kann „*Interaktion*“ (= Handlungen, einschließlich kommunikativer Handlungen) gelten. Auch hier wirkt die Sinnhaftigkeit aufeinander bezogener Aktivitäten konstituierend – aber ohne Organisationsinput. Interaktion wird durch den Organisationsbegriff insofern entlastet, als der Fremdsteuerungsanteil in Interaktionssystemen organisatorisch bedingt ist. Luhmann geht davon aus, dass Interaktion für die Zeit ihrer Durchführung ebenfalls die Kriterien eines sozialen Systems (Komplexitätsreduktion durch Sinn) erfüllt.

Gesellschaft ist bei vielen Sozialwissenschaftlern eine ungeliebte Restkategorie. LUHMANN betrachtet Gesellschaft als dritten Typ sozialer Systeme und bringt dort einige Voraussetzungen für soziales Handeln, wie Sprachen und andere verstehbare Codes sowie das Kriterium der kommunikativen Erreichbarkeit unter. Es ließ sich beim besten Willen nicht in eine Organisationstheorie integrieren. Gesellschaft muss schließlich auch das verarbeiten, was an Informationen - auf welchem Weg auch immer - diffus aus Organisationen und Interaktionen herausquillt, was sich nicht in der eigentlich abgeschotteten Black box halten lässt. Es wird dann von anderen dazu genutzt, unerwartete, nicht geplante Anschlussoperationen zu erfinden.

3. Mit „kommunikativer Erreichbarkeit“ wird der in vielen anderen Konzepten überstrapazierte *Netzwerkgedanke aufgebrochen*. Unter heutigen Bedingungen läuft Kommunikation nicht nach einem Netzwerk-Modell, sondern nach dem *Sender-Empfänger-Modell* ab. Wie bei einem Radio- oder Funksender werden Informationen diffus ausgestrahlt, ohne dass der Sender weiß, wer das Radio einschaltet. Nicht die Senderkapazitäten limitieren den Kommunikationsprozess, sondern die begrenzten Aufnahmekapazitäten möglicher Adressaten. Das, was gesendet wird, ist heute überkomplex. Nach diesem Sender-Empfänger-Modell funktioniert nicht nur das Radio, sondern auch das Fernsehen, das Internet sowie der Buch- und Zeitschriftenmarkt. Der Aufbau von Netzwerken ist in der Regel Ergebnis drastischer Selektionsprozesse, die nur von Organisationssystemen geleistet werden kann.

Systeme in den Raumwissenschaften

1. Was geschieht unter diesen Bedingungen mit den sogenannten „räumlichen Systemen“? Ein kurzer Blick auf die heutige interdisziplinäre Verflechtung der Geographie (Bild. 3. 1) eröffnet schier grenzenlose Interpretationsmöglichkeiten.

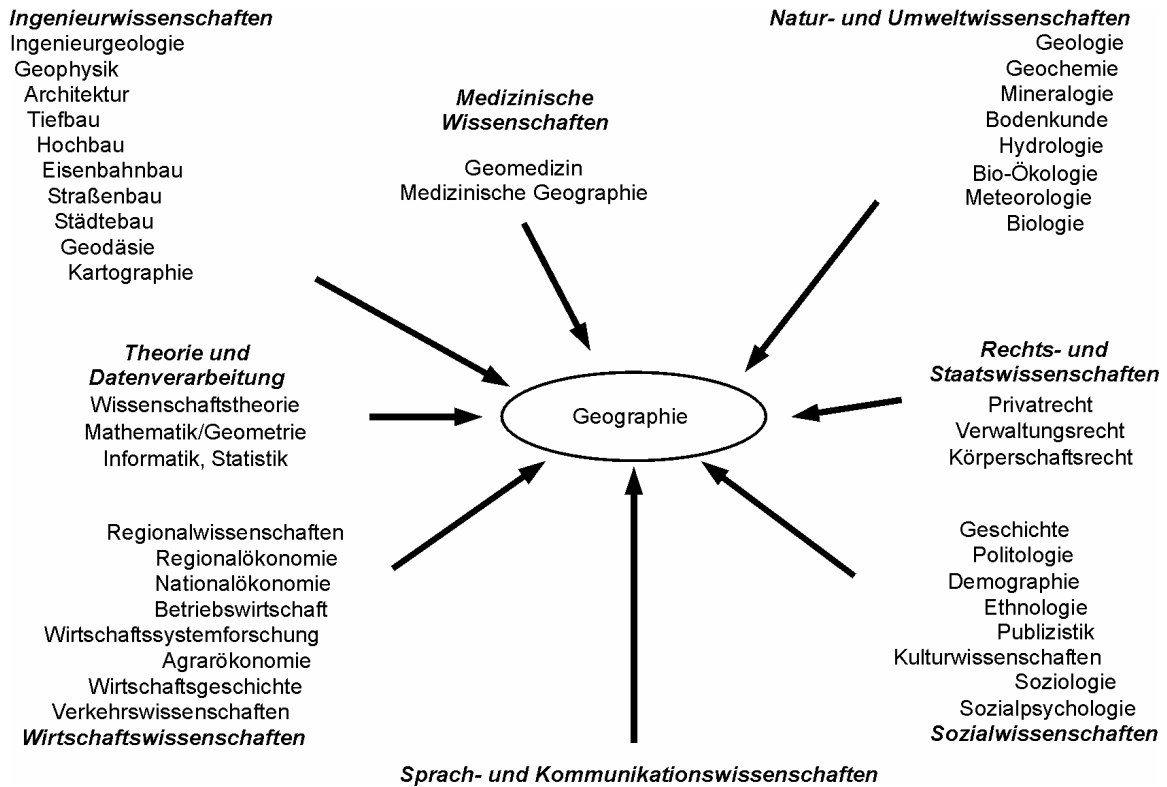


Bild 3. 1 - Interdisziplinäre Verflechtung der Geographie

Jede der 40 dargestellten Disziplinen – die Auswahl ist sicher nicht vollständig – könnte mit Fug und Recht eigene „Raumsysteme“ entwerfen – und sicher auch eigene Zeit-, Sach-, Öko- und andere Systeme. Das einzig Gemeinsame wäre die Deskription von Systemen als irgendwie Ganzes aus irgendwelchen Teilen. Eine interdisziplinäre Verknüpfung der einzelnen Systemsorten wäre nur auf philosophischer oder sprachkritischer Ebene möglich.

2. Zielführender dürfte unter heutigen Bedingungen die Orientierung an Disziplingruppen sein (Tab. 3. 1). Die Besonderheit der Sozialwissenschaften besteht in diesem Schema darin, dass neben kausalen auch finale, funktionale und kompatibilitätsbezogene Argumentationen eine Rolle spielen. Das bedeutet letztlich, dass in dieser Beziehung den wissenschaftlichen Objekten dieselben Instrumente zur Verfügung stehen wie den Wissenschaftlern selbst. Anders ausgedrückt: Wissenschaft ist

ein Teilsystem der Gesellschaft wie andere Teilsysteme auch. Das etwas verzweifelte Konstrukt, Wissenschaft über besondere Beobachtungsstrategien² von der übrigen Gesellschaft abzugrenzen. überzeugt gerade im Kontext der Geographie nicht, denn substantielle Teile des Outputs – z. B. Karten, insbesondere topographische – werden außerhalb wissenschaftlicher Organisationen produziert.

Tab. 3. 1 - Praktische Sachverhalte und Möglichkeiten ihrer wissenschaftlichen Bearbeitung - H. KLÜTER 2002.

Sachverhalte	Wissenschaftsbereich	Output	Argumentation	Vorhersagbarkeit	Programmierbarkeit	Ideologisierung
technische	Ingenieurwissenschaften	Maschinen	Kausalität	++++	nahezu vollständig programmierbar	+
abiotische	Naturwissenschaften	Physikalische und chemische Gesetze		+++		++
biotische		weitere Naturgesetze und ihre Ableitungen	Kausalität, einfache Zweck-Mittel-Rationalität	++ Verhalten	Reiz-Reaktionsschema, Stimulierbarkeit	+++
Medizinische	Medizin	Krank/gesund-Schema	Kausalität, Funktionalität	++- Objekte handeln strategisch		++++
psychische	Psychologie			-- Objekte handeln strategisch		wenig programmierbar
sprachliche	Linguistik und Sprachwissenschaften	Übersetzung: verstehen - nicht verstehen	funktionale Äquivalenz	+ Objekte handeln strategisch	teilweise programmierbar	+++++
soziale /einschl. wirtschaftliche, soziale, institutionale, juristische u.a.	Wirtschafts- und Sozialwissenschaften	Empirie und Daten, Handlungsempfehlungen, Leitlinien, Konzepte, richtig-falsch-Sätze	Kausalität, Finalität, Funktionalität, Kompatibilität	+--- Objekte handeln strategisch; „Sinn“-selektion	nur in entsprechenden formalen Organisationen gut programmierbar	+++++

Nimmt man die Einbindung der Humangeographie in die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ernst, muss die strategische Handlungskompetenz der Objekte in die Theoriebildung einfließen. Das ist dann möglich, wenn man ihren Status als soziale Systeme in die Humangeographie übernimmt.

3. Damit wäre der Systembegriff für soziale Systeme bereits reserviert und steht für spezifisch Geographisches nicht mehr zur Verfügung. „Raum“ kann demnach nicht als System angesprochen wer-

² Derartige Ansätze finden sich übrigens auch im Spätwerk von N. Luhmann. Das erfordert, dass man für die nur psychisch fassbare Kategorie der Beobachtung ähnliche Selektionskriterien aufbaut, wie sie für soziale Sachverhalte als Sinn-Kriterium fassbar sind. Das ist schwer zu leisten. Einfacher ist demgegenüber, Beobachtung nicht als eigenständige, sondern nur als kommunikativ vermittelte Größe zu behandeln – wie dies im Frühwerk von N. Luhmann geschieht. Für den kommunikativen Akt der Vermittlung gelten Sinnselektionen wie für jede andere Kommunikation.

den. Umgekehrt ergibt sich die Frage, ob die Kategorie „Raum“ für soziale Systeme brauchbar ist, und – wenn ja – wofür sie sie benutzen.

Wissenschaft operiert dabei nicht ungerne mit Welt als Generalumwelt, die möglichst alles umfasst und vieles determiniert. Diese Vorstellung ist in unserem Kontext schwer zu halten. Denn ein Ausschnitt der Welt wird erst dann zur Umwelt, wenn er einem technischen, abiotischen, biotischen, psychischen, personalen oder sozialen System zugeordnet werden kann.

Daraus folgt: Auch Umwelt an sich kann kein System sein – wie es z. B. die traditionelle Geographie mit dem Begriff „Geosystem“ meint. Ein solches System wäre überkomplex. Sofern es um strukturierte oder geordnete Umwelt geht, muss die Strukturierung oder Ordnung dem zugerechnet werden, der sie veranlasst oder vorgenommen hat. In der soziologischen Systemtheorie wird das Ord nende, das Strukturierende, das Handelnde bzw. Kommunizierende *soziales System* genannt. Dessen spezifische Umwelt wird *Umgebung* genannt.

Umgebungen werden erst dann zu einem *Raum*, wenn ein soziales System sie thematisiert, sie entsprechend strukturiert und darüber kommuniziert, wenn also der eigene Standpunkt mit dem Standpunkt des anderen in Beziehung gebracht, verglichen, angenähert oder abgedrängt wird. Der Raum besteht aus mindestens zwei Punkten mit Umgebungen, die sich nicht vollständig überschneiden (Hausdorffsches Trennungssaxiom). Die Reduktion einer Umwelt auf zwei oder einige Umgebungen ist eine enorme Leistung, die nur von sozialen, personalen oder psychischen Systemen erbracht werden kann. Daher kann sie nicht der „Umwelt an sich“ zugerechnet werden.

4. Nach dieser Argumentation ist in den Sozialwissenschaften – einschließlich der Humangeographie – kein „Mensch-Umwelt-Paradigma“ möglich, und zwar aus mindestens drei Gründen (vgl. KLÜTER 2003. S. 226-227):

Ein Mensch kann als personales oder psychisches, nicht aber als soziales System betrachtet werden. Die „kleinste“ Einheit sozialer Systeme ist Interaktion. Und daran sind mindestens zwei Personen beteiligt. Ohne dies kann keine Sinnreduktion zustande kommen.

Die oft implizierte Reduktion aller Menschen auf ein Gattungswesen, also den Menschen würde die gerade gewonnene Differenz zwischen Interaktions-, Organisationssystemen und Gesellschaft wieder nivellieren, also Sozialwissenschaft überflüssig machen.

„Umwelt an sich“ kann kein System sein. Ein System-Umwelt-Gefälle kann nur aus der Sicht eines bestimmten sozialen Systems thematisiert werden. Wenn es nicht thematisiert wird, ist „die Umwelt“ kommunikativ nicht existent und kann wissenschaftlich nicht erfasst werden. (vgl. LUHMANN 1984, S. 36)

Raum als besondere Abstraktion

1. Die Relation zwischen einem sozialen System und Umwelt kann auf vielfältige Weise abgebildet werden. In unserem Kontext sind Adressen als Immobilitätsmodelle sozialer System, Eigentum und Zugehörigkeitsableitungen, einschließlich ökonomischer Nutzungen, Namens-, Identifikations- und besondere Eigenschaftszuordnungen am häufigsten.

Auf der instrumentellen Ebene ist von Perzeption, Konstruktion, Projektion und Verortung die Rede.

Strategien wie „Perzeption“ und „Verortung“ setzen voraus, dass eine System-Umwelt-Reduktion als „Raum“ bereits vorliegt und nur noch eingelesen und verstanden werden muss. Strategien wie „Konstruktion“ oder „Projektion“ unterstellen, dass ein soziales System seine Umweltreduktion mehr oder weniger ganz von vorn neu aufbaut, also z. B. „Räume macht“. In Tab. 3. 2 sind diese Strategien als Rezipienten- und Produzentenperspektive gegenübergestellt.

Tab. 3. 2 - Zwei Grundperspektiven raumwissenschaftlichen Arbeitens:

	Rezipientenperspektive	Produzentenperspektive
Axiome	„Der Raum“ und seine Darstellung in Karten, Atlanten, Schulbüchern gelten als extern gegeben.	Eine Steuerungs- oder Orientierungsaufgabe wird gestellt.
Rahmenbedingungen geographischer Arbeit	Raumattribute gelten als Bedingungsinventar für alle möglichen gesellschaftlichen und individuellen Aktivitäten.	Organisationsvorgaben über nutzbare Raumabstraktionen, Informationsziele und Selbststeuerungskapazitäten gelten als Bedingungen für die Erstellung neuer Raumabstraktionen in Karten, Texten, Filmen u. ä.
Inhalte geographischer Arbeit	Interpretation von Daten, Karten, landschaftlichen Indikatoren, also räumlich lesbaren Entscheidungs- und Entwicklungsgeschichten.	Sammlung von Daten, Texten, Materialien und Anweisungen, Erstellung neuer Raumabstraktionen (Wegweisersysteme, Karten, Atlanten, Reiseführer usw.) und Analyse ihrer Wirkungen auf Adressaten
Anwendungen	Schule, Verkehr, Bau, Militär, Regionalanalyse, alte und neue Kulturgeographie	Raumplanung, Verlagswesen, Informations- und Kommunikationsunternehmen, Wissenschaft: moderne Sozialgeographie, Kartographie
typische geographische Ansätze	Perzeptionsgeographie, geographische Humanökologie, (neue) Kulturgeographie	Handlungstheoretische Geographie, konstruktivistische Geographie, raum-kommunikativer Ansatz, Regionalpolitik

2. Die Produzentenperspektive wirft die Frage auf, was wie zu welchem Zweck produziert werden soll. Aus mathematischer oder technischer Sicht wäre der Begriff „Konstruktion“ gerechtfertigt. In den Ingenieurwissenschaften und – raumbezogen in der Architektur – wird er entsprechend umgesetzt. Ein neues Haus wird erst konstruiert und dann neu erbaut. Genau dieses Element – das der vollkommenen Neuheit – kann für Kommunikation über Raum selten unterstellt werden. Die meisten Karten sind längst gezeichnet und gedruckt. Daher wird hier in Anlehnung an sprachliche, philosophische oder künstlerische Abstraktion dem Begriff „Raumabstraktion“ der Vorzug gegeben. Abstraktion legt nahe, dass etwas bereits Vorhandenes verarbeitet wird. In dieser Beziehung ähnelt sie der Perzeption. Andererseits geht Abstraktion über die Konnotationen „Reproduktion“, „Spiegelung“, „Wiedergabe des Realen“, die bei Perzeption mitschwingen, weit hinaus. Die besondere Eigenleistung des sozialen oder psychischen Systems zur Neuformalisierung des Vorgefundenen ist bei „Abstraktion“ geradezu konstitutiv. In der Kunst des 20. Jahrhunderts war sie sogar Ästhetik-Kriterium. Nur wer genügend abstrahierte, konnte in den Künstlerhimmel eingehen. Abstraktion bedeutet nach WILLIAM OF OCKHAM das Abziehen des für den eigenen Zwecks Überflüssigen.

3. Für Raumwissenschaft könnte Abstraktion wie folgt aussehen:

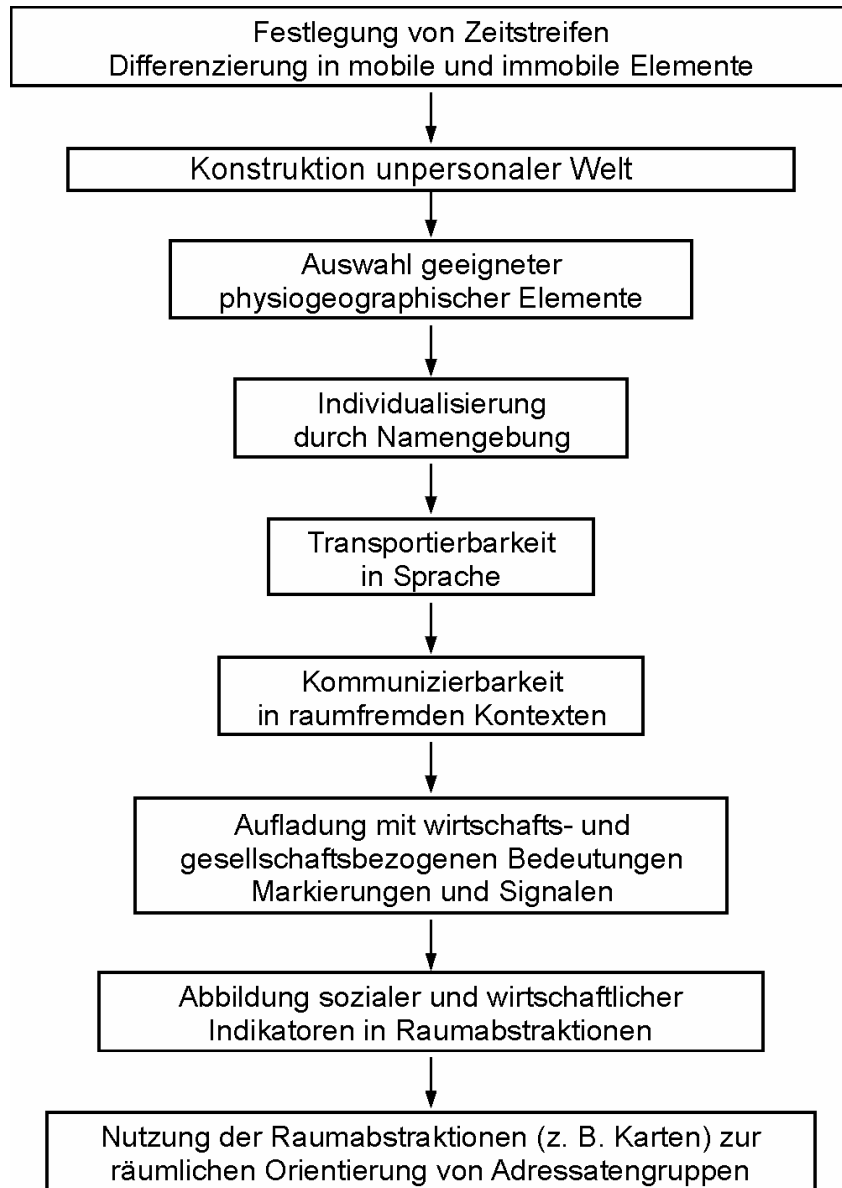


Bild 3. 2 - Abstraktionen von einer physischen Umgebung

Die Abstraktion von der physischen Umgebung schließt die von Zeit, Bewegung und Personen mit ein. Das Drastische dieser Operation – noch im 18. Jahrhundert eine Art Geheimwissenschaft - ist unter heutigen Informationsbedingungen nur schwer nachvollziehbar. Denn die Besetzung von Kulissen mit sich bewegenden Personen und die Multiplikation in Film und Animation machen die Abstraktion in gewisser Weise „rückgängig“ und die zugrunde liegende Trennung ex post plausibel.

Die Festlegung von Zeitstreifen soll als *Synchronisierung*, die Auswahl und Strukturierung von Elementen als *Kombinierung* und das Verständlichmachen für andere soziale Systeme als *Adressierung* bezeichnet werden. Diese Klassifizierung folgt den von Luhmann genutzten Erkenntnisdimensionen zeitlich, sachlich und sozial.

Tab. 3.3 - Zur Differenzierung von Raumabstraktionstypen

Sozialwissenschaftliche Erkenntnisdimension:	sachlich	sozial	zeitlich
Erzeugung	Konstellation mehrerer Elemente und ihrer Umwelt	Kommunikation oder Aktion zwischen/in sozialen Systemen	Gleichzeitigkeit von Prozessen/ Systemen
Strukturierung:	kombinatorisches Problem (mit Bezug auf Systemtyp)	als Kodierungs- und Adressierungsproblem (mit Bezug auf gesellschaftliches Teilsystem; <i>Code, Kommunikationsmedium</i>)	als Synchronisierungsproblem
Disaggregation des Raumbegriffes in	Kulisse (als Umgebungsstruktur des Interaktionssystems) Programmraum (als Umgebungsstruktur der Organisation) Sprachraum (Umwelt der Gesellschaft)	Administrativraum (Politik; <i>Macht, Recht</i>) Grundstücke, Ergänzungsraum, anonymer Adressenraum (Wirtschaft; <i>Geld, Eigentum</i>) Landschaft (<i>Kunst</i>) Heimat, Mittelstadtidyll, Ökoidyll (Familie, Lokalverein; <i>Vertrauen, Liebe</i>) Vaterland („Volk“, Schule, Streitkräfte, Sport; <i>Glaube</i>)	Topologien metrische Netze geometrische Flächen

4. Raum kann in dieser Systematik keine eigenständige Erkenntnisdimension sein, denn sie lässt sich aus den genannten drei ableiten. Dies gestattet es, auf Raum als ontologisch gesetzte Größe zu verzichten und Raum für soziale Systeme zu funktionalisieren. Ergebnis ist eine Pluralität von Raumbegriffen. Spätestens seit D. Bartels ist das nicht mehr neu. Vor dem Hintergrund dieses Ansatzes kann jener Befund auch theoretisch gestützt werden. Die Pluralität der Raumbegriffe antwortet auf die Vielfalt der Orientierungszwecke, für die Raumabstraktionen eingesetzt werden (vgl. H. KLÜTER 1987).

Raum ist somit eine

Strukturierung (*Kombinierung*) einer bestimmten Systemumwelt zur Systemumgebung aus der Sicht eines sozialen Systems (in der Regel einer Organisation),

wobei die Selektion von Welt → Umwelt → Umgebung aus dem direkten oder indirekten Programmvorgaben des jeweiligen Systems erfolgt (*Synchronisierung*),

dessen Signale und Markierungen zur Orientierung bestimmter Adressaten (beispielsweise der Organisationsmitglieder) dienen. Dabei können die Signale und Markierungen mit Hilfe physisch(-geographisch)er Koordinaten standardisiert und normiert (= verortet) werden (*Adressierung*).

Eine Raumabstraktion besteht somit aus der Reduktion der Umwelt eines Systems auf solche Signale und Markierungen, die für die Orientierung der Adressaten als notwendig angesehen werden. Als systemspezifischer Erläuterungsversuch von Umwelt wird sie Bestandteil des sozialen Systems und soll es stabilisieren. Sie dient zur Schaffung von Mobilitätssicherheiten in unbekanntem Umgebungen. Zu diesem Zweck müssen gesicherte Erfahrungen aus der Vergangenheit so strukturiert werden, dass sie sinnvolle Bewegungsleistungen in der Zukunft ermöglichen. Daher muss auf bestimmte Zeit (=begrenzte Zukunft) die Zeit (=Bindung an konkretes Datum auf dem Zeitvektor) „ausgeschaltet“ werden. Eine Raumabstraktion substituiert den folgenden sozialen Prozess: Jemand, der eine Umgebung kennt, führt einen Neuling zu den Punkten, die für dessen zukünftige Aktivitäten von Bedeu-

tung sein könnten. Wenn dieser Prozess des öfteren wiederholt werden muss, weil immer wieder Neulinge oder Neuankömmlinge einzuweisen sind, kann der Führende eine schriftliche (z. B. kartographische), sprachlich systematisierte (Tonband) oder filmische Mitteilung erstellen, in der Ablauf der Führung (Richtungen, Wege), Zielpunkte und Informationen über die letzteren festgelegt sind. Diese Art der entpersonalisierten *Programmierung* birgt für Organisationen enorme Vorteile. Mit Raumabstraktionen lassen sich große Teile von Organisationsprogrammen adressatengerecht schematisieren und anonymisieren (vgl. KLÜTER 1999 und 2002). Ergebnis ist der *Programmraum*, die aus einem Organisationsprogramm abgeleitete Orientierungsschablone für Organisationsmitglieder und/oder andere Adressatensysteme.

5. Der Adressat oder Rezipient einer Raumabstraktion hat idealtypisch keinen Einfluss auf das, worüber er informiert wird. Selektion und Struktur der Inhalte sind vollkommen dem Führenden bzw. dem Mitteilenden, also dem Ersteller der Raumabstraktion, überlassen. Der Ersteller ist dem Adressaten meist unbekannt.

Andererseits hat der Produzent einer Raumabstraktion keinen Einfluss darauf, wie der Adressat seine konkrete Mobilität steuert. In der Regel kann er nicht programmieren, welche Komponenten einer Raumabstraktion zur räumlichen Orientierung auf der Adressatenseite genutzt werden: Ein Erwachsener orientiert sich möglicherweise an den Straßenschildern und Hausnummern, ein Kind an der Farbe von Haustüren und Gartenzäunen, ein Blindenhund an den Gerüchen auf dem Bürgersteig.

Raumabstraktionen können kartographisch gespeichert und generalisiert für zukünftige Abstraktionsleistungen anderer Systeme vorgehalten werden. Die meisten zur Orientierung notwendigen Raumabstraktionen sind bereits vorhanden. Sie werden hin und wieder auf den neusten Stand gebracht und weiter genutzt. Die Erstellung einer neuen Raumabstraktion ist also ein ziemlich seltener Prozess.

In gewisser Weise repräsentieren *Signale und Markierungen* auf der Erdoberfläche Befehle oder Informationen anderer sozialer Systeme, doch sind sie bereits stark selektiert, hochgradig vereinfacht und nahezu allgemeinverständlich standardisiert. Die Verkehrsschilder auf der Straße versteht fast jeder. Die Elemente der technisierten Orientierung sind heute derart perfektioniert, dass sie eine natürliche erdräumliche Umgebung vollständig ersetzen können.

Das kann man an einer Fahrt mit der U-Bahn erkennen. Eine Liste ausschließlich sprachlich kodierter Ortsangaben und ein paar technische Hinweise reichen aus, um die Bevölkerung einer Millionenstadt morgens zu ihren Arbeitsplätzen und abends wieder zurück zu transportieren. Eine U-Bahn präsentiert eine Raumabstraktion im Maßstab 1 : 1. Die Komplexität einer bebauten Stadt wird auf wenige Stationsnamen reduziert, deren Liste für die Orientierung bereits ausreicht.

Einige Konsequenzen für geographisches Arbeiten

1. Die Verschneidung von Kombinerung, Synchronisierung und Adressierung bei der Erstellung von Raumabstraktionen kann mit Hilfe des Cattellschen Quaders dargestellt werden (Bild 3. 3):

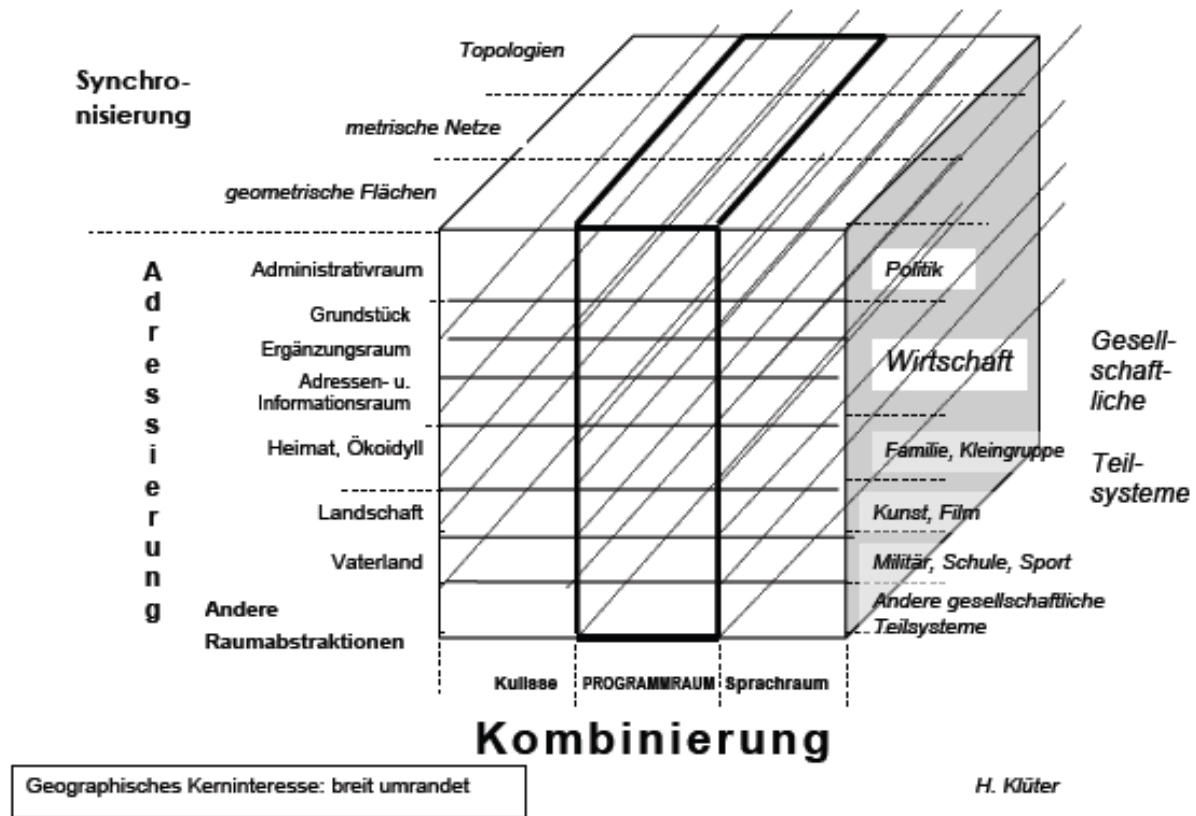


Bild 3. 3 - Erstellung von Raumabstraktionen

Traditionelle Geographie kam mit zwei Erkenntnisdimensionen aus: Raum und Zeit. Die darauf fußende Abstraktion von Zeit und Bewegung führte zu statisch gedachten Idealräumen, wie Landschaft als das angehaltene lebende Bild, als gestoppter Film, oder als „Persistenz“ oder Distanz-Strukturen, in die in einem anschließenden Schritt bestimmte soziale oder andere Phänomene eingeklinkt wurden. Schon das Selektionsproblem bei der Erstellung von Raumabstraktionen konnte als „Verkleinerung“ nur sehr unvollständig und mathematisch falsch dargestellt werden. Die Einbeziehung einer dritten Erkenntnisdimension bedeutet zunächst eine Kapazitätserweiterung: Nicht drei oder vier, sondern 72 Raumabstraktionsmöglichkeiten können in Bild 3. 3 dargestellt werden – was angesichts der theoretischen Raumdiskussion der letzten 30 Jahre und der Vermehrung von Raumbegrifflichkeiten längst überfällig ist. Weitere Zeilen, Spalten und Stufen könnten hinzugefügt werden. Die implizite Aufwertung des Sozialen präzisiert somit die Frage: „Wie kann man Raum am besten beschreiben?“ in „Was ist wie zu kombinieren, um bei bestimmten Adressaten die klarste Orientierung zu erzeugen?“ Nicht mehr vorgegebene Raumstrukturen und Distanzen entscheiden darüber, was räumlich abbildbar ist, sondern soziale Systeme bestimmen, welche Informationen sie für die räumliche Orientierung ihrer Adressaten nutzen und weiter entwickeln. Für die Wissenschaft heißt das, die Selektionsmethodik auszubauen, den Objektbereich genauer zu erfassen. Dabei fallen in Bild 3. 3 zwei Besonderheiten auf:

Die theoretischen Möglichkeiten der Kombination werden nicht für alle adressierbaren Raumabstraktionstypen in gleicher Weise ausgeschöpft: Administrativ- und Ergänzungsräume werden vorzugsweise als Programmräume, Landschaft und Heimat eher als Kulissen, und Vaterland als Sprachraum codiert.

Wie in anderen Sozialwissenschaften auch können Objektbereiche der sozialen Erkenntnisdimension auch zu Themen werden – also zu Aspekten einer sachbezogenen Kombination. Dahinter verbirgt sich ein Reflexivitätsaxiom der Sozialwissenschaften: Das was die Sozialgeographie tut, kann wiederum als Objekt der Sozialgeographie reflektiert werden.

Aus dem letzteren ergibt sich ein wichtiger Unterschied zu Natur- und Technikwissenschaften: Dort existiert zumindest modelltheoretisch eine klare Trennung zwischen Themen und Adressierung. Das schließt nicht aus, dass ein Atomphysiker sich Gedanken darüber macht, wie die eine oder andere technische Nutzung einer Innovation auf die Politik oder die Menschheit wirkt. Jedoch würde der Output dann der Philosophie und Sozialwissenschaften und nicht der Physik zugeordnet werden.

Ein weiterer Unterschied ist darin zu sehen, dass die Natur- und Technikwissenschaften andere Arten von Signalen und Markierungen als die Sozialwissenschaften nutzen bzw. erzeugen.

2. Nur die Strategien der Synchronisierung in Topologien, Netze und geometrische Flächen scheinen zwischen den Wissenschaftsgruppen ähnlich zu sein. Damit wiederum sind bestimmte Kompatibilitätsgaben zwischen ihnen gesichert. Ihre Koexistenz ist dann gewährleistet, wenn die Techniken der Systematisierung reflektiert werden. Sie ist vor allem dort notwendig, wo über die Art der Programmierung mehrere Systembezüge zum Tragen kommen können: Sicher muss eine Gebietskörperschaft juristische Ordnungsnormen in ihrem Administrativraum zur Geltung bringen. Das beinhaltet aber auch, technische Systeme (Infrastruktur), biotische Systeme (Umweltschutz), medizinische Systeme (Seuchenschutz) und andere zu beplanen. Ziel dabei muss die Erzeugung von Kompatibilität verschiedener und verschiedenartiger Systeme sein. Aus der einen in die andere Fachsprache, aus der einen in die andere Raumabstraktion muss übersetzt werden. Sofern *Übersetzung* nicht möglich ist, muss verglichen werden. Wenn *funktionale Vergleiche* selbst als entpersonalisierte Regionalvergleiche scheitern, muss zwischen denen, die sie nicht akzeptieren, auf andere Weise *moderiert* werden. Und wenn das nicht möglich ist, muss die Politik entscheiden – wobei die Entscheidung dann wiederum aus Politik in Wirtschaft, Technik und Medizin zu *übersetzen* ist. Der frühere Absolutheitsanspruch der Geographen oder Planer als Apologeten „des einen Raumes“ kann nach außen hin als mehr oder weniger schönes Schmuckstück getragen werden, ist aber innerwissenschaftlich nicht haltbar.

3. Die Geographie befasst sich mit der dreidimensionalen Struktur der Erdoberfläche, wobei die Wechselwirkung abiotischer, biotischer und technisch-sozialer Systeme unter räumlichen Entwicklungsaspekten im Mittelpunkt des Interesses steht³. „Lagen früher die Anforderungen (an Raumwissenschaft; H.K.) vor allem in der beschreibenden und interpretierenden Regionalanalyse, ist heute die *raumbezogene Informations- und Organisationswissenschaft* stärker gefragt. Letztere könnte davon profitieren, dass viele Unternehmen und Behörden – unter der Bedingung anwachsender Komplexität in modernen Gesellschaften – bei der praktischen Steuerung technischer und sozialer Systeme immer

³ Formulierung von K.-D. Aurada aus: Evaluation von Studium und Lehre im Rahmen des Verbundes Norddeutscher Universitäten. Selbstbeschreibung des Faches Geographie. Greifswald 2000. S. 9.

stärker auf räumliche Synchron-Modelle (Organisation von Gleichzeitigkeit) anstelle der früher dominanten (linearen H. K.) Diachron-Modelle (Rekonstruktion von Kausalität) zurückgreifen.“ (KLÜTER 2000; S. 609) Räumliche Synchron-Modelle gestatten über Entpersonalisierung eine äußerst kompakte Verbindung von weitgehend *anonymisierter Fremdsteuerung und Selbststeuerung* der jeweiligen Adressaten. Diachron-Modelle - textliche Erläuterungen mit klaren Ursache-Wirkung-Aussagen - sind für viele Sachverhalte und Steuerungsinformationen zu aufwendig und zu kompliziert. Ein Synchron-Modell, beispielsweise eine Landkarte, zeigt dem Adressaten die zur Mobilitäts- und Aktivitätssteuerung notwendige Information ohne Kausalitäten-, „Ballast“.

Selektionsfilter für die Erstellung der Synchron-Modelle sind optimale Effekte räumlicher Orientierung - wobei die räumliche Komponente die eigentlich notwendige, aber zu aufwendige, rückfragenlastige oder nicht erwünschte soziale Orientierung (durch ausgesprochene oder geschriebene Befehle bzw. Informationen anderer Personen) bzw. technische Orientierung (durch Signale und Markierungen auf der Erdoberfläche) so weit wie möglich ersetzt.

Ergebnisse

Der hier dargestellte systemtheoretische Ansatz für Humangeographie erschließt für die Raumwissenschaften neuere Ergebnisse der Theorie- und Sozialwissenschaften. Dabei wird der Systembegriff nicht durch ein wie auch immer geartetes Eigenkonstrukt ausgefüllt, sondern aus Kybernetik, Philosophie und Soziologie importiert. Damit kann die *Pluralität der Raumwissenschaften* und ihre teildisziplinären Verknüpfungen mit technischen, medizinischen, Natur- und Umwelt- Wirtschafts- und Sozial-, Sprach- und Kommunikationswissenschaften dargestellt und *kompatibel* gehalten werden. Auf diese Weise wird die Mannigfaltigkeit räumlicher Abstraktionsmöglichkeiten erläutert, ohne ein mehr oder weniger totalitäres „Ganzes“ konzipieren zu müssen. Wie Tab. 3.4 zeigt, können auf diese Weise einige Schwierigkeiten geographischer Theoriebildung gelöst und neue Praxisfelder für das Fach erschlossen werden:

Tab. 3. 4 - Nutzen sozialwissenschaftlicher Systemtheorie für Humangeographie

Theoriebaustein	Importierte, neu bestimmte Kategorien	Wert für Geographie	mögliche geographische Kategorien, geographische Nutzungsbereiche	Vorteile gegenüber herkömmlicher Geographie
Erkenntnisdimensionen	zeitliche, sachliche, soziale; keine „räumliche“	Raum kann als Abstraktion redefiniert werden, <u>nicht</u> als Konstruktion	räumliche Abstraktion als Strategie zur Stabilisierung eines System-Umwelt-Gefälles, als Abstraktion von Zeit und Mobilität	ontologischer Raumbegriff vermieden
Raum	Raum oder „Umwelt an sich“ haben keinen Systemstatus, gelten weder als technische noch als psychische, noch als soziale Systeme	Raum als besonderer Abstraktionstyp (anstelle von Raum als Anhäufung von „Geosystemen“, „settings“, „Alltagsregionalisierung“, „Präsentationen“ oder anderer Ersatzkonstrukte)	räumliche Orientierung als geographische Zielführung, kompatibel mit Hausdorffschen Raumaxiomen (anstelle der früher üblichen räumlichen Deskription).	erlaubt Produzentenperspektive auf Raum; ersetzt die sonst übliche Rezipientenperspektive.

Mensch	als biotisches bzw. psychisches System aus den Sozialwissenschaften ausgeschlossen	Neuorientierung gefordert	Ausrichtung von Raumtypen an den Typen sozialer Systeme, und nicht an „raumbezogenen“ sozialen oder psychischen Merkmalen (d. h. Tautologien)ersetzt <u>den</u> Menschen als Gattungswesen
Soziale Systeme	Interaktion, Organisation, Gesellschaft; zwischen „Individuum“ und „Kultur“ wird die Kategorie Organisation geschoben	neue Selektions- und Programmierungsstrategien für das alte Erkenntnisziel der „Raumwirksamkeit menschlicher Gruppen“	Kulisse, Programmraum, Sprachraum	kann die spezifisch raumbezogene Kombination von Fremd- und Selbststeuerung sozialer Systeme abbilden
Organisation	Programm, Planung, Mitgliedschaft; Stellen Funktionalität, Autopoiesis	organisatorisches A priori der räumlicher Abstraktion	Programmraum	psychologische oder subjektivistische Hilfskonstrukte vermieden
Gesellschaft	Kommunikation als Grundbegriff (<u>nicht</u> Beobachtung)	Anschließbarkeit an moderne Nachbarwissenschaften	Sprachraum, funktionale Vergleiche in Sprachräumen, Regionenvergleich zur Selektion eines Kontingenzeninventars, territorial erzeugte Kompatibilität	nimmt den Platz ein, den früher die Länder- und Landschaftskunde besetzt hielt
Wissenschaft	Aufgabe: Weiter- und Neuentwicklung von Programmräumen, Aufzeigen neuer Kontingenzen, Erzeugung neuer Kompatibilitätsstrategien	Geographie als Informations- und Organisationswissenschaft ; klare Praxisbezüge möglich, neue Selektionskriterien	s. o.; neue Trennungen möglich, z. B. die von Administrativraum und „Vaterland“ (gegen Geopolitik)	Abgrenzung von neuen Ideologien
Praxis	Starke Aufwertung von Behörden-, Verwaltungs- und Unternehmenshandeln	neue Zugänge zu Nachfragern von Geographie in Wirtschaft und Staat	Geographie als eine Übersetzerin zwischen den Codes verschiedener gesellschaftlicher Teilsysteme.	eröffnet neue Praxisfelder im Informations- und Consulting-Bereich; antwortet direkt auf den Kommunikationsbedarf in moderativen Verfahren (Stadtmarketing, Consulting u. a.)

Literatur:

- BARTELS, D. (1978): System, Theorie und Methode der Geographie. Raumwissenschaftliche Aspekte sozialer Disparitäten. In: Mitt. D. österr. Geogr. Ges. 120. Wien. S. 227 - 242.
- HARD, G. (2002): Landschaft und Raum. Aufsätze zur Theorie der Geographie. Band 1. Osnabrück.
- HARD, G. (2003): Dimensionen geographischen Denkens. Aufsätze zur Theorie der Geographie. Band 2. Göttingen.
- KLÜTER, H. (1986): Raum als Element sozialer Kommunikation. (Giessener Geographische Schriften 60) Giessen.

- KLÜTER, H. (1987): Räumliche Orientierung als sozialgeographischer Grundbegriff. In: Geographische Zeitschrift. Heft 2: 86 – 98.
- KLÜTER, H. (1999): Raum und Organisation. In: Meusbürger, P. (ed.): Handlungsorientierte Sozialgeographie. Benno Werlens Entwurf in kritischer Diskussion. Stuttgart. 187 – 212.
- KLÜTER, H. (2000): Regionale Kommunikation in Wirtschaft und Politik. In: Informationen zur Raumentwicklung, Nr. 9/10: 599 – 610.
- KLÜTER, H. (2002): Raum und Kompatibilität. In: Geographische Zeitschrift 90. Heft 3 + 4, S. 142 – 156.
- KLÜTER, H. (2005): Kultur als Ordnungshypothese über Raum? In: Geographische Revue 7, Heft 1 / 2, S. 43 – 66.
- LUHMANN, N. (1984): Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. Frankfurt a. M..
- LUHMANN, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Bd. 1 und 2. Frankfurt a. M..

Landschaftszerschneidung in Sachsen – Bewertung von Freiraumstrukturen auf der Basis grenzüberschreitender Geodaten

Ulrich Schumacher & Ulrich Walz, Dresden

Die zunehmende Fragmentierung bisher zusammenhängender Landschaftsbereiche durch linienhafte Verkehrsinfrastruktur wird als Landschaftszerschneidung bezeichnet. Die verbliebenen unzerschnittenen Freiräume (UZF) tragen zur Erfüllung grundlegender Landschaftsfunktionen bei, so als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, aber auch für die Erholung des Menschen. In diesem Beitrag soll die GIS-gestützte Methodik zur quantitativen Analyse und Bewertung der Landschaftszerschneidung in einem landesweiten Projekt des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) für Sachsen vorgestellt und anhand exemplarischer Ergebnisse diskutiert werden.

Zur Analyse der zeitlichen Entwicklung der Landschaftszerschneidung wurden drei Zeithorizonte ausgewertet: ein gegenwartsnaher (2000), ein historischer (um 1930) und ein zukünftiger Zeitschnitt (Szenario 2020). Um große unzerschnittene Freiräume über administrative Grenzen hinweg beschreiben und bewerten zu können, wurden die Grenzregionen benachbarter Bundesländer und Staaten mit betrachtet. Es konnte gezeigt werden, dass dadurch gravierende Fehleinschätzungen der Zerschneidung vermieden wurden.

Für die Bewertung der anthropogenen Beeinflussung der Landschaft sind quantitative Aussagen zur Größe, zur Struktur, aber auch zur Flächennutzung in den UZF erforderlich. Neben der Flächengröße hat sich in letzter Zeit der Indikator „Effektive Maschenweite“ etabliert. Allerdings sind Maßzahlen zur geometrischen Beschreibung der UZF allein nicht ausreichend, da sie nichts über die Wertigkeit dieser Räume für verschiedene Landschaftsfunktionen aussagen. Zur qualitativen Bewertung der unzerschnittenen Freiräume für den Arten- und Biotopschutz sowie die Erholungseignung müssen daher weitere Kriterien herangezogen werden.

1 Begriff und räumliche Auswirkungen der Landschaftszerschneidung

Die Landschaftszerschneidung ist definiert als „Prozess der zunehmenden Fragmentierung bisher zusammenhängender Landschaftsbereiche durch linienhafte anthropogene Strukturen oder Materialströme, von denen Barriere-, Emissions- und Kollisionseffekte oder ästhetische Beeinträchtigungen der Landschaft ausgehen“ (JAEGER 2002: 48). Als anthropogene linienhafte

Strukturen mit Zerschneidungswirkung müssen vor allem die Verkehrsträger Straße und Schiene, aber auch Kanäle angesehen werden (Letztere sind in Sachsen nicht relevant). Geogene linienhafte Strukturen – wie beispielsweise Fließgewässer – wurden dagegen bei der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt, da sie gleichzeitig Lebensräume zahlreicher Tierarten darstellen sowie in Erholungsgebiete integriert sind. Teilweise gibt es hierzu andere Auffassungen (z.B. bei ESSWEIN et al. 2002: 17). Im Fokus der Betrachtung sollen die unzerschnittenen Freiräume (UZF) stehen, also diejenigen Bereiche zwischen den linienhaften Strukturen außerhalb von Siedlungen.

Insbesondere durch den Bau neuer Verkehrstrassen hat die Landschaftszerschneidung in Europa seit Jahrzehnten derart zugenommen, dass sie heute in zahlreichen Ländern bzw. Regionen bereits ein kritisches Ausmaß erreicht hat (vgl. JAEGER, GRAU & HABER 2005: 81). Dies gilt in allgemeiner Hinsicht sowohl für Tier- und Pflanzenarten als auch für den Menschen.



Bild 4.1 - Prozess der Landschaftszerschneidung (schematisch) in Anlehnung an MADER 1981.

Für die Tier- und Pflanzenarten sind folgende räumlichen Auswirkungen der Landschaftszerschneidung zu konstatieren:

- Verlust von großflächig zusammenhängenden Lebensräumen
- Lärm- und Schadstoffeintrag in bisher ungestörte Bereiche (Randeffekte)
- Durchtrennung der Wanderwege von Tieren, Verinselung von Lebensräumen

Aber auch für den Menschen gibt es essentielle räumliche Auswirkungen:

- Verlust von Bereichen für naturnahe Erholung
- Gesundheitliche Beeinträchtigung in bisher ungestörten Bereichen (z. B. Verlärmung)
- Störung des Landschaftsbildes

Die unzerschnittenen Freiräume tragen wesentlich zur Erfüllung grundlegender Landschaftsfunktionen bei. Maßgeblich ist dafür nicht nur ihre Flächengröße, sondern auch ihre „innere“ Zusammensetzung und Struktur, sowohl aus abiotischer Sicht (z.B. Relief, Böden) als auch aus Sicht der Intensität bzw. Naturnähe der vorherrschenden Nutzung durch den Menschen. Dadurch können sich völlig unterschiedliche Potentiale als Lebensraum für Pflanzen und Tiere ergeben: Kleinere Räume mit einer hohen Geo- bzw. Biodiversität können genauso wertvoll wie sehr große, aber intensiv genutzte und wenig strukturierte UZF sein. Auch der Anteil an seltenen oder gefährdeten Lebensräumen, die als Relikte in einer sonst sehr intensiv genutzten Landschaft verblieben sind, kann ein wesentliches Wertkriterium sein.

2 Einordnung und Zielstellung der Untersuchung

Ausgangspunkt der Untersuchungen am IÖR war eine bundesweite kleinmaßstäbige Überblicksstudie unter besonderer Berücksichtigung der naturnahen Erholung, deren Ergebnisse im Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland veröffentlicht wurden (SCHUMACHER & WALZ 2000). Außerdem liegt für die Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz eine grenzübergreifende großmaßstäbige Detailstudie vor (WOLF & WALZ 2005). Die derzeit durchgeführte landesweite Untersuchung für den Freistaat Sachsen ordnet sich im mittelmaßstäbigen Bereich mit folgenden Zielstellungen ein:

- Analyse der Entwicklung der Landschaftszerschneidung (retrospektiv bzw. szenarisch)
- Flächendeckende Betrachtung des Freistaates Sachsen und angrenzender Bereiche aller benachbarten Länder (bis zur nächstliegenden Hauptverkehrsstraße)
- Untersuchung der Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit von Freiräumen (Naturnähe der Flächennutzung sowie von Landschaftsfunktionen)
- Weiterentwicklung der Methodik zur Beschreibung und Bewertung der UZF
- Integration der Ergebnisse in die Raumplanung (qualifizierte Zerschneidungskarten)

3 Methodische Vorgehensweise

Die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur hat in Mitteleuropa seit der Gründerzeit am Ende des 19. Jh. und darüber hinaus in Deutschland seit Beginn des Autobahnbaus nach 1930 in besonderem Maße zugenommen. In diese Periode fällt der Beginn einer allgemeinen Motorisierung, weshalb der historische Zeitschnitt um 1930 den Ausgangspunkt der landesweiten Untersuchung für Sachsen bildet. Als gegenwartsnaher Zeitschnitt wird die Jahrtausendwende betrachtet. Ein Planungsszenario für 2020 soll den Zeithorizont beschließen, so dass insgesamt kumulative Auswirkungen der Siedlungs- und Mobilitätsentwicklung auf die Landschaft für fast ein Jahrhundert aufgezeigt werden können. Da die Zerschneidungswirkung von der Bedeutung der Verkehrsstraße abhängt, sollen drei verschiedene Netze unterschieden werden (Hauptverkehrsnetz, überörtliches Verkehrsnetz und Gesamtverkehrsnetz). Eine Übersicht der klassifizierten Verkehrsstraßen für die Zerschneidungsanalyse gibt Tab. 4.1. Zur Ermittlung der unzerschnittenen Freiräume ist es weiterhin erforderlich, die Siedlungsflächen (ohne Siedlungsgrün) auszuklammern.

Tab. 4. 1 - Einbeziehung von Verkehrstrassen nach Verkehrsträger und Zeitschnitt

Verkehrsträger	Retrospektiv (um 1930)	Gegenwart (um 2000)	Szenario (ca. 2020)
Straße	-	Autobahn (H, Ü, G)	
	Reichsstraße (H, Ü, G)	Bundesstraße (H, Ü, G)	
	IA. Straße (H, Ü, G)	Staats- bzw. Landesstraße (H, Ü, G)	
	IB. Straße (Ü, G)	Kreisstraße (Ü, G)	
	[IIB. Fahrweg]	Gemeindestraße (G)	
Schiene	Hauptstrecke (H, Ü, G)		
	Nebenstrecke (Normalspur) (Ü, G)		
	[Schmalspurstrecke]	Schmalspurstrecke (G)	
(H) - Hauptverkehrsnetz			
(Ü) - Überörtliches Verkehrsnetz			
(G) - Gesamtverkehrsnetz			
[...] - Verkehrstrassen in der landesweiten Untersuchung nicht betrachtet			

4 Indikatoren der Landschaftszerschneidung

Die Parameter zur quantitativen Beschreibung des Zerschneidungsgrades können folgenden Gruppen von Indikatoren zugeordnet werden:

- Elementare Kennzahlen
- Geometrische Strukturparameter
- Qualitative Bewertungsparameter

Zu den elementaren Kennzahlen gehört beispielsweise die Anzahl unzerschnittener Freiräume größer 100 km² in einem Untersuchungsgebiet (nach LASSEN 1987). Dieser Indikator orientiert sich an der ungefähren Mindestgröße eines Freiraumes für eine ungestörte Tageswanderung und gibt damit eine erste grobe Einschätzung der Zerschneidungsverhältnisse. Eine aktuelle Übersicht zu Methoden und verwendeten Parametern bei Untersuchungen zur Landschaftszerschneidung ist bei BAIER et al. 2005 zu finden.

Ein bekannter Parameter zur Quantifizierung der Gestalt von Einzelflächen ist der Shape-Index (nach FORMAN & GODRON 1986), der die Abweichung von einer quadratischen Standardform beschreibt, deren Größe allerdings nicht berücksichtigt. Durch Kombination von Flächengröße und Inkreisradius kann ein Bewertungsschema definiert werden, in dem schmale langgestreckte Freiräume geringer als kompaktere Flächen gleicher Größe bewertet werden (WALZ & SCHUMACHER 2005).

Bei Analysen zur Landschaftszerschneidung hat sich inzwischen der Indikator „Effektive Maschenweite“ m_{eff} (nach JAEGER 2002: 152 ff.) etabliert, der sich aus der Größe der einzelnen Freiräume F_i und der Gesamtfläche F_g wie folgt berechnet:

$$m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

Hohe Werte der effektiven Maschenweite zeigen einen geringen Zerschneidungsgrad an. Der Parameter weist günstige mathematische Eigenschaften wie Homogenität und Additivität auf. Außerdem ist er proportional zum Kohärenzgrad (Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig ausgewählte Punkte miteinander verbunden sind, d.h. in derselben Fläche liegen). Damit können verschieden große Regionen hinsichtlich ihrer Landschaftszerschneidung miteinander verglichen werden. Die effektive Maschenweite ist jedoch nicht geeignet, die einzelnen UZF in ihrer räumlichen Ausprägung und Qualität zu beschreiben. Dagegen sind für die Regional- und Landesplanung gerade diese Unterschiede sowie die einzelnen Freiräume an sich und ihre Bewertung besonders wichtig, wie ein kürzlich am IÖR veranstalteter Workshop¹ bestätigt hat.

Qualitative Bewertungsparameter gelten ebenfalls entweder für Einzelflächen oder für ein gesamtes Untersuchungs(teil)gebiet. Die Naturnähe der Flächennutzung kann beispielsweise über das Störungspotential (Verhältnis zwischen intensiv und extensiv genutzten Flächen innerhalb eines UZF) beschrieben werden. Ein hoher Wald- oder Grünlandanteil in einer Freifläche führt zu positiver Bewertung bzw. zu geringem Störungspotential. Die Berechnung des (gewichteten) mittleren Störungspotentials liefert einen Wert zur qualitativen Charakterisierung des Untersuchungsraumes. Weitere Kriterien könnten die Anteile von bestimmten Biotoptypen oder Schutzgebieten sein.

5 Besonderheiten der grenzüberschreitenden Betrachtung

Landschaften, Naturräume und Habitate erstrecken sich über administrative Grenzen hinweg. Deshalb erfordert die Analyse und Bewertung von Freiräumen notwendigerweise grenzüberschreitende Geodaten. Hierbei ergeben sich Probleme durch die Heterogenität der Daten verschiedener Bundesländer und Staaten vor allem aus folgenden Gründen:

- unterschiedliche geodätische Referenzsysteme
- unterschiedliche räumliche Genauigkeiten
- unterschiedliche Kategorien von Straßen und Bahnstrecken
- unterschiedliche Klassifizierung der Landnutzung

Die Ausdehnung der Zerschneidungsanalyse über die Grenzen des Freistaates Sachsen hinaus bis zur nächstliegenden Hauptverkehrsstraße führt zu einer Erweiterung des Untersuchungsraumes um fast 40 %. In diesem Zusammenhang wurden zusätzliche Geodaten der benachbarten Bundesländer sowie aus Tschechien und Polen beschafft und inhaltlich bzw. geometrisch angepasst, um große

¹ Workshop „Unzerschnittene Räume in Sachsen“ mit Vertretern aus Regional- und Landesplanung am 20.01.2006 im Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Dresden

unzerschnittene Freiräume über administrative Grenzen hinweg quantitativ korrekt beschreiben und bewerten zu können.

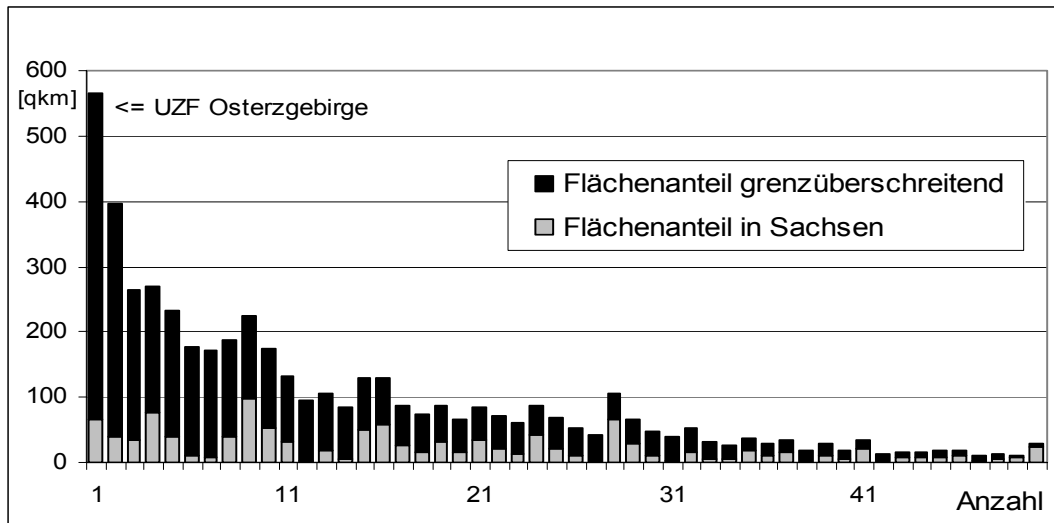


Bild 4. 2 - Flächenanteile unzerschnittener grenzüberschreitender Freiräume (Auswertung des Hauptverkehrsnetzes um 2000)

Würde das Untersuchungsgebiet an der Landes- bzw. Staatsgrenze abgeschnitten, wie dies bei zahlreichen Analysen geschieht, resultieren daraus erhebliche Fehler bei der Ermittlung der tatsächlichen Flächengröße der UZF (Bild 4.2). Wesentliche Anteile unzerschnittener Freiräume liegen in angrenzenden Regionen. Würden nur die in Sachsen liegenden Flächenanteile berücksichtigt, so könnten zahlreiche Räume nicht als UZF > 100 km² erkannt werden. Große unzerschnittene Freiräume existieren heute noch im sächsisch-böhmischen Grenzraum (Erzgebirge und Elbsandsteingebirge), insbesondere auf tschechischer Seite. Beim Verschneiden mit der Landesgrenze kann es außerdem zu topologischen Fehlern kommen, wenn ein großer UZF dadurch in mehrere kleine Flächen zerteilt wird, die bei der quantitativen Analyse in eine andere Kategorie fallen oder mangels Größe nicht weiter betrachtet werden.

6 Exemplarische Ergebnisse der quantitativen Analyse

Die historische Betrachtung der Landschaftszerschneidung geht vom Zustand vor Beginn des Autobahnbaus in Deutschland aus, also um 1930. Entsprechende Geodaten wurden durch Digitalisierung des Straßen- und Schienennetzes (sowie der Siedlungsflächen < 5 ha) auf Basis der Karte des Deutschen Reiches 1 : 100 000 (KDR 100, mehrfarbige Ausgabe) gewonnen. Dabei kam die Methode des zeitlich rückwärtigen Editierens – ausgehend von aktuellen Geodaten des Zeitschnittes 2000 – zur Anwendung. Diese bereits bei anderen IÖR-Projekten zum Landschaftswandel erprobte Methode (vgl. z.B. WALZ & SCHUMACHER 2003: 68) besitzt den Vorteil, in einer georeferenzierten Vektordatenbasis nur Veränderungen der Geometrie bzw. der Sachattribute editieren zu müssen.

Exemplarisch ist die Zerschneidungssituation auf Basis des überörtlichen Verkehrsnetzes vor Beginn des Autobahnbaues für die Leipziger Region in Bild 4.3 (oben) dargestellt: Es waren um 1930 noch

relativ große UZF (vor allem nordöstlich von Leipzig) vorhanden; die effektive Maschenweite für den Kartenausschnitt betrug immerhin 47,5 km², wobei alle angeschnittenen Freiräume mit voller Größe berücksichtigt wurden (Verschneidungsverfahren Nr.1 nach ESSWEIN et al. 2002: 28).

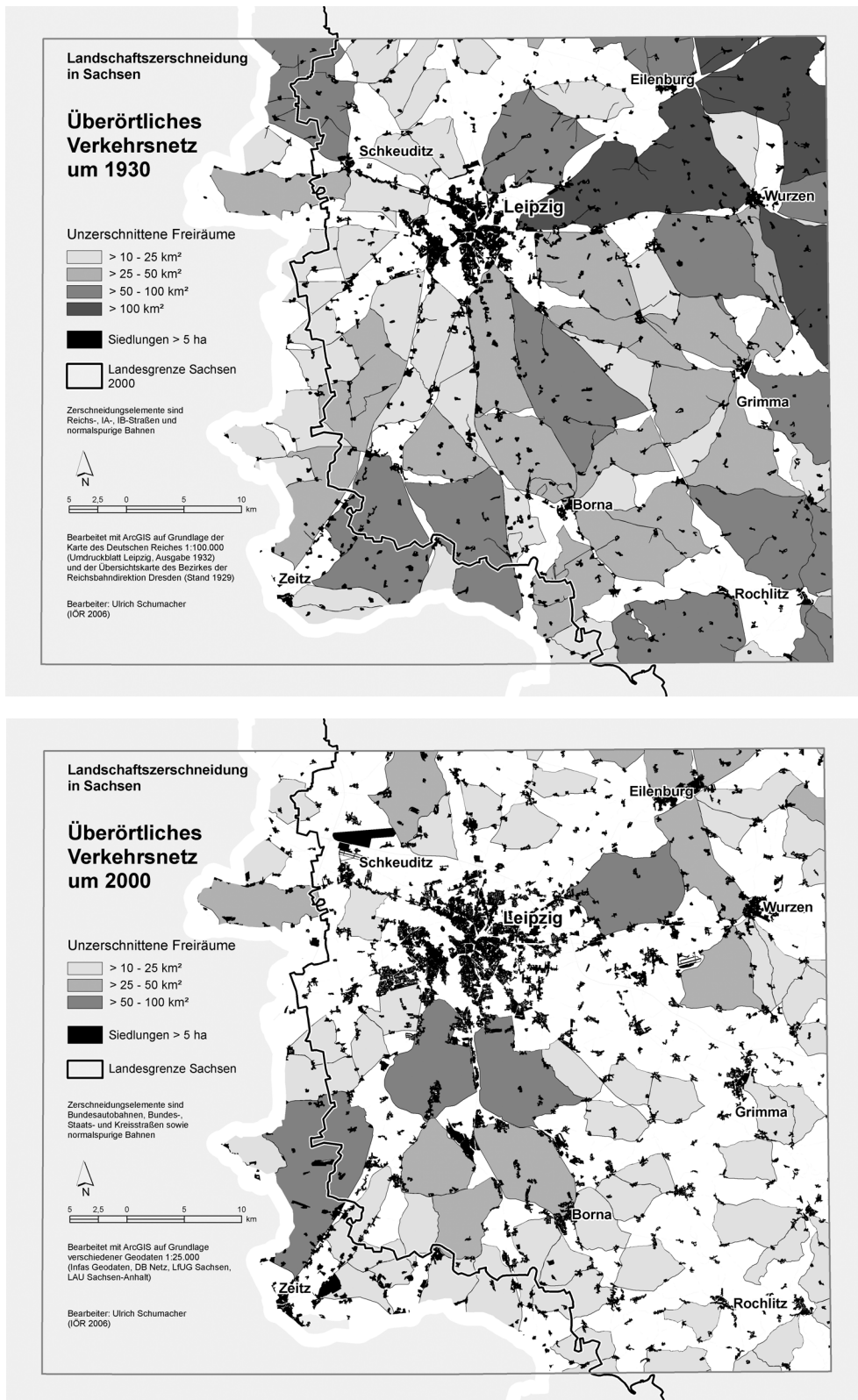


Bild 4. 3 - Landschaftszerschneidung in Sachsen durch das überörtliche Verkehrsnetz um 1930 und 2000 – Unzerschnittene Freiräume (Ausschnitt: Umdruckblatt Leipzig der KDR 100)

Die Zerschneidungssituation um die Jahrtausendwende ist für denselben Kartenausschnitt in Bild 4. 3 (unten) dargestellt: Es fällt auf, dass die UZF in ihrer Größe deutlich zurückgegangen sind (die Kategorie $> 100 \text{ km}^2$ gibt es nicht mehr). Eine Zunahme der Landschaftszerschneidung kann allerdings nicht generell konstatiert werden: Im Südraum von Leipzig ist es durch die Bündelung von Verkehrsstrassen im Zuge des flächenintensiven Braunkohlenbergbaus zu einer Entschneidung gekommen. Die Berechnung der effektiven Maschenweite liefert für den Kartenausschnitt einen Wert von $15,3 \text{ km}^2$. Dies bedeutet: In einem historisch kurzen Zeitraum von nur 70 Jahren hat sich die Begegnungswahrscheinlichkeit zweier Wirbeltiere mit großen Raumansprüchen – allein aus der Sicht potentieller Barrieren und trotz partiell gegenläufiger Tendenzen – um zwei Drittel verringert!

Zur qualitativen Bewertung der unzerschnittenen Freiräume hinsichtlich ihrer Naturnähe soll das Störungspotential herangezogen werden. Bild 4. 4 zeigt die Situation für den gegenwartsnahen Zeitschnitt im gesamten grenzüberschreitenden Untersuchungsgebiet.

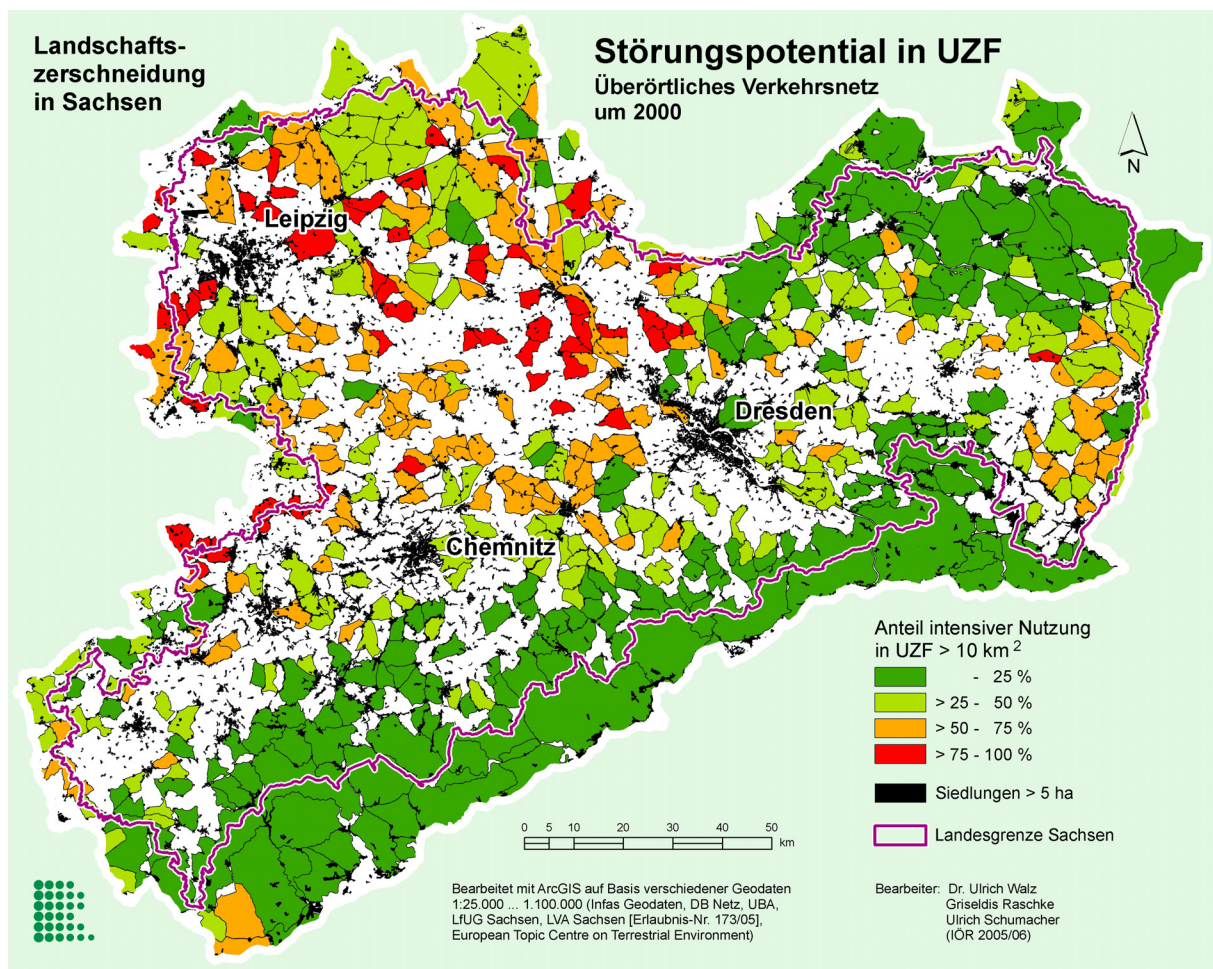


Bild 4. 4 - Landschaftszerschneidung in Sachsen durch das überörtliche Verkehrsnetz um 2000 – Störungspotential in UZF

Die regional differenzierte Verteilung der UZF nach der Flächengröße wird durch Einbeziehung der Flächennutzung (Corine Land Cover 2000) weiter verstärkt. So weisen die wenigen kleineren Freiräume in Mittelsachsen wegen ihrer zumeist intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ein hohes Störungspotential auf. Dagegen haben die peripher gelegenen großen UZF (im Erzgebirge,

Elbsandsteingebirge und in der nördlichen Lausitz) durch ihren hohen Waldanteil nur ein geringes anthropogen verursachtes Störungspotential. Der mittlere Anteil intensiver Nutzungsarten und damit das mittlere Störungspotential im Untersuchungsraum beträgt 29,4 %.

7 Ausblick

Wie gezeigt werden konnte, ist es für eine korrekte Ermittlung der unzerschnittenen Freiräume unbedingt notwendig, die Analysen grenzüberschreitend durchzuführen. Als Wertkriterium sollte nicht nur die Flächengröße, sondern auch die „innere“ Struktur dieser Räume betrachtet werden. Neben der Naturnähe der Flächennutzung soll bei der Untersuchung des IÖR in Sachsen die Wertigkeit der Räume für den Arten- und Biotopschutz sowie die Erholungseignung zur qualitativen Bewertung der UZF herangezogen werden. Die entsprechenden GIS-gestützten quantitativen Analysen befinden sich gegenwärtig in Bearbeitung – ebenso wie das Planungsszenario für 2020. In dieses Szenario werden Verkehrsprojekte aus dem Digitalen Raumordnungskataster (DIGROK), dem Landesentwicklungsplan Sachsen (SÄCHS. STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2003) sowie aus weiteren Planungsdokumenten einbezogen.

In der heutigen Kulturlandschaft, die durch eine anhaltende Landschaftszerschneidung und Zersiedelung geprägt ist, haben große unzerschnittene Freiräume stark abgenommen und sind in manchen Regionen sehr selten geworden oder bereits nicht mehr vorhanden. Aufgrund der ökologischen Funktionen der UZF sollten diese Räume als eigenständiges Schutzgut betrachtet und in der räumlichen Planung berücksichtigt werden. Dafür spricht außerdem, dass eine Abnahme großer unzerschnittener Freiräume auch ein Indikator für die flächenhafte Zunahme von Verkehrslärm ist. Ungestörte, ruhige Erholungsbereiche, die der Mensch heutzutage so sehr benötigt, werden damit immer seltener.

Eine regelmäßige Bilanzierung der Entwicklung der Freiraumzerschneidung besitzt daher im Rahmen der Umweltbeobachtung eine erhebliche Bedeutung. Solche strukturelle Veränderungen der Landschaft werden innerhalb kurzer Zeiträume vom Menschen in ihrem Umfang nur schwer wahrgenommen. Erst ein Monitoring über größere Räume und Zeitabschnitte hinweg macht das Ausmaß und die Folgen der kumulativen Veränderungen sichtbar, die aus vielen Einzelmaßnahmen beim Infrastrukturausbau und der Siedlungserweiterung resultieren. Die Analyse und die Bewertung der anthropogen verursachten Landschaftszerschneidung sollten deshalb integrierter Bestandteil eines Umweltmonitorings sein.

Literatur:

- BAIER, H., ERDMANN, F., HOLZ, R. & A. Waterstraat [Hrsg.] (2006): Freiraum und Naturschutz. Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft. Berlin - Heidelberg - New York: 692 S.
- ESSWEIN, H. et al. (2002): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. Arbeitsbericht Nr. 214 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Stuttgart: 124 S.
- FORMAN, R. T. T. & M. Godron (1986): Landscape ecology. New York.
- FORMAN, R. T. T. et al. (2003): Road ecology. Science and Solutions. Washington - Covelo - London: 482 pp.

- JAEGER, J. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Stuttgart: 448 S.
- JAEGER, J., GRAU, S. & W. HABER [Hrsg.] (2005): Landschaftszerschneidung: Von der Problemerkennung zum Handeln. Themenschwerpunktheft. GAIA 14 (2005) 2.
- LASSEN, D. (1987): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km² Flächengröße in der Bundesrepublik Deutschland. - In: Natur und Landschaft 62 (1987) 12, S. 532-535.
- MADER, H.-J. (1981): Der Konflikt Straße - Tierwelt aus ökologischer Sicht. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, H. 22. Bonn - Bad Godesberg: 104 S.
- Sächs. Staatsministerium des Innern (2003): Landesentwicklungsplan Sachsen 2003. Dresden.
- SCHUMACHER, U. & U. WALZ (2000): Landschaftszerschneidung durch Infrastrukturtrassen. - In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 10: Freizeit und Tourismus. Heidelberg - Berlin: S. 132-135.
- WALZ, U. (2005): Landschaftszerschneidung in Grenzräumen - Sachsen und die Sächsisch-Böhmische Schweiz. - In: GAIA 14 (2005) 2: S. 171-174.
- WALZ, U. & U. SCHUMACHER (2003): Flächennutzungsinformationen aus historischen Kartenwerken für die Freiraumentwicklung in Sachsen. - In: Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum. Frankfurt a. M.: S. 63-75.
- WALZ, U. & U. SCHUMACHER (2005): Landscape Fragmentation in the Free State of Saxony and the Surrounding Border Areas. - In: HREBÍČEK, J. & RÁČEK, J. [EDS.]: Networking Environmental Information. Proceedings of the 19th International Conference "Informatics for Environmental Protection". Brno: pp. 754-758.
- WOLF, S. & U. WALZ (2005): Grenzüberschreitende Untersuchung der Landschaftszerschneidung in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. - In: Mitteilungen des Landesvereins Sächsischer Heimatschutz e. V. 3/2005: S. 33-39.

Verortung linearer Landschaftsstrukturen mittels multikriterieller Optimierung

Ralf Grabaum, Leipzig

Das Verfahren MULBO (Multikriterielle Landschaftsbewertung und -optimierung, MEYER & GRABAU 2003) zielt darauf ab, den landschaftsplanerischen Prozess zu ergänzen. Dieses 7-stufige Verfahren besteht im Wesentlichen aus Definition, Analyse und Bewertung von Landschaftsfunktionen, einer multikriteriellen Optimierung und der Darstellung von Landnutzungsszenarien, die einen optimalen Kompromiss für die zukünftige Landnutzung darstellen. Die Szenarien beziehen sich zunächst nur auf flächenhafte Nutzungsarten. Lineare Landschaftsstrukturen sind derzeit im Verfahren MULBO nur indirekt in verschiedenen Teilmodulen integriert.

Davon ausgehend, dass bei der Flächenoptimierung mit GIS ein vorhandenes Flächenmuster (kleinste gemeinsame Geometrie, kgG) als Basis dient, welches nicht verändert wird, entstand die Idee diesen Ansatz auch auf Linien zu übertragen. Zunächst gilt es, neue potentielle Linien für die Anlage von Strukturen zu finden. Verschiedene Methoden zum Finden der Linien werden beschrieben. Im nächsten Schritt erfolgt die Analyse und Bewertung einzelner Funktionen. Die Bewertungsergebnisse müssen den Linien bzw. Linienabschnitten zugewiesen werden. Dazu eignen sich die von den Flächen her bekannten Analyse- und Bewertungsverfahren nicht immer; sie müssen adaptiert werden. Unter Vorgabe von Restriktionen (z.B. Angabe der geplanten zusätzlichen Länge linearer Strukturen) wird dann eine multikriterielle Linienstrukturoptimierung durchgeführt. Ergebnis ist eine im Sinne der betrachteten Funktionen optimale Anordnung der linearen Strukturen auf den dafür vorgesehenen Flächen. Die erreichte Verbesserung ist anschließend mit einer nochmaligen (Soll-) Bewertung messbar.

Am Beispiel eines Agrarraumes in Sachsen-Anhalt wird die Vorgehensweise anhand der Funktionen Winderosionsgefährdung, Wassererosionsgefährdung und Habitategnung für die Graumammer vorgestellt. Die mit der Optimierung erreichten Ergebnisse werden dargestellt und interpretiert.

1 Einleitung

Der Mensch hat die Kulturlandschaft seit Jahrhunderten nach seinen Bedürfnissen gestaltet. Je komplexer die Bedürfnisse wurden, desto mehr entstand das Risiko, dass dabei wesentliche Funktionen vernachlässigt wurden. Insbesondere Regulationsfunktionen sind in vielen, intensiv genutzten Kulturlandschaften, die oft reine Produktionslandschaften sind, heute stark beeinträchtigt. Mit der Diskussion um Nachhaltigkeit rückte auch das Themenfeld der Gestaltung der Kulturlandschaft wieder mehr in den Mittelpunkt, da jede Landschaft eine Vielzahl von Funktionen gleichzeitig erfüllen muss.

Der Begriff der Multifunktionalität der Landschaft wurde geprägt und fand in den Planungen Einzug (GRUEHN & KENNEWEG 2002).

In den letzten Jahrzehnten sind von Seiten der Wissenschaft eine Reihe von Bewertungsmethoden entwickelt und validiert worden (MARKS et al. 1992, BASTIAN & SCHREIBER 1994), um Landnutzungen und deren Änderungen auf Basis von Landschaftsfunktionen einschätzen zu können. Eine Realisierung dieser Verfahren ist mit Hilfe eines GIS möglich, allerdings werden sie in der Planungspraxis noch selten genutzt. Funktionale Bewertungen der Landnutzungen sind jedoch als Entscheidungsgrundlage notwendig. Sind einmal eine Vielzahl räumlich expliziter Funktionsbewertungen vorhanden, benötigt man eine Methode zur Integration in Bezug auf verbundene Planungsziele (z.B. der Flächennutzung). Dies wird heute meist auf der Basis von Konfliktkarten oder einer verbalen Abwägung von bevorzugten Nutzungen entschieden. Die Methode der multikriterielle Landschaftsbewertung und -optimierung (MULBO, MEYER & GRABAUM 2003) ist eine Alternative für diese Integration, die einige Vorteile besitzt. Dies sind:

- die gleichzeitige Nutzungsplanung zur Verbesserung/Erhaltung von mehreren funktionalen Zielen auf einer großen Anzahl von Flächen in einem abgegrenzten Raum (z.B. Gemeinde),
- die Berücksichtigung beliebig wählbarer Ausschluss- oder Restriktionsflächen ohne Verlust der Optimalität,
- das Anbieten von mehreren Lösungsoptionen, also Szenarioentwicklungen,
- die konsistente Methodenverwendung und Verrechnung von Zielwerten aus planerischen und politischen Vorgaben durch einfache Eingabe in das Programm,
- die Möglichkeit zur Setzung von Gewichten,
- die schnelle kartographische Umsetzung der Ergebnisse des GIS-basierten Verfahrens und deren Wiederverwendbarkeit,
- die leichte Veränderbarkeit und Flexibilität des Verfahrens,
- die Methodik „übersieht nichts“, da sie computergeleitet ist.

Das Verfahren MULBO integriert mit Hilfe einer multikriteriellen Landschaftsoptimierung. Es basiert auf flächenkonkreten Analysen und Bewertungen von Landschaftsfunktionen, die die Leistungsfähigkeit der Landschaft repräsentieren und deshalb die Teilmengen der Multifunktionalität konkretisieren. Die siebenstufige Methode MULBO (s.a. www.mulbo.de) ist ein entscheidungsunterstützendes Verfahren für die Planung von Landnutzungen. Die multikriterielle Landschaftsoptimierung liefert im Ergebnis Landnutzungsoptionen, welche von den Planern weiterverarbeitet oder als Szenarien von den Entscheidungsträgern verwendet werden können. MULBO kann als räumliches Entscheidungsunterstützungssystem (Spatial Decision Support System, SDSS) verstanden werden.

Bisher basierte MULBO auf einer reinen Flächenbewertung und Optimierung. Die Verteilung von Linienstrukturen erfolgte von Hand analog der in der Planungspraxis üblichen Vorgehensweise. Daraus ergab sich die Nachfrage nach einer automatisierten und objektivierten Ermittlung optimaler Linienstrukturen.

2 Die methodische Herangehensweise

Das Grundproblem bei der Durchführung einer Landschaftsoptimierung mit Linienstrukturen besteht im Fehlen eines potentiellen Liniennetzes, auf welchem die Optimierung eine optimale Verteilung finden kann. Dies steht im Gegensatz zu den Flächen, die bei der multikriteriellen Landschaftsoptimierung in endlicher Anzahl eineindeutig zur Verfügung stehen. Diese überlappen sich nicht und füllen den Optimierungsraum vollständig aus. Eine derartige Anforderung ist bei Linienstrukturen unmöglich. Deshalb ist es notwendig, zunächst ein potentielles Liniennetz aufzubauen. Potentiell bedeutet, dass es sich zunächst um "virtuelle Linien" in der Landschaft handelt, denen man Eigenschaften zuordnen kann (Länge, Bewertungen hinsichtlich verschiedener Funktionen).

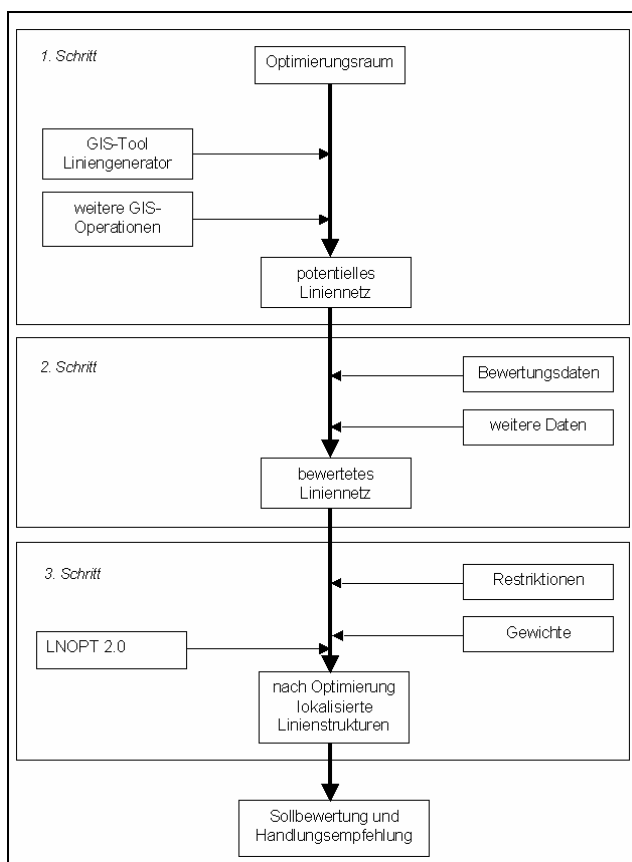


Bild 5.1 - Ablaufschema des Verfahrens der Optimierung von Linienstrukturen

Die Durchführung der Linienstruktur-Optimierung erfolgt in 3 Hauptschritten (Bild 5.1):

- Generierung eines potentiellen Liniennetzes
- Bewertung des Liniennetzes hinsichtlich ausgewählter Landschaftsfunktionen
- Auswahl der anzulegenden Linienstrukturen durch Optimierung auf Basis festgelegter Restriktionen (z.B. Gesamtlänge)

Eine Analyse des Beitrags der Linien zur Verbesserung der Landschaftsfunktionen erfolgt innerhalb von MULBO im Rahmen der Soll-Bewertung. Zur Generierung des Liniennetzes wird ein eigens entwickeltes GIS-Tool verwendet. Die Bewertung erfolgt zunächst unter Verwendung bekannter Analyse- und Bewertungsverfahren, welche jedoch teilweise adaptiert werden müssen (z.B. MARKS et al. 1992). Zur Bewertung werden ebenso GIS-Operationen verwendet.

2.1 Generierung eines potentiellen Liniennetzes

Um ein potentielles Liniennetz aufzubauen, müssen bestimmte Kriterien (Länge, geometrische Struktur, Ausrichtung) vorgegeben werden, damit der Vorgang reproduzierbar bleibt. Deshalb wurde das Konzept der Linienrose entwickelt. Mit dieser Rose sind zunächst die Hauptwindrichtungen ab-

gedeckt. Die Länge der einzelnen Linien (Seitenlänge einer Einheit, im weiteren als Ausgangskantenlänge bezeichnet) ist dabei frei wählbar.

Bei der Generierung der Linien ist weiterhin darauf zu achten, dass nur potentielle Linien innerhalb des Optimierungsraumes betrachtet werden. Dieser Schritt ist analog der Flächenoptimierung, wo der Optimierungsraum abgegrenzt und damit die zur Auswahl stehenden Flächen festgelegt werden. Dazu werden die Flächen des Optimierungsraumes mit dem Liniennetz verschnitten. Es ist zu beachten, dass durch diesen Schritt die mit der Linienrose eingestellte Standardlänge bei vielen Linien verändert (d.h. gekürzt) wird.

Prinzipiell können weitere Linien zum Liniennetz hinzugefügt werden. Dazu zählen Linien, die am Rand vorhandener Flächen liegen ebenso wie durch natürliche Grenzen vorgegebene Linien (etwa Bodengrenzen oder Relieflinien). Auch besteht die Möglichkeit, durch Digitalisieren interaktiv weitere Linien zum Netz hinzuzufügen.

Zur einfacheren Handhabung bzw. zur Verringerung der Linienanzahl für die Optimierung werden Linien mit sehr kurzer Länge gelöscht. Diese bieten meist keinen großen Beitrag zur Funktionsverbesserung. Als Auswahlkriterium wurde von den Autoren eine 10 %- Regel gewählt. Linien, die kürzer als 10 % der im Liniengenerierungstool eingestellten Länge sind (bei 200 Metern Linienlänge entspricht dies 20 Meter), werden demzufolge nicht weiter betrachtet.

2.2 GIS-Tool zur Interaktiven Generierung eines Liniennetzes

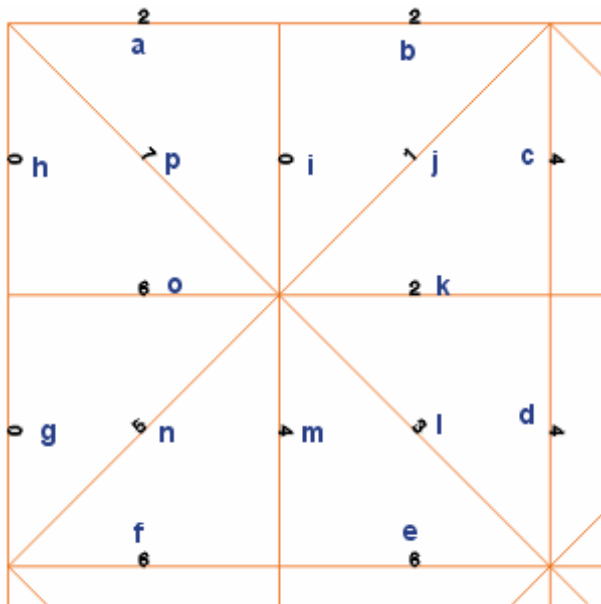


Bild 5. 2 - Ausrichtung und Zeichenreihenfolge der Liniensegmente

Zur Generierung eines regelmäßigen potentiellen Liniennetzes (Bild 5. 2) innerhalb eines vorgegebenen Untersuchungsgebietes wurde ein GIS-basiertes Softwaretool entwickelt. Die Speicherung dieser Geometrie erfolgt im ESRI-Shape-Format. Die Einzellinien des Netzes sind nach der Windrose in vier Richtungen ausgerichtet und tragen diese Ausrichtung als Attribut (Nord-Süd(4) / Süd-Nord(0), Ost-West(6) / West-Ost(2), Nordost-Südwest(5) / Südwest-Nordost(1), Nordwest-Südost(3) / Südost-Nordwest(7), s.Bild 5. 2).

Die Eingangsparameter für das GIS-Tool sind die jeweiligen Maximalwerte der Koordinaten der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes in alle vier Haupthimmels-

richtungen (Nord, Ost, Süd, West), welche durch das Tool automatisch ermittelt werden und ein vom Benutzer vorgegebener Wert für die Kantenlänge. Dieser kann beliebig gewählt werden (beachte: je kleiner der Wert, desto größer die Anzahl der Liniensegmente mit entsprechend größerer Rechenzeit für die Optimierung). Innerhalb des Untersuchungsgebietes befindliche Grenzen werden nicht beachtet. Der Wert für die Kantenlänge ergibt in Bild 5. 2 die Gesamtlänge für die Segmente a und b.

Mit Hilfe des GIS-Tools wird das Liniennetz flächendeckend über das gesamte Untersuchungsgebiet generiert. An den Rändern kann es durch die voreingestellte Kantenlänge zu überstehenden Linien kommen, welche durch eine spätere Verschneidung mit den konkreten Grenzen bzw. den relevanten Flächen im Untersuchungsgebiet abgeschnitten werden können. Hier kommt die oben erwähnte 10%-Regel zur Anwendung.

2.3 Bewertung des Liniennetzes hinsichtlich ausgewählter Landschaftsfunktionen

Im Ergebnis des ersten Bearbeitungsschrittes liegt ein Liniennetz aus Segmenten verschiedener Länge vor. Damit erfolgt im nächsten Schritt die Bewertung. Auch hier besteht ein wesentlicher Unterschied zu den Flächen: Während diese durch die Verknüpfung der verschiedensten Bewertungsebenen entstehen (kleinste gemeinsame Geometrie), sind die Linien zunächst einmal wertfrei. Die Bewertung einzelner Funktionen muss den Linien bzw. Linienabschnitten zugewiesen werden. Dazu eignen sich die von den Flächen her bekannten Analyse- und Bewertungsverfahren nur bedingt, sie müssen teilweise adaptiert werden. Zusätzlich können völlig neue Analyse- und Bewertungsverfahren hinzukommen, die für die flächenhafte Bewertung keine Rolle spielen.

Analog zu den Flächenelementen benötigt man auch für die verschiedenen Elementeklassen linearer Strukturen (z.B. Hecke, Baumreihe etc.) differenzierte Bewertungen. Hier ist noch zu untersuchen, in wie weit sich diese Differenzierungen hinsichtlich der verschiedenen Funktionen begründen lassen. Für das hier verwendete Beispiel fand eine Differenzierung nicht statt, so dass eine Bewertung nur für die zwei Zustände (Anlage/ Nichtanlage einer linearen Struktur) stattfand.

Ergebnis der Analyse und Bewertung ist das im ersten Schritt erzeugte Liniennetz mit den entsprechend attribuierten Bewertungsinformationen.

2.4 Multikriterielle Linienstrukturoptimierung

In einem dritten Schritt findet dann die multikriterielle Linienstrukturoptimierung statt. Dazu kann das Programm LNOPT 2.0 (GRABAUM & KILDAL 2004) verwendet werden. Zunächst werden die Zielstellungen formuliert. Soll eine Landschaftsfunktion im Vordergrund stehen, d.h. höher gewichtet werden? In welcher Größenordnung (prozentual) werden funktionalen Verbesserungen angestrebt? Darauf aufbauend werden die Restriktionen festgelegt (hauptsächlich obere Grenze für die Länge der einzelnen Linienelementeklassen in Meter). Eine weitere Restriktion, die berücksichtigt werden kann, ist, dass auf bestimmten Flächen nur bestimmte Elementeklassen zulässig sind (Bsp.: auf Flächen von Nutzer x/y nur Baumreihen). Diese lassen sich z.B. über einen zusätzlichen Zeigerwert in den Attributen den Linienattributen zuweisen. Die Bearbeitung mit LNOPT 2.0 erfolgt wie von den Flächen her bekannt. Hierbei entspricht die Länge in Metern der bisherigen Flächengröße in Quadratmeter. Die Optimierung berechnet zunächst die Maximalwerte für die einzelnen Funktionen und ermittelt anschließend entsprechend der durch den Nutzer vorgegebenen Gewichtung optimale Kompromisse (GRABAUM & MEYER 1998).

Im Ergebnis steht pro Liniensegment des potentiellen Liniennetzes die Aussage, welches Linienelement hier verortet werden kann. Diese lässt sich anschließend im GIS grafisch darstellen. Die erreichte Veränderung ist anschließend mit einer Sollbewertung messbar.

3 Anwendung im Untersuchungsgebiet Barnstädt

3.1 Generierung des Liniennetzes mit ArcGIS

Im ersten Schritt wird in einem ArcMap-Dokument die Geometrie des Untersuchungsgebietes geladen. Das GIS-Tool wird über einen Button aufgerufen, die Parameter X-Min, X-Max, Y-Min, Y-Max werden vom Tool automatisch eingefügt. Dem Nutzer ist die Wahl der Liniennlänge (Ausgangskantenlänge, als Breite im Tool abgefragt) überlassen.

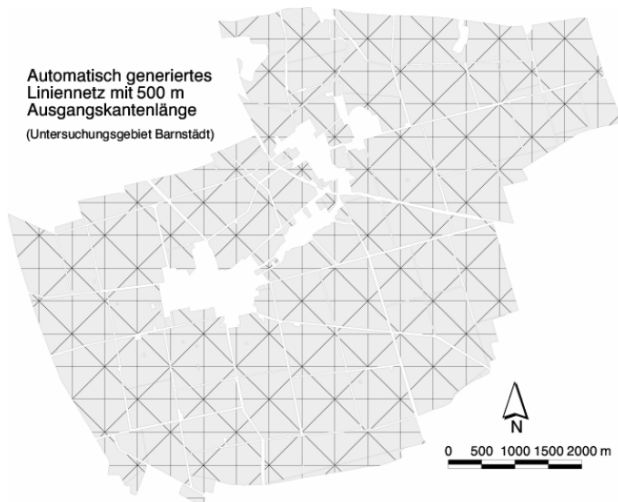


Bild 5. 3 - Liniennetz mit 500m Ausgangskantenlänge

500m Kantenlänge). Die Verschneidung mit den Geometrien der zu optimierenden Flächen wurde jeweils im Anschluss an die Generierung vorgenommen. Die Gesamtlängen und Zahl der Segmente pro Ausgangskantenlänge ist Tab. 5. 1 zu entnehmen.

Anschließend wird das Liniennetz mit den tatsächlich zur Optimierung verfügbaren Polygonen (z.B. aus Biotoptypenkartierung selektierte, nur landwirtschaftlich genutzte, Flächen) verschritten. Als willkommener Nebeneffekt wird die Anzahl der Linien hierbei bereits reduziert. Als Festlegung wurde vereinbart, Linien, welche durch diese Verschneidung auf eine Länge unter 10 % der Ausgangskantenlänge gefallen sind, zu löschen. In dem hier dokumentierten Verfahren wurden drei Liniennetze verschiedener Länge generiert. Die Ausgangskantenlängen waren 100, 200 und 500 m (siehe Bild 5. 3 für

Tab. 5. 1 - Gesamtlänge und Zahl der Teilstücke je Ausgangskantenlänge im Untersuchungsraum Barnstädt (4200 ha)

Ausgangskantenlänge Liniennetz [m]	Gesamtlänge Linien [km]	Anzahl der Segmente
100	1232,87	13193
200	622,19	3858
500	246,19	841

Für die Optimierung ist auch eine Bewertung der Ziellandnutzung (lineare Strukturen) notwendig. Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass die durch die Optimierung lokalisierten linearen Strukturen alle eine einheitlich positive Schutzwirkung gegenüber der Winderosion haben. Deshalb wurde einheitlich die Bewertungsstufe 5 gewählt. Hier ergibt sich die Möglichkeit, differenzierte Klassen von linearer Elemente (z.B. Baumreihe, Baumreihe lückig, Hecke ohne Baumbestand etc.) mit differenzierten Bewertungen zu versehen. So wird eine Hecke mit Baumbestand eine deutlich höhere Schutzwirkung haben als eine lückige Baumreihe.

Analog zur Bewertung der Winderosionsgefährdung wurden die Bewertungen für die Wassererosionsdisposition (Bild 5. 5) bzw. die Habitategnung Grauummer (Bild 5. 6) durchgeführt und die Ergebnisse für die Optimierung zur Verfügung gestellt.

3.2 Bewertung des Liniennetzes am Beispiel der Funktion Winderosionsdisposition

Bewertet werden die Landschaftsfunktionen, die durch Linienstrukturen deutlich beeinflusst werden. Für den Untersuchungsraum wurden folgende Funktionen gewählt:

- Winderosionsdisposition (Basis: Verfahren nach SMITH et al. 1992)
- Wassererosionsdisposition (Basis: ABAG, Verfahren nach SCHWERTMANN, VOGL & KAINZ 1987)
- Habitategnung für Grauummer anhand der Brutflächen (Basis: Verfahren nach MEYER, MAMMEN & GRABAUM 2006)

Prinzipiell erfolgte die Bewertung der Liniensegmente längengewichtet, d.h. als Summe der Multiplikation der einzelnen Bewertungsaussagen und deren Längenanteil. Dieser Wert wird nach mathematischen Rundungsregeln gerundet, da der Optimierungslauf nur mit Integerwerten durchgeführt werden kann. Die längengewichtete, gemittelte und gerundete Bewertungsaussage lässt die Anzahl der Segmente und deren Länge unangetastet (die Ausgangsliniensegmente bleiben erhalten).

Am Beispiel der Winderosionsgefährdung wird der Ablauf der Bewertung dargestellt. Für die anderen Funktionen ergibt sich eine ähnliche Herangehensweise mit teilweise komplexeren Abläufen. Ausgangsbasis für die Bewertung der Winderosionsgefährdung sind die auf der Basis des Verfahrens nach SMITH et al. (1992) ermittelten Ergebnisse, die für die vorhandenen Landschaftselemente im Untersuchungsraum Barnstädt vorlagen (GRABAUM, MEYER & MÜHLE 1999, s. Bild 5. 8). Im Ergebnis dieser Bewertung gab es zwei Bewertungskategorien: "gefährdet" (windungeschützt) und "nicht gefährdet" (windgeschützt).

Diese Flächenbewertung wurde den Linien im GIS zugeordnet. Es wurden drei Zustände unterschieden:

Erster Zustand: die Linie liegt vollständig in einem windgeschützten Bereich. Diese Linien erhielten den Wert "5" zugewiesen, was bedeutet, dass unter dem Gesichtspunkt des Winderosionsschutzes auf dieser Linie kein lineares Strukturelement notwendig ist. Die Schutzwirkung eines neuen linienhaften Biotops wäre sehr gering.

Zweiter Zustand: die Linie liegt vollständig in einem windungeschützten Bereich. Diese Linien erhielten den Wert "1" zugewiesen, was bedeutet, dass unter dem Gesichtspunkt des Winderosionsschutzes auf dieser Linie lineare Strukturelemente notwendig sind. Die Schutzwirkung eines neuen linienhaften Biotops wäre sehr hoch.

Dritter Zustand: die Linie liegt sowohl im gefährdeten als auch im ungefährdeten Bereich. Diesen Linien wird durch Mittelwertbildung und Rundung ein Wert zwischen 1 und 5 zugewiesen. Die Schutzwirkung eines neuen linienhaften Biotops wäre demnach im mittleren Bereich.

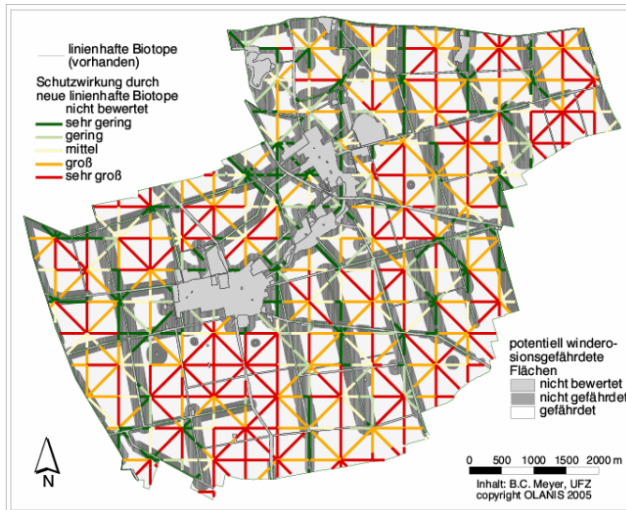


Bild 5. 4 - Bewertung der Liniensegmente hinsichtlich der Funktion Winderosion

doch teilweise innerhalb geschützter Flächen liegen, was eine Reduzierung der Wirkung bedeuten würde). Aufgrund der durch die Pufferung der Linien entstehenden Komplexität wurde auf diese Verfeinerung der Methode verzichtet. Letztendlich sind die erzielten Ergebnisse als Näherungslösungen zu verstehen und sind praktikabel, d.h. sie sind interpretierbar und für die multikriterielle Liniennoptimierung verwendbar.

Tab. 5. 2 - Bewertung der Schutzwirkung neuer linearer Strukturen für die Funktion Winderosion

Bewertungsklasse	Ausgangskantenlänge 200 Meter			Ausgangskantenlänge 500 Meter		
	Anzahl Segmente	Länge [m]	Länge [%]	Anzahl Segmente	Länge [m]	Länge [%]
1 (sehr gering)	1543	290495	46,7	237	83538	33,9
2 (gering)	437	81633	13,1	182	70526	28,6
3 (mittel)	342	66198	10,6	112	33576	13,6
4 (groß)	300	51692	8,3	90	22966	9,3
5 (sehr groß)	1236	132176	21,3	220	35584	14,6

Für die Optimierung ist auch eine Bewertung der Ziellandnutzung (lineare Strukturen) notwendig. Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass die durch die Optimierung lokalisierten linearen Strukturen alle eine einheitlich positive Schutzwirkung gegenüber der Winderosion haben. Deshalb wurde einheitlich die Bewertungsstufe 5 gewählt. Hier ergibt sich die Möglichkeit, differenzierte Klassen von linearer Elemente (z.B. Baumreihe, Baumreihe lückig, Hecke ohne Baumbestand etc.) mit differenzierten Bewertungen zu versehen. So wird eine Hecke mit Baumbestand eine deutlich höhere Schutzwirkung haben als eine lückige Baumreihe.

Analog zur Bewertung der Winderosionsgefährdung wurden die Bewertungen für die Wassererosionsdisposition (Bild 5. 5) bzw. die Habitateignung Graumammer (Bild 5. 6) durchgeführt und die Ergebnisse für die Optimierung zur Verfügung gestellt.

Aus Bild 5. 4 und Tabelle 5. 2 wird ersichtlich, dass sehr viele Liniensegmente die Bewertungsklasse "1" haben, d.h. auf winderosionsgefährdeten Flächen liegen. Eine Optimierung alleine nach diesem Ziel würde aufgrund der fehlenden Differenzierung mit der Planung linearer Strukturen an einer Stelle beginnen und dann aufhören, wenn die komplette Länge zu planender Linienelemente verbraucht ist.

Nicht berücksichtigt wurde hier die Pufferwirkung potentieller neuer Strukturelemente (d.h. auch wenn die Linie vollständig außerhalb der winderosionsgeschützten Fläche liegt, kann ihr potentieller "Schutzpuffer"

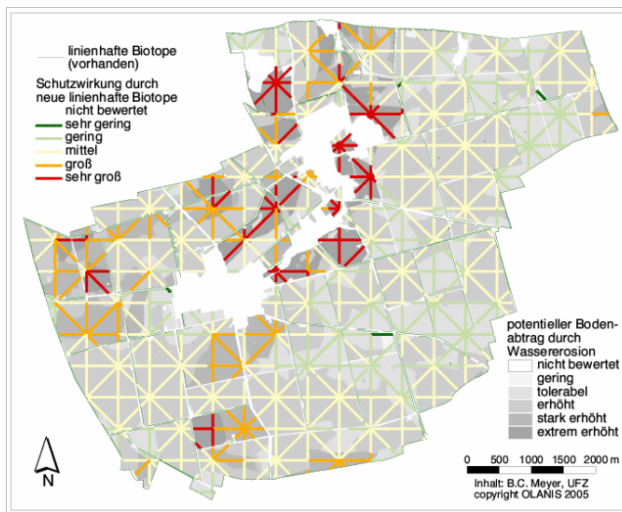


Bild 5.5 - Bewertung der Liniensegmente hinsichtlich der Funktion Wassererosion

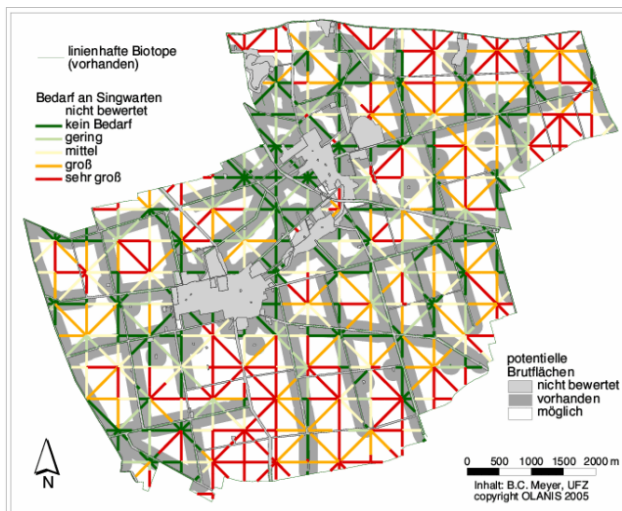


Bild 5.6 - Bewertung der Liniensegmente hinsichtlich der Funktion Habitateignung Grauammer

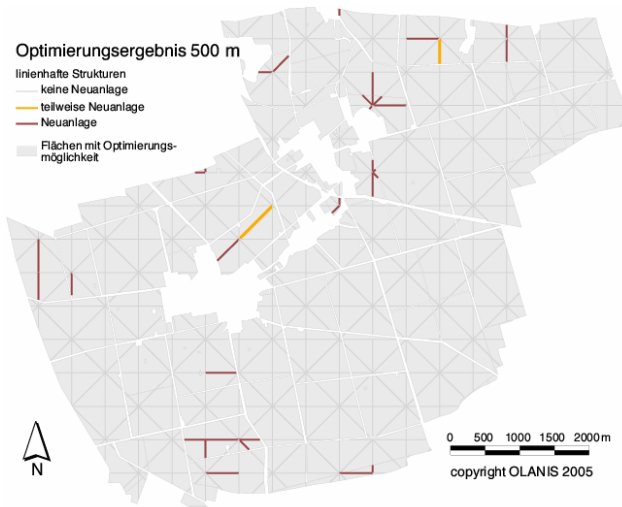


Bild 5.7 - Optimierungsergebnis Gleichgewichtskompromiss: lokalisierte lineare Strukturen für den Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter"

3.3 Multikriterielle Optimierung der Linienstrukturen mit LNOPT 2.0

Die bewerteten Linien wurden anschließend nach den ausgewählten Zielfunktionen optimiert. Für den Untersuchungsraum Barnstädt wurden folgende Zielstellungen betrachtet:

- Verbesserung des Winderosionsschutzes
- Verbesserung des Schutzes vor Wassererosion durch Hanglängenverkürzung
- Etablierung neuer potentieller Brutreviere für die Grauammer

Als Restriktionen wurde für alle drei Liniennetze festgelegt, dass maximal 10 km neue lineare Strukturen durch die Optimierung lokalisiert werden sollen. Eine untere Grenze wurde zwar in das Optimierungsprogramm eingegeben (5 km), sie spielt jedoch für die Optimierung keine Rolle, da alle betrachteten Funktionen gleichgerichtet sind, d.h. eine Verbesserung der Funktionen wird nur erreicht, wenn die Anzahl der Linienstrukturen maximal wird. Somit wird die Länge von 10 Kilometern bei jedem Optimierungslauf auch erreicht. Zusätzliche Restriktionen wurden nicht berücksichtigt, sind jedoch integrierbar (GRABAUM & KILDAL 2004).

Für jede der drei Liniennetze wurden verschiedene Kompromisse berechnet. Dargestellt wird das Vorgehen am Beispiel des Datensatzes "Ausgangskantenlänge 500 Meter". Dieser enthielt 835 Linien mit einer Gesamtlänge von 244,36 Kilometern. Als Kompromiss wurde für die Darstellung in Bild 5.7 der Gleichgewichtskompromiss (alle Ziele gleichgewichtet) gewählt. Es wurden im Rahmen dieses Kompromisses 10000 Meter Linienstrukturen auf insgesamt 36 Liniensegmente verteilt. Ein Vergleich mit den Bewertungsdaten ergab, dass diese Linien alle

im Bereich der ungünstigsten Bewertungen durch die Optimierung lokalisiert wurden (d.h. Linienstrukturen, die den Erosionsschutz Wassererosion maximal verbessern und außerhalb der winderosiongeschützten Flächen sowie außerhalb vorhandener potentieller Brutflächen für die Graumammer liegen). Die Verteilung zeigt Bild 5. 7.

Ein Vergleich der Zielfunktionswerte gibt Aufschluss über die erreichten Verbesserungen (Tabelle 5. 3). Die letzte Zeile geht dabei von der Annahme aus, dass das gesamte potentielle Liniennetz als lineare Struktur vorgeschlagen wird.

Tab. 5. 3 - Vergleich der Zielfunktionswerte für den Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter"

Lösung	lokalisierte Linienstruktur- länge (in m)	Zielfunktionswert Winderosion	Zielfunktionswert Wassererosion	Zielfunktionswert Grauammereignung
aktuelle Nutzung	0	587941	717110	699366
Max. Winderosion	10000	627941	730088	738046
Max Wassererosion	10000	614347	749532	719889
Max Habitateignung Graumammer	10000	620578	727013	739366
Kompromiss	10000	623580	744291	734196

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Linienoptimierung praktikable Ergebnisse liefert, die anhand der Bewertungsdaten begründbar sind.

3.4 Beispielhafte Durchführung der Sollbewertung für die Funktion Winderosionsgefährdung



Bild 5. 8 - Winderosionsgefährdung – Bewertung des Ist-Zustandes

Im Rahmen von MULBO folgt nach der Optimierung eine Sollbewertung. Für die Funktion Winderosionsgefährdung wird diese im Untersuchungsgebiet Barnstädt durchgeführt, um zu zeigen, ob und welche Verbesserungen real erreicht werden. Ausgangspunkt ist die aktuelle Nutzung nach Daten von 1997, welche zunächst flächenhaft bewertet wurde (GRABAUM, MEYER & MÜHLE 1999). Die Ausgangsbewertung der Winderosionsgefährdung ist in Bild 5. 8 dargestellt. Zirka 55 % der Gesamtfläche sind potentiell winderosionsgefährdet.



Bild 5. 9 - Winderosionsbewertung unter Berücksichtigung der durch Optimierung lokalisierten Linienstrukturen für Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter"

ca. 49,5 % (bei Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter"). Ein Vergleich für Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter" ist in Tabelle 5. 4 dargestellt. Bild 5. 9 zeigt die Bewertung der unterschiedlichen Datensätze.

Ersichtlich wird, dass die neu hinzugekommenen Puffer zum größten Teil in potentiell winderosionsgefährdeten Flächen liegen und damit eine Verbesserung erreicht wird. Ein kleiner Flächenanteil der Puffer liegt jedoch innerhalb winderosionsgeschützter Bereiche (ca. 62 ha bei Datensatz "Ausgangskantenlänge 200 Meter" und ca. 57 ha bei Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter"). Dass es derartige Überlappungen gibt, hat zwei Ursachen:

Tab. 5. 4 - Winderosionsbewertung im Untersuchungsraum Barnstädt - Vergleich

Einstufung	Einheit	Aktuelle Nutzung	zusätzlich Datensatz 500 m
potentiell nicht gefährdet	[ha]	1918,65	2099,66
	[%]	45,25	49,52
potentiell gefährdet	[ha]	2322,62	2140,20
	[%]	54,75	50,48

- Bei der Bewertung wird nur untersucht, ob die potentielle Linie, nicht jedoch deren Puffer, innerhalb eines Puffers winderosionsgeschützter Flächen liegt. Es handelt sich hierbei um ein methodisches Problem der Bewertung.
- Die Optimierung sucht einen Ausgleich zwischen den Funktionen. Deshalb kann es vorkommen, dass auch Linien ausgewählt werden, die für die Winderosion keine Verbesserung bringen, jedoch für die anderen ausgewählten Funktionen eine grundlegende Verbesserung.

Es wurde die Annahme getroffen, dass die potentiellen linearen Strukturen eine durchschnittliche Höhe von 10 Meter aufweisen, was nach SMITH et. al. (1992) einer Puffergröße von 100 Metern (je Seite) entspricht. Die Pufferung erbrachte für den Datensatz "Ausgangskantenlänge 200 Meter" eine zusätzliche potentiell winderosionsgeschützte Fläche von 297,6 ha und für den Datensatz "Ausgangskantenlänge 500 Meter" eine zusätzliche potentiell winderosionsgeschützte Fläche von 245,1 ha. Nach erfolgter Pufferung der in der Optimierung lokalisierten linearen Strukturen ergab sich bei der Bewertung eine Verringerung der potentiell gefährdeten Flächen von 55% auf ca. 49,4 % (bei Datensatz "Ausgangskantenlänge 200 Meter") bzw. auf

Die Sollbewertung zeigt, dass eine funktionale Verbesserung erreicht wird. Diese hängt von der Länge und Lage der neu zu lokalisierenden Linien ab. Analoge Verbesserungen sind für die Ziele Wassererosionsminderung und Verbesserung der Habitategnung für die Grauummer zu verzeichnen.

4 Zusammenfassende Einschätzung und Ausblick

Die Anwendung des multikriteriellen Optimierungsverfahrens auf Linienstrukturen kann mit dem vorgestellten Ansatz realisiert werden. Ein Schwerpunkt ist die Generierung eines potentiellen Liniennetzes. Hiefür wurde ein GIS-Tool entwickelt, welches nach einem geometrischen Konzept (Liniennrose) ein potentielles Liniennetz erzeugt. Es ist noch zu untersuchen, ob die mit der Software erreichten Ergebnisse ausreichend sind oder ob Veränderungen notwendig sind. Diese können einerseits in Verbesserungen des bestehenden Algorithmus bzw. andererseits in der Anwendung eines neuen Generierungsalgorithmus bestehen. Ein zukünftiger Aufgabenschwerpunkt wird in der Verbesserung der Methoden zur Generierung des potentiellen Liniennetzes gesehen.

Ein weiterer Teil der Methodik ist die Bewertung der einzelnen Segmente des potentiellen Liniennetzes. Hier wurde Wert auf praktikable Analyse- und Bewertungsansätze gelegt. Für die untersuchten Funktionen Winderosionsschutz, Wassererosionsschutz und Eignung als Brutrevier für die Grauummer konnten geeignete und leicht im GIS realisierbare Methoden gefunden werden, die auf den vorhandenen Flächenbewertungen aufbauen. Ein Schwerpunkt zukünftiger Forschungen sollte auf der Entwicklung weiterer Analyse- und Bewertungsverfahren für Landschaftsfunktionen, die durch Linienstrukturen beeinflusst werden, liegen.

Die anschließende Optimierung der Linienstrukturen hinsichtlich der ausgewählten Landschaftsfunktionen lässt sich ohne Probleme mit der Software LNOPT 2.0 durchführen. Die Anzahl der Linien kann dabei über die einstellbare Länge im GIS-Tool gesteuert werden. Als notwendige Restriktion wird lediglich die Obergrenze der zu planenden Länge der linearen Strukturen benötigt.

In der Summe erweist sich der Ansatz als praktikabel, wie das präsentierte Beispiel zeigte, auch wenn noch nicht alle planerischen Anforderungen an Linienelemente in der Landschaft berücksichtigt werden können. Im Untersuchungsraum Barnstädt wurden Lösungsvorschläge generiert, die eine Verbesserung der betrachteten Landschaftsfunktionen im Sinne eines Kompromisses darstellen. Die Ergebnisse müssen analog wie bei den Flächendaten nochmals planerisch überarbeitet werden, wobei es hier im wesentlichen um Verkürzung bzw. Verlängerung einzelner Linien geht. Damit wurde gezeigt, dass das Verfahren in MULBO (MEYER & GRABAUM 2003) integriert werden kann.

Literatur:

BASTIAN, O. & K.-F. SCHREIBER (Hrsg.): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. GUSTAV FISCHER, Jena, Stuttgart, 1994.

GRABAUM, R. & B.C. MEYER: Multicriteria Optimization of Landscapes Using GIS-based Functional Assessments. In: Landscape and Urban Planning, 43, 21-34, 1998.

GRABAUM, R., MEYER, B. C. & H. MÜHLE: Landschaftsbewertung und -optimierung. Ein integratives Konzept zur Landschaftsentwicklung. In: UFZ-Bericht 32/1999, Leipzig, 109 S., 1999.

GRABAUM, R. & T. KILDAL: Entwicklung einer Softwarelösung für eine neue Methode der Landschaftsoptimierung in Verbindung mit dem Verbundprojekt 4.1 am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH: „Bedeu-

tung von Landschaftsstrukturen und Landnutzung für das Überleben von Tier- und Pflanzenarten' - Abschlussbericht. OLANIS Expertensysteme GmbH, Leipzig, 2004.

GRUEHN, D. & H. KENNEWEG: Leitbilder und Mehrzieloptimierung in der örtlichen Landschaftsplanung. In: BfN-Skripten 71, Bundesamt f. Naturschutz, Bonn, 2002.

MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H. & J.-J. KLINK (Hrsg.): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 229, Trier, 1992.

MEYER, B. C. & R. GRABAUM: Multikriterielle Landschaftsoptimierung - reif für die Praxis? In: BASTIAN, O., GRUNEWALD, K., SCHANZE, J., SYRBE, R.-U. & U. WALZ (Hrsg.): Bewertung und Entwicklung der Landschaft. Ergebnisse der Jahrestagung IALE-Deutschland 2002 in Dresden. IÖR-Schriften, 40, S. 105-118, 2003.

MEYER, B. C., MAMMEN, K. & R. GRABAUM: A spatially explicit model for integrating species assessments into landscape planning as exemplified by the Corn bunting (*Miliaria calandra*). In: *Biodiversity and Conservation*, 28 S., 2006 (in print).

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ: Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart, 1987.

SMITH, J.A., LYON, D.J., DICKEY, E.C. & P. RICKEY: Emergency wind erosion control. University of Nebraska Neb-Guide Publication, G75-282-A, 1992.

Neue Entwicklungen in der zellulären Simulation der Flächennutzungsdynamik

Nguyen Xuan Thinh, Dresden

Zusammenfassung: Zelluläre Simulation der Flächennutzungsdynamik ist ein Musterbeispiel für die Anwendung der zellulären Automaten in den Umwelt- und Geowissenschaften. Auch in der quantitativen Geographie hat sich die zelluläre Simulation als Methode fest etabliert. Aufgrund der Fortschritte in der Geoinformatik, insbesondere in der Fernerkundung und den Geoinformationssystemen (GIS) und Computertechnik sowie des hohen Ausmaßes der Flächennutzungsänderungen im regionalen, nationalen und internationalen Maßstab war in den letzten zwei Jahrzehnten eine breite und rasante Entwicklung bezüglich der zellulären Simulation der Flächennutzungsdynamik zu verzeichnen. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über dieses Forschungsfeld, analysiert die neuen Trends der methodischen Entwicklung und berichtet über die zelluläre Simulation der Flächennutzungsdynamik am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR), Dresden.

1 Einführung

Modellierung und Simulation der Flächennutzungsdynamik ist ein wichtiger Bestandteil der Stadtsimulation, welche auf eine traditionsreiche Geschichte zurückblicken kann. Es gibt eine große Anzahl von Simulationsmodellen auf diesem Gebiet. Die Modelle unterscheiden sich durch:

- den verwendeten Ansatz zur Modellbeschreibung (Systemdynamik, Differenzial-, Differenzengleichung, Mastergleichung, individuenorientierter Ansatz – Mikrosimulation, zelluläre Automaten, neuronale Netze, Petri-Netze, Multiagenten-Ansatz und weitere Ansätze, die aus einer Kombination genannter Ansätze entstanden sind),
- den zugrunde liegenden Ansatz der jeweiligen Basisdisziplin (Stadtgeographie, -ökonomie, Stadtökologie, -soziologie, Städtebau u. a.),
- den eingesetzten theoretischen Ansatz zur Abbildung der Stadt als ein selbstorganisiertes komplexes System (Störungstheorie, Fraktalgeometrie, Katastrophentheorie, Synergetik usw.) und
- die räumliche und zeitliche Auflösung (Simulation mit oder ohne räumliche Auflösung, zeitdiskrete oder stetige Simulation).

WEGENER (1994) gab eine umfassende Übersicht über komplexe Stadtsimulationsmodelle, die erstens wesentliche Stadtentwicklungsprozesse abbilden und integrieren sowie mindestens zwei wichtige

Teilmodelle Flächennutzung und Verkehr enthalten und zweitens operationalisiert sind (d. h. implementiert, kalibriert und an einer Metropole getestet sind, vgl. z. B. WADDEL 2002).

Der vorliegende Aufsatz erhebt nicht den Anspruch, einen umfangreichen Überblick über Stadtsimulationsmodelle zu geben. Vielmehr soll sich die Behandlung auf die neueste Entwicklung auf dem Gebiet „Zelluläre Simulation der Flächennutzungsdynamik“ konzentrieren, weil dieses Gebiet aufgrund des hohen Ausmaßes der Flächennutzungsänderungen im regionalen, nationalen und internationalen Maßstab und entscheidender Vorteile des zellulären Ansatzes zur Modellierung der Siedlungsdynamik (relativ einfache Realisierung der Raumbezogenheit, die Verbindung zur Komplexitäts- und Selbstorganisationstheorie, einfache Handhabbarkeit bei der Visualisierung von Ergebnissen und der Einklang mit den GIS) bedeutende Aktualität gewinnt. Deshalb ist es fruchtbar, die aktuellen methodischen Trends kritisch zu analysieren und daraus Fragestellungen für Forschungen abzuleiten. Die Thematik „Zelluläre Automaten“ ist seit vielen Jahren ein gewichtiger Schwerpunkt sowohl bei den deutschsprachigen als auch bei den europäischen Kolloquien „on Theoretical and Quantitative Geography“. Aus geographischer Sicht ist es interessant, zunächst Beziehungen zwischen Systemtheorie, zellularen bzw. zellulären Systemen und zelluläre Automaten zu skizzieren und bestimmte Aspekte für weitere Betrachtungen hervorzuheben.

Nach WUNSCH (1990) und AURADA (2003) liegen dem Ideengebäude der Systemtheorie zwei von W. R. ASHBY im Jahr 1958 dezidierte fundamentale Kategorien zugrunde, nämlich der Wandel als Veränderung in Raum und Zeit und die Wechselwirkung benachbarter Veränderungen (siehe Bild 6. 1).

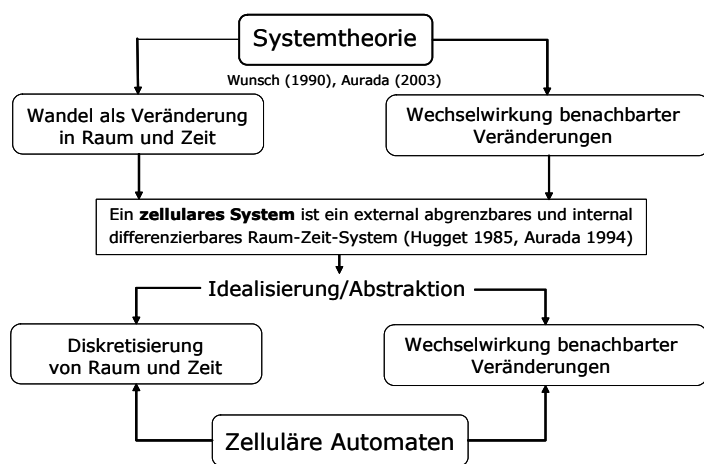


Bild 6. 1: Beziehungen zwischen Systemtheorie, zellularen Systemen und zellulären Automaten

Diese Kategorien treffen auch für die Begriffe Landschaft, Erdoberflächensysteme, Geosysteme und den umfassenderen Begriff „zelluläres System“ zu. Nach HUGGET (1985) und AURADA (1994) ist ein zelluläres System ein external abgrenzbares und internal differenzierbares System. Gemäß AURADA (2003) kann man den Begriff „differenzierbares System“ durch komplementär co-evolvierendes und co-respondierendes Raum-Zeit-System ersetzen, z. B. ein Untersuchungsgebiet mit Siedlung und Freiraum ist ein co-evolvierendes und co-respondierendes System oder das Phänomen Wachstum und Schrumpfung kann auch mit diesem Prinzip erklärt werden.

Um ein zelluläres System für Untersuchungszwecke handhabbar zu machen, muss man eine Idealisierung und / oder eine Abstraktion vornehmen. Dazu sind Raum und Zeit zu diskretisieren. Zelluläre Automaten sind mathematische Idealisierungen von Systemen, in denen Raum und Zeit diskret abgebildet werden. Die Wechselwirkung benachbarter Veränderungen ist ebenfalls eine fundamentale Charakteristik der zellulären Automaten (Bild 6. 1) und in der letzten Zeit stärker in den Fokus der Modellierer in Geographie/Raumplanung gerückt. Schlagworte wie z. B: Nachbarschaftsraum, nach-

haltige Nachbarschaften oder Nachbarschaftsanalyse sind häufig in den Titeln von Veröffentlichungen zu finden. Der Aspekt der Wechselwirkung benachbarter Veränderungen soll deshalb näher betrachtet werden. Zelluläre Automaten stellen einen Formalismus bereit, um die Beeinflussung eines Individuums durch seine Nachbarn abzubilden. Zahlreiche reale Phänomene wie z. B. Stadt-Umland-Wanderung (Ziehe auch in das Umland um, wenn dies viele deiner Nachbarn tun) oder die Ausbreitung bestimmter Einstellungen oder Produkte über lokale Interaktionen im Allgemeinen (Kaufe ein Produkt X nicht, so lange die Mehrheit deiner Nachbarn dies nicht tut) lassen sich gut mittels zellulärer Automaten modellieren. Kapitel 2 diskutiert die neuen Trends in der zellulären Simulation der Flächennutzungsdynamik, zu denen die Nachbarschaftsanalyse gehört. Im Kapitel 3 wird eine tiefergehende Nachbarschaftsanalyse für historische Flächennutzungsänderungen beschrieben.

2 Neue Trends in der zellulären Simulation der Siedlungsdynamik

Analysiert man die internationalen Veröffentlichungen über die zelluläre Simulation der Flächennutzungsdynamik, sind einige neue Trends deutlich zu erkennen. Die neuen Entwicklungen können in drei Kategorien klassifiziert werden:

- Mehrinteraktivität, kooperative Kopplung und solidere Datenbasis durch neue Entwicklungen in Geoinformatik, Photogrammetrie/Fernerkundung und Computertechnik
- Inhaltliche Neuorientierung in der Simulation von Stadtregionen (Reorganisation von Raumstrukturen zur Erhöhung der Sozialverträglichkeit, ökonomischen und ökologischen Effizienz; Vorauswertung langfristiger Auswirkungen von Flächennutzungsplänen in Form ökologischer Indikatoren)
- Neue methodische Entwicklungen (Entwicklung realistischer Übergangsregeln, die den Gesetzen realer Flächennutzungsänderungen gehorchen; gemeinsame Modellentwicklung mit Planern)

Die erste Kategorie betrifft technische Voraussetzungen und digitale Datenverfügbarkeit. Die zunehmende Verfügbarkeit von digitalen Flächennutzungsdaten und leistungsfähigen GIS ebnet den Modellierern der Flächennutzungsänderungen neue Möglichkeiten zur räumlichen Analyse, um den Hintergrund der Flächennutzungsdynamik tiefergehend zu erkunden. Dadurch können heutige zelluläre Automatenmodelle in diesem Gebiet auf wesentlich solidere Datenbasis aufgebaut werden als vor 15, 10 oder sogar 5 Jahren. Durch kooperative Kopplung von Softwaresystemen, Verwendung neuer Visualisierungsmethoden kann die Interaktivität von Simulationen wesentlich gesteigert werden (vgl. MANDL 2000). Interaktivität ist entscheidend für die Durchführung von Was-wäre-wenn-Optionen. Hier sind Interaktivität und Visualisierung mehr als die einfache graphische Ausgabe von Raummustern, die durch Simulationen erzeugt wurden. Es umfasst auch die Trend-Analyse und Aggregation von Daten.

Eine inhaltliche Neuorientierung in der Simulation der Flächennutzungsdynamik von Stadtregionen ist ebenfalls deutlich erkennbar. Bisher versuchten zahlreiche Modellierer, das Wachstum von Städten zu verfolgen und vorherzusagen. Aus heutiger Sicht gilt es jedoch, das Siedlungsflächenwachstum zu begrenzen (vgl. MÜLLER 2003 und SIEDENTOPF & KAUSCH 2004). In der internationalen Forschungslandschaft besteht Konsens darüber, dass eine Neuorientierung in der Simulation der Flächennutzungsdynamik der Stadtregionen zwingend erforderlich ist (siehe WEGENER 1998). Danach sollen

Simulationsmodelle, insbesondere zelluläre Simulationsmodelle Informationsgrundlagen für die räumliche Reorganisation von Stadtregionen in Richtung auf eine größere Sozial- und Umweltverträglichkeit liefern. Des Weiteren müssen diese Modelle Antworten auf aktuelle Fragen der Stadtentwicklung geben können und die langfristigen Auswirkungen von Maßnahmen der Flächennutzung vorausschätzen, sowohl in Form ökologischer Indikatoren wie Flächenverbrauch, Energieverbrauch, Luftverschmutzung und Lärmbelastung als auch in Form von Verkehrsindikatoren wie Reisezeit, Wegelänge oder Erreichbarkeit sowie in Form ökonomischer Kenngrößen v. a. Kosten und Folgekosten für Privathaushalte, Unternehmen und die öffentliche Hand.

In diesem Kontext steht auf der Tagesordnung die empirische Überprüfung von Leitbildern der Stadt- und Regionalentwicklung hinsichtlich der Erhöhung der Sozialverträglichkeit, ökonomischen und ökologischen Effizienz, z. B. die empirische Überprüfung des Leitbildes der kompakten Stadt. Des Weiteren soll die Modellierung der Flächennutzungsdynamik mit Stoffstrommodellen gekoppelt werden. Zelluläre Automaten haben große Vorteile bei der Formalisierung und Anknüpfung an die Stoffflussanalyse (BACCINI & BADER 1996, REDLE & BACCINI 1998, KOHLER, HASSLER & PASCHEN 1999, HOLTMANN et al. 2005). Durch Kombination mit der zellulären Modellierung erhält die Stoffflussanalyse die räumliche Dimension als Erweiterung. Deshalb ist die zelluläre Simulation von Stoffströmen ein Feld, welches die Forscher stärker beackern sollen. Einen Beitrag dazu soll das Leibniz-Institut IÖR im Rahmen des Projektes „Multiskale und multidimensionale Charakterisierung der Ökoeffizienz von Siedlungsstrukturen“ leisten. Ein weiteres aktuelles Thema ist das Phänomen Schrumpfung, welches mit der Simulation analysiert werden soll.

Die dritte Kategorie der neuen Trends betrifft die methodischen Entwicklungen. Die methodischen Anstrengungen zielen darauf ab, Übergangsregeln zu begründen und aufzustellen, die den Gesetzen realer Flächennutzungsänderungen gehorchen. Die Modellierer haben ihren Blickpunkt stärker darauf fokussiert und verschiedene Modellierungsansätze miteinander kombiniert, um realistische Übergangsregeln für zelluläre Automaten zu entwickeln. BENENSON & TORRENS (2004) sprechen von einer evolutionären Phase der Stadtsimulation in den letzten zwei Jahrzehnten (1984-2003) und behaupten, dass eine neue Generation von Stadtsimulationsmodellen (new wave of urban models) auf der Basis von zellulären Automaten und Multiagentensystemen in den letzten Jahren besonders im Mittelpunkt der Forschung und Anwendung steht. Dies lässt sich durch eine Literaturstudie bestätigen (vgl. THINH 2005, S. 153-157). Es wurde stärker mit potenziellen Endanwendern der Modelle (Planer) gemeinsam gearbeitet und die Modelle entwickelt. Es ist ein fundamentaler Unterschied, ob ein Modell für Endanwender oder mit Endanwendern entwickelt wird. Konkreter können neue methodische Entwicklungen wie folgt spezifiziert werden:

- Integration des Multiagentenansatzes in die zelluläre Modellierung (z. B. SANDERS et al. 1997, BATTY & JIANG 1999, MANDL 2000, TORRENS 2001, PARKER et al. 2003, SEMBOLONI et al. 2004),
- Integration der Fuzzy-Theorie in die zelluläre Modellierung (z. B. LIU & PHINN 2003),
- Integration multikriterieller Bewertungen in die zelluläre Modellierung (z. B. WU & WEBSTER 1998, THINH 2005, THINH & VOGEL 2005),
- Ableitung von Übergangsregeln durch Nachbarschaftsanalyse und Anwendung von multinomialer logistischer Regression (z. B. LANDIS 2001, VERBURG ET AL. 2004, THINH & VOGEL 2005),
- Verwendung asymmetrischer Gitternetze (z. B. SONNENSCHNEIN & VOGEL 2001)

Im Gegensatz zu zellulären Automaten können beim Multiagentenansatz auch Interaktionen zwischen Zellen stattfinden, die nicht räumlich benachbart sind, z. B. durch bestimmte funktionale Zusammenhänge zueinander in Beziehung stehen (etwa durch stoffliche, energetische und informationelle Ströme oder Zugehörigkeit zu bestimmten Typen). Dadurch können komplexe sozioökonomische Prozesse wie Handel, Bildung sozialer Netzwerke, Ausbreitung von Einstellungen, Entstehung verschiedener Kulturen und deren gegenseitige Beeinflussungen nachgebildet werden.

Weitere Herausforderungen für die methodische Entwicklung sind asynchrone statt synchrone Aktualisierung von Zellzuständen (O'SULLIVAN & TORRENS 2001) und die Integration raumwissenschaftlicher Theorien in den zellulären Automaten. Die von KRUGMAN begründete Theorie „New Economic Geography“ (vgl. KRUGMAN 1997; FUJITA, KRUGMAN & VENABLES 2001) scheint für diesen Zweck fruchtbar und erfolgversprechend zu sein. Vielen in der Literatur bekannten Anwendungen der zellulären Automaten in der Simulation der Flächennutzungsdynamik fehlt eine theoretische Fundierung, insbesondere in Bezug zur Ökonomie.

Die Verwendung multinomialer logistischer Regression (multinomial logistic regression, auch polytomous logistic regression, siehe KLEINBAUM & KLEIN 2002, S. 270-299) zur Ableitung von Übergangsregeln gehört zu den neuen methodischen Entwicklungen. Diese Regressionsmethode ist nicht mit der gewöhnlichen Regressionsmethode zu verwechseln, bei der die logistische Funktion als Modellgleichung zur Kurvenanpassung an eine Punktmenge benutzt wird. Allgemein betrachtet bietet sie eine elegante Möglichkeit, den nichtlinearen Einfluss mehrerer (quantitativer oder qualitativer) unabhängiger Variablen auf eine multikategoriale Zielgröße zu untersuchen. Daher ist sie geeignet, den Einfluss von Merkmalen auf die Umwandlung von Freiflächen in Siedlungsflächen zu begründen. Im Folgenden soll die theoretische Fundierung der multinomialen logistischen Regression beschrieben werden.

Die Umwandlung von Freiflächen in Siedlungsflächen wird als ein Ereignis modelliert. Für eine beliebige Zelle bezeichnen $P(y = 1)$ und $P(y = 0)$ die Wahrscheinlichkeiten, dass in der Zelle eine derartige Umwandlung erfolgt bzw. nicht erfolgt. Die logistische Regression analysiert, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Umwandlung von Freiflächen in Siedlungsflächen bei einer beliebigen Zelle von n Einflussgrößen x_i ($i=1(1)n$) zu erwarten ist. Dafür verwendet man die logistische Regression

$$P(y=1) = \frac{1}{1 + \exp[-(b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n)]} \quad (1)$$

Da $P(y = 0) = 1 - P(y = 1)$ ist, gilt

$$P(y=0) = 1 - \frac{1}{1 + \exp[-(b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n)]} \quad (2)$$

Mit der Formel (1) bzw. (2) wird unterstellt, dass eine nicht empirisch beobachtete latente Variable z mit

$$z = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n \quad (3)$$

existiert, die die binäre Ausprägung der abhängigen Variable y in Abhängigkeit der Ausprägungen der unabhängigen Variablen x_i ($i=1(1)n$) erzeugen kann. Die z -Werte werden auch Logits genannt.

Um eine Interpretationserleichterung zu erreichen, betrachtet man nicht die Eintrittswahrscheinlichkeit $P(y = 1)$ selbst, sondern das Verhältnis $P(y = 1)/P(y = 0)$. Dieses Wahrscheinlichkeitsverhältnis

spiegelt die Chance (Odd) wider, das Ereignis $y = 1$ (Umwandlung) im Vergleich zum Ereignis $y = 0$ (keine Umwandlung) zu erhalten. Durch elementare Umformung ergibt sich für die Odds die Gleichung

$$\text{Odds}(y=1) = \frac{P(y=1)}{P(y=0)} = e^z \quad (4)$$

Das bedeutet $\ln(\text{Odds}(y = 1)) = z$ bzw. $\text{Logit} = z = \ln(\text{Odds}(y = 1))$.

Die Modellparameter (Logit-Koeffizienten) b_i ($i=0(1)n$) werden mithilfe der Maximum-Likelihood-Methode so geschätzt, dass die Wahrscheinlichkeit (Likelihood), die beobachteten empirischen Daten zu erhalten, maximiert wird. Für jede Zelle ergibt sich entweder die Beobachtung $y = 1$ oder $y = 0$. Das heißt, die Parameterschätzung sollte für die jeweils betrachtete Zelle entweder die Wahrscheinlichkeit $P(y = 1)$ oder $P(y = 0)$ erbringen. Für N Zellen bedeutet, dass die folgende Optimierungsaufgabe

$$L = \prod_{k=1}^N \left(\frac{1}{1 + \exp(-z_k)} \right)^{y_k} \left(\frac{1}{1 - \exp(-z_k)} \right)^{1-y_k} \rightarrow \max! \quad (5)$$

gelöst werden soll mit $y_k = 0$ oder $y_k = 1$ und $z_k = b_0 + b_1x_{1k} + \dots + b_nx_{nk}$. Wegen entscheidender Rechenvorteile wird an der Stelle der Likelihood-Funktion L der Logarithmus $\ln(L)$ maximiert, und zwar in der Regel mithilfe des Newton-Raphson-Algorithmus (vgl. BACKHAUS et al. 2003).

Zur Beurteilung der Modellgüte eines logistischen Ansatzes sollen die folgenden zwei Arten von Gütekriterien bevorzugt verwendet werden:

- Likelihood Ratio Test: Je höher der Chi-Quadrat-Wert bei Signifikanzniveau kleiner als 5 % ist, desto besser ist die Güte der Anpassung.
- Nagelkerke-R²-Wert beschreibt den Anteil der Varianzerklärung der abhängigen Variablen durch die unabhängigen Variablen. Nagelkerke-R²-Werte sind akzeptabel ab Werte größer als 0,2, gut ab 0,4 und sehr gut ab 0,5.

3 Zelluläre Simulation der Flächennutzungsdynamik am IÖR

Vor dem oben beschriebenen geschichtlichen und technischen Hintergrund hat THINH (2002-2003, 2005) ein Konzept zur zellulären Simulation städtischer Flächennutzungsdynamik erarbeitet. Das Konzept beruht auf

- einer tiefgehenden rasterbasierten Nachbarschaftsanalyse für die historischen Flächennutzungsdaten, um Regelmäßigkeiten des Mechanismus der Umwidmung von Freifläche in eine Siedlungsfläche herauszuarbeiten (Hierbei werden die analytischen Funktionalitäten von GIS verstärkt genutzt.),
- der Verwendung von stetigen und multivariaten Zuständen sowie Mehrebenen für den zellulären Automaten und
- der Integration einer Kompaktheitsmessung und der Kompromiss-Optimierung in das Modell, was methodisch neu ist.

Das nach diesem Konzept entwickelte zelluläre Systemmodell wurde von VOGEL (2005) im Rahmen einer vom Autor betreuten Diplomarbeit erfolgreich umgesetzt und in ArcGIS implementiert. Als

Untersuchungsgebiet wurde das kreisförmige Gebiet mit dem Mittelpunkt im Stadtzentrum Dresdens und einem Radius von 20 km ausgewählt, weil für dieses Gebiet digitale Flächennutzungsdaten zu den 8 Zeitpunkten 1780, 1880, 1900, 1940, 1953, 1968, 1986 und 1998 – ein umfangreicher Datenfundus – auf der Basis von Satelliten- und Luftbilddaten sowie historischem Kartenmaterial und CORINE-Daten im Rahmen des IÖR-Forschungsprojektes „Langzeituntersuchung von Flächennutzungsänderungen und ihrer Auswirkungen auf das Schutzgut Boden und die Landschaftsstruktur“ gewonnen werden konnten (MEINEL et al. 1999, WINKLER 2001, WITSCHAS 2002, MEINEL & NEUMANN 2003).

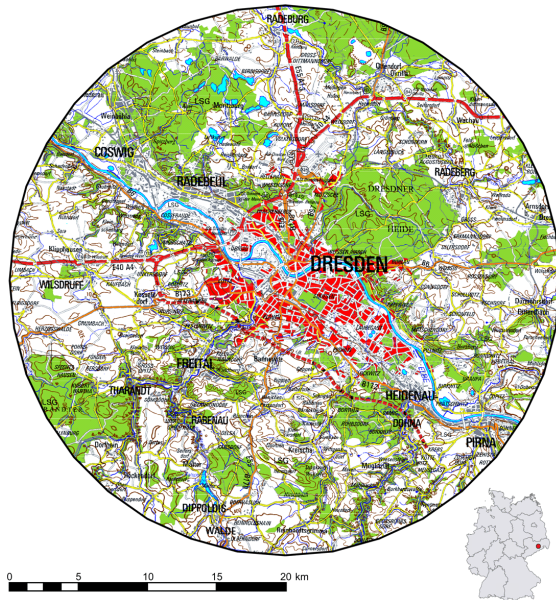


Bild 6. 2: Die Stadtregion Dresden
(Gen.-Nr.: LVA Sachsen 173/05)

Für jeden der sieben Zeiträume wurde ein Differenzdatensatz erstellt, der den Analysen zugrunde liegt.

Durch die Pufferanalyse, Kurvenanpassung und nichtlineare Regressionsanalyse konnten nützliche Zusammenhänge zwischen Flächennutzungsänderungen und Entfernung zu bestehenden Siedlungsflächen, zu den Hauptstraßen sowie zu Bahnhöfen abgeleitet werden. Anhand des Bestimmtheitsmaßes wurde entschieden, welche der üblichen Funktionen (z. B. inverse, logarithmische, quadratische oder kubische Funktion) zur Kurvenanpassung eingesetzt werden soll. Insbesondere haben die inversen Regressionsmodelle für die Flächennutzungsänderungen in Abhängigkeit der Distanz zu bestehenden Siedlungsflächen größtenteils hohes Bestimmtheitsmaß (bis auf wenige Ausnahmen größer als 0,8, siehe VOGEL 2005). Die Analyse der Pufferzonen um bestehende Siedlungsflächen zeigt, dass sich die Entwicklung neuer Siedlungsflächen vorwiegend auf die Zone 250 (0 m bis 250 m) konzentriert. Im Falle der Pufferzonenanalysen um Hauptstraßen oder Bahnhöfe lassen sich keine Regelmäßigkeiten bei den Umwandlungen einzelner Nutzungsarten in Siedlungsflächen ableiten. Aus diesem Grunde wurde bei diesen Fällen die Kurvenanpassung nicht getrennt, sondern zusammengefasst für die Umwandlung von Freiräumen in Siedlungsflächen durchgeführt. Dabei hat sich das kubische Modell als beste Approximation erwiesen (THINH & VOGEL 2005, VOGEL 2005). Die ermittelten Modellfunktionen werden in Simulationen zur Quantifizierung der Größen umzuwandelnder Flächen eingesetzt.

Acht unterschiedliche Flächennutzungsarten werden betrachtet: (1) Siedlungsflächen, (2) Ackerflächen, (3) Dauerkulturen, (4) Grasland, (5) Wald, (6) Strauch- und Krautvegetation, (7) Feuchtflächen und (8) Binnengewässer.

Zur Nachbarschaftsanalyse werden zwei unterschiedliche Analyseansätze verfolgt. Die Pufferzonenanalyse soll Aufschluss über die Verteilung neuer Siedlungsflächen im gesamten Untersuchungsgebiet geben, während die Analyse für MOORE-Nachbarschaften zellbezogene Nachbarschaftscharakteristiken aufzeigen soll. Das Ziel der Pufferzonen- und Nachbarschaftsanalysen besteht in der Identifikation von Umwandlungen der sieben Freiflächennutzungen in Siedlungsflächen, die jeweils zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten der oben genannten Jahre stattfanden.

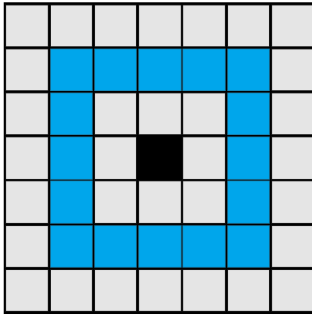


Bild 6.3: Umringnachbarschaft zweiter Ordnung

Beim Zerlegen des Untersuchungsgebietes in Rasterzellen von der Größe 250 m x 250 m ergeben sich 19 717 Zellen. Um Muster bei der Umwandlung von Freiräumen in Siedlungsflächen auf der Basis der Ergebnisse der Nachbarschaftsanalyse herauszuarbeiten, wurde zunächst versucht, mithilfe der multiplen Regressionsanalyse funktionale Zusammenhänge zwischen der Änderung des Anteiles von Siedlungsflächen in einer Zelle und dem Zustand von Siedlungsflächen sowie den sieben Freiflächennutzungsarten sowohl in der Zelle selbst als auch in ihren Umringnachbarschaften 1. bis 4. Ordnung (vgl. Bild 6. 3) zu ermitteln. Die multiple Regressionsanalyse erfolgt mit verschiedenen Variablenkonstellationen. Beispielsweise werden alle Variablen in die

Berechnung einbezogen oder es fließen lediglich Variable, welche die Charakteristik der Verteilung bestehender Siedlungsflächen beinhalten, als unabhängige Variable ein. Das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsanalysen weist bei allen Berechnungen einen Wert unter 0,3 aus, was aufgrund der hohen Fallzahl (19 717) zu vermuten war. Auch eine vorgeschaltete Faktorenanalyse sowie eine Umkodierung der abhängigen Variablen in binäre (0/1) bzw. trinäre (-1/0/1) Form und die Durchführung von binär logistischen bzw. multinomial logistischen Regressionen verhelfen nicht zum gewünschten Erfolg.

Deshalb wurde ein anderer Ansatz mit der Clusteranalyse herangezogen, und zwar mit der Clusterzentrenmethode aufgrund sehr hoher Zellenanzahl. In die Clusterzentrenanalyse wurden 13 Merkmalsvariable einbezogen. Sie charakterisieren die Nachbarschaft jeder Zelle. Alle Variablen sind binär kodiert. Wenn eine Variable den Wert 1 hat, so existieren in der betrachteten Zelle oder in der Umringnachbarschaft Siedlungsflächen oder es gab in einem bestimmten Zeitraum Zuwächse beim Anteil der Siedlungsflächen. Nehmen die Variablen den Wert 0 an, bedeutet dies entsprechend, dass in der Zelle keine Siedlungsflächen vorhanden sind bzw. dass keine oder negative Veränderungen ermittelt wurden. Die Clusteranzahl wurde mit 20 vorgegeben. Von 20 hat die Clusteranalyse 3 Cluster ausgewiesen, bei denen der Wert der Variable „Zunahme des Siedlungsflächenanteils“ größer als 0,69 ist, d. h. die Zellen dieser Cluster haben in der Regel eine Zunahme des Siedlungsflächenanteils vorzuweisen; bei 83,2 % von den 1 430 diesen drei Clustern zugehörenden Zellen wurde tatsächlich eine Siedlungsflächenzunahme festgestellt (VOGEL 2005).

Zur Simulation wurde die Euklidische Distanz zwischen der Nachbarschaftscharakteristik jeder Zelle und den Clusterzentren jedes der 20 Cluster ermittelt. Danach ist die Zelle demjenigen Cluster zuzuordnen, zu dem sie die minimale Distanz aufweist. Alle Zellen, die den drei genannten Clustern zugewiesen sind, werden für eine zukünftige Siedlungsentwicklung vorgesehen.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse, der Kompromiss-Optimierung, der Kompaktheitsmessung und der nichtlinearen Regressionsanalyse (für die Pufferzonenanalyse) bilden Grundlagen zur Entscheidung in jedem Simulationsschritt, wo (in welcher Zelle) und wie viel der Freiflächen in Siedlungsflächen umgewandelt werden sollen.

Anhand der historischen Flächennutzungsdaten von 1968 bis 1986 bzw. von 1986 bis 1998 wurde das zelluläre Automatenmodell kalibriert. Die Kalibrierung dient der Ermittlung von Parametersätzen, die zu möglichst geringen Abweichungen zwischen Simulationsergebnissen von Modellen und realen

Daten führen. Sensitivitätsanalysen wurden mithilfe von acht Merkmalen und der mittleren relativen Abweichung der acht Merkmale durchgeführt (siehe VOGEL 2005).

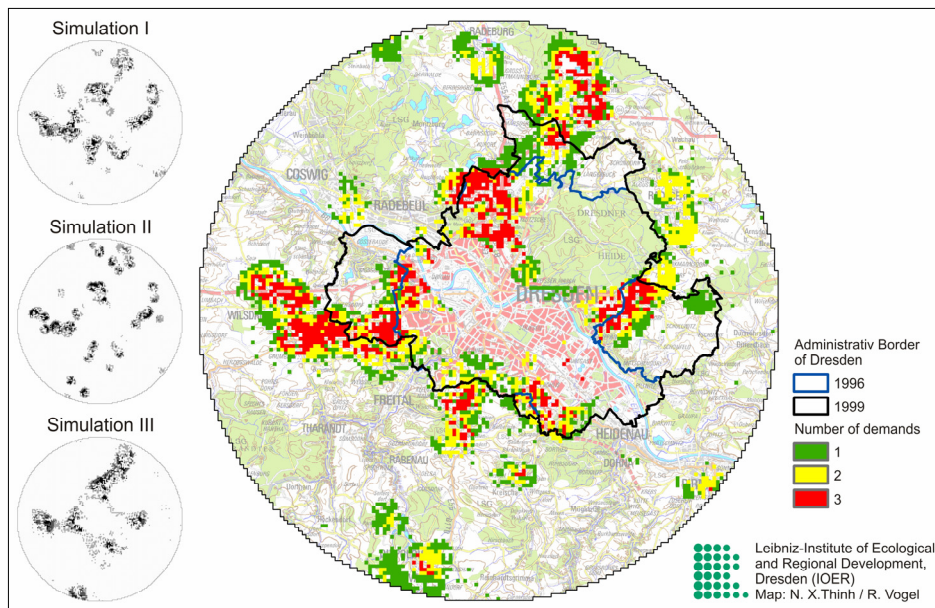


Bild 6. 4: Die Stadtregion Dresden: Drei Simulationen der Siedlungsentwicklung 1998-2018

Bild 6. 4 zeigt drei unterschiedliche Szenarios der Siedlungsentwicklung im Untersuchungsgebiet von 1998 bis 2018 (Simulation I Status-Quo-Entwicklung, Simulation II disperse Entwicklung, Simulation III kompakte Entwicklung). VOGEL (2005) stellte fest, dass der Kompaktheitsfaktor sensitiv auf die Simulationsergebnisse wirkt, und untersuchte Auswirkungen auf die zwei Indikatoren „Verbrauch wertvoller Böden“ und „Erreichbarkeit des Stadtzentrums Dresden durch ÖPNV“. Insgesamt liefert das Modell plausible Ergebnisse.

4 Rückblick und Danksagung

Vom 23.-26.02.1994 fand das 10. deutschsprachige Kolloquium für Theorie und quantitative Methoden in der Geographie zum ersten Mal in einem neuen Bundesland statt. Wie das diesjährige 16. Kolloquium wurde das 10. Kolloquium von Herrn Prof. K. D. AURADA und seinem Lehrstuhl organisiert. Nachdem ich Herrn AURADA im Herbst 1994 um die Aufnahme in den Arbeitskreis gebeten hatte, schickte mir Herr AURADA sofort ein Exemplar des Tagungsbandes vom 10. Kolloquium zu. Da ich damals als Neuling (newcomer) von der Mathematik und Informatik in die Raumplanung bzw. Geographie kam, war dieser Tagungsband für mich die erste Lektüre über Systemtheorie und Modellbildung aus geographischer Sicht. Ein Jahr später hat mir Herr Prof. O. MARGRAF (Leipzig) freundlicherweise einige Kopien von Beiträgen zum 9th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography zur Verfügung gestellt, insbesondere Paper über Chaos und zelluläre Automaten. Auf Basis dieser Literatur konnte ich weitere Literaturquellen über das für mich damals völlig neue Gebiet „Systemtheorie/Modellbildung & Simulation in Geographie/Raumplanung“ erschließen und mich theoretisch mit Systemtheorie, Chaos und zelluläre Automaten in der Geographie befassen, wofür ich mich hier noch einmal sehr herzlich bei Herrn AURADA und Herrn MARGRAF bedanke.

Literatur

- AURADA, K. D.: Elementarisierung, Transformierung und Regionalisierung zellulärer Systeme geographischer Objekte (Beispiel: Ostseeraum). Greifswalder Geographische Arbeiten, Band 11, Beiträge des 10. Kolloquiums für Theorie und quantitative Methoden in der Geographie (Göhren auf Rügen, 23.-26.2.1994), S. 16-31, 1994.
- AURADA, K. D.: Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes System. *Erdkunde*, 57 (4), S. 309-330, 2003.
- BACCINI, P. & H. P. BADER: *Regionaler Stoffhaushalt*. Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W. & R. WEIBER: *Multivariate Analysemethoden*. Springer-Lehrbuch, 2003.
- BATTY, M. & B. JIANG: *Multi-Agent Simulation: New Approaches to Exploring Space-Time Dynamics within GIS*. Centre for Advanced Spatial Analysis, Working Paper Series, 10, 1999.
- BENENSON, I. & P. M. TORRENS: Geosimulation: object-based modeling of urban phenomena. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 28, pp 1-8, 2004.
- JUJITA, M.; KRUGMAN, P. & A. J. VENABLES: *The Spatial Economy*. The MIT Press, Cambridge, 2001.
- HOLTMANN, X.; BADER, H.-P.; SCHEIDEGGER, R. & R. WIELAND: SIMBOX-Fuzzy: ein Tool zur Bewertung von Stoffflüssen basierend auf unscharfem Wissen. In: WITTMANN, J. & THINH, N. X. (Hrsg.): *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften*, Shaker Verlag, S. 261-271, 2005.
- HUGGET, R. J.: *Earth Surface Systems*. Springer Verlag, Berlin, 1985.
- KLEINBAUM, D. G. & M. KLEIN: *Logistic Regression*. Springer-Verlag New York, 2002.
- KOHLER, N.; HASSLER, U. & H. PASCHEN: *Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen*, 1999.
- KRUGMAN, P.: *Development, Geography, and Economic Theory*. The MIT Press Cambridge, 1997.
- LANDIS, J. D.: A Family of Spatially Explicit Urban Growth and Land-Use Policy Simulation Models. In: BRAIL, R. K. & KLOSTERMAN, R. E. (Eds.): *Planning Support Systems*. ESRI Press Redlands, California, pp 157-200, 2001.
- LIU, Y. & S. R. PHINN: Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27, pp 637-658, 2003.
- MANDL, P.: Geo-Simulation - Experimentieren und Problemlösen mit GIS-Modellen. In: Strobel, J.; BLASCHKE, T. & GRIESEBNER G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Herbert Wichmann Verlag Heidelberg, S. 345-356, 2000.
- MEINEL, G.; COLDITZ, U.; GÖSSEL, J.; HEBER, B.; HENNERSDORF, J.; SCHUMACHER, U. & S. SIEDENTOP: *Monitoring Urban Dynamics (MURBANDY) - Change Dresden*. Final Report, IÖR Dresden, 1999.
- MEINEL, G. & K. NEUMANN: *Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 - Methodik und Ergebnisse eines Langzeitmonitorings*. PFG 5/2003, S. 409-422, 2003.
- MÜLLER, B.: *Regionalentwicklung unter Schrumpfungsbedingungen*. Herausforderung für die Raumplanung in Deutschland. *Raumforschung und Raumordnung* 61 (2003) 1/2, S. 28-42, 2003.
- O'SULLIVAN, D. & P. M. TORRENS: Cellular Models of Urban Systems. In: BANDINI, S. & WORSCH, T. (Eds.): *Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata*. Springer Verlag, pp 108-116, 2001.
- PARKER, D. C.; MANSON, S. M.; JANSSEN, M. A.; HOFFMANN, M. J. & P. DEADMAN: Multi-agent system for simulation of land-use and land-cover change: A review. *Annals of the Assoc. of American Geographers*, 93, pp 314-337, 2003.
- REDLE, M. & P. BACCINI: Stadt mit wenig Energie, viel Kies und neuer Identität. *GAIA* 7 (3), S. 184-195, 1998.
- SANDERS, L.; PUMAIN, D.; MATHIAN, H.; GUERIN-PACE, F. & S. BURA: SIMPOP: a multiagent system for the study of urbanism. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, pp 287-305, 1997.
- SEMBOLONI, F.; ASSFALG, J.; ARMENI, S.; GIANASSI, R. & F. MARSONI: CityDev, an interactive multi-agents urban model on the web. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 16, pp 101-115, 2004.
- SIEDENTOP, S. & S. KAUSCH: Die räumliche Struktur des Flächenverbrauchs in Deutschland. *Raumforschung und Raumordnung* 62 (2004) 1, S. 36-49, 2004.
- SONNENSCHNEIN, M. & U. VOGEL: Asymmetric cellular automata for the modelling of ecological systems. In: HILTY, L. M. & GILGEN, P. W. (Eds.): *Sustainability in the Information Society*, Metropolis Verlag, pp 631-636, 2001.
- THINH, N. X.: Simulation von kompakten städtischen Siedlungsmustern mit einem zellulären Mehrebenen-Automatenmodell. In: TAVANGARIAN, D.; GRÜTZNER, R. (Hrsg.): *Simulationstechnik*. ASIM 2002, 16. Symposium, Rostock, Erlangen: SCS Publ. House. (Frontiers in Simulation; 12), S. 38-45, 2002.
- THINH, N. X.: Eine neue Generation von zellulären Automatenmodellen zur Simulation von Stadtregionen. In: WITTMANN, J.; MARETIS, D. K. (Hrsg.): *Simulation in Umwelt- und Geowiss.* Shaker Verlag Aachen, S. 55-166, 2003.
- THINH, N. X.: *Entwicklung von mathematisch-geoinformatischen Methoden und Modellen zur Analyse, Bewertung, Simulation und Entscheidungsunterstützung in Städtebau und Stadtökologie*. Von der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock genehmigte Habilitationsschrift, 182 S., 2005.

- THINH, N. X. & R. VOGEL: Modelling Urban Land Use Dynamics with GIS and Cellular Automata – A Case Study of the Dresden City Region since 1780. In: FILHO, L.; GOMEZ, M.; C. RAUTENSTRAUCH (Eds.): Second International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering, Shaker Verlag, pp 349–364, 2005.
- TORRENS, P. M.: Geocomputation Save Urban Simulation? Throw Some Agents into the Mixture, Simmer, and Wait. Centre for Advanced Spatial Analysis, Working Paper Series, 32, 2001.
- VERBURG, P. H.; NIJS, T. C. M.; VAN ECK, J. R.; VISSER, H. & DE K. JONG: A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. Computers, Environment and Urban Systems, 28, pp 667–690, 2004.
- VOGEL, R.: Entwicklung von AML-Programmen in ArcGIS zur Analyse und Simulation städtischer Siedlungsdynamik. Diplomarbeit im Studiengang Geodäsie/Geoinformatik, IÖR und TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, 2005.
- WADDELL, P.: UrbanSim Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning. Journal of the American Planning Association, Vol. 68, No. 3, pp 297–314, 2002.
- WEGENER, M.: Operational Urban Models: State of the Art. Journal of the American Planning Association, Vol. 60, No. 1, pp 17–29, 1994.
- WEGENER, M.: Erkundungen zukünftiger Raumstrukturen, Dortmunder Beiträge zur Raumplanung 84. 1998
- WINKLER, M.: GIS-basierte Flächenentwicklungsanalyse von fünf europäischen Großstädten (Bilbao, Bratislava, Dresden, Lyon, Palermo) und deren Visualisierung auf der Basis digitaler Datenbestände. Diplomarbeit, IÖR und TU Dresden, 2001.
- WITSCHAS, S.: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. Kartographische Nachrichten 52 (3), S. 111–117, 2002.
- WU, F. & C. J. WEBSTER: Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. Environment and Planning B Vol. 25, pp 103–126, 1998.
- WUNSCH, G.: Struktur und Verhalten. In: Spektrum 21/6, S. 18–21, 1990.

GIS-gestützte Modellszenarien des Meeresspiegelanstiegs an der südlichen Ostseeküste zur Entscheidungsunter- stützung in der Regionalplanung: Das Beispiel Usedom

Reinhard Zölitz-Möller , Greifswald & Bernd Röber, Müncheberg

Im Rahmen des Interreg IIIB Projektes „Sea Level Change Affecting the Spatial Development in the Baltic Sea Region“ (SEAREG) wurden in den Jahren 2003-05 mögliche sozioökonomische und umweltrelevante Effekte des zu erwartenden Meeresspiegelanstiegs in der Ostseeregion untersucht und Hilfsmittel entwickelt, mit denen eventuelle negative Auswirkungen auf der Ebene der Regionalplanung räumlich differenzierend analysiert und bewertet werden können. Der Projektansatz war interdisziplinär und umfasste die Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems für Planungsbehörden und Entscheidungsträger.

Für Mecklenburg-Vorpommern wurde der Projektansatz exemplarisch am Beispiel der Insel Usedom umgesetzt. Im Blick waren dabei sowohl die Auswirkungen auf die Außenküste wie auch auf die überflutungsgefährdeten Gebiete der Binnenküste. Für die raum-konkrete Umsetzung im Entscheidungsunterstützungssystem wurde mit Hilfe von Avenue eine Arc-View-Anwendung programmiert und mit den derzeit den Planern verfügbaren Datensätzen getestet (Höhenmodelle, Flächennutzungsdaten verschiedener Provenienz, automatisiertes Raumordnungskataster). Anhand eines auf der Basis des TK10-Reliefs generierten Höhenmodells und verschiedener Prognosen zum Meeresspiegelanstieg wurden die potentiell gefährdeten Flächen auf Usedom identifiziert und mit den Geodatensätzen verschnitten. Die einzelnen Objektklassen können mit Werten (absolut, relativ, verbal) belegt und analysiert werden. Das Programm erlaubt die Wahl unterschiedlicher Meeresspiegelanstiegsszenarien, Rasterauflösungen und Untersuchungsgebietszuschnitte, die Definition jeweils eigener Bewertungsmaßstäbe und bietet unterschiedliche Präsentationsmöglichkeiten für die Ergebnisse. Es wurde bei laufender Qualitätskontrolle in Kooperation mit der für Vorpommern zuständigen Regionalplanungsbehörde entwickelt, für Usedom beispielhaft angewendet und auch von den Projektpartnern für komplementäre Untersuchungen in Estland eingesetzt.

1 Einleitung

Aufgrund des stetig verbesserten Küstenschutzes einerseits und der Langfristigkeit des globalen Meeresspiegelanstiegs andererseits werden die Gefahren und Folgekosten des weiterhin zunehmenden Meeresspiegelanstiegs (vgl. HOUGHTON et al. 2001; CHURCH et al. 2001) vor Ort von der Bevölkerung kaum wahrgenommen. So werden auch sehr niedrig gelegene Flächen in küstennahen Kommunen weiterhin von der Bauleitplanung kaum ausgenommen. Die Tourismus-Orientierung wirtschaftlicher Aktivitäten in den ostdeutschen Küstenregionen verstärkt zudem den Investitionsdruck gerade auf küstennahe, tief liegende Flächen.

Da dies jedoch wegen der voraussichtlichen langfristigen Folgen wenig nachhaltig erscheint, wird immer häufiger im Küstenbereich eine Risikoanalyse vorgeschlagen und deren Verwendbarkeit u.a. für Folgeabschätzungen künftiger Sturmfluten getestet. Mit der Risikoanalyse wird die Strategie verfolgt, in Zukunft die Mittel für den Küstenschutz gezielter je nach Risiko einzusetzen (vgl. REESE et al. 2003). Der Risikoanalyse vorangestellt ist die Ermittlung des Schadenspotenzials. Die Schadenspotenzialanalyse bewertet das Ausmaß der beiden Haupteffekte des Meeresspiegelanstiegs auf das sozioökonomische bzw. ökologische System - den Landverlust durch dauerhafte Überflutung (Fokus dieser Arbeit) und die Wirkung einer temporären Überflutung durch Sturmfluten (vgl. MARKAU & REESE 2006). Auf das Ergebnis einer Schadenspotenzialanalyse kann mit den drei Handlungsoptionen Schutz, Anpassung oder Rückzug reagiert werden. In den Entscheidungsprozess darüber, welche Option auf die einzelne Fläche angewandt wird, ist die Raumplanung einbezogen.

Ein Umsetzungshindernis besteht jedoch in der Diskrepanz zwischen den Methoden, Arbeitsweisen und Kommunikationsräumen der Wissenschaft und denen der Raumplanung. Auf der einen Seite arbeitet man mit Modellen und Szenarien, welche mögliche Varianten einer relativ fern erscheinenden Zukunft (100 Jahre) grobskalig berechnen. Auf der anderen Seite sind möglichst kleinräumige Aussagen erforderlich, um planerische Entscheidungen z.B. für die nächsten 15 Jahre in einem regionalen Maßstab zu begründen. Mit dem EU-Projekt „Sea Level Change Affecting the Spatial Development in the Baltic Sea Region“ (SEAREG) sollte eine Brücke zwischen Wissenschaft und Raumplanung geschlagen werden.

2 Das EU-Projekt SEAREG

Im Interreg IIIB-Projekt „Sea Level Change Affecting the Spatial Development in the Baltic Sea Region“ (SEAREG) wurden zum einen allgemeine Klimaprognosen für das Gebiet der Ostseeanrainerstaaten regionalisiert und in Testgebieten der Teilnehmerländer Finnland, Schweden, Deutschland, Polen und Estland angewendet. Zum anderen wurde mit der Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems (Decision Support Frame) für Planer eine praktische Verwendbarkeit der Modellergebnisse angestrebt. Dieses besteht aus den vier Komponenten Diskussionsplattform, Wissensdatenbank, Gefährdungsanalyse und GIS-Anwendungen (Bild 7. 1).

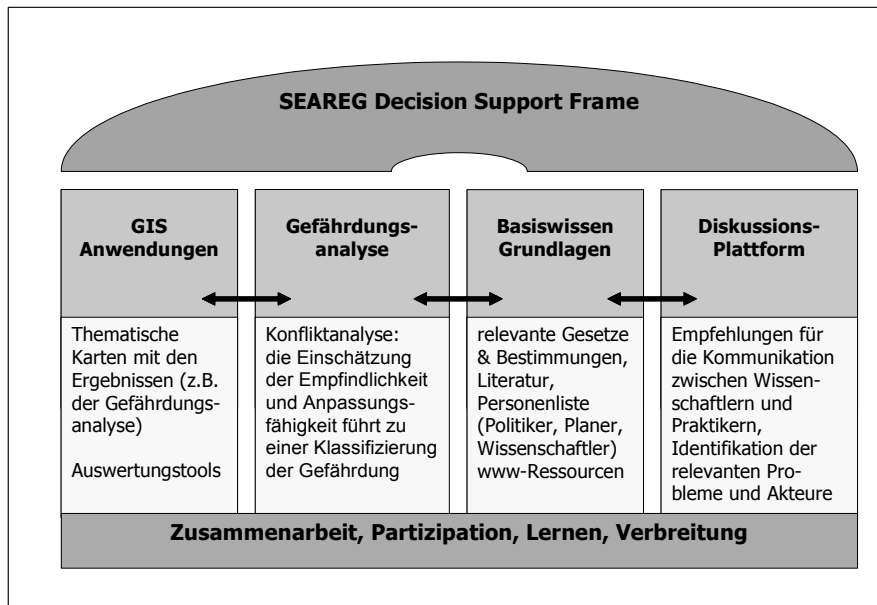


Bild 7. 1: Struktur des Entscheidungshilfesystems im Projekt SEAREG

In der *Diskussionsplattform* wurden von Sozialwissenschaftlern Strategien entwickelt, um die Kommunikation zwischen Wissenschaftlern, Planern und Politikern effizienter zu gestalten (STAUDT et al. 2004). Die Komponente *Basiswissen, Grundlagen* stellt eine Sammlung von relevanten Gesetzen, Vorschriften, Literatur, Entscheidungsstellen, Lösungsansätzen und anderen Informationsquellen dar. In der *Gefährdungsanalyse* wurden die Auswirkungen von dauerhafter und temporärer Überflutung und die Fähigkeit einer Region, auf diese Auswirkungen zu reagieren (Coping Capacity), betrachtet.

Mit den *GIS-Anwendungen* wurde auf der Basis der regionalen Klimamodellergebnisse des Schwedischen Meteorologisch-Hydrologischen Instituts (SMHI) die Voraussetzung für die weiteren raumkonkreten Betrachtungen geschaffen. Mit ihrer Hilfe wurden die Szenarien anhand von flexibel zu gestaltenden Karten visualisiert und Werkzeuge zur Schadensberechnung realisiert.

Die Klimaszenarien wurden mit dem Modell „Rosby Center Regional Atmosphere Ocean Model“ (RCOA) des Schwedischen Instituts für Hydrologie und Meteorologie (SMHI) berechnet (vgl. MEIER et al. 2004). Dieses arbeitet mit einem regionalen Atmosphärenmodell mit einer Auflösung von 44 km und einem regionalen Ozeanmodell mit der Auflösung von 11 km. Die Randparameter der Berechnungen sind die Emissionsszenarien A2 und B2 des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und die globalen Zirkulationsmodelle HadAM3H des Hadley Centre UK und ECHAM4/OPYC3 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg. Die Kombination der Modelle mit verschiedenen Szenarien führt zu Ergebnissen mit einer großen Streubreite. Diese werden noch durch die Werte für tektonische Bewegungen der Erdkruste (Hebung und Senkung) nach Ekman 1996 modifiziert (STAUDT et al. 2004). Die Resultate für Usedom schwanken zwischen 1 cm und 82 cm Meeresspiegelanstieg, mit einem Mittel bei 44 cm in 100 Jahren.

Für die deutsche Regionalstudie innerhalb des SEAREG-Projektes wurde die Insel Usedom ausgewählt.

3 Das Testgebiet Usedom

Die Insel Usedom, nach Rügen die zweitgrößte deutsche Ostseeinsel, erstreckt sich vom Peenemünder Haken bis zur polnischen Grenze und umfasst eine Fläche 375 km². Ihre Küste hat eine Gesamtlänge von 232 km, davon gehören 42 km zur Außenküste (Ausgleichsküste) und 190 km zur Binnenküste (Boddenküste). Die pleistozänen Inselkerne erheben sich bis zu bis 60 m (Streckelsberg) bzw. 69 m ü. NN (Golm); die sie verbindenden Tiefländer bestehen aus holozänen Sedimenten.

Während der Littorina-Transgression stieg der Meeresspiegel relativ rasch von -20 m (um 7800 BP) auf -2 m an (um 5800 BP; LAMPE 2003). Nach dieser Periode traten stabilere Verhältnisse ein, so dass der Meeresspiegel mit geringen Oszillationen innerhalb etwa 4800 Jahren nur um weitere 1,5 m auf -0,5 m anstieg. In dieser Zeit wurde abradiertes Material durch küstenparallelen Transport in buchtenartigen Depressionen akkumuliert, dabei kam es zur Bildung von Haken und Nehrungen. Im Folgenden konnten hierauf seeseitig Dünen entstehen, während sich auf der Boddenseite großflächig Boddenverlandungsmoore bildeten. Nach EKMAN (1996) beträgt die rezente Absenkung auf Usedom ca. 10 cm pro 100 Jahre, somit kann ein weiterer Meeresspiegelanstieg auch ohne klimatische Veränderungen als gegeben angenommen werden. Die im 19. Jahrhundert beginnenden Eindeichungen und Entwässerungen führen auch heute noch zur Degradierung der Moore. Viele Flächen auf Usedom liegen heute auf oder bereits sogar unter Meeresspiegelhöhe.

Die Bevölkerungszahl der Insel Usedom betrug im Jahr 2002 31.449 Einwohner. Auf der Insel befinden sich 28 Gemeinden, die Verwaltungsstruktur ist kleinteilig. Nach BIRRINGER et al. (2004) können sechs der Gemeinden mit einem Anteil von mehr als 20 % Siedlungs- und Verkehrsfläche und einer Einwohnerdichte größer als 250 EW/km² als verstädtert gelten. Diese liegen alle an der Außenküste (Karlshagen, Zinnowitz, Zempin, Koserow, Heringsdorf und Ahlbeck) und sind Ausdruck des aktuellen Siedlungsverhaltens mit einer Konzentration an den Küsten.

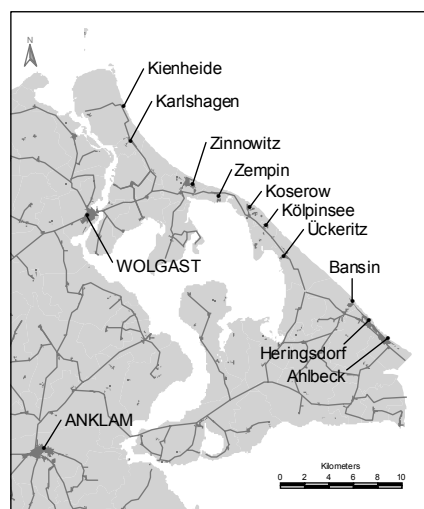


Bild 7. 2: Usedom – Überblick

Die Beschäftigungsstruktur (2000: 36,7 % sonstige Dienstleistungen, 43,6 % Handel, Gastgewerbe und Verkehr, 16,8 % Produzierendes Gewerbe, 2,9 % Land- und Forstwirtschaft und Fischerei) spiegelt die Dominanz des Tourismusgewerbes wieder. Der starke Fremdenverkehr verursacht in den Sommer-

monaten eine Verdoppelung der Bevölkerungszahl. Verkehrstechnisch wird die Insel durch die B110 und B111 über die Wolgaster- und Zecheriner Klappbrücken, die Eisenbahnlinie Wolgast – Ahlbeck-Grenze und den Flughafen Heringsdorf (29000 Fluggäste im Jahr 2004) erschlossen.

Die Geschichte Usedom ist durch eine Vielzahl von Sturmfluten mit zum Teil erheblichen Schäden geprägt (vgl. SCHUMACHER 2003), wobei es auch zu Durchbrüchen an der schmalsten Stelle der Insel zwischen Zempin und Koserow kam; Beispiele dafür sind u.a. folgende Sturmflutjahre:

- In den Jahren 1736, 1741, 1785, 1791, 1792 und 1872 kommt es zu Damnbrüchen zwischen Zempin und Koserow.
- Im Jahr 1874 wird das Vorwerk Damerow bei Koserow zerstört.
- Die Sylvestersturmflut des Jahres 1904 erreicht 2,8m über Normal, es kommt erneut zum Dambruch zwischen Zempin und Koserow (auf 300m Länge)

Während die alten Siedlungskerne relativ hoch gelegen sind, führte der zunehmende Tourismus seit dem Ausgang des 20. Jahrhunderts zu einer vermehrten Bebauung auch von tiefer liegenden Flächen.

In der Fallstudie Usedom wurden nun die regionalisierten Ergebnisse für den Meeresspiegelanstieg und Risiken eines dauerhaft erhöhten Meeresspiegels auf Grundlage der Klimamodelle der Projektpartner angewendet.

4 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Mit Hilfe von Interviews, Workshops und Diskussionen mit deutschen Regionalplanern und anderen Projektpartnern wurden die Arbeitsweisen und die damit verbundenen Bedingungen der Raumplaner ermittelt. Da in dem Projekt mehrere Ostseeanrainerstaaten mitarbeiteten, stellten sich diese heterogen dar. Zu den zu klärenden Fragen gehörten:

- Benötigen Planer ein GIS-gestütztes Entscheidungshilfesystem und werden sie dieses in Zukunft nutzen?
- In welcher Form werden die Ergebnisse benötigt (Maßstab, administrative Ebene)?
- Sollen und können die Ergebnisse auch von anderen Entscheidern genutzt werden?
- Mit welchen Zeiträumen arbeitet die Planung?
- Wie fügt sich das Ergebnis in den derzeitigen Arbeitsrahmen der Raumplanung ein?

Die ermittelten Anforderungen reichten von einfachen Karten, welche die potenziell gefährdeten Flächen wertungsfrei enthalten, bis hin zu bewertenden Analyseergebnissen, die mit fiskalischen Werten durchgeführt werden. Mitarbeiter des Amtes für Raumordnung und Landesplanung Vorpommern bevorzugten neutrale Aussagen, welche von den Planern dann problemadäquat und individuell bewertet werden können. Aufgrund der Langfristigkeit der Aussageintentionen sollte bei der regionalen Studie die Frage keine Rolle spielen, ob die potenziell betroffenen küstennahen Flächen heute eingedeicht sind oder nicht, denn auch bedeichte niedrig gelegene (genutzte) Flächen verursachen bei einem in Zukunft dauerhaft höheren mittleren Meeresspiegel Kosten, sei es durch Forderungen nach verstärktem Küstenschutz, sei es durch höheren Aufwand für die Entwässerung.

Um Szenarien zur Meeresspiegeländerung für die Region Usedom auf Flächennutzungsdaten abzubilden, bedarf es eines hinreichend präzisen Höhenmodells. Keines der fünf zum Zeitpunkt der Studie verfügbaren Höhenmodelle (vgl. RÖBER & ZÖLITZ-MÖLLER 2006) erfüllte die Anforderungen an die benötigte Auflösung. Deshalb wurde für das Untersuchungsgebiet ein eigenes Modell, basierend auf der TK 10, berechnet. Damit konnte ein aktuelles Defizit an Geobasisdaten überbrückt werden. In Zukunft wird nach Aussagen des Landesvermessungsamtes Mecklenburg-Vorpommern ein genaueres Modell (DGM5) angeboten werden können.

Für die demographische und ökonomische Charakterisierung der potenziell von einem Meeresspiegelanstieg betroffenen Gebiete steht die Gemeindedatenbank des Statistischen Landesamtes M-V zur Verfügung: Statistische Daten zur Bevölkerung, Landnutzung, Steuern, Verschuldung etc. auf unterschiedlichen administrativen Ebenen. Die unterste Ebene stellt die Gemeinde dar.

In der Regel ist es jedoch schwierig, raumbezogene Flächennutzungsinformationen und die statistischen Daten miteinander zu verknüpfen, da sie mit unterschiedlichem Flächenbezug und auf unterschiedlichen Aggregationsebenen erhoben werden. Zum Beispiel haben die Bevölkerungsdaten Gemeindebezug, die zuzuordnenden Flächen liegen jedoch wohngebiets- bzw. sogar objektscharf vor. Ohne genaue Kenntnis der Bebauung (Art der Wohnhäuser, Stockwerke, Anzahl der Wohnungen) ist ein Disaggregieren der Daten auf Objektebene kaum möglich. Es kann nur eine Abschätzung anhand relativer Werte erfolgen.

Sowohl die Anforderungen der Raumplaner als auch die verfügbaren Daten sind heterogen und führen durch ihre jeweilige Kombination zu einer großen Zahl möglicher Analysen. Auch sind die Datengrundlagen unterschiedlich aktuell. Deshalb sollten bei verbesserter Datenlage die Analysen erneut und übrigens auch für weitere Untersuchungsgebiete durchgeführt werden können. Als Lösung wurde ein offenes GIS-Werkzeug, mit dem einfache Analysen zu den gefährdeten Flächen durchgeführt und bei Bedarf wiederholt werden können, entwickelt (RÖBER et al. 2006).

5 GIS-Anwendung

Als Vorbedingung für das GIS-Werkzeug wurde festgelegt, dass die Analyse unterschiedlicher Kombinationen von Datengrundlagen in den am Projekt beteiligten Partnerländern möglich sein müsse. Außerdem sollte die Konfiguration regionsunabhängig sein und die Ergebnisse in verschiedenen Maßstäben und Auflösungen verfügbar gemacht werden können (Bild 7. 3).

Von Seiten der Planung werden drei Darstellungen gefordert: der Ist-Zustand mit den Funktionen der Gebiete, eine relative monetäre Bewertung der Güter je Rasterzelle und, wenn möglich, ein absoluter Wert für die gefährdeten Bereiche.

Um unterschiedliche Datensätze miteinander verrechnen zu können, müssen die Informationen in eine einheitliche Form überführt werden. Die Idee war, das Untersuchungsgebiet in ein gleichmäßiges Raster zu unterteilen und die jeweiligen Informationen anteilig in die Rasterzellen zu überführen. Bei dieser Überführung kann jedem Objekttyp eines Datensatzes ein Wert zugewiesen werden, welcher entweder dessen relativen oder absoluten Wert widerspiegelt.

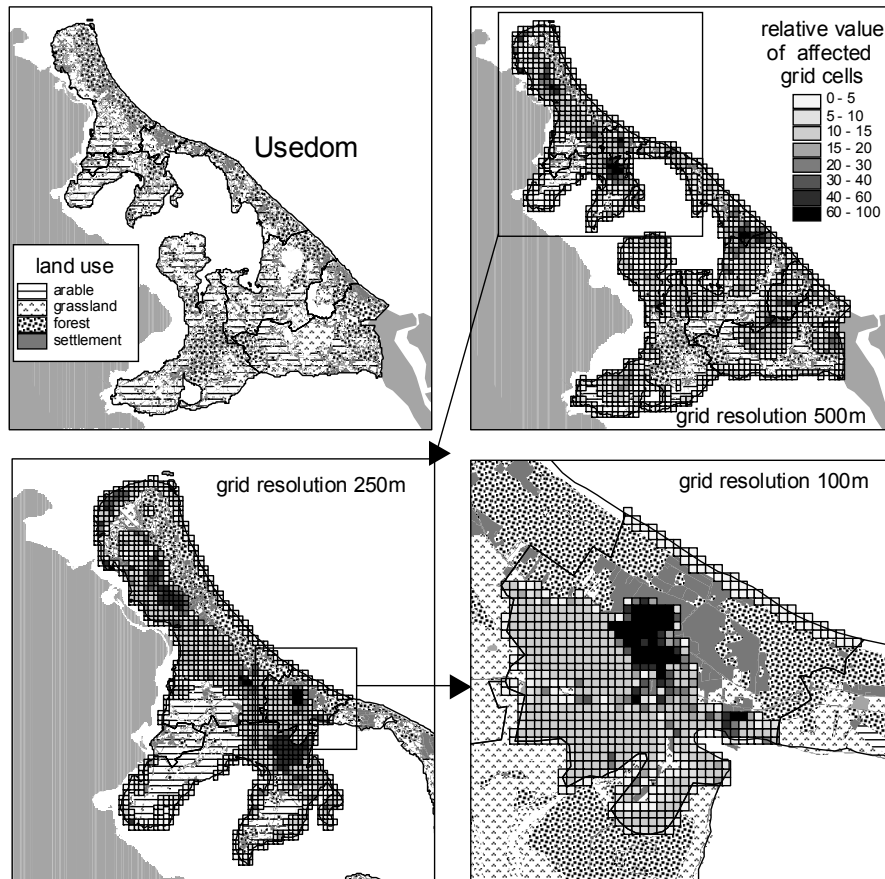


Bild 7. 3: Beispielanalysen für unterschiedlich große Untersuchungsräume mit unterschiedlicher Rasterauflösung

Zum Zeitpunkt des Projektstarts von SEAREG war das Programm ArcView in der Version 3.2 von ESRI in den relevanten deutschen Behörden (Ämter für Raumordnung und Landesplanung, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie M-V) weit verbreitet. Dies führte zu der Entscheidung, das GIS-Werkzeug in der entsprechenden Umgebung, d. h. mit der Scriptsprache Avenue für ArcView umzusetzen.

Die Geodaten müssen im Shape-Format bereitgestellt werden. Dieses Format ist weit verbreitet, ein Export in dieses Format wird von den meisten GIS-Programmen unterstützt. Für die Berechnung müssen die Geodaten in einheitlicher Projektion vorliegen. Zudem werden vorgenerierte Höhenschichten des Untersuchungsraumes benötigt. Die Arbeitsweise des GIS-Werkzeugs wird im folgenden Text in sieben Schritten beschrieben. Ein vereinfachter Programmablauf ist im Struktogramm Bild 7. 4 dargestellt.

Im ersten Schritt *Grundeinstellung und Dateneingabe* werden technische Parameter, die Auflösung des Ergebnisrasters, die Höhe des angenommenen Meeresspiegelanstiegs (in 5 cm-Schritten) und das Untersuchungsgebiet (z.B. Gemeinde, Amt oder Planungsregion) abgefragt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Rasterauflösung mit der Flächengröße des Untersuchungsgebietes harmonisiert. Der Nutzer wählt die zu analysierenden Themen und jeweils das Tabellenfeld, welches die relevanten Objektarten enthält, z. B. das Thema Landnutzung mit dem Feld Nutzungstypen. Für die Eingangsthemen sind die drei grundlegenden Geometrietypen Punkt, Linie und Fläche zugelassen.

Bei der *Initialisierung* wird die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes mit der sich aus dem simulierten Meeresspiegelanstieg ergebenden Höhenschicht verschnitten. Als Ergebnis resultiert das kon-

kret zu untersuchende Überflutungsgebiet, das zur Datenreduktion als Schablone auf alle Eingangsdaten angewandt wird. Danach steht das erste Teilergebnis, der Ist-Zustand mit den Funktionen der betroffenen Gebiete, zur Verfügung.

Für die Festlegung der *Werte für die Objektarten* werden aus den Eingangsthemen und deren Objektarten Bewertungstabellen generiert. Den Objektarten werden durch den Anwender relative (numerische oder textliche) bzw. absolute Werte (€/m², €/m etc.) zugeordnet.

Im Schritt *Vorprozessierung* werden für jedes Thema und jede Rasterzelle Werte entsprechend der Objektproportionen in der Zelle ermittelt:

$$\text{Pro Thema und Zelle } \sum_{i=1}^n \text{Obj} * F$$

mit n = Anzahl der Objektarten pro Zelle

Obj = aktuelle Objektproportion (Fläche, Länge oder 1 für Punkt)

F = Faktor für die Objektart aus der Bewertungstabelle

Wurde eine textliche Wertfestlegung vorgenommen, kann der Wert der Rasterzelle für das jeweilige Thema entweder nach dem Dominanzprinzip (größter Anteil an der Fläche bzw. Länge) oder nach dem höchsten Wert (z.B. Wohngebäude) erfolgen.

Im fünften Schritt *Einstellungen für die Normierung* werden, sofern nicht für alle Themen mit Absolutwerten gearbeitet wurde, die Normmaximalwerte (i.d.R. 100, siehe unten) pro Thema abgefragt. Bevor die unterschiedlichen Themen (mit teilweise unterschiedlichen Skalen) miteinander verrechnet werden können, müssen deren Werte auf einen einheitlichen Bereich transformiert werden. Wenn alle Themen mit dem gleichen Gewicht in die Berechnung einfließen sollen, liegt dieser Bereich zwischen 0 = kleinster Zellenwert und 100 = maximaler Zellenwert. Textlich bewertete Themen werden entsprechend der verwendeten Klassenzahl auf den Bereich 0 bis 100 gequantelt. Der Maximalwert kann nun je nach Bedeutung des Themas variiert werden, z. B. 50 für ein Thema mit geringer und 200 für ein Thema mit großer Bedeutung.

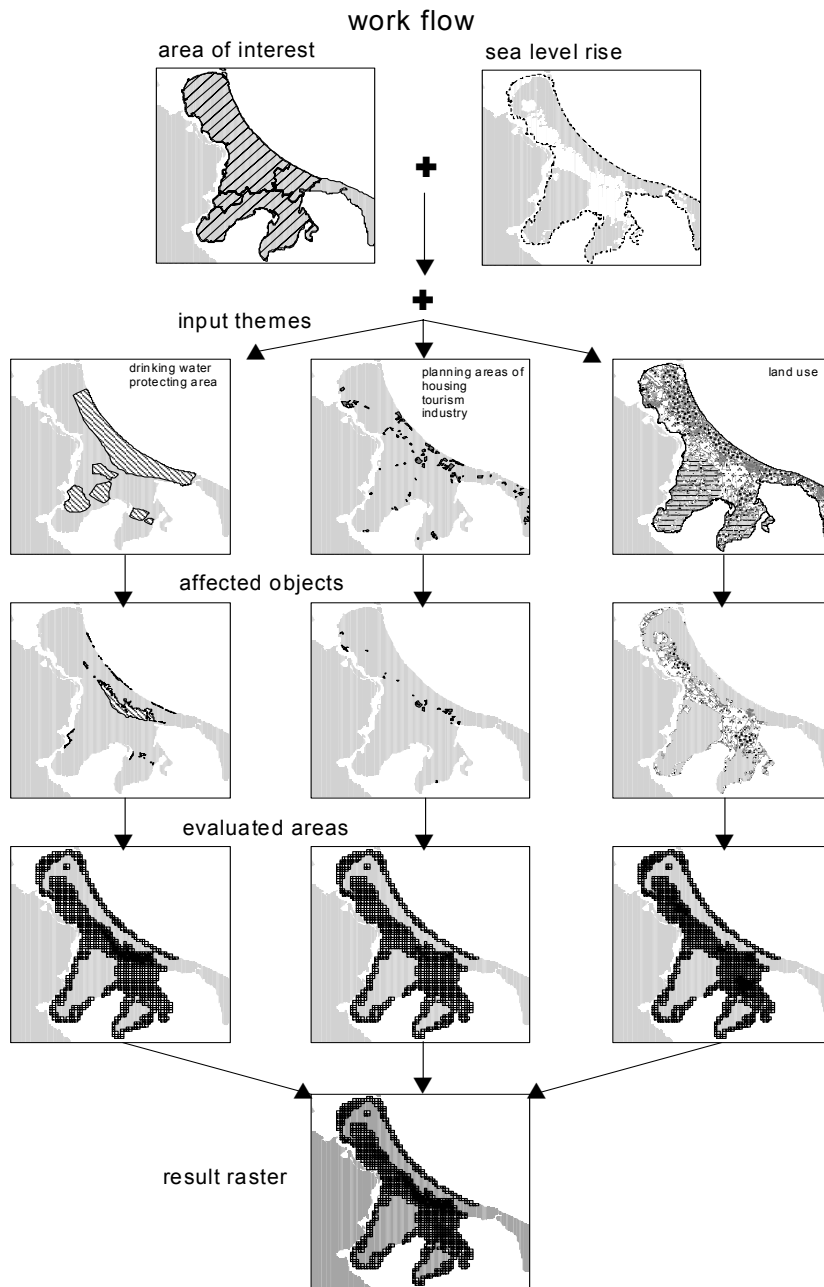


Bild 7. 4: Vereinfachtes Struktogramm des GIS-Werkzeugs

Im sechsten Schritt wird die *Normierung* themenweise durchgeführt und ebenfalls im Raster für spätere Analysen vorgehalten.

Die Wertermittlung erfolgt abschließend durch Summierung der Werte der Themen je Zelle.

Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden sämtliche Einstellungen, verwendete Daten und zugewiesene Werte in einer Textdatei automatisch dokumentiert.

6 Testergebnisse für Usedom

Bei einer Testberechnung für die Insel Usedom konnten folgende Flächenanteile als gefährdet ermittelt werden:

Tabelle 7. 1: Gefährdete Flächen bei verschiedenen Szenarien

Meeresspiegel- anstieg	Fläche (total)	Anteil an Usedom
25 cm	46 km ²	13%
40 cm	58 km ²	16%
80 cm	102 km ²	28%

Tabelle 7. 2: Nutzung der gefährdeten Flächen in Prozent

Meeres- spiegel- anstieg	Natur- flächen	Agrar- flächen	Wald- flächen	Wohn- bau- flächen	Gewerbe- flächen	Infra- struktur- flächen	Andere Flächen
25 cm	25.55	69.07	4.34	0.14	0.24	0.44	0.22
40 cm	22.28	71.81	4.89	0.21	0.28	0.37	0.16
80 cm	15.66	71.13	11.27	0.62	0.69	0.05	0.13

Ein Abgleich mit dem aktuellen Raumordnungskataster ergab, dass von den 191 für Usedom dort verzeichneten überplanten Flächen 52 bei einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm betroffen wären. Im Einzelnen sind dies 18 Tourismus-, 15 Wohnbau-, 13 Sonderbau-Flächen, drei gewerbliche Bauflächen, eine Fläche für großflächigen Einzelhandel, eine Fläche für soziale und kulturelle Infrastruktur sowie eine gemischte Baufläche. Hätte das vorgestellte System für die Planungen zur Verfügung gestanden, hätte sich die Schaffung zusätzlicher wirtschaftlicher Verlustrisiken und Gefährdungspotenziale für die Anwohner möglicherweise vermeiden lassen, zumindest aber hätte der Regionalplanung für ihre Rolle als Moderator unterschiedlicher Interessen sehr viel konkreteres Argumentationsmaterial zur Verfügung gestanden.

Den größten Anteil der gefährdeten Flächen haben landwirtschaftlich genutzte Gebiete. Hiervon ist wiederum der größte Teil Grünland, welches ggf. als Potenzial für eine Renaturierung von Überflutungsmooren oder Salzgrünland genutzt werden könnte. Die Renaturierung einiger Flächen ist zwar perspektivisch geplant, aber noch nicht begonnen. Liegen die oft sehr niedrigen Flächen erst einmal unter dem Meeresspiegel, werden bei der gewünschten Renaturierung zusätzliche kostenintensive Maßnahmen wie das Abpumpen erforderlich.

Das vorgestellte Verfahren der Wertverlustermittlung für den Überflutungsfall hat konzeptionelle Grenzen: Bild 7. 5 zeigt, dass es teilweise zur Isolierung einzelner Gebiete kommen könnte. Beim Wegfall von Infrastrukturelementen (Zugang über Straßen, Stromleitungen etc.) könnten diese Gebiete als sekundäre Flächenverluste betrachtet werden. Dies ist ein Hinweis dafür, dass mikroskalige Analysen

mit Absolutwerten nur über ein Netzwerk der technischen Infrastruktur umgesetzt werden können, denn der Wert einer Straße oder Versorgungsleitung kann nicht allein durch ihren materiellen Wert beschrieben werden, sondern auch durch den Wert des durch sie erschlossenen Gebietes.

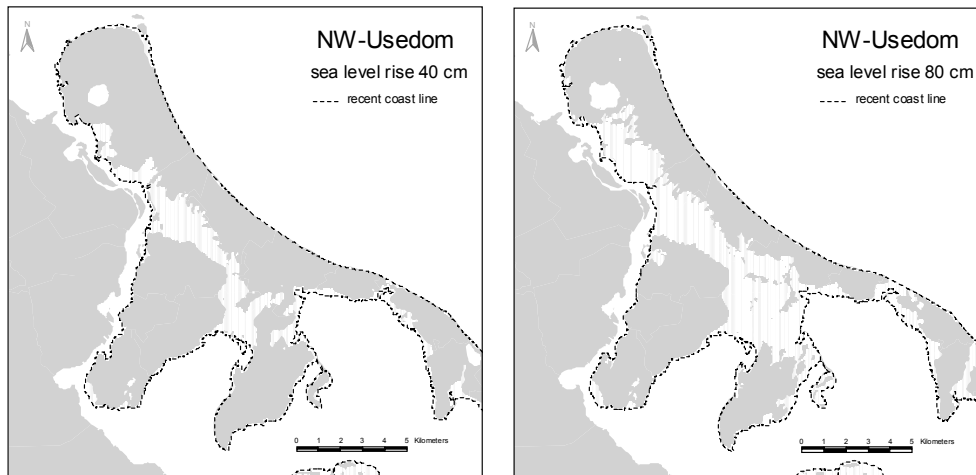


Bild 7. 5: Gebiete unter dem Meeresspiegel (weiß) im Umriss von Usedom bei einem Meeresspiegelanstieg von 40 bzw. 80 cm.

7 Fazit und Ausblick

Die im SEAREG-Projekt gewählte Herangehensweise unterscheidet sich deutlich von anderen Arbeiten zu diesem Thema durch die Fokussierung auf eine Nutzung verfügbarer Daten und die Verwendung von Höhendaten. Eine langfristige Extrapolation der ökonomischen Parameter in das Jahr 2100, wie von ELSNER & KNOGGE (2001) für die Unterweserregion durchgeführt, scheint für die Raumplanung nicht sinnvoll. Schon die Ergebnisse der Klimaszenarien werden zurückhaltend angenommen, eine Kombination mit Wirtschaftsszenarien führt zu einer Erweiterung der Unschärfe und findet bei den Planungsverantwortlichen zu wenig Akzeptanz.

Da die Ergebnisse für die Belange der Raumplanung und nicht für Aufgaben des Küstenschutzes konzipiert sind, wird nicht von Sturmflutereignissen und deren Folgen ausgegangen, sondern es werden Flächen betrachtet, bei denen mit einer dauerhaften Beeinträchtigung durch den Meeresspiegelanstieg zu rechnen ist. In Küstennähe sind dies alle Flächen unter dem zukünftigen Meeresspiegel, da diese nicht mehr auf natürliche Weise entwässert werden könnten. Usedom ist schon jetzt durch zahlreiche abflussfreie Seen gekennzeichnet. Deren Anzahl und Fläche würde sich auf Kosten anderer Flächennutzungen vergrößern. Mit dieser Art von Betrachtungsweise soll ein präventives Planen ermöglicht werden, das ggf. ein Bebauen dieser Flächen begründet in Frage stellt.

Da die Raumplanung Konzepte für einzelne Regionen erarbeitet, ist es für sie vor allem notwendig, die relativen Werte innerhalb der Region zu kennen, um zwischen diesen ihre Abwägungen zu treffen. Großmaßstäbige fiskalische Analysen werden in der Regel nicht benötigt. Diese decken ein zu kleines Gebiet ab und sind sehr auf den Erhebungszeitraum und das verwendete Szenario beschränkt. Die Diskussion mit den Planern hat gezeigt, dass man derzeit auch nicht über die Mittel verfügt, eigene umfangreiche Datenerhebungen durchzuführen. Dies begründet die Notwendigkeit, vorhandene

Daten zu nutzen und den Kompromiss zwischen mikro- und mesoskaliger Ebene zu suchen. Dieser Maßstab ist auch z. B. zum Ausweisen von Vorbehaltsflächen ausreichend.

Die Ergebnisse des SEAREG-Projektes für Usedom wurden abschließend mit Vertretern der Regionalplanung evaluiert und diskutiert: Die Projektergebnisse beziehen sich auf die Wirkung möglicher Meeresspiegeländerungen während der nächsten 100 Jahre. Der Planungshorizont für Regionalpläne beträgt zwar nur 15 Jahre, jedoch werden unter dem auch für die Regionalplanung gültigen Nachhaltigkeitsparadigma sehr viel längerfristige Perspektiven berücksichtigt. Dabei ist ein erwarteter Meeresspiegelanstieg nicht das einzige Thema, das langfristiges und strategisches Denken der Planung erfordert; auch die Aufgaben der Rohstoffsicherung und des Naturschutzes gehören als weitere Beispiele dazu.

Nach Auffassung der Planer ist die inhaltliche Aussagekraft des entwickelten Computerprogramms und seiner Ergebnisse ausreichend, vorausgesetzt, dass aktuelle Daten zur Verfügung stehen. Die räumliche Aussageschärfe ist besser als der Arbeits- und Kartenmaßstab für Regionalpläne. Für eine konkrete Küstenschutzplanung, die allerdings nicht Aufgabe der Regionalplanung ist, müsste die räumliche Auflösung höher sein, um auch einzelne Gebäudeobjekte und deren Werte bilanzieren zu können.

Literatur

- BIRNINGER, C., HEINZ, M. & H. KLÜTER (2004): Studie zur Gemeindegebietsreform auf Usedom - Endbericht, Rostock/Greifswald.
- CHURCH, J.A., GREGORY, J.M., HUYBRECHTS, P., KUHN, M., LAMBECH, K., NHUAN, M.T, QIN, D. & P.L. WOODWORTH (2001): Changes in Sea Level. In: HOUGHTON, T. et al. (eds.): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 639-694.
- EKMAN, M., (1996): A consistent map of the postglacial uplift of Fenoscandia, *Terra Nova*, Vol. 8, pp 158-165.
- ELSNER, W. & T. KNOGGE (2001): Endbericht des Teilprojektes „Analyse der ökonomischen Folgen eines Klimawechsels in der Unterweserregion“ im Rahmen des Projektes „Klimaänderung und Unterweserregion“. Bremen.
- HOUGHTON T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J., DAI, X., MASKELL, K. & C.A. JOHNSON (eds.) (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 1-20.
- LAMPE, R. (2003): Nacheiszeitliche Küstenentwicklung an der Ostsee. In: Institut für Länderkunde, Leipzig (eds.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland: Relief, Wasser, Boden*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, pp 80-81.
- MARKAU, H.-J. & S. REESE (2006): GIS in der mikroskaligen Sturmflutschadensabschätzung. In: TRAUB, K.-P. & J. KOHLUS (Hrsg.): *GIS im Küstenzonenmanagement – Grundlagen und Anwendungen*, pp 265-274.
- MEIER, M., BROMAN, B. & E. KJELLSTRÖM (2004): Simulated sea level in past and future climates of the Baltic Sea. *Climate Research*, 27, pp 59-79.
- REESE, S., MARKAU, H.J. & H. STERR (2003): Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen, Abschlussbericht Kiel.
- RÖBER, B., RUDOLPHI, H., LAMPE, R. & R. ZÖLITZ-MÖLLER (2006): Usedom – Coastal Development and Implementation of Geo Information in a Decision Support Frame. In: Schmidt-Thome, P. (ed.): *Sea level Changes Affecting the Spatial Development of the Baltic Sea Region*. Geological Survey of Finland, Special Paper, Espoo, Finland, pp 107-119.

RÖBER, B. & R. ZÖLITZ-MÖLLER (2006): GIS-gestützte Szenarien der Meeresspiegeländerung für die Raumplanung. In: TRAUB, K.P. & J. KOHLUS (Hrsg.): GIS im Küstenzonenmanagement – Grundlagen und Anwendungen. Verlag Wichmann/Hüthig, Heidelberg, pp 288-301.

RPV - Regionaler Planungsverband Vorpommern (2001): Entwicklungspotenziale der Landwirtschaft in der Planungsregion Vorpommern. Unveröff. Gutachten. Greifswald.

SCHMIDT-THOMÉ, P. (ed.) (2003): SEAREG Sea Level Change affecting the Spatial Development in the Baltic Sea Region, 1st Progress Report October 2002-March 2003, Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.

SCHUMACHER, W. (2003): Flutkatastrophen an der deutschen Ostseeküste. Verlag Redieck und Schade, Rostock.

STAUDT, M., KALLIO, H. & P. SCHMIDT-THOMÉ (2004): Modelling a future sea level change scenario affecting the spatial development in the Baltic Sea Region – First results of the SEAREG project. In: SCHERNEWSKI, G. & N. LÖSER (Eds): Managing the Baltic Sea, Coastline Reports 2, pp 195-199.

Nachhaltige Landnutzungsoptimierung mit dem Landmanagementsystem LUMASS

Alexander Herzig, Kiel

Geographische Informationssysteme (GIS) sind aufgrund ihrer Fülle an leistungsfähigen Funktionen und Werkzeugen ein wesentliches Werkzeug bei der Bearbeitung räumlicher Fragestellungen. Sie sind deshalb heutzutage aus raumbezogenen Planungsprozessen kaum mehr wegzudenken und unterstützen den Planer bei der Erfassung, Analyse und Präsentation von Geodaten. Zum Teil werden sie deshalb auch als räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support System, SDSS) bezeichnet. Die Fachliteratur zu diesem Thema zeigt, dass GIS, wenngleich eine bedeutende, aber i. d. R. nur eine von mehreren Komponenten eines SDSS darstellen. Aus funktionaler Sicht bedarf es zusätzlich einer Komponente zur Modellierung räumlicher Prozesse und einer Komponente zur Entscheidungsunterstützung (Decision Support, DS), um den Planer in allen Phasen einer schlecht strukturierbaren Entscheidungssituation mit geeigneten Werkzeugen zu unterstützen. Das Landnutzungsmanagementsystem LUMASS (Land Use Management Support System) ist ein solches System und wurde speziell für den Einsatz im Boden- und Gewässerschutz entwickelt. Es basiert auf dem GIS ArcGIS™ der Firma ESRI® und implementiert eine Reihe von Methoden zur Modellierung und Beurteilung von Landschaftsfunktionen. Durch die zusätzliche Integration des mathematischen Optimierungssystems Ip_solve, können flächenspezifische Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungsoptionen auf bestimmte Landschaftsfunktionen gegeneinander abgewogen werden und definierbare Flächenanteile verschiedener Nutzungen optimal im Raum verteilt werden. Die Anwendung des Systems zur Minimierung des Bodenabtrages in einem schleswig-holsteinischen Untersuchungsgebiet zeigt, dass in Abhängigkeit der definierten Flächenanteile besonders erosionsanfällige Nutzungen (Fruchtfolgen) den Parzellen mit besonders geringer relief- und bodenbedingter Erosionsdisposition zugeordnet werden und umgekehrt.

1 Einführung

Als Lebensraum von Pflanzen, Tieren und Menschen erfüllen Landschaften vielfältige Funktionen. Insbesondere der Mensch, begründet durch seine Grunddaseinsfunktionen, stellt mannigfaltige und oft konkurrierende Nutzungsansprüche an die Landschaft. Die daraus erwachsende Komplexität räumlicher Planungsprozesse verlangt nach immer leistungsfähigeren und intelligenteren Planungswerkzeugen. Geographische Informationssysteme (GIS), mit ihren umfangreichen Funktionen zur

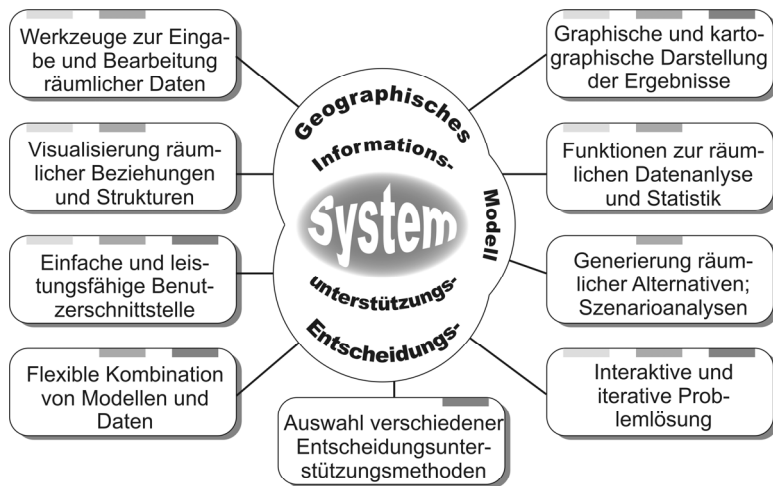
Verwaltung, Analyse und Präsentation raumbezogener Daten, gehören deshalb heutzutage zu den Standardwerkzeugen in der räumlichen Planung. Trotz ihres enormen Funktionsumfangs sind sie allerdings nicht in der Lage, die zentralen Arbeitsschritte raumbezogener Planung mit leistungsfähigen Funktionen und Werkzeugen zu unterstützen. Dies gilt sowohl für die Modellierung und Bewertung eines entsprechenden „Ist-Zustandes“ als auch für eine auf objektivierbaren Kriterien beruhende Beurteilung möglicher Nutzungseignungen. Dementsprechend sind für die Modellierung räumlicher Prozesse und die Optimierung von Flächennutzungen ergänzende Methoden und Werkzeuge erforderlich. Die Kopplung dieser Werkzeuge mit GIS führt schließlich zur Entwicklung sog. räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support System, SDSS). Der vorliegende Beitrag fasst die aus der Literatur abgeleiteten funktionalen und strukturellen Anforderungen an SDSS zusammen und stellt das darauf aufbauende Landnutzungsmanagementsystem LUMASS (Land Use Management Support System) (HERZIG, 2006) vor.

2 Eigenschaften räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme

2.1 Funktionale Aspekte

Allgemein lassen sich Entscheidungsfindungsprozesse (z. B. räumliche Planungsprozesse) in drei Phasen unterteilen, die auf SIMON (1960) zurückgehen (vgl. JANKOWSKI, 1995; JANSSEN, 1996; REITSMA & CARRON, 1997; MALCZEWSKI, 1999a,b; MAKOWSKI & WIERZBICKI, 2000). In der frühen Phase (Intelligence) erfolgt die Identifizierung und Abgrenzung des Entscheidungsproblems. Sie dient im Wesentlichen der Auswahl der Kriterien und Methoden (Modelle), die zur Analyse und Bewertung des Problems herangezogen werden. In der mittleren Phase (Design) werden die die Entscheidungssituation beeinflussenden Prozesse mit Hilfe der gewählten Modelle und Methoden analysiert und liefern damit die Grundlage für die Entwicklung und Bewertung der Entscheidungsalternativen (Planungsvarianten). In der letzten Phase werden schließlich die Alternativen gegeneinander abgewogen und eine Entscheidung getroffen. Entscheidungsunterstützungssysteme stellen dem Anwender optimaler Weise geeignete Werkzeuge und Funktionen zur Verfügung, die ihn in allen drei Phasen des Entscheidungsprozesses unterstützen. Für die Durchführung räumlicher Entscheidungsprozesse werden dafür Methoden der Geographischen Informationsverarbeitung (GIV), der Entscheidungsunterstützung (Decision Support, DS) und der Modellierung miteinander kombiniert (vgl. FEDRA & REITSMA, 1990; JANKOWSKI, 1995; FEDRA, 1996; DJOKIC, 1996; MALCZEWSKI, 1999a; DENZER, 2002).

Einen konkreten Anforderungskatalog charakteristischer Eigenschaften und Funktionen von Entscheidungsunterstützungssystemen stellt GEOFFRION (1983) vor. DENSHAM (1993) greift diesen Katalog auf, erweitert ihn um räumliche Aspekte des Entscheidungsfindungsprozesses und formuliert damit die funktionalen Anforderungen, die von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen erfüllt werden sollten. Bild 8. 1 fasst diese Anforderungen zu funktionalen SDSS-Komponenten zusammen und ordnet sie den oben beschriebenen Phasen des Entscheidungsfindungsprozesses zu. Neben typischen GIS-Funktionalitäten, die hier nicht näher erläutert werden sollen, sind dies natürlich klassische Funktionen und Merkmale herkömmlicher (nichträumlicher) Entscheidungsunterstützungssysteme, die im Folgenden kurz beschrieben werden.



Haupteinsatzfelder im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungsprozesses:



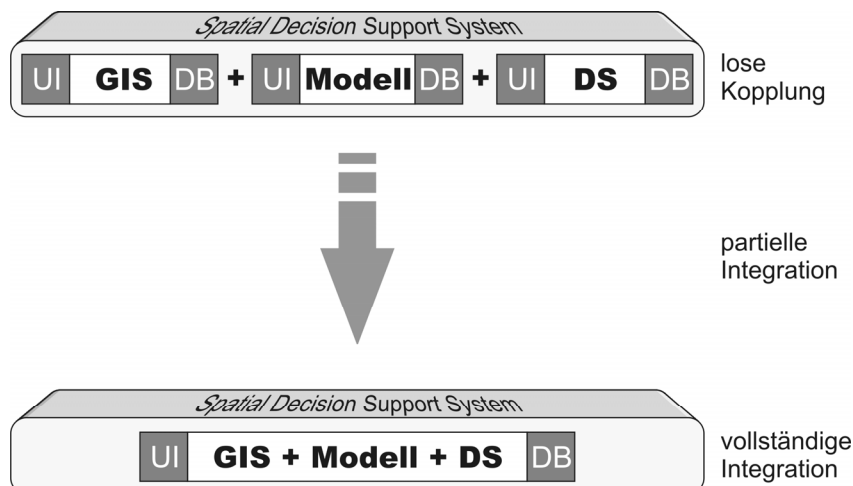
Bild 8.1 - Funktionale SDSS-Komponenten (Quellen: GEOFFRION, 1983; DENSHAM, 1993; MALCZEWSKI, 1999a; MAKOWSKI & WIERZBICKI, 2000).

Es besteht also die Möglichkeit zu jedem Zeitpunkt im Entscheidungsprozess zu einem vorangegangenen Arbeitsschritt zurückzukehren, um diesen mit veränderten Parametern erneut zu durchlaufen. Auf diese Weise können z. B. unzulässige Entscheidungsalternativen ausfindig gemacht und vom eigentlichen Auswahlprozess von vornherein ausgeschlossen werden. Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die Möglichkeit, Daten und Modelle möglichst flexibel miteinander kombinieren zu können. Es sollte also z. B. möglich sein, die in das System eingepflegten Grundlagendaten ohne großen Aufwand mit Hilfe unterschiedlicher Modelle analysieren zu können. Von umfassender Bedeutung ist die Forderung nach einer einfach zu bedienenden und leistungsfähigen Benutzerschnittstelle. Sie sollte dem Anwender einen möglichst intuitiven Zugang zu allen Funktionen des Systems ermöglichen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Verwaltung der Datengrundlagen und die Anwendung der implementierten Modelle. Die Benutzeroberfläche ist das zentrale Element eines SDSS. Sie bestimmt die Flexibilität der Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte und diejenige, mit der Daten und Modelle kombiniert werden können. Weiterhin ist sie dafür verantwortlich, die Eingaben und Einstellungen des Nutzers zu überwachen und zu prüfen, um so die Wahrscheinlichkeit unsinniger und falscher Anwendungen zu minimieren. Tatsächlich erfüllt nur ein Bruchteil der in der Literatur beschriebenen SDSS die oben genannten strikten Anforderungen nach DENSHAM (1993), da meist nur zwei der drei wesentlichen funktionalen Komponenten (DS, GIV und Modellierung) vorgehalten werden (z. B. SMITH & JIANG, 1993; CLAYTON & WATERS, 1999; KWAKU KYEM, 2001; ROBINSON et al., 2002; PULLAR, 2003; GARCIA, 2004; JONES & TAYLOR, 2004).

Eine zentrale Eigenschaft von SDSS stellt die Möglichkeit dar, den Entscheidungsprozess interaktiv und iterativ zu gestalten. Das bedeutet, dass der Anwender in die Lage versetzt wird, z. B. durch die Veränderung von Modelleingangsparametern (Szenarien) oder durch die Festlegung von Gewichtungsfaktoren hinsichtlich bestimmter Bewertungskriterien oder durch die Vorauswahl räumlicher Alternativen, die Menge der zulässigen Lösungen aktiv zu beeinflussen. Iterativ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Anwender die Abfolge der Arbeitsschritte individuell und problem-

2.2 Strukturelle Aspekte

Um alle funktionalen Anforderungen an SDSS möglichst optimal erfüllen zu können, müssen an die technische Umsetzung der Systeme ebenfalls bestimmte Anforderungen gestellt werden (HERZIG, 2006). Das bezieht sich insbesondere auf die Forderung nach einer einfach zu bedienenden Benutzeroberfläche und nach der Möglichkeit einer flexiblen Kombination der Grundlegenden Daten mit den Methoden und Modellen zur Analyse räumlicher Prozesse sowie zur Entscheidungsunterstützung. Die technisch einfachste Art und Weise diese Forderung umzusetzen besteht in der vollständigen Neuentwicklung des Systems von Grund auf. Diese Vorgehensweise ist allerdings sehr aufwendig und wird daher nur selten umgesetzt (z. B. LAM & PUPP, 1996). Die überwiegende Anzahl der in der Literatur beschriebenen Systeme koppelt daher verschiedene, bereits existierende Softwarekomponenten zu einem SDSS. Bild 8. 2 zeigt die in der Literatur beschriebenen Kopplungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Integrationstiefe. Sie reicht von der losen Kopplung über die partielle Integration bis hin zur vollständigen Integration der funktionalen Systemkomponenten. Das technische Problem der Kopplung liegt in der Realisierung des Datenaustausches der Komponenten untereinander (vgl. JOHNSTON, 1990; DJOKIC, 1996; REITSMA & CARRON, 1997; UNGERER & GOODCHILD, 2002; DENZER, 2002; ELDRANDALY et al., 2003) und wird maßgeblich durch die verfügbaren Schnittstellen bestimmt. In der einfachsten Form, der sog. *losen Kopplung* (loose coupling), werden die Komponenten als Einzelanwendungen verwendet, wobei der Datenaustausch über die jeweiligen Ex- bzw. Importformate auf Dateiebene erfolgt. Für die Implementierung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme kommen unter Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen aus technischer Sicht hingegen nur die Möglichkeiten der sog. *engen* (tight coupling) bzw. *eingebetteten Kopplung* (embedded coupling) aller Systemkomponenten (vollständige Integration) in Frage. Sie erlauben sowohl den automatischen Datenaustausch zwischen den Komponenten bzw. die Verwendung einer gemeinsamen Datenbank als auch die Realisierung einer zentralen Benutzerschnittstelle. Zusätzlich ermöglichen sie damit die flexible Kombination von Daten und Modellen. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Aspekte unterschiedlicher Kopplungsstrategien findet sich z. B. bei JANKOWSKI (1995), FEDRA (1996), UNGERER & GOODCHILD (2002) und LAUSCH (2003).



DB: Datenbank; DS: Entscheidungsunterstützung (Decision Support); GIS: Geographisches Informationssystem; UI: Benutzerschnittstelle (User Interface)

Bild 8. 2 - Integrationstiefe struktureller SDSS-Komponenten

tausch zwischen den Komponenten bzw. die Verwendung einer gemeinsamen Datenbank als auch die Realisierung einer zentralen Benutzerschnittstelle. Zusätzlich ermöglichen sie damit die flexible Kombination von Daten und Modellen. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Aspekte unterschiedlicher Kopplungsstrategien findet sich z. B. bei JANKOWSKI (1995), FEDRA (1996), UNGERER & GOODCHILD (2002) und LAUSCH (2003).

3 Das Landmanagementsystem LUMASS

3.1 Funktionale Komponenten

LUMASS ist als räumliches Entscheidungsunterstützungssystem für den Einsatz im Boden- und Gewässerschutz konzipiert. Die Auswahl der in Tabelle 8. 1 aufgeführten implementierten Modelle und Methoden zur Analyse räumlicher Prozesse lehnt sich deshalb an die Vorgaben des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG, §17) und der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG, EU-WRRL) an. Sie dienen im Wesentlichen der Analyse und Bewertung von Landschaftsfunktionen unter dem Einfluss unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bodennutzung und sind für den Einsatz in der topischen und unteren chorischen Dimension geeignet. Darüber hinaus lassen sich weitere bodenkundliche Parameter und Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt abschätzen und bewerten. Die dafür notwendige allgemeine Verwaltung, Verarbeitung und Visualisierung der Geodaten (GIV) erfolgt mit Hilfe des Desktop-GIS ArcGIS™ der Firma ESRI®.

Tab. 8. 1 - Funktionale Systemkomponenten des Landmanagementsystems LUMASS

Komponente	Funktion	Ergebnis / Zielgröße
Landschaftsfunktionen Analyse Modellierung und	Reliefparameter	Größe des EZG; Abgrenzung des EZG; Hangneigung; Hangneigungsrichtung
	SCS Curve Number	Direktabfluss; Abflussbeiwert; kaskadierter Direktabfluss
	wasserbedingter Bodenabtrag	LS-Faktor; K-Faktor; C-Faktor; Bodenabtrag
	oberirdische Stofftransporte	Sedimentaustrag; Phosphorausstrag
Bewertung	Bodenwasserhaushalt	Grundwasserneubildung; jährliche Austauschhäufigkeit des Bodenwas- sers; Nitratkonzentration im Sicker- wasser
	Bodenverdichtung	Druckfortpflanzung im Profil; schlag- bezogene mechanische Belastbarkeit
von	bodenkundliche Parameter	WE; kf-Wert; nFK; nFKWE; LK; FK; TW; KR; mechan. Vorbelastung
GIV	Datenein- u. ausgabe; Visualisierung; ...	Karten, Tabellen, Diagramme
DS	Multikriterielle Optimierung	optimale räumliche Ressourcenalloka- tion

Das LUMASS-Modul „Multiobjective Optimization“

Auf der Grundlage der für jede in Frage kommende Fläche durchgeführten nutzungsabhängigen Bewertung einzelner Landschaftsfunktionen wird die optimale Landnutzungsverteilung mit Hilfe des LUMASS-Moduls „Multiobjective Optimization“ ermittelt und kartographisch dargestellt. Dazu wird das räumliche Optimierungsproblem – welche Nutzung ist auf welcher Fläche zu realisieren, um z. B. den Bodenabtrag im Untersuchungsgebiet zu minimieren – mit den verschiedenen Benutzeroberflächen (Register, s. Tabelle 8. 2 und Bild 8. 3) des Moduls abgebildet und von LUMASS in die nicht-räumliche Standardform eines *Multiobjective Linear Program* (MOLP) übersetzt. Dieses wird dann an das integrierte *Open Source Mixed-Integer Linear Programming System Ip_solve* (BERKELAAR et al., 2004) übergeben und gelöst. LUMASS wertet die Ergebnisse anschließend aus und erstellt eine Karte der optimalen Landnutzungsverteilung. Eine detaillierte Beschreibung des Moduls findet sich bei HERZIG (2006).

Tab. 8. 2 - Register und Funktionen des LUMASS-Moduls „Multiobjective Optimization“

Problem	Herstellung des Raumbezuges (Wahl des Polygon-Layers); Auswahl des Typs der Entscheidungsvariablen; Verwaltung benutzerdefinierter Einstellungen
Criteria	Definition der Kriterien und Nutzungsoptionen; Zuordnung der Datenfelder mit den nutzungsabhängigen Funktionsbewertungen zu den jeweiligen Nutzungen
Objectives	Definition der Zielfunktionen (z. B. Minimierung der Bodenerosion); Auswahl der Lösungsmethode
Constraints	Definition von Nebenbedingungen in Bezug auf Flächenanteile der verschiedenen Nutzungsoptionen; Definition der Zielnebenbedingungen (interaktiver Modus)
Solution	Aufruf der Ip_solve-Bibliothek zur Lösung des Problems; Übersetzung des Ergebnisses in eine kartographische Darstellung; Export des MOLP in das LP-Format

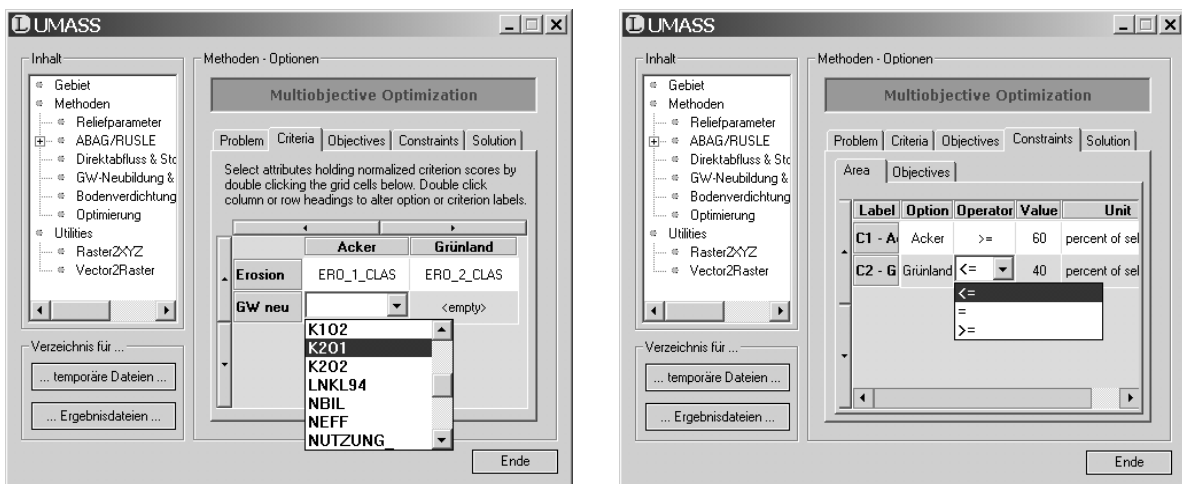


Bild 8. 3 - Abbildung des räumlichen Optimierungsproblems mit dem LUMASS-Modul „Multiobjective Optimization“. Links: Zuordnung der Datenfelder mit den Landschaftsfunktionsbewertungen zu den geplanten Landnutzungen; rechts: Definition von Nebenbedingungen in Bezug auf die Flächenanteile einzelner Nutzungen.

3.2 Strukturelle Komponenten

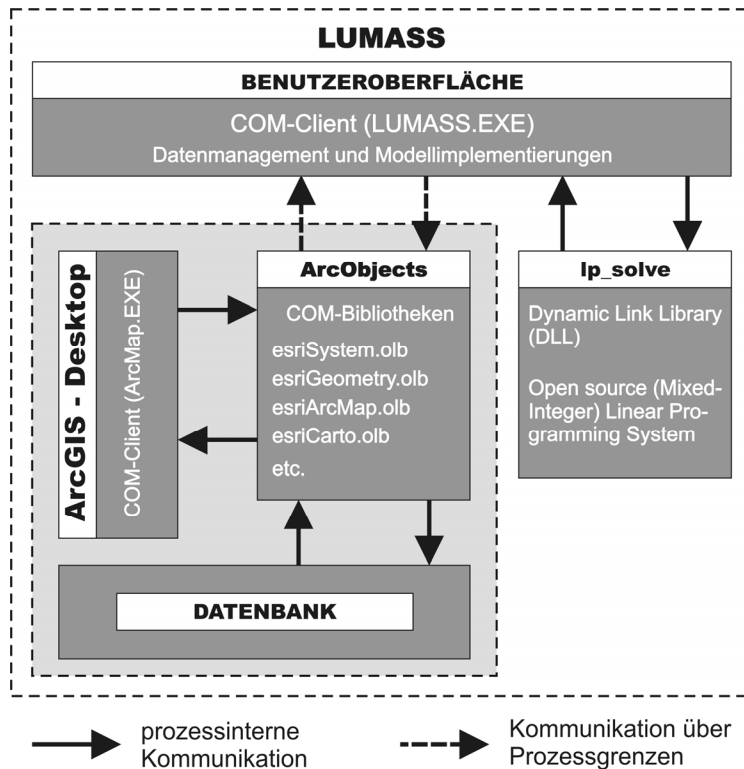


Bild 8. 4 - Strukturelle Systemkomponenten des Landmanagementsystems LUMASS (Quelle: Herzig, 2006).

zentralen Verwaltung der Datengrundlagen vor allem zur Konfiguration der modell- und methodenspezifischen Parameter und Berechnungsoptionen.

4 Landnutzungsoptimierung mit LUMASS

Der Einsatz des Landmanagementsystems LUMASS wird anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels in einem schleswig-holsteinischen Untersuchungsgebiet demonstriert. Ziel der Untersuchung ist die Generierung einer optimalen Landnutzungsverteilung mit dem Ziel den Bodenabtrag in dem Gebiet so weit wie möglich zu reduzieren. Es werden zwei Szenarien untersucht, die sich durch unterschiedliche Flächenanteile der zu realisierenden Landnutzungen unterscheiden (vgl. Tabelle 8. 3). Da es sich um einen überwiegend agrarisch geprägten Raum im ostholsteinischen Hügelland handelt, werden als zu realisierende Landnutzungen gebietstypische Fruchtfolgen bzw. Grünlandnutzung gewählt, die hinsichtlich ihrer Erosionsanfälligkeit durch den C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) nach SCHWERTMANN et al. (1990) gekennzeichnet sind (s. Tabelle 8. 3). Dabei bedeuten höhere C-Faktoren auch eine höhere Erosionsdisposition. Als Grundlage für den Optimierungsprozess wird für alle in Frage kommenden Ackerparzellen der Bodenabtrag für jede der Landnutzungsoptionen unter Anwendung der ABAG mit LUMASS modelliert. Bild 8. 5 zeigt das Modellierungsergebnis für die Winterweizen-Wintergerste-Raps- Fruchtfolge.

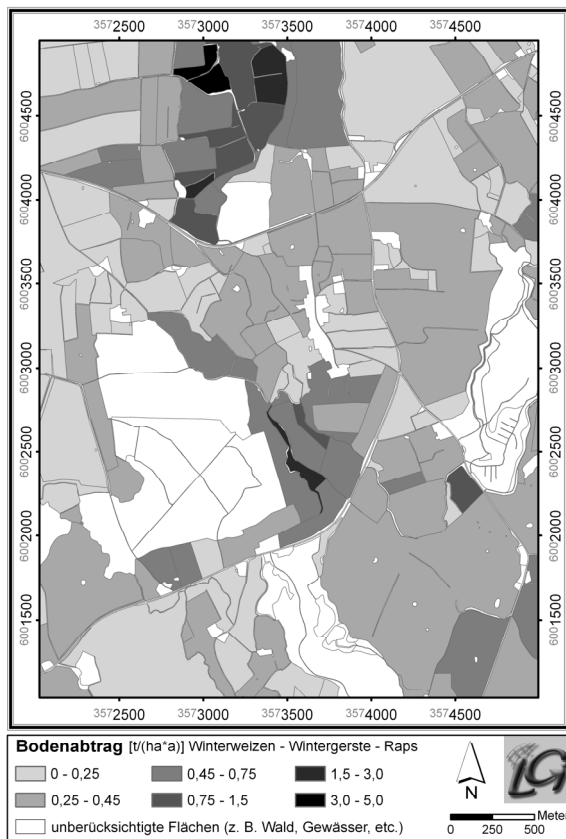
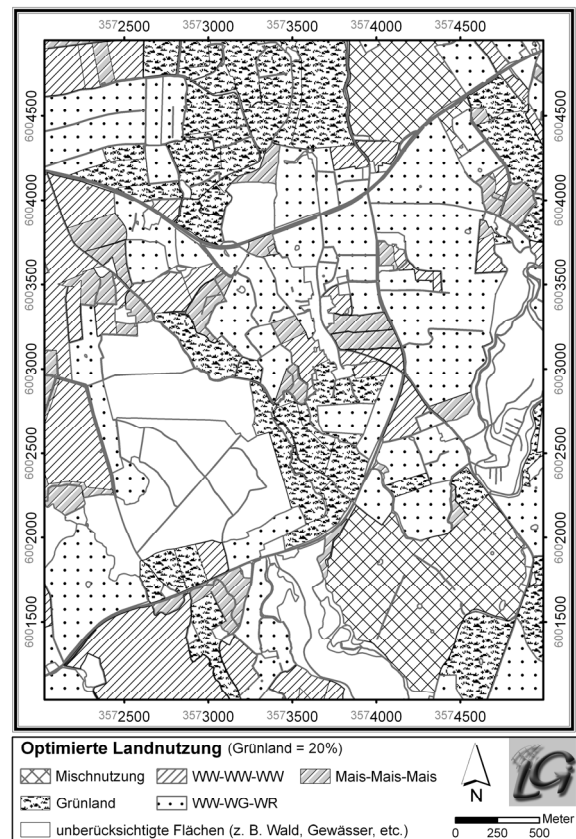
Aus struktureller Sicht besteht LUMASS vereinfacht gesagt aus den Softwarekomponenten bzw. Anwendungen ArcMap.exe (GIS), LUMASS.exe (Modellierung) und lp_solve51.dll (DS), wobei die GIS-Komponente genau genommen in drei einzelne Softwarekomponenten unterteilt werden kann (vgl. Bild 8. 4). Die einzelnen Komponenten sind eng miteinander gekoppelt und realisieren den Datenaustausch zum einen prozessübergreifend über die COM-Schnittstelle der ArcObjects™-Bibliothek und zum anderen prozessintern über die Datenelemente und Methoden der *Dynamic Link Library* lp_solve. Das zentrale Element des Systems stellt die LUMASS-Benutzeroberfläche LUMASS.exe dar. Sie dient neben der

Tab. 8.3 - Nutzungsszenarien (Quelle: HERZIG, 2006, verändert).

Szenario ¹⁾	WW-WG-WR (C-Faktor: 0,072)	WW-WW-WW (C-Faktor: 0,115)	Mais-Mais-Mais (C-Faktor: 0,505)	Grünland (C-Faktor: 0,004)
S1	≥ 40	≥ 20	≥ 6	≥ 9
S2	≥ 35	≥ 15	≥ 6	≥ 20

¹⁾ Angegeben sind die expliziten flächenbezogenen Nebenbedingungen in Prozent der Gesamtfläche
 WW: Winterweizen; WG: Wintergerste; WR: Winterraps

Da die absoluten Unterschiede der Bodenabträge einzelner Ackerparzellen in der Untersuchung ausschließlich durch die Änderung der Nutzungsoption bestimmt werden, kann Bild 8.5 zur Identifikation der relativen (potenziellen) Erosionsanfälligkeit im Vergleich zu den übrigen Flächen des Gebietes herangezogen werden. Für jedes der Szenarien wird schließlich mit Hilfe des LUMASS-Moduls „Multiobjective Optimization“ automatisch eine optimale Landnutzungsverteilung generiert. Es zeigt sich für Szenario S1, dass in Abhängigkeit der vorgegebenen Flächenanteile besonders erosionsanfällige Nutzungen (z. B. Maismonokultur) auf Flächen mit einer relativ geringen (potenziellen) Erosionsgefahr realisiert werden und umgekehrt. Die Erhöhung des Flächenanteils mit Grünlandnutzung auf ca. 20 % (Szenario S2) führt prinzipiell zum gleichen Ergebnis, wobei erwartungsgemäß ein höherer Anteil von Flächen mit einer relativ hohen (potenziellen) Erosionsgefährdung für Grünlandnutzung vorgesehen wird (vgl. Bild 8.6).

**Bild 8.5 -** Modellierter Bodenabtrag für eine Winterweizen-Wintergerste-Raps - Fruchtfolge.**Bild 8.6 -** Optimierte Landnutzungsverteilung für das Nutzungsszenario S2 (vgl. Tabelle 8.2).

Literatur

- BERKELAAR, M., EIKLAND, K. & P. NOTEBAERT: Ip_solve Version 5.1 (2004) - Open Source (Mixed-Integer) Linear Programming system. http://groups.yahoo.com/group/lp_solve, Date of access: 04.01.2005.
- CLAYTON, D. & N. WATERS: Distributed Knowledge, Distributed Processing, Distributed Users: Integrating Case-based Reasoning and GIS for Multicriteria Decision Making. In: THILL, J.-C. (Hrsg.): Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis - A Geographic Information Sciences Approach, pp 275 - 307, 1999.
- DENSHAM, P. J.: Spatial Decision Support Systems. In: MAGUIRE, D. F., GOODCHILD, M. F. & D.W. RHIND (Hrsg.): Geographical Information Systems. Vol. 1, pp 403 - 412, 1993.
- DENZER, R.: Generic Integration in Environmental Information and Decision Support Systems. In: Rizzoli, A. E. & A.J. JAKEMAN (Hrsg.): Integrated Assessment and Decision Support, Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, iEMSs, Vol. 1, pp 53 - 60, 2002.
- DJOKIC, D.: Toward a General-Purpose Decision Support System Using Existing Technologies. In: GOODCHILD, M. F., STEYAERT, L. T., PARKS, B. O., JOHNSTON, C., MAIDMENT, D., CRANE, M. & S. GLENDINNING (Hrsg.): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, pp 353 - 356, 1996.
- ELDRANDALY, K., EL DIN, N. & D. SUI: A COM-based Spatial Decision Support System for Industrial Site Selection. In: Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol. 7(2), pp 72 - 92, 2003.
- FEDRA, K. & R.F. REITSMA: Decision Support And Geographical Information Systems. In: SCHOLTEN, H. J. & J.C.H. STILLWELL (Hrsg.): Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, pp 177 - 188, Dordrecht, London, 1990.
- FEDRA, K.: Distributed Models and Embedded GIS: Integration Strategies and Case Studies. In: GOODCHILD, M. F., STEYAERT, L. T., PARKS, B. O., JOHNSTON, C., MAIDMENT, D., CRANE, M. & S. GLENDINNING (Hrsg.): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, pp 413 - 417, 1996.
- GARCIA, S. G.: GRASS GIS-embedded Decision Support Framework for Flood Simulation and Forecasting. In: Transactions in GIS, Vol. 8(2), pp 245 - 254, 2004.
- GEOFFRION, A. M.: Can OR/MS Evolve Fast Enough? In: Interfaces, Vol. 13, pp 10 - 25, 1983.
- GOODCHILD, M. F., STEYAERT, L. T., PARKS, B. O., JOHNSTON, C., MAIDMENT, D., CRANE, M. & S. GLENDINNING (Hrsg.): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, Fort Collins, Colo., 1996.
- HELMING, K. & H. WIGGERING (Hrsg.): Sustainable Development of Multifunctional Landscapes. Berlin [u. a.], 2003.
- HERZIG, A.: Entwicklung eines GIS-basierten Entscheidungsunterstützungssystems als Werkzeug nachhaltiger Landnutzungsplanung. Diss., Kiel, 2006.
- JANKOWSKI, P.: Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision-Making Methods. In: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 9(3), pp 251 - 273, 1995.
- JANSSEN, R. : Multiobjective Decision Support for Environmental Management. Dordrecht [u. a.], 1996.
- JOERIN, F. & A. MUSY: Land Management with GIS and Multicriteria Analysis. In: International Transactions in Operational Research, Vol. 7, pp 67 - 78, 2000.
- JOHNSTON, K. M.: Geoprocessing and Geographic Information System Hardware and Software: Looking Toward the 1990s. In: SCHOLTEN, H. J. & J.C.H. STILLWELL (Hrsg.): Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, pp 215 - 227, 1990.
- JONES, M. & G. TAYLOR: Data Integration Issues for a Farm Decision Support System. In: Transactions in GIS, Vol. 8(4), pp 459 - 477, 2004.
- KWAKU KYEM, P. A.: An Application of Choice Heuristic Algorithm for Managing Land Resource. In: Transactions in GIS, Vol. 5(2), pp 111 - 129.

- LAM, D. & C. PUPP: Integration of GIS, Expert Systems, and Modeling for State of Environment Reporting. In: GOODCHILD, M. F., STEYAERT, L. T., PARKS, B. O., JOHNSTON, C., MAIDMENT, D., CRANE, M. & S. GLENDINNING (Hrsg.): GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, pp 419 - 422, 1996.
- LAUSCH, A.: Integration of Spatio-Temporal Landscape Analysis in Model Approaches. In: HELMING, K. & H. WIGGERING (Hrsg.): Sustainable Development of Multifunctional Landscapes, pp 111 - 123, 2003.
- MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F. & D.W. RHIND (Hrsg.): Geographical Information Systems: Principles and Applications, Vol. 1, Harlow, Essex [u. a.], 1993.
- MAKOWSKI, M. & A.P. WIERZBICKI: Architecture of Decision Support Systems. In: WIERZBICKI, A. P., MAKOWSKI, M. & J. WESSELS (Hrsg.): Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications, pp 47 - 70, Dordrecht [u. a.], 2000.
- MALCZEWSKI, J.: GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York [u. a.], 1999a.
- MALCZEWSKI, J.: Spatial Multicriteria Decision Analysis. In: THILL, J.-C. (Hrsg.): Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis. A Geographic Information Sciences Approach, pp 11 - 48, Aldershot [u. a.], 1999b.
- MARINONI, O.: A Stochastic Spatial Decision Support System Based on PROMETHEE. In: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 19(1), pp 51 - 68, 2005.
- PULLAR, D.: Using an Allocation Model in Multiple Criteria Evaluation. In: Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol. 3(2), pp 9 - 17, 1999.
- PULLAR, D.: Simulation Modelling Applied to Runoff Modelling Using Map Script. In: Transactions in GIS, Vol. 7(2), pp 267 - 283, 2003.
- REITSMA, R. F. & J.C. CARRON: Object-oriented Simulation and Evaluation of River Basin Operations. In: Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol. 1(1), pp 10 - 24, 1997.
- RIZZOLI, A. E. & A.J. JAKEMAN (Hrsg.): Integrated Assessment and Decision Support, Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, iEMSs, Manno, Schweiz, 2002.
- ROBINSON, T. P., HARRIS, R. S., HOPKINS, J. S. & B.G. WILLIAMS: An Example of Decision Support for Trypanosomiasis Control Using a Geographical Information System in Eastern Zambia. In: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 16(4), pp 345 - 360, 2002.
- SCHOLTEN, H. J. & J. C. H. STILLWELL (Hrsg.): Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning. Dordrecht, London, 1990.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ: Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart, 1990.
- SIMON, H. A.: The New Science of Management Decision. New York [u. a.], 1960.
- SMITH, T. R. & Y. JIANG: Knowledge-Based Approaches in GIS. In: MAGUIRE, D. F., GOODCHILD, M. F. & D.W. RHIND (Hrsg.): Geographical Information Systems, Vol. 1, pp 413 - 425, 1993.
- THILL, J.-C. : SPATIAL Multicriteria Decision Making and Analysis - A Geographic Information Sciences Approach. Aldershot [u. a.], 1999.
- UNGERER, M. J. & M.F. GOODCHILD: Integrating Spatial Data Analysis and GIS: A New Implementation Using the Component Object Model (COM). In: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 16(1), pp 41 - 53, 2002.
- WIERZBICKI, A. P., MAKOWSKI, M. & J. WESSELS (HRSG.): Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications. Dordrecht [u. a.], 2000.
- YIALOURIS, C. P., KOLLIAS, V., LORENTZOS, N. A., KALIVAS, D., & A.B. SIDERIDIS: An Integrated Expert Geographical Information System for Soil Suitability and Soil Evaluation. In: Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol. 1(2), pp 89 - 99, 1997.

Synoptische Visualisierung der Abweichung der Sonneneinstrahlung und von Indikatoren des Klimawechsels von 100 000 b.p. bis 100 000 a.p.

Ulrich Wieczorek, Augsburg

Zusammenfassung: Durch ein geeignetes, leicht bedienbares Rechenprogramm für den PC lassen sich die Einstrahlungsverhältnisse für verschiedene Konstellationen der Erdbahnelemente simulieren und graphisch darstellen. Wie die Schwankungen der Erdbahnelemente klimatische Änderungen nach sich ziehen, lässt sich damit genauer darstellen. Weder durch Entwicklung eines theoretischen Modells, noch durch eine neue auf Messungen basierende Modellierung, sondern lediglich durch neue Wege in der Darstellung implizit Bekanntem durch die Transformation eines formalen mathematisch-deterministischen Modells in ein graphisch-dynamisches können sowohl der Einfluss der Schwankungen der Erdbahnelemente als auch insbesondere die besondere Bedeutung der Hochlage Tibets auf das globale Klima verdeutlicht werden.

1 Die Berechnungen von MILANKOVIC

Was den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten während des Pleistozäns genau bewirkt hat, darüber gibt es noch keine endgültige Klarheit. Man muss davon ausgehen, dass eine Reihe von Faktoren sich gegenseitig beeinflussen und die Schwankungen des Klimas durch einen Ursachenkomplex bewirkt werden. In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts hat allerdings MILUTIN MILANKOVIC versucht, die Schwankungen von Erdachsenneigung, Exzentrizität der Erdbahnellipse und der Präzession der Erdachse und die dadurch verursachten Veränderungen der Sonneneinstrahlung genauer zu berechnen. Die Skepsis war allerdings groß, Klimaänderungen wie den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten auf diese Schwankungen zurückzuführen. In der 1966 erschienenen zweiten Auflage von BLÜTHGENS Lehrbuch der Allgemeinen Klimageographie wird auf S. 561 auf die wesentlichen Einwände gegen die Theorie von MILANKOVIC hingewiesen. Insbesondere werden die von GROSS 1958 und EMILIANI 1956 veröffentlichten Zeitskalen der Temperaturschwankungen als nicht konform mit den Schwankungen der Erdbahnelemente bezeichnet. Jedoch von EMILIANI 1964 (vgl. WOLDSTEDT, 1965, S. 277) ermittelte Temperaturschwankungen lassen sich aber mit den Auswirkungen der Schwankungen der Erdbahn-

elemente auf die Einstrahlung zum Teil gut in Einklang bringen. Seit Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts neu hinzu gekommene Forschungsergebnisse (z.B. HAYS, IMBRIE & SHACKELTON 1976) haben ebenfalls dazu geführt, dass die Theorie von MILANKOVIC heute wieder akzeptiert wird (vgl. IMBRIE & IMBRIE 1979, S. 170, BENN & EVANS 1998, S. 6-10, KLOSTERMANN 1999, S. 112/113, S. 220, LOZÁN, GRAßL & HUPFER 2001, S. 68).

Die von MILANKOVIC untersuchten Parameter der Erdbewegung, die im Folgenden kurz vorgestellt werden, sind weitgehend unabhängig von auf der Erde ablaufenden Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Naturfaktoren. Lediglich die Verschiebung der Kontinentalplatten wie auch Verschiebungen von Massen unterschiedlicher Dichte im Erdinneren und daraus folgende Veränderungen des Drehimpulses des Himmelskörpers Erde können die Rotationsachse beeinflussen. Dies geht jedoch so langsam vor sich, dass damit ein Einfluss auf die Stellung der Erdachse während des Pleistozäns vernachlässigbar ist.

Die Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn

Die numerische Exzentrizität der Erdbahnellipse beträgt derzeit 0,0164. Der der Sonne am nächsten liegende Punkt der Erdbahnellipse, das Perihel, wird am 3. Januar erreicht. Der Exzentrizitätsbetrag von 0,164 und diese Perihellage bedeuten, dass auf der Nordhalbkugel das Winterhalbjahr (vom Herbst- bis zum Frühlingsanfang) um knapp 8 Tage kürzer ist als das Sommerhalbjahr (vom Frühlingsanfang bis zum Herbstanfang). Die Schwankungen der Exzentrizität sind insbesondere auf den Einfluss der Gravitation von Jupiter und Saturn auf die Erdbahn zurückzuführen (vgl. auch GRAßL 1999, S. 46). Sie sind nicht exakt regelmäßig (vgl. Bild 9. 1 nach HERRMANN 2000, S. 60). Eine Periodizität von ca. 100 000 Jahren ist daher nur mit Einschränkungen ableitbar.

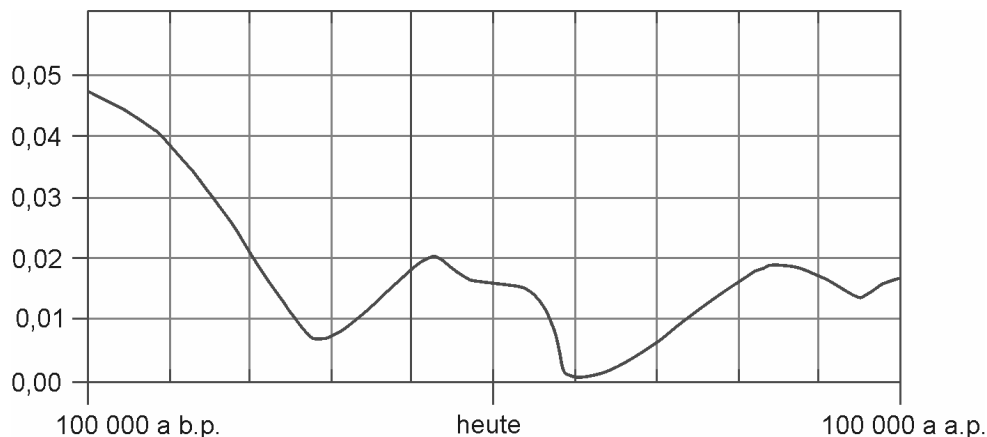


Bild 9. 1 - Numerische Exzentrizität der Erdbahn von 100 000 b.p. bis 100 000 a.p.
(nach HERRMANN, 2000, S. 60)

Die Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn führen zu einer stärker oder schwächer elliptisch geformten Umlaufbahn der Erde um die Sonne. Die Differenz des größten und des kleinsten Abstandes der Erde von der Sonne wird dadurch vergrößert bzw. verringert.

Heute beträgt diese Differenz ca. 5 Mio. km (147,1 Mio. km für den geringsten, 152,1 Mio. km für den größten Abstand). Wenn man die Größe der Oberflächen von Kugeln mit dem Radius 152,1 Mio. km

und 147,1 Mio. km vergleicht, bedeutet dies immerhin eine Abnahme der Strahlungsdichte vom geringsten zum größten Abstand vom Indexwert 1 auf den Indexwert

$$\frac{4 \cdot 147,1^2 \cdot \pi}{4 \cdot 152,1^2 \cdot \pi} = 0,9353$$

auf der Obergrenze der Atmosphäre, also einen Unterschied der Strahlungsdichte von rund 6,65 %.

Die größte Entfernung von der Sonne erreicht derzeit die Erde im Nordsommer, der damit durch die geringere Strahlungsdichte gekennzeichnet ist. Diese geringere Strahlungsdichte wird allerdings über das Sommerhalbjahr (vom Frühlings- bis zum Herbstfang) durch die längere Dauer des Nordsommers kompensiert. Im Nordwinter steht die Erde zur Sonne am nächsten, ist also die Strahlungsdichte höher. Der dadurch gegebene Strahlungsgewinn wird aber durch die kürzere Dauer des Winterhalbjahres ebenfalls kompensiert.

Mit einem Ansteigen der Exzentrizität von heute ca. 0,164 auf den maximalen Wert von ca. 0,045 nimmt die Differenz zwischen den Abständen des sonnennächsten und des sonnenfernsten Punktes der Erdbahn auf rund 13,5 Mio km zu. Damit wächst die Differenz der Strahlungsdichte zwischen der Aphel- und der Perihelstellung auf knapp 20%. Bei Beibehalten der Richtung der Ekliptikschiefe nehmen auf der Südhalbkugel die Extreme zwischen Sommer und Winter zu, während sie sich auf der Nordhalbkugel reduzieren. Die Einstrahlung nimmt dann nämlich zur Zeit des Nordwinters zu und zur Zeit des Nordsommers ab. Denn bei höherer Exzentrizität liegt das Perihel näher an der Sonne, das Aphel weiter von der Sonne als heute.

Eine Beeinflussung des globalen Klimas ist hierdurch unvermeidlich.

Die Schwankungen der Ekliptikschiefe (Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik)

Die Ekliptikschiefe beträgt derzeit 23,45° und nimmt ab. Sie schwankt ziemlich regelmäßig (IMBRIE & IMBRIE, 1979, S. 170) zwischen ca. 21,9° und 24,3° mit einer Periode von ca. 41 000 Jahren.

Eine Änderung der Ekliptikschiefe hat, wenn man die Abweichung der Erde von der Kugelform vernachlässigt, an der Obergrenze der Atmosphäre lediglich einen Einfluss auf die Verteilung der eingestrahlten Energiemenge über die Breitenlagen. Die Strahlungsmenge, welche die gesamte Erde an einem bestimmten Tag an der Obergrenze der Atmosphäre empfängt, bleibt dabei unverändert.

Berücksichtigt man allerdings die atmosphärische Extinktion, so wird die Gesamtsumme der den Erdboden erreichenden Einstrahlung durchaus von der Änderung der Neigungsrichtung der Erdachse und ihrer Ekliptikschiefe beeinflusst.

Die Präzession der Erdachse (Veränderung der Neigungsrichtung) und Apsidendrehung

Die Erdachse bewegt sich so, dass sie einen Kegelmantel überstreicht. Diese Bewegung nennt man Präzession. Dadurch wandern Perihel und Aphel durch das Kalenderjahr. Ein Umlauf um den Kegelmantel und damit die Verschiebung von Perihel und Aphel durch das Kalenderjahr dauert ca. 25 850 Jahre. Die Richtung der Erdachsenneigung ändert sich pro Jahr um 50,256 Winkelsekunden gegenläufig zur Drehrichtung der Erde um die Sonne, d.h. im Uhrzeigersinn, wenn man von Norden auf die Erdbahnebene blickt. Winter-, Frühlings, Sommer- und Herbstfang verschieben sich aber

trotzdem nicht, weil als Grundlage unserer Zeitrechnung das tropische Jahr gilt, dessen Beginn und Ende durch das Erreichen des Frühlingspunktes auf der Erdbahn definiert ist. Der Frühlingspunkt verschiebt sich aber durch die Präzession. Dagegen bezeichnet siderische Jahr, auch Sternjahr genannt, exakt einen Umlauf um die Sonne von einem bestimmten Punkt auf der Erdbahnellipse zu diesem zurück. Das tropische Jahr hat eine zeitliche Länge von 365 d 5 h 48 m 46,98 s, das siderische Jahr eine solche von 365 d 6 h 9 m 9,54 s, das bedeutet eine Differenz von 20,38 Minuten. Weil sich aber im Kalender Winter-, Frühlings, Sommer- und Herbstanfang nicht verschieben, bedeutet dies, dass sich Aphel und Perihel innerhalb des Kalenderjahres verschieben.

Wäre nur die Präzession berücksichtigen, würden nach einem Kalenderjahr Aphel und Perihel um 20,38 Minuten später erreicht. Zusätzlich dreht sich aber die Längsachse der Erdbahnachse in der gleichen Richtung wie die Erde um die Sonne wandert (Apsidendrehung) und zwar 11,4 Winkelsekunden pro Kalenderjahr. Aphel und Perihel verschieben sich damit um rund 61,7 Winkelsekunden im Kalenderjahr in Richtung des Umlaufs der Erde um die Sonne. Die Verschiebung von Aphel und Perihel einmal um die Erdumlaufbahn, d.h. durch ein Kalenderjahr hindurch, dauert ziemlich genau 21000 Jahre.

Damit sind nach rund 10 500 Jahren die Aphel- und die Perihelstellung der Erde im Jahr vertauscht. Das Perihel wandert derzeit in Richtung Sommerhalbjahr und zwar in rund 57½ Jahren um einen Tag, so dass es in ca. 8600 Jahren in die Zeit des Sonnenhöchststandes auf der Nordhalbkugel fällt.

Mit der Wanderung von Perihel und Aphel durch das Jahr verändert sich auch der jahreszeitliche Verlauf des Abstandes der Erde von der Sonne und damit die jahreszeitliche Verteilung der Strahlungsdichte.

2 Die Berechnung der jahreszeitlichen Einstrahlungsverhältnisse

Für die jeweilige Konstellation von Erdachsenneigung, Exzentrizität der Erdbahnellipse sowie der Präzession/Apsidendrehung der Erdachse wird nicht für ein starr festgelegtes Sommer- und Winterhalbjahr die Veränderung der Einstrahlungsverhältnisse berechnet. Es werden diejenigen Tage bestimmt, für welche die Einstrahlung höher bzw. geringer ist als heute. Außerdem wird für jeden Tag des Jahres der Betrag der Einstrahlungsabweichung ermittelt.

Die in der Breitenlage Φ an der Obergrenze der Atmosphäre pro Sekunde und cm^2 auftreffende Sonnenenergie E in J/cm^2 läßt sich folgendermaßen berechnen (vgl. WIECZOREK, 1998):

$$E = 0,1367 \cdot \left(\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot (\sigma_U - \sigma_A) - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot (\sin \sigma_U - \sin \sigma_A) \right) \quad (1)$$

0,1367 ist die aus der Solarkonstanten sich ergebende Energie in $\text{Ws}/\text{cm}^2 = \text{J}/\text{cm}^2$; δ ist die Breitenlage, an der mittags die Sonne im Zenit steht; σ_A und σ_U sind die Stundenwinkel von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang in Bogenmaß (im Gradmaß entsprechen 0° 0 Uhr, 90° 6 Uhr usw.).

Es wurde detailliert gezeigt (WIECZOREK 1998) wie der Wert von E für jeden Tag des Jahres für verschiedene Werte von Exzentrizität, Ekliptikschiefe und Präzession/Apsidendrehung berechnet werden kann.

Die täglich eingestrahelte Energie E_d pro cm^2 ist gleich $24 \cdot 3600 \cdot E$ ($24 \cdot 3600$ ist die Anzahl der Sekunden des Tages). Für δ gilt

$$\sin \delta = \frac{\tan \varepsilon \cdot \cos\left(\frac{\tau}{365} \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\sqrt{1 + \left(\tan \varepsilon \cdot \cos\left(\frac{\tau}{365} \cdot \frac{\pi}{180}\right)\right)^2}} \quad (2)$$

τ ist gibt die Nummer des Tages im Jahr an (z.B. ist $\tau=33$ für den 2. Februar), ε ist die Ekliptikschiefe.

Die elliptische Form der Sonnenbahn wird dadurch berücksichtigt, dass die Tagnummer τ ersetzt wird durch den Term

$$\tau_{\text{korr2}} = \tau + \frac{h}{4} \cdot \sin\left(\left(\tau - 2 - \frac{p}{360} \cdot 365\right) \cdot \frac{2\pi}{365}\right) = \tau + \frac{h}{4} \cdot \sin(\tau_{\text{korr1}}) \quad (3)$$

Dabei ist h die aus der numerischen Exzentrizität (derzeit ca. 0,164) berechenbare Differenz der Länge zwischen Sommer- und Winterhalbjahr (derzeit rund 7,7 Tage); 2 bedeutet, dass der sonnennächste Punkt der Erdbahn erst am 3. Tag des Jahres, d.h. am 3. Januar erreicht wird; p markiert die Abweichung der Richtung der Erdachsenneigung von der heutigen in Grad (derzeit wird p gleich 0 gesetzt). Die unterschiedliche Entfernung der Erde zur Sonne wird dadurch berücksichtigt, dass E_d mit folgendem Term multipliziert wird

$$\left(1 + f \cdot \cos(\tau_{\text{korr1}}) \cdot \sqrt{\frac{1 - f^2}{1 - f^2 \cdot \cos(\tau_{\text{korr1}})}}\right)^2 \quad (4)$$

Dabei ist f die numerische Exzentrizität der Erdbahn.

Alle diese Terme sind mit Kenntnissen der Schulmathematik herleitbar. Dabei sind eine Reihe von Vereinfachungen durchgeführt worden, z.B. Voraussetzung der Kugelgestalt der Erde, Nichtberücksichtigung weiterer untergeordneter Schwankungen der Erdrotation und der Bewegung der Erde um die Sonne (vgl. WIECZOREK 1998). Somit ist durch die gegebenen Terme nur eine Näherung an die wirklichen Verhältnisse gegeben. Diese ist jedoch vor allem für die Herstellung von Vergleichen, die auf der Variation der Parameter ε , f und p beruhen, voll ausreichend.

Die atmosphärische Extinktion wird in Anlehnung an ein Modell von J.M. WALLACE & P. HOBBS dadurch berücksichtigt, dass E_d mit

$$\frac{\rho}{e^{\sin \sigma}} \quad (5)$$

multipliziert wird. Dabei ist σ der Winkel der Sonnenhöhe und ρ eine Konstante, die davon abhängt, welche Menge an Sonnenstrahlung (direkte Strahlung und Streustrahlung) die Erdoberfläche erreicht. ρ errechnet sich zu -0,299, wenn vorausgesetzt wird, dass 53% der Sonnenstrahlung von der Atmosphäre absorbiert werden.

Dieses Rechenmodell wurde in ein Computerprogramm umgesetzt, durch welches die durch Veränderung der Parameter ϵ , f und p verursachten Variationen des Tages- und Jahresgangs der Sonneneinstrahlung visualisiert und quantifiziert werden können. Es ist noch ein DOS-Programm, welches aber in allen gängigen Windows-Versionen am PC lauffähig ist. Die Einstrahlung lässt sich dadurch sowohl für die heute gültigen Werte als auch für (innerhalb der von MILANKOVIC angegebenen Schranken) veränderte Werte von Exzentrizität, Ekliptikschiefe und Präzession/Apsidendrehung darstellen. Die Darstellung ist für Tages- und Jahresgänge als auch für beliebig gewählte Jahresabschnitte möglich. Dabei wird nicht nur die Einstrahlung an der Obergrenze der Atmosphäre sondern auch die Extinktion durch die Atmosphäre nach dem modifizierten Modell von WALLACE & HOBBS bei wolkenlosem Himmel ausgegeben und zwar auf die Meershöhe bezogen. Schwankungen der Ozon- und Wasserdampf- und Aerosolkonzentration sowie auch anderer stofflicher Bestandteile, welche stochastisch bedingt sind, können dabei nicht erfasst werden.

3 Visualisierung der Einstrahlungsabweichungen

Darstellungsform

In einem Diagramm, in dem als Rechtswert die Tage des Jahres und als Hochwert die Breitenlagen vom Südpol bis zum Nordpol (wegen der Begrenztheit des Bildschirmes in Intervallen von 3 Breitengraden) kann nun die Abweichung der Sonneneinstrahlung für ein bestimmtes Jahr dargestellt werden. Für jede Breitenlage ist von links nach rechts ein Balken aufgetragen, dessen Dicke den Betrag der Abweichung der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche bezogen auf die Meereshöhe zeigt (Bild 9. 2). Das Diagramm enthält somit drei Dimensionen der Information: Zeit, Breitenlage, Einstrahlungsenergieabweichung. Es wurden insgesamt 100 derartige Diagramme erstellt und zwar für die Jahre 100 000 b.p., 99 000 b.p. bis 1000 b.p. in Abständen von jeweils 1000 Jahren. Damit lässt sich die Entwicklung der Einstrahlungsabweichung während der letzten 100 000 Jahre verfolgen. Die Darstellung erhält demnach eine weitere zeitliche Dimension. Mit Hilfe des Programms PowerPoint kann der zeitliche Ablauf der Einstrahlungsveränderung in einer Art Film simuliert werden. Eine derartige PowerPoint-Folie ist in Bild 9. 2 wiedergegeben.

Neben diese Diagramme werden folgende Kurven gestellt (Bild 9. 2):

(1) δO^{18} -Werte eines GRIP-Bohrkerns (Mittelung über jeweils 1000 Jahre mit anschließender Glättung durch gleitende Mittelwertbildung über jeweils 1000 Jahre,

Quelle: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/greenland/summit/index.html>)

(2) Abweichung der globalen Mitteltemperatur zu heute (vgl. IMBRIE & IMBRIE 1979, S. 186)

(3) Das zusätzliche Eisvolumen auf den Kontinenten während der letzten 100 000 Jahre (vgl. CHAPPEL & SKYTHUS 1995, S. 183)

Die Zeitachse dieser Kurven verläuft senkrecht, ein waagerechter Balken markiert das jeweilige Jahr, für welches die Einstrahlungsabweichung dargestellt ist.

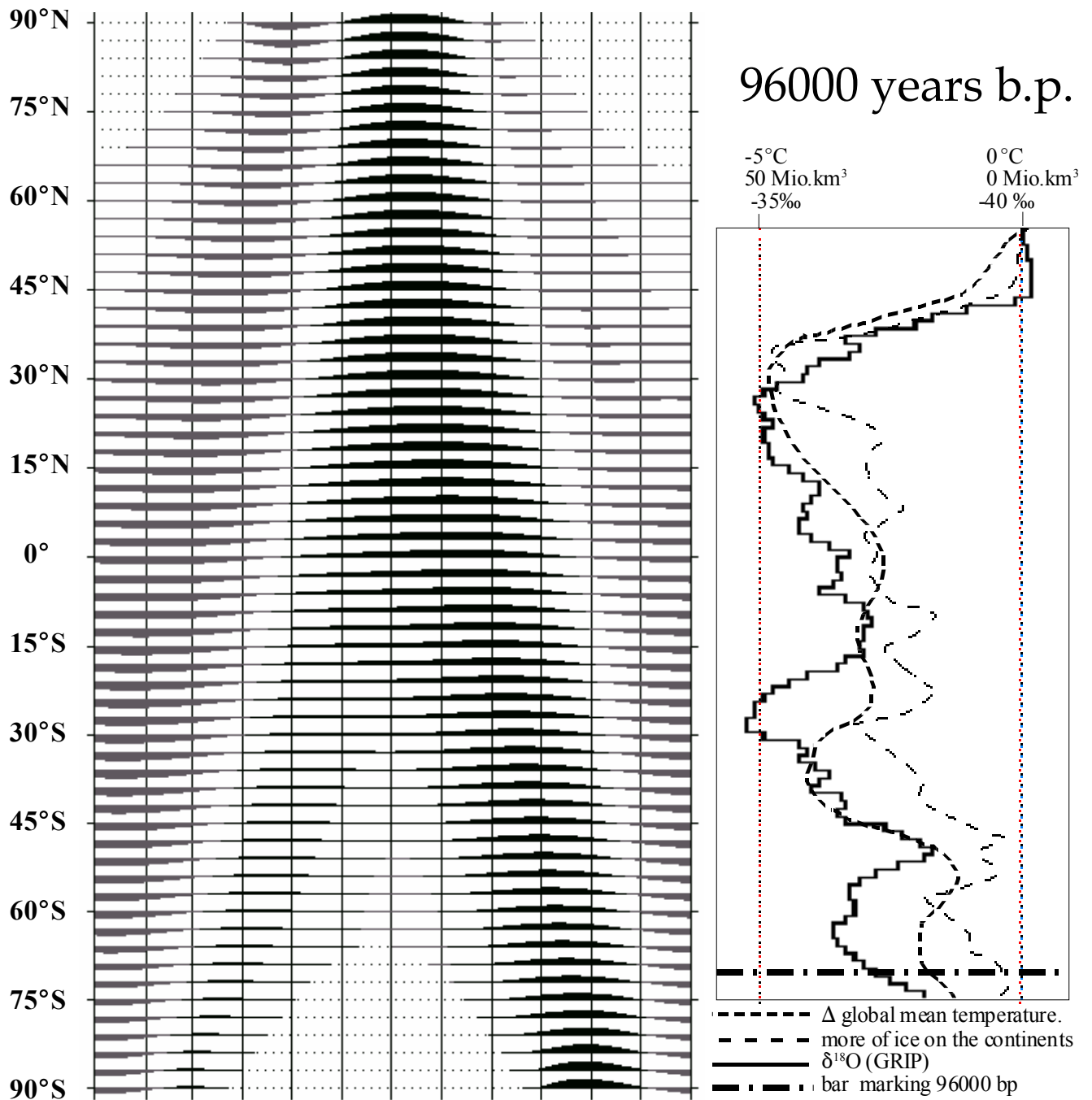


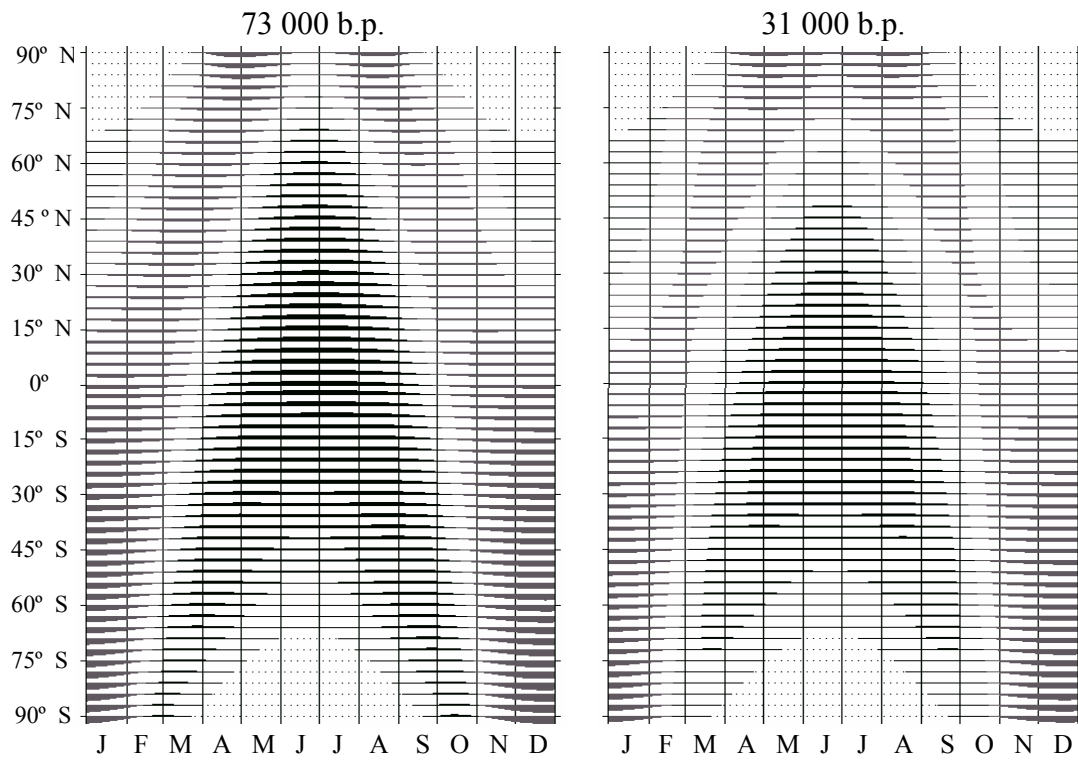
Bild 9.2 - Folie der Simulation, welche die Abweichung der Einstrahlungsverhältnisse in Meereshöhe vor 96 000 Jahren zeigt.

Schwarz und Werte höherer Intensität nach oben abgetragen: Höhere Einstrahlung als heute.

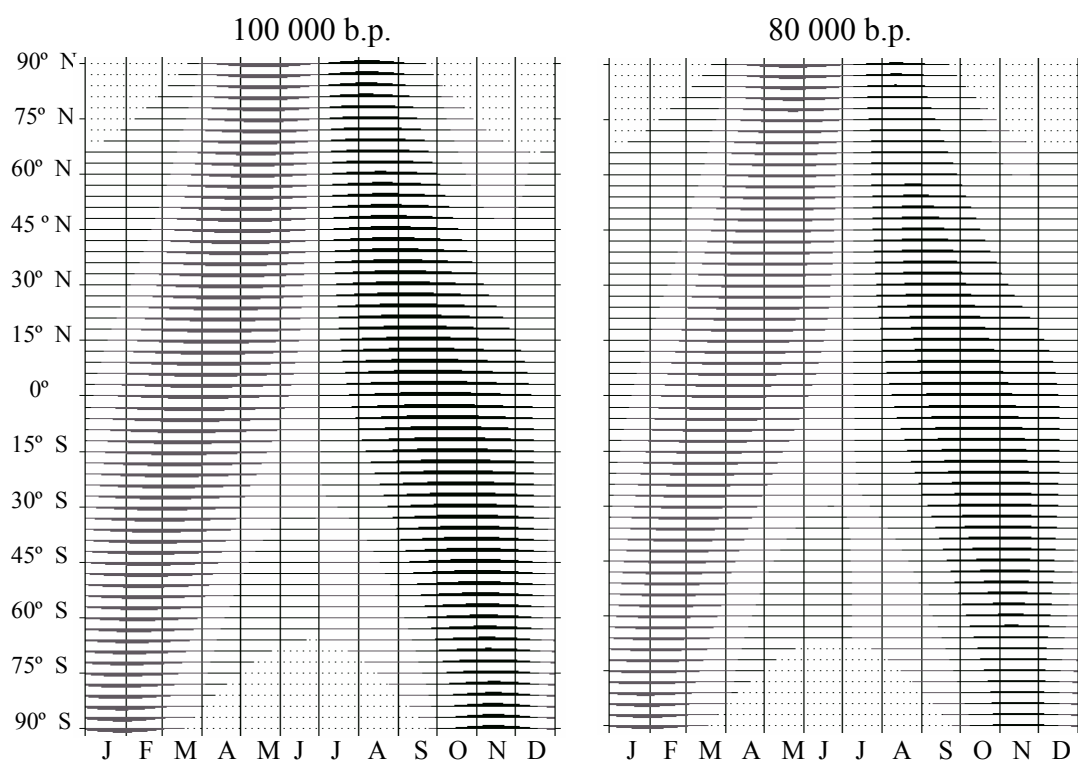
Grau und Werte höherer Intensität nach unten abgetragen: Niedrigere Einstrahlung als heute.

Rechts sind die $\delta^{18}\text{O}$, die Abweichung der globalen Mitteltemperatur zu heute und die geschätzte zusätzliche Eismasse auf den Kontinenten dargestellt. Der strichpunktierte Balken markiert das Jahr welches die Folie darstellt, in diesem Fall 96 000 bp.

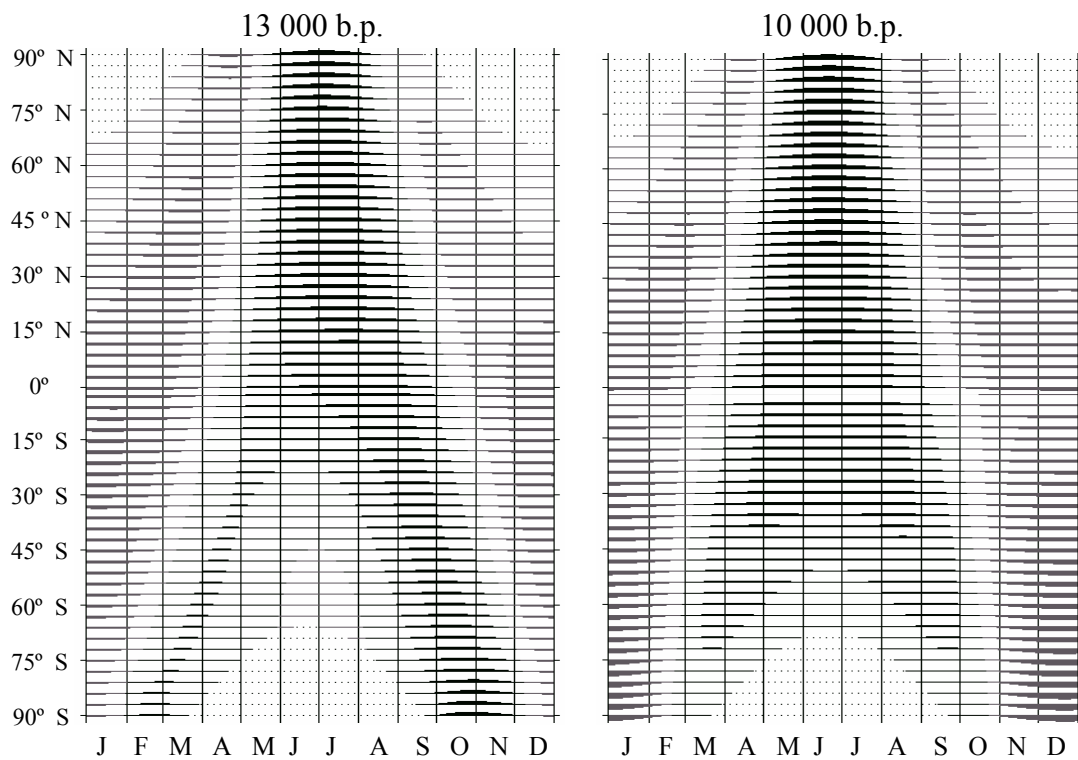
a. Starke Abkühlung



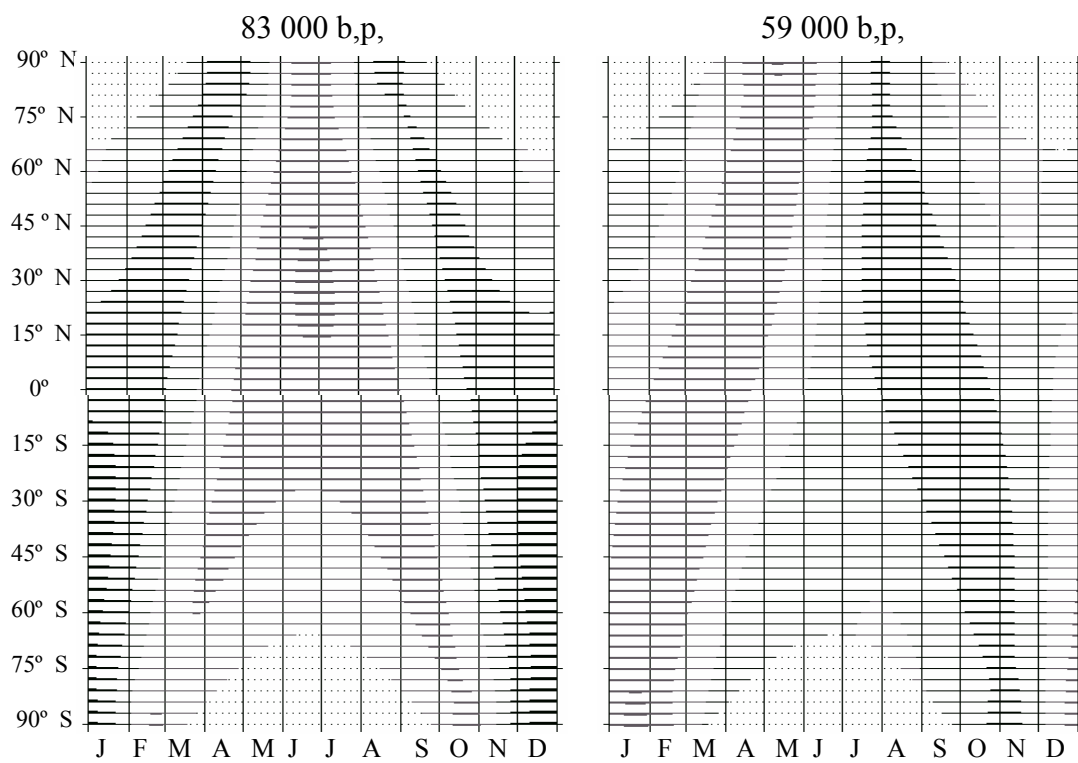
b. Beginn starker Abkühlung



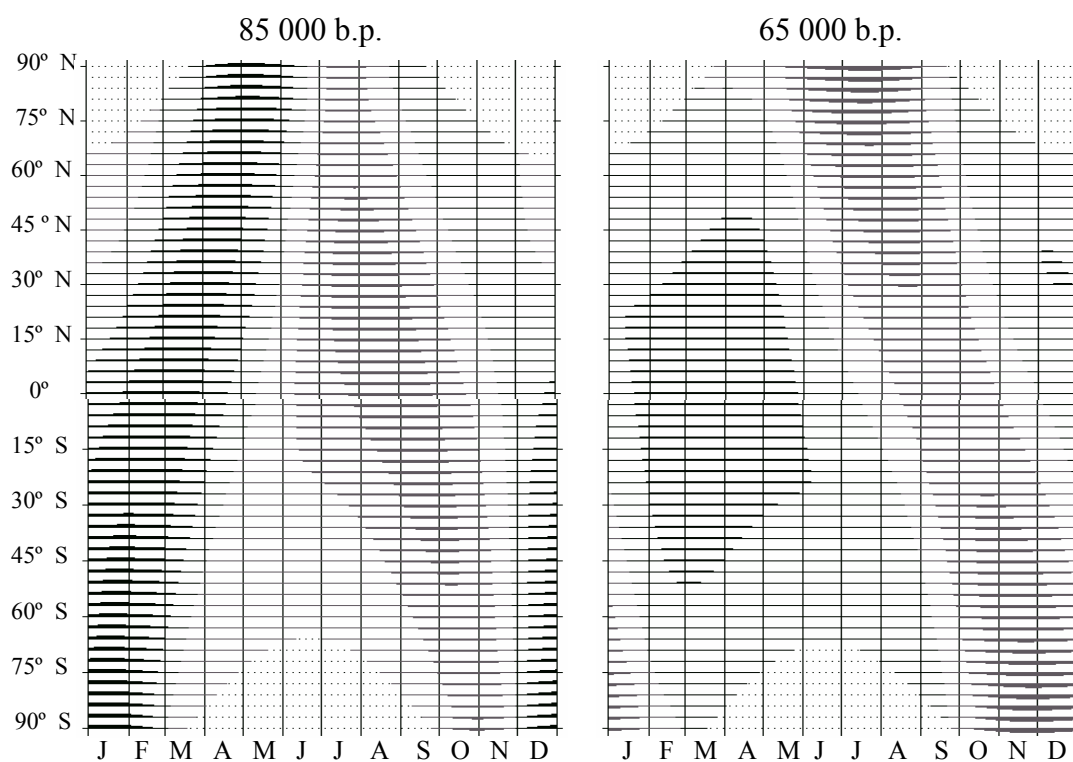
c. Starke Erwärmung



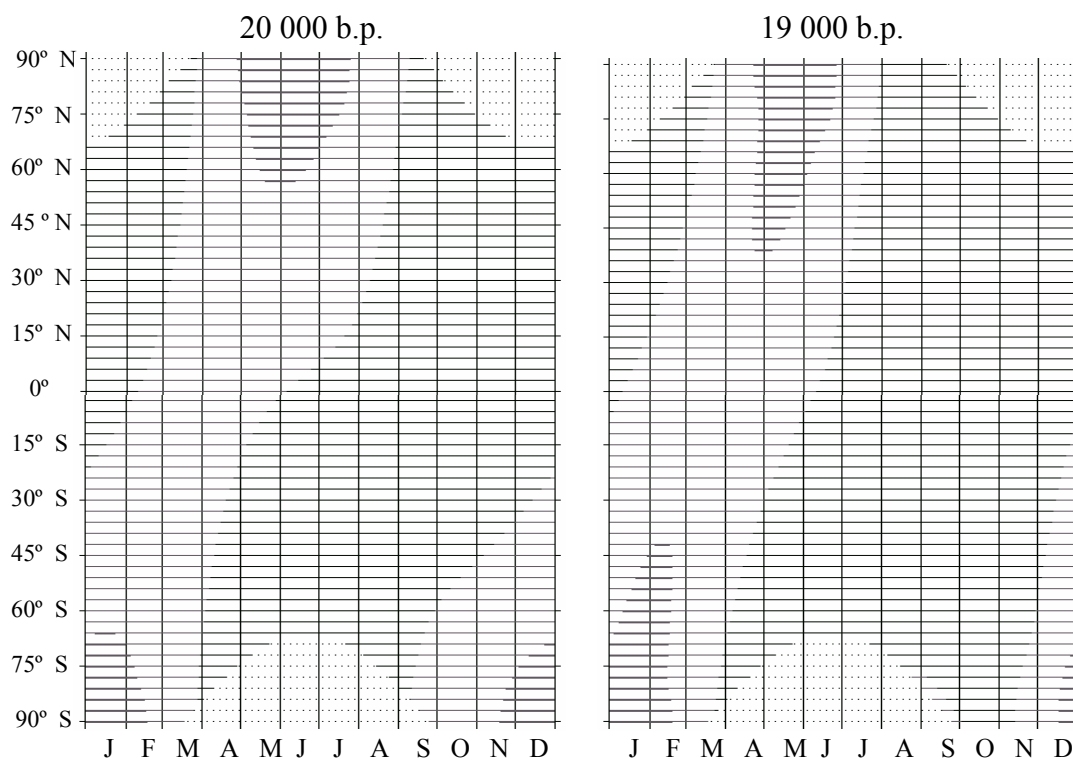
d. Mäßig warm



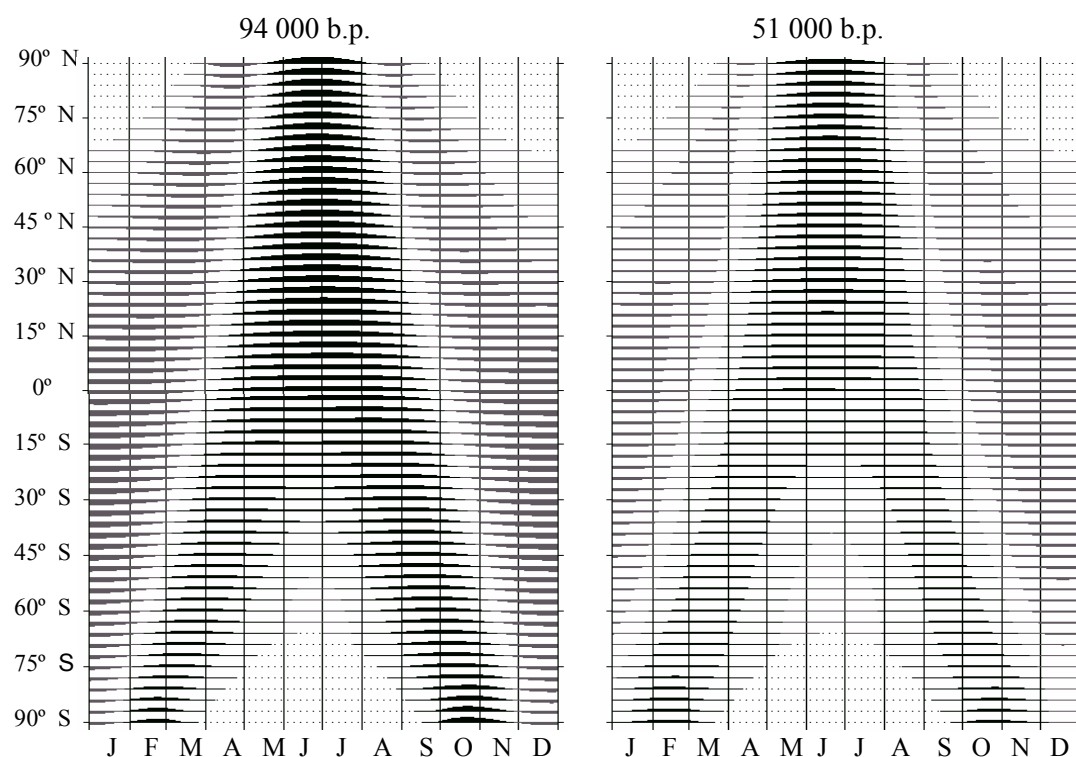
e. Beginn starker Erwärmung



f. Beginn starker Erwärmung



g. Mäßig kalt



h. Erwärmung und Abkühlung

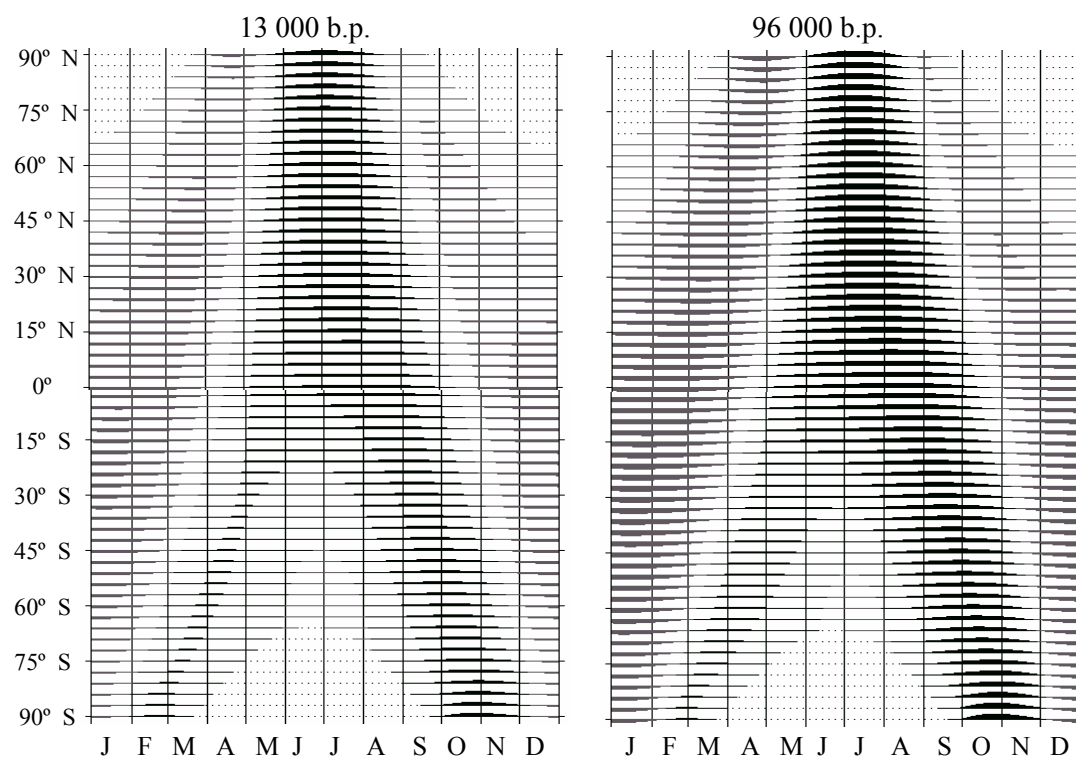


Bild 9.3 - Muster der Strahlungsabweichung und Klimaveränderung

Muster der Einstrahlungsabweichungen

Bild 9.3 zeigt verschiedene Muster der Abweichung der Einstrahlung gegenüber den heutigen Verhältnissen. Es können Muster ermittelt werden, welche eindeutig mit Abkühlung bzw. kühlen globalem Klima zusammenhängen (Bild 9. 3a). Diese Abbildung zeigt eine deutliche Reduzierung der Sonneneinstrahlung in den höheren nördlichen Breiten über das ganze Jahr hinweg. Im Nordsommer ist die Einstrahlung von allem in den niederen Breiten höher. Höhere Einstrahlung herrscht auf der Südhalbkugel während des Süd winters.

Das Muster in Bild 9. 3b steht mit dem Beginn starker Abkühlung in Zusammenhang. Es zeigt sowohl auf der Nord- als auf der Südhalbkugel in den niederen Breiten geringere Einstrahlung in der ersten Jahreshälfte über die Jahresmitte hinaus. In den mittleren und höheren südlichen Breiten ist die Einstrahlung in der ersten Hälfte des Süd winters leicht erhöht.

Geringe Abweichungen zu den heutigen Einstrahlungsverhältnissen lassen sich in der Regel mit wärmerem globalem Klima oder mit Erwärmung in Zusammenhang bringen. (Bild 9. 3d, 3e und 3f).

Die Muster in Bild 9. 3c und 3g haben Ähnlichkeit, wobei 3c mit starker Erwärmung, 3g mit mäßiger Abkühlung in Zusammenhang steht. Es muss offen bleiben, ob die unterschiedliche Art des Klimawandels ihre primäre Ursache darin hat, dass in 3g die Amplituden der Einstrahlungsabweichung größer sind oder ob andere, insbesondere auf die Wechselwirkungen des Systems Erde zurückzuführende Einflüsse die bedeutendere Rolle spielen. In Bild 9. 3h sind sehr ähnliche Muster nebeneinander gestellt, die mit unterschiedlicher Klimaentwicklung in Zusammenhang stehen.

4 Schlussfolgerung

Zwar muss eine Reihe von Fragen, insbesondere die Auswirkungen der Einstrahlungsveränderungen auf die ozeanischen Regionen und ihre Rückwirkungen auf das Klima offen bleiben. Trotzdem kann die bessere Veranschaulichung der durch die Variationen der Parameter der Erdbewegung bedingten Einstrahlungsabweichungen durch Jahreslauf-Breitenlage-Diagramme deren Auswirkungen auf den Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten besser verständlich machen. Es gibt Abweichungsmuster, die mit Klimaveränderungen gut in Einklang zu bringen sind und solche, welche diesbezüglich keine eindeutigen Aussagen erlauben. Dies führt zu der Frage, in welcher Weise die Änderung der Einstrahlungsverhältnisse und Variationen im System Erde beim Wechsel von Warmzeiten und Kaltzeiten zusammenspielen.

Literatur

BENN, D.I. & D.J.A. EVANS (1998): *Glaciers and Glaciation*. London, New York, Sydney, Auckland

BLÜTHGEN, J. (1966): *Allgemeine Klimageographie*. 2. Aufl., Berlin

CHAPPEL, J. & J. SKYTHUS (1995): *Paleoclimatic Modelling: A Western Pacific Perspective*. In: GIAMBELLUCA Th.W., Henderson-Sellers, A (Ed.): *Climate Change*. Chichester. S. 175-193

GRAEL, H. (1999): *Wetterwende*. Frankfurt/Main, New York

- HAYS J.D., IMBRIE, J. & N.J. SHACKLETON (1976): Variations in the earth's orbit: pacemaker of the ice ages, *Science*, 194 pp. 1121-1132
- HERRMANN, J. (2000): dtv-Atlas Astronomie. 14. Auflage. München
- IMBRIE, J. & K.P. IMBRIE (1979): *Ice Ages*. London and Basingstoke, Dehli, Dublin, Hong Kong, Johannesburg, Lagos, Melbourne, New York, Singapore, Tokyo
- JOHN, B.S. (1977): *The Ice Age*. London
- KLOSTERMANN, J. (1999): *Das Klima im Eiszeitalter*. Stuttgart
- LOZÁN, J.L., GRAEL, H. & P. HUPFER (Eds.) (2001): *Climate of the 21st Century: Changes and Risks*. Hamburg
- MILANKOVIC, M. (1936); Stellung und Bewegung der Erde im Weltall. *Handbuch der Geophysik*. Band I: Die Erde als Planet. S. 69 - 138
- WALLACE J.M. & P.V. HOBBS (1977): *Atmospheric Science. An Introductory Survey*. New York, San Francisco. London
- WIECZOREK, U. (1998): Die theoretische Sonneneinstrahlung auf einen Erdoberflächenausschnitt im Tageslauf und im Jahreslauf. Ein Beispiel für die Vereinfachung eines geographisch bedeutsamen Sachverhalts. In: Rudolf Schönbach: Vereinfachung geographischer und geographisch bedeutsamer Sachverhalte im Unterricht mit Beispielen von ULRICH WIECZOREK, DIETER HIRSCHBERG, HANS HILLENBRAND. *Augsburger Beiträge zur Didaktik der Geographie*, Heft 11, 1998
- WOLDSTEDT, P. (1965): *Das Eiszeitalter. Grundlinien einer Geologie des Quartärs*. Band 3., 2. Auflage. Stuttgart

Modellierung zeitlicher Prozesse in instabilen räumlichen Feldern

Raimund Rödel, Greifswald

Zusammenfassung: Indizes der atmosphärischen Zirkulation können zur Erklärung der Variabilität der Abflüsse auf der kontinentalen Skala genutzt werden. In Europa sind Abweichungen der Niederschläge und Abflüsse, welche sehr gut mit den Phasen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) korrelieren, bekannt. Diese Abweichungen lassen sich über ganz Eurasien verfolgen und als driftende Felder beschreiben. Instationäre Felder bewegen sich dabei mit dem Trend der NAO entlang einer Achse von Westeuropa bis in das Einzugsgebiet der Lena in Sibirien. Ein solcher Effekt lässt sich einerseits für die Abweichungen vom langjährigen Mittel wie auch für Verschiebungen in den Saisonfiguren (Abflussregimen) beobachten. Dieser Beitrag trägt zum Verständnis die Ursachen für dieses Verhalten als Ausdruck der großskaligen Klimavariabilität auf der Nordhemisphäre bei. Gleichzeitig wird aufgezeigt, wie sich solche Muster der großskaligen Variabilität der Abflüsse analysieren lassen um die dabei identifizierte räumlich-zeitliche Variabilität später mit Zeitreihenmodellen abbilden zu können.

1. Einleitung

Der in den Strömen der Erde realisierte Teil des Wasserkreislaufs zählt zu den schnellsten Umsätzen globaler Stoff- und Energieflüsse. Veränderungen in den Abflüssen kommen als räumlichem Integral klimarelevanter Prozesse wichtige Indikatorfunktionen zu. Mit diesen lassen sich Effekte globaler Umweltveränderungen erkennen.

Großräumige Änderungen hydrologischer Prozesse können als Trends oder Anomalien in Zeitreihen der Abflüsse erfasst werden. Welche dekadischen und multidekadischen Variationen der Abfluss in großskaligen Einzugsgebieten aufweist, wird im Allgemeinen anhand von Zeitreihen der Jahresmittelwerte untersucht. PEEL ET AL (2001) beschreiben die großskalige Variabilität der globalen Jahresabflüsse. DETTINGER & DIAZ (2000) versuchen, neben einer Beschreibung eines globalen Datensatzes der interannuellen Abflussvariabilität dessen Korrelationen mit der El Niño/Southern Oszillation (ENSO) und der North Atlantic Oszillation (NAO) sowie Klimaindizes für den nordpazifischen Raum herauszuarbeiten.

Solche Korrelationen von Klimaindizes mit jährlichen Abflüssen fallen jedoch im kontinentalen Maßstab meist nur wenig befriedigend aus. Nur einige Zeitreihen korrelieren deutlich und bilden auch tatsächlich Grundzüge der klimatischen Variabilität ab. So widerspiegelt Abb. 1 nur grob die

positiven Korrelationen mit der NAO in Nordeuropa während Südeuropa negative Korrelationen aufweist. Ein derartiges Muster hat ARNELL, 1997 für die Korrelation der Winterabflüsse in Europa mit dem NAO-Index (HURRELL, 1995) festgestellt

Solche Korrelationen würden allerdings auch voraussetzen, dass die auf die klimatischen Fluktuationen reagierenden Regionen räumlich stabil verbleiben. Erst damit kann der Einfluss der Klimavariabilität auf den Trend und die Variabilität der Saisonfigur in hydrologischen Zeitreihen untersucht werden.

In der folgenden Darstellung werden 3647 Abflusszeitreihen Eurasiens aus den Datenbeständen von GRDC – Global Runoff Data Centre, NCAR ds552.1 und ds553.2 (B. Bodo) sowie ArcticRiverNet 3.0 untersucht und deren gerichtete raum-zeitliche Variabilität der Jahresabflüssen und veränderlichen Saisonfiguren im Zusammenhang mit Wechselwirkungen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) erklärt.

2. Großskalige räumliche Muster auf der Trendebene

Als Trend einer Abflusszeitreihe kann vereinfacht der Verlauf der jährlichen Abflüsse aufgefasst werden. Reagieren die Abflüsse einzelner Einzugsgebiete auf die durch die NAO vorgegebene Klimavariabilität, sollte dies in den jährlichen Abweichungen der Jahressummen vom langjährigen Mittel sichtbar sein.

Bild 10. 2 und Bild 10. 3 zeigen die Abweichungen der jährlichen Abflüsse vom jeweils langjährigen Zeitreihenmittel im Verlauf eines Abwärtstrend und eines Aufwärtstrends der NAO. Zum einen fällt auf, dass die in der Einleitung erwähnte räumliche Konstanz der Regionen gleicher Reaktion auf die NAO nicht deutlich existiert. Vielmehr sind räumlich wandernde Felder zu erkennen, welche sich zudem mit dem Trend der NAO bewegen.

Bei einem Abwärtstrend der NAO bewegt sich ein Feld verringerter Abflüsse (hier dargestellt als Anteil der negativen Abweichung vom langjährigen Zeitreihenmittel der Jahresabflüsse) ostwärts. Es wandert dabei von Westrussland bis in das Einzugsgebiet der Lena (Bild 10. 2).

Umgekehrt verlässt dieses Feld verringerter Abflüsse bei einem Aufwärtstrend der NAO Sibirien wieder in Richtung Westen, zeitgleich wandert ein Feld erhöhter Abflüsse bis in das Lena-einzugsgebiet (Abb. 3). Dieses Westwärtswandern lässt sich gut mit der Zunahme erhöhter Abflüsse in Nordeuropa während einer positiven NAO Phase parallelisieren (ARNELL, 1997, TIMMERMANN & LATIF, 1998). Dieser periodischen Zunahme der Abflüsse im östlichen Sibirien scheint eine Schlüsselstellung im Zusammenspiel zwischen Abflussvariabilität und Zustandekommen der NAO zuzukommen.

In Bild 10-2 und Bild 10-3 (jeweils rechter Bildteil) wurde versucht, die prozesstragenden Felder der Abflussanomalien mit einfachen clusteranalytischen Verfahren zu erkennen. Als Variablen wurden dabei die jeweiligen Koordinaten (Lat/Lon) und die standardisierten Abflussanomalien gewählt und diese mit dem Verfahren Complete Linkage und Quadrierte Euklidische Distanz in Cluster unterteilt. Danach wurden die Lageschwerpunkte (Zentroide) der Cluster berechnet, wobei Abflussanomalien $> |0,5|$ mit dem Faktor 0,6, Abflussanomalien zwischen $|0,25 - 0,5|$ mit dem Faktor 0,3 und darunter mit dem Faktor 0,25 gewichtet wurden.

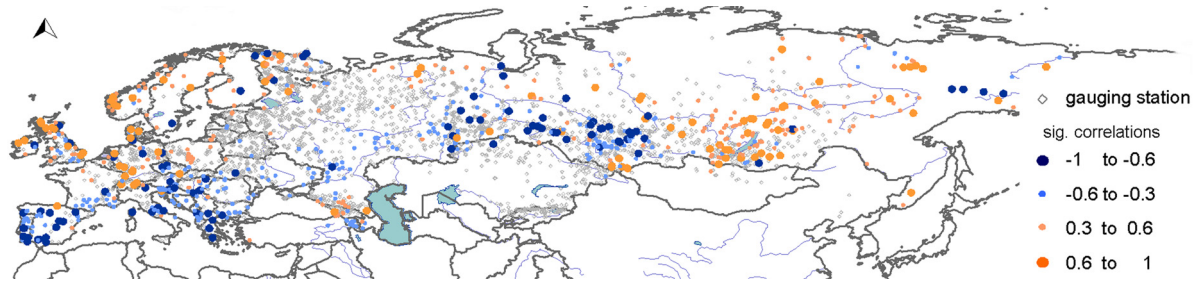


Bild 10. 1 - Signifikante Korrelationen von Zeitreihen der Jahresabflüsse Eurasiens mit dem Index der NAO 1950-1990 (NAO-Index: HURREL, 1995)

Fig. 10. 1 - Significant correlations of Eurasian annual discharges time series with the NAO index 1950-1990 (NAO index: Hurrel, 1995).

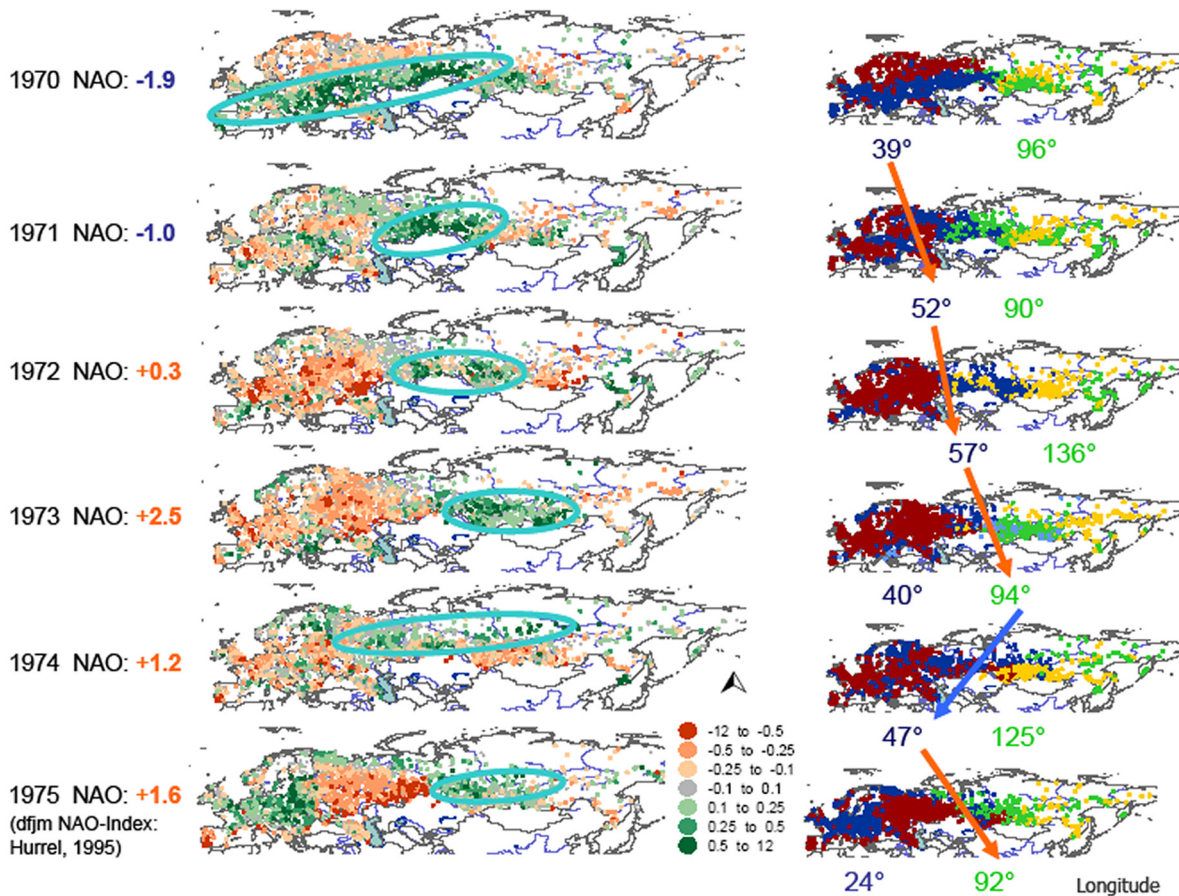


Bild 10. 2 - Abwärtstrend der NAO - Ein Feld verringerter jährlicher Abflüsse (dargestellt ist der Anteil der Abweichungen vom langjährigen Mittel einer Station- siehe Legende) wandert in das mittlere Sibirien. (NAO-Index: HURREL, 1995). Rechts sind die anhand der Abflussanomalien identifizierte Cluster (gelb und rot: negative; Anomalien, grün und blau: positive Anomalien) und deren Zentroide dargestellt.

Fig. 10. 2 - Upward trend of the NAO - Left: A field of positive anomalies (wetter than average) in the annual discharges drifts from Europe to Middle Siberia. Right: Spatial clusters of positive anomalies (blue and green signatures) and longitudes of their centroids. Clusters of negative anomalies are shown in yellow and red. The longitudinal position of the clusters can be understood as a process response to the NAO. The arrow colour indicates the NAO trend.

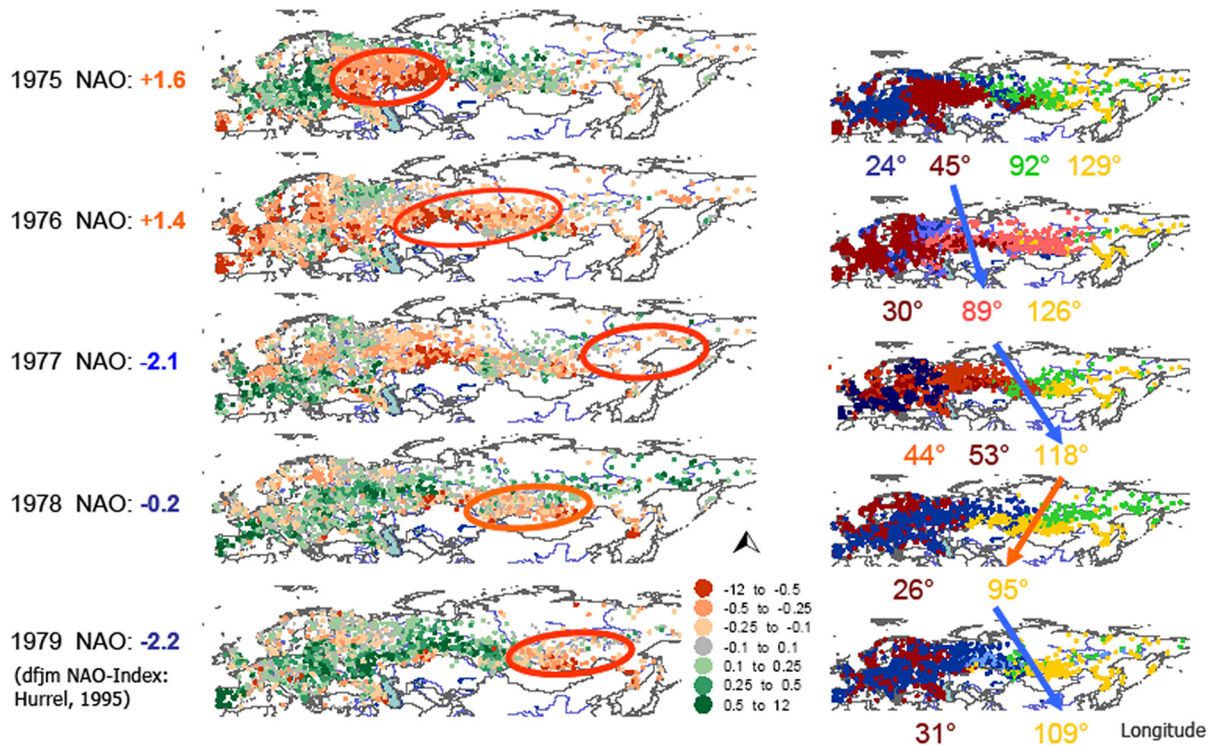


Bild 10. 3 - Abwärtstrend der NAO – Ein Feld negativer Anomalien der jährlichen Abflüsse (trockener als im langjährigen Mittel) bewegt sich bis in das östliche Sibirien. Rechts sind die anhand der Abflussanomalien identifizierten Cluster (gelb und rot: negative: Anomalien, grün und blau: positive Anomalien) und deren Zentroide dargestellt. (NAO index: Hurrell, 1995).

Fig. 10. 3 - Downward trend of the NAO – Left: A field of negative anomalies (drier than average) of the annual discharges moves from western Siberia to eastern Siberia. Right: Spatial clusters of negative anomalies (yellow and red signatures) and longitudes of their centroids. Clusters of positive anomalies are shown in blue and green. The longitudinal position of the clusters can be understood as a process response to the NAO. The arrow colour indicates the NAO trend.

Das Schwankungen im jährlichen Abfluss großer Einzugsgebiete auf dekadische Klimafluktuationen rückkoppeln und mit diesen eng korrelieren, konnte MYSAK (1999) feststellen. Im langjährig variierenden Abflussvolumen des Mackenzie-Einzugsgebietes sieht er eine wesentliche Ursache für das Zustandekommen von Eis- und Salzanomalien im Nordatlantik (GISA), welche um 3 bis 4 Jahre verzögert die Intensität der ozeanischen Zirkulation im Nordatlantik beeinflussen und über die NAO und AO das Klimageschehen der Nordhemisphäre steuern. Die verringerten Salzgehalte werden als Steuerimpuls für eine abgeschwächte thermohaline Zirkulation im Nordatlantik (negativer NAO-Index) gesehen (TIMMERMANN & LATIF (1998)). MYSAK (1999) fokussiert bezüglich des Eisaufbaus im Arktischen Ozean auf die erhöhten Abflüsse im Einzugsgebiet des Mackenzie, betont aber auch das Ansteigen der Abflüsse in Sibirien, welches den verstärkten Eisaufbau begünstigt. Dieser Effekt ist deutlich in Bild 10. 2 zu erkennen. Während einer für Nordeuropa niederschlagsreichen positiven NAO-Phase gelangen entlang der subarktischen Tiefdruckrinne zunehmend höhere Niederschläge bis nach Sibirien, welche dort die Abflüsse ansteigen lassen. Der dann einsetzende Steuerimpuls höherer Süßwasserzuflüsse in den arktischen Ozean (und Eisaufbau) liefert einen Beitrag zur Erklärung der nachfolgenden negativen Phase der NAO (Bild 10. 3).

3. Großskalige räumliche Muster auf der Ebene variabler Saisonfiguren

BURN & SOULIS (1992) fokussieren neben einer zeitlichen Variabilität der Jahresabflüsse auch auf die Variabilität der saisonalen Abflüsse sowie dem zeitlichen Einsetzen extremer Abflüsse und der Schneeschmelzhochwässer, welche am deutlichsten die klimatische Variabilität in hydrologischen Prozessen widerspiegeln kann.

Der saisonal variable Verlauf des Abflusses, das Abflussregime, wird zusätzlich von der langjährigen Variabilität der Abflussregime überlagert. Konsequenterweise könnten damit Zeitreihen von Abflussregimen Fluktuationen im Klimageschehen aufdecken. Unter dem Einfluss variierender klimatischer Randbedingungen werden auch die Abflussregime mit Abweichungen reagieren, da in aufeinander folgenden Jahren oft auch eine Abfolge verschiedener Abflussregime beobachtet werden kann. Die unterschiedliche Häufigkeit des Auftretens ein und desselben Abflussregimes in langen Zeitreihen lässt sich dabei als die Stabilität von Abflussregimen definieren (KRASOVSKAIA (1997), KRASOVSKAIA, GOTTSCHALK & KUNDZEWICZ (1999)).

3.1. Bereinigung eines Talsperreneffektes

Globale Zeitreihen, welche die Saisonfiguren beschreiben, weisen allerdings oft anthropogene Amplitudendeformationen durch den Einfluss großer Talsperren auf. Um diesen Effekt in der folgenden Darstellung herauszufiltern, wurde für alle der 3647 im Datensatz enthaltenen Abflussmessstationen das oberhalb befindliche Talsperrenvolumen nach Angaben des ICOLD (International Commission on Large Dams, ICOLD, 1998) digital erfasst. Nachdem zusätzlich allen Abflussmessstationen mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells und eines digitalen Flussnetzes ein Einzugsgebiet zugewiesen wurde, konnte das jeweils flussaufwärts befindliche Talsperrenvolumen akkumuliert und mit dem mittleren Jahresabfluss ins Verhältnis gesetzt werden. Daraus resultierende Speicherausbaugrade charakterisieren die Intensität der anthropogenen Beeinflussung von Abflusszeitreihen (Rödel and Hoffmann, 2005).. 345 Stationen des verwendeten Datensatzes wiesen Speicherausbaugrade über 0.001 auf und wurden daher aus den folgenden Analysen entfernt.

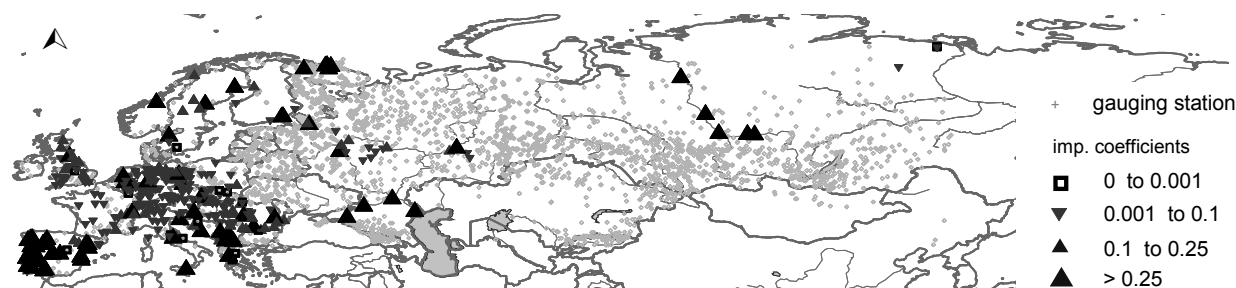


Bild 10. 4 - Speicherausbaugrad für Eurasien für das Jahr 1990.

Fig. 10. 4 - Impoundment coefficients for Eurasia in 1990.

3.2. Verlagerung des Schwerpunktes von Abflussregimen

Für die Analyse der Regimeveränderungen wurde aus den monatlichen Abflüssen Q_j jeweils das Abflussregime für ein einzelnes Jahr Q_{Year} als Folge von Abflusskoeffizienten q_i bestimmt (Gl. 10. 1):

$$q_i = Q_i / Q_{Year} \text{ mit } \sum_{i=1}^n q_i = 1 \quad q_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, 12 \quad (10.1)$$

Eine solche Standardisierung (eq. 1) führt zu instabilen Übergängen zwischen den Regimen einzelner Jahre. Durch variable Jahresabflüsse können dabei der letzte Monat eines jährlichen Zyklus und der darauffolgende Monat des nächsten Jahres trotz etwa gleicher Monatsabflüsse unterschiedliche Koeffizienten aufweisen. Um diesen Effekt zu minimieren, wurden die Abflussregime einzelner Jahre ähnlich den hydrologischen Jahren definiert. Der Beginn eines Jahresganges wurde daher auf denjenigen Monat i gelegt, in welchem die geringsten quadratischen Abweichungen zwischen allen diesen Monaten i der gesamten Zeitreihe festgestellt werden konnten (Gl. 10. 2):

$$\sum (Q_i - \bar{Q}_i)^2 \rightarrow Min! \quad (10.2)$$

Die Veränderungen in den Abflussregimen wurden schließlich als Änderung des jährlichen Schwerpunktes bestimmt. Hierzu wurden die Summenkurven der Regime einzelner Jahre betrachtet. Bei einem konstanten Abfluss pro Monat (1/12 vom Jahresabfluss) liegt der Schwerpunkt somit genau im 6. Monat. Um die langjährige Variabilität des Schwerpunktes zu analysieren, wurde der Modus der Schwerpunkte eine Zeitreihe berechnet und nachfolgend die Abweichungen von diesem für jedes Jahr als positive oder negative Schwerpunktverschiebungen dargestellt.

$$\sum_1^i q_i \geq 0.5 \quad (10.3)$$

Bild 10. 6 zeigt, dass auch die Änderungen des Schwerpunktes der Abflussregime durch räumlich wandernde Felder abgebildet werden können. Dieser Effekt konnte bereits für die Änderungen der Jahresabflüsse vom langjährigen Mittel festgestellt werden. Wie bei diesen lässt sich auch die Bewegungsrichtung der Felder von Änderungen des Schwerpunktes der Abflussregime mit den Phasen der Nordatlantikoszillation (NAO) parallelisieren.

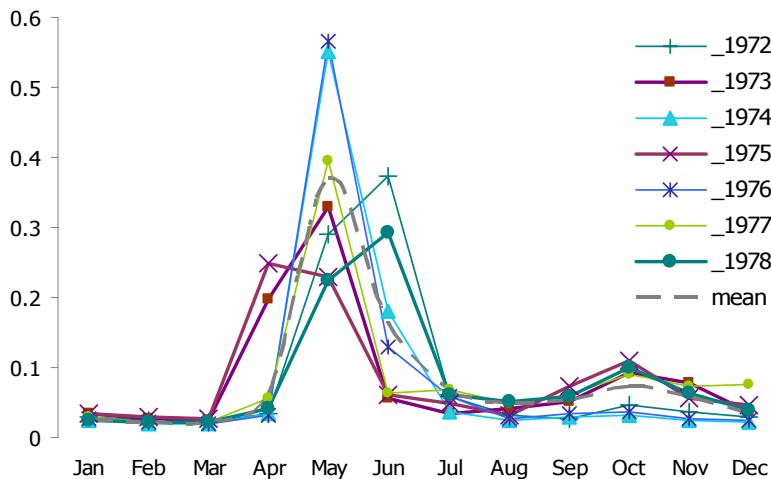
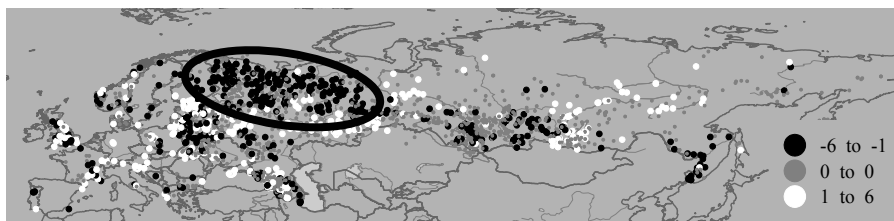


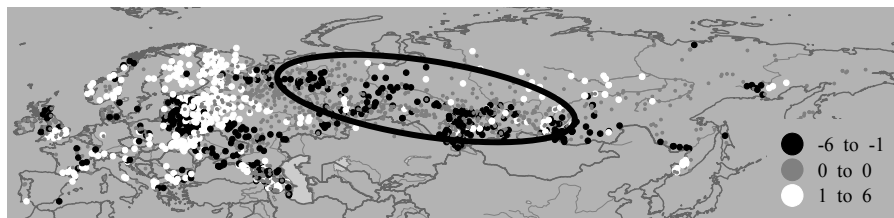
Bild 10. 5 – Standardisierte monatliche Ablüsse (Abflussregime, siehe Gl. 1)) für die Station SU91216 Malaya Kuzhba, Vychegda.. Zeitiger (1973 oder 1975) oder später (1972 oder 1978) auftretende Maxima werden als negative/positive Saisonabweichung erfasst.

Fig. 10. 5 - Standardized monthly flows (flow regime) for gauging station SU91216 Malaya Kuzhba, Vychegda to illustrate the temporal variability of flow regimes.

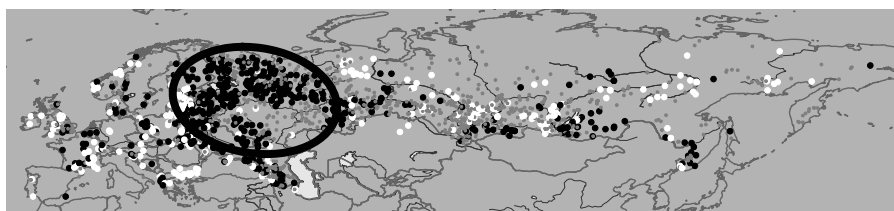
1973 NAO: +2.5



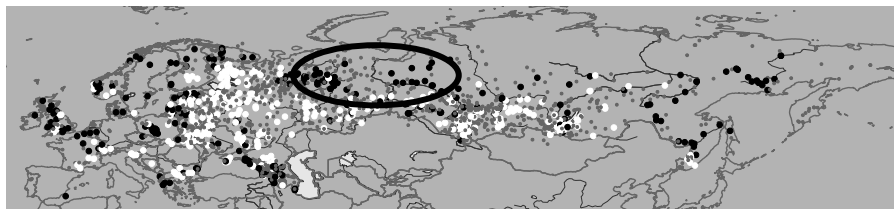
1974 NAO: +1.2



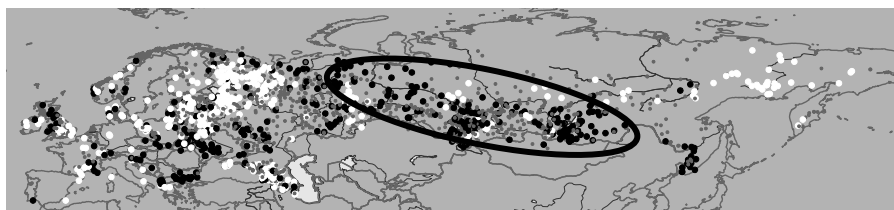
1975 NAO: +1.6



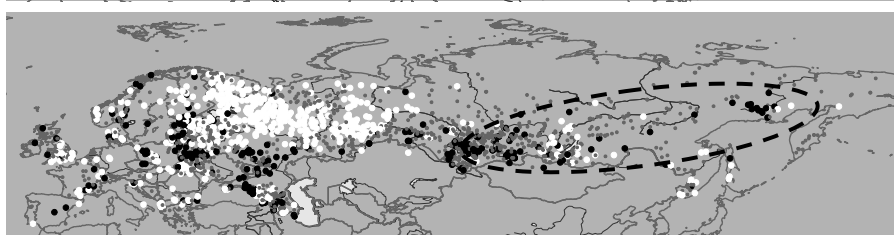
1976 NAO: +1.4



1977 NAO: -2.1



1978 NAO: -0.2



dfjm NAO-Index:
Hurrell (1995)

Bild 10. 6 - Abwärtstrend der NAO - Felder negativ verschobener Abweichungen vom Saisonschwerpunkt (starke, zeitiger als gewöhnlich auftretende Abflussmaxima) driften vom nordwestlichen Russland nach Sibirien.

Fig. 10. 6 - Downward trend of the NAO - a field of negative-shifted balance points drifts from north-western Russia to Siberia. Strong runoff maxima which occur earlier than usual drift to Siberia (NAO index: Hurrell, 1995)..

Bei einem Abwärtstrend der NAO (Bild. 10. 6) verlagert sich schrittweise ein Feld negativer Schwerpunktverschiebung nach Asien bis in das Einzugsgebiet der Lena. Seinen Ursprung hat dieses Feld in der positiven NAO im Jahr 1973. Die Schwerpunkte der Abflussregime waren während milder Winter in die Vormonate gewandert. Wenn sich das Muster einer positiven NAO (Dipol in den

jährlichen Abflüssen in Europa) auflöst, wandert das Feld der negativen Gleichgewichtsverschiebung der Abflussregime nach Osten. Interessant ist anzumerken, dass während einer stark negativen Phase der NAO in Nordwestrussland ein Feld stark positiver Schwerpunktverlagerung der Abflussregime auftritt. Dieses repräsentiert mit seinen verspätet auftretenden Hochwässern die kälteren Bedingungen während einer negativen NAO im nördlichen Europa.

Bei einem Aufwärtstrend der NAO zeigt sich ein entgegengesetztes Bild. Die Felder negativer Verlagerung des Regimeschwerpunktes wandern aus Ostsibirien zurück nach Westen. Gleichzeitig treten höhere jährliche Abflüsse im nördlichen Europa auf.

4. Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass sich die großskalige hemisphärische Klimavariabilität deutlicher als bisher möglicherweise angenommen in der Variabilität von Zeitreihen des Abflusses erkennen lässt. Allerdings widerspiegeln unterschiedliche Zeitskalen hierbei auch unterschiedliche räumliche Muster, in welchen sich die Reaktion des Abflusses auf klimatische Trends auffinden lässt. Die Anomalien der Jahresabflüsse und die Schwerpunktverschiebungen in den Abflussregimen kennzeichnen jene Räume, in denen wichtige Prozesse beim Zustandekommen der nordhemisphärischen Klimavariabilität ablaufen. Mit Hilfe der NAO bestünde für Eurasien ein Ansatz, die in grösseren Räumen jeweils ähnlichen Abweichungen der jährlichen Abflüsse und der Abflussregime einzelner Jahre beschreiben zu können.

Die Analyse zeigt, daß sich die skizzierte räumliche und zeitliche Aufeinanderfolge von Anomalien der Abflüsse in Eurasien mit den Antriebsprozessen der NAO beschreiben lässt (Bild 10. 7).. Mit dieser Prozesszuordnung besteht ein Ansatz, die räumlich und zeitlich variablen Felder von Anomalien der Abflüsse und Abflussregime als autoregressiven Prozess (AR1) mit leading indicator zu modellieren. Damit wird die räumliche Position eines entsprechenden Feldes durch seine vorherige Position mitbestimmt, der räumliche Prozess besitzt ein Gedächtnis. Die Bewegungsrichtung wird durch den prozess-steuernden Indikator determiniert, hier wird der Index der NAO gewählt.

Soll die zeitliche Bewegung der Schwerpunkte dieser Felder beschrieben werden, muss bestimmt werden, welches Feld den Schwerpunkt der Interaktion mit dem NAO-Prozess darstellt. Daher wurde in Bild 10-2 und Bild 10-3 (jeweils rechter Bildteil) versucht, die prozess-tragenden Felder der Abflussanomalien mit einfachen clusteranalytischen Verfahren zu erkennen. Damit kann ein einfaches (Auto) Regressionsmodell erstellt werden, in welchem die longitudinale Position des Schwerpunktes eines Feldes durch seine vorherige Position und den Trend der NAO bestimmt wird.

Der vorgestellte Forschungsgegenstand ist prädestiniert für einen geographischen, also räumlichen Denkansatz. Neben der Prozesszuordnung zu einer räumlichen Beobachtung besteht ebenso die Aufgabe, einen zeitlichen Prozess mit räumlichen Parametern zu versehen.

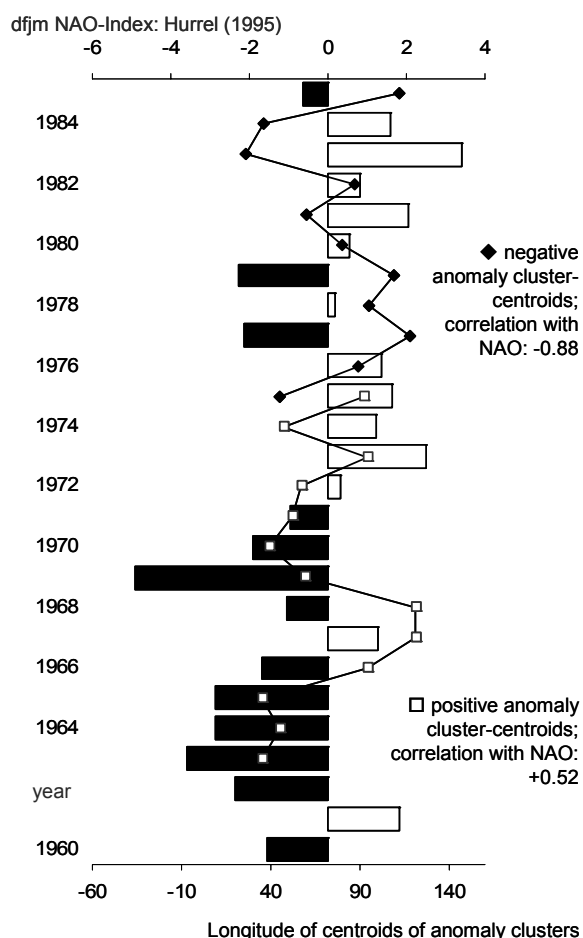


Bild 10. 7 - Meridionale Drift von großskaligen Abflussanomalien in Eurasien (Linien) und NAO Index (Balken)..

Fig. 10. 7 - Longitudinal drifting of large-scale patterns of discharge anomalies in Eurasia (lines) and the NAO index (bars)..

Literatur

Arnell, N. W. (1997):: Spatial and temporal variability in European river flows and the North Atlantic oscillation. In: Gustard, A. and S. Blazkova (eds.): FRIEND '97 - Regional Hydrology, IAHS Publ. No. 264, Wallingford, 77-85.

Bodo, B. A (2006):: Monthly Discharge Data for World Rivers V1.3, NCAR, <http://dss.ucar.edu/>, files ds552.0, ds553.2 and the US data, 2001. Date of access: 10.1.2006.

Burn, D. H. and E. D. Soulis (1992):: The Use of Hydrologic Variables in Detecting Climate Change: Possibilities for Single Station and Regional Analysis. In: Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climatic Change. Proceedings of NHRI Symposium No. 8, April 1991, Saskatoon.

Dettinger, M. D. and H. F. Diaz (2000):: Global Characteristics of Stream Flow Seasonality and Variability. In: Journal of Hydrometeorology 1, 8/2000, 289-310, 2000.

GRDC - Global Runoff Data Centre, Koblenz, Germany.

- Hurrell, J. W. (1995): Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation Regional Temperatures and Precipitation. In: *Science* 269, pp. 676-679. - for actual data see: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>, Date of access: 10. 1..2006.
- Krasovskaia, I. (1997): Entropy-based grouping of river flow regimes. In: *J. Hydrology*, 202, 1997, 173-191.
- Krasovskaia, I., L. Gottschalk and Z. W. Kundzewicz (1999): Dimensionality of Scandinavian river flow regimes. In: *Hydrological Sciences Journal*, 44 (5), 705-723.
- Mysak, L. A (1999): Interdecadal Variability of northern High Latitudes. In: Navarra, A. (ed.): *Beyond El Niño. Decadal and Interdecadal Climate Variability*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-23.
- Peel, M. C., T. A. Mc Mahon, B. Finlayson and F. G. R. Watson (2001): Identification and explanation of continental differences in the variability of annual runoff. In: *J. of Hydrology* 250, 2001, 224-240.
- Popova, V.V. and Shmakin, A.B (2003): Influence of the North Atlantic Oscillation on multiyear hydrological and thermal regime of northern Eurasia. I. Statistical analysis of observational data. In: *Russian Meteorology and Hydrology* (5), 47-56.
- R-ArcticNET (v3.0): <http://www.R-ArcticNET.sr.unh.edu>, Date of access: 10.1. 2006.
- Rödel, R and T. Hoffmann (2005): Quantifying the efficiency of river regulation. In: *Advances in Geosciences*, Vol. 5, 75 - 82, 2005.
- Timmermann, A. and M. Latif (1998): Thermohaline Circulation – a coupled node of the NAO. In: *J. Climate* 11/1998, 1906-1931.
- Zhuravin, S. A (2002): Change of hydrological regimes over the central part of European Russia resulting from climate variations. In: van Lanen, H. A. J. and S. Demuth (eds.): *FRIEND 2002 – Regional Hydrology*, IAHS Publ. No. 274, Wallingford, 441-447.

Agentenbasierte Simulation sozialräumlicher Interaktionsprozesse. Ein systemtheoretischer Ansatz zur Überwindung des Komplementaritätsproblems

Andreas Koch, München

Zusammenfassung: Raum und Räumlichkeit werden in der aktuellen sozialgeographischen Theorie überwiegend über 'ausschließlich soziale Konstruktionsleistungen' bestimmt. Mit einem solchen Raumansatz sind jedoch einige Schwierigkeiten verbunden, die im vorliegenden Beitrag aus theoriologischer Sicht beleuchtet werden. Dem asymmetrischen Verhältnis von Raum und Sozialem ist daher ein symmetrisches vorzuziehen. Vier Prinzipien – die wechselseitige Bedingung von Räumlichkeit und Sozialität, die Komplementarität von Konstruktion und Konstrukt, die Komplementarität von ontologischer Eigenständigkeit und Wechselseitigkeit und die Übersetzungsmechanismen – dienen als Argumentationsrahmen: Auf der einen Seite zur kritischen Reflektion des handlungstheoretischen, transaktionistischen und relationalen Ansatzes zur Erfassung von Raum, die exemplarisch für asymmetrisch argumentierende sozialgeographische Ansätze stehen; und auf der anderen Seite zur Darstellung eines systemtheoretischen Entwurfs, der eine Möglichkeit bietet, Raum und Gesellschaft als ein sich wechselseitig bedingendes Verhältnis zu sehen.

1 Einleitung

Im sozialgeographischen Diskurs zum Stellenwert von Raum oder Räumlichkeit und zu seinem Verhältnis zu Individuen und Gesellschaft, nimmt der Begriff der 'sozialen Konstruktion' einen zentralen Rang ein. Innerhalb dieses Diskurses kristallisiert sich dabei ein erkenntnistheoretisches Paradigma heraus, welches die soziale Konstruktion von Räumen als ausschließlich sozial determiniert auffasst, das heißt, die Konstruktionsbedingungen, ihre zugrunde liegenden Prinzipien sowie ihre damit verbundenen Zusammenhänge werden als in ausschließlich sozialer Kompetenz liegende Leistung verstanden. Dieses Interpretationsmuster findet sich, mit unterschiedlichen Begründungskontexten, unter anderem in handlungstheoretischen, humanökologischen, perspektivistischen, kontextualistischen und relationalen Ansätzen zur sozial- und humangeographischen Theorie des

Raumes. Im Unterschied hierzu wird im Folgenden ein systemtheoretischer Ansatz vorgestellt, der dieses Ausschließlichkeitsprinzip der sozialen Konstruktion von Räumen durch einen symmetrischen Konstruktionsmechanismus relativiert. Um zu veranschaulichen, was damit gemeint ist, möchte ich auf ein von VARELA (2000: 147) entnommenes Beispiel Bezug nehmen, das auf die Unmöglichkeit verweist, "[...] Objekte als etwas von uns Unabhängiges wahrzunehmen, das irgendwo »da draußen« existiert. Objekte entstehen erst durch unser Handeln. [...] Ein Beispiel mag dies verdeutlichen, was ich damit meine. Die beiden Biologen Held und Hein haben [...] vor einiger Zeit ein interessantes Experiment mit zwei kleinen Kätzchen gemacht. Die Tiere wurden im noch blinden Zustand gleich nach der Geburt voneinander getrennt und in zwei verschiedenen Körbchen untergebracht. Um sie mit ihrer räumlichen Umgebung vertraut zu machen, wurden sie jeden Tag für mehrere Stunden in diesem Raum herumgeführt. Dabei durfte das eine Kätzchen den Korb verlassen und sich frei bewegen, das andere hingegen musste in seinem Korb bleiben. Nach zwei Monaten wurden die Kätzchen dann in die Freiheit entlassen. Das eine, das sich frei bewegt hatte, benahm sich wie eine normale Katze. Das andere, das die Gegenstände im Raum nur gesehen, sich aber nicht darin bewegt hatte, verhielt sich so, als sei es immer noch blind. Es fiel vom Stuhl oder stürzte die Treppe hinunter. Man wird aus diesem Experiment kaum die Schlussfolgerung ziehen wollen, Katzen würden mit den Pfoten sehen. Was uns das Experiment zeigt, ist vielmehr: **Raum entsteht aus Bewegung**". Diesen ohne Zweifel zutreffenden Feststellungen – Objekte entstehen durch Handeln, Raum entsteht aus Bewegung – fehlt jedoch der komplementäre Verweisungszusammenhang: Handeln setzt Objekte voraus, Bewegung setzt Raum voraus.

Dieser komplementäre Verweisungszusammenhang setzt sich aus mehreren Überlegungen zusammen, die als sich überlagernder Zirkulationsmechanismus den Argumentationsrahmen liefern. Da ist zum einen die **wechselseitige Bedingung** von im Zusammenhang Betrachtetem. Raum entsteht aus Bewegung, aber: woraus entsteht Bewegung? Bei der Formulierung der 'sozialen Konstruktion von Räumen' ist daher die 'räumliche Konstruktion des Sozialen', im Sinne von Raum als konstitutives Element sozialer Beziehungen (NOLLER 2000: 30), immer mit zu bedenken. Zweitens ist zum Prozess des Konstruierens das (temporäre) Ergebnis dieses Vorgangs, das Konstruierte, in Beziehung zu setzen. Es geht somit um das Verhältnis **Konstruktion-Konstrukt**. Obgleich Bewegung und Raum, Objekte und Handeln, oder allgemein Soziales und Räumliches, in einem wechselseitigen Bedingungs-zusammenhang stehen, sind sie nicht miteinander identisch. Demzufolge weisen sie unterscheidbare Eigenschaften und Konstruktionsprinzipien auf, sie sind ontologisch different. Dies führt drittens zum Verhältnis von **Eigenständigkeit und Wechselseitigkeit**. Sofern man diese Annahme trifft, muss viertens zugleich die Möglichkeit der Verknüpfbarkeit ontologisch differenter Phänomene gegeben sein. Räumliches muss in Soziales und Soziales in Räumliches übersetzbar sein. Damit sind die **Übersetzungsmechanismen** angesprochen. Auf der Grundlage dieser vier Kategorien wird der Begriff 'soziale Konstruktion von Räumen' hier nicht in dem Sinne verstanden, dass Raum ausschließlich sozial konstruiert sei, sondern dass sich die soziale Konstruktion von Räumen räumlicher Eigenschaften bedient, die außerhalb der Sphäre des Sozialen liegen. Die räumlichen Eigenschaften sind dabei zwar ebenfalls in soziale Praktiken zu übersetzen, sie werden jedoch nicht sozial konstruiert.

Mit Hilfe eines spezifischen systemtheoretischen Ansatzes, der auf der komplexen Theorie sozialer Systeme von LUHMANN (1993) beruht und sich insbesondere die formale Logik dieser Theorie zu Nutze macht, soll ein Versuch vorgestellt werden, der diese vier Kategorien theoriekonsistent zu berücksichtigen in der Lage ist. Zunächst wird jedoch der Argumentationshintergrund beleuchtet, der

zu diesem systemtheoretischen Ansatz Anlass gegeben hat. Dabei beschränke ich mich auf drei sozialgeographische Ansätze – die Handlungstheorie von WERLEN (1993, 1998a/b), die transaktionistische Humanökologie von WEICHHART (1998, 1999) und die relationale Raumsoziologie von LÖW (2001).

2 Theorien zur sozialen Konstruktion von Raum

2.1 Soziale Konstruktion und Handlungstheorie

WERLEN's weithin bekannte handlungstheoretische Sozialgeographie, die sich mit unterschiedlichen Geographien alltäglicher Regionalisierungen beschäftigt, plädiert aus der Ablehnung eines gegenständlich aufgefassten Raumes dafür, Raum "[...] als Begriff aufzufassen, der sich auf die Räumlichkeit der ausgedehnten Dinge bezieht. Er ist aber kein empirischer Begriff, sondern ein formal-klassifikatorischer Begriff. [...] Obwohl der Raumbegriff kein empirischer Begriff ist, beruht das, was er bezeichnet, auf Erfahrung. Allerdings nicht auf der Erfahrung eines mysteriösen Objektes „Raum“, sondern auf der Erfahrung der Räumlichkeit der dinglichen Welt mittels der Erfahrung der Körperlichkeit des handelnden Subjekts: Mit „der Räumlichkeit des eigenen Körpers wird auch die Räumlichkeit aller anderen Dinge entdeckt“ (SCHÜTZ 1981, S.189). Die Erfahrung der Räumlichkeit des eigenen Körpers beruht auf der Bewegung und dem Einbezug der dinglichen Mitwelt in sinnhafte Bewegungsabläufe“ (WERLEN 1999: 250f).

Mit dieser Definition wird die soziale, aber auch individuelle Konstruktion von Raum auf die Räumlichkeit der dinglichen Welt bezogen. Sie gilt es hervorzubringen und durch Erfahrung zu stabilisieren, durchaus aber auch zu variieren oder zu modifizieren. Der Prozess der Konstruktion der Räumlichkeit der dinglichen Welt setzt dabei die Räumlichkeit des eigenen Körpers unhinterfragt voraus. Damit ist die wechselseitige Bedingung an dieser Stelle unterbrochen, denn die Räumlichkeit des eigenen Körpers bedingt die Möglichkeit, die Räumlichkeit der dinglichen Welt zu erkennen und zu erfahren. Die Räumlichkeit der dinglichen Welt bedingt aber nicht, die Räumlichkeit des eigenen Körpers zu erkennen und zu erfahren. Eine Räumlichkeit geht somit einer anderen Räumlichkeit voraus, ohne jedoch assoziativ mit dieser verknüpft zu sein (es ist hier bewusst von assoziativer und nicht kausaler Verknüpfung die Rede, da assoziativ Wechselseitigkeit impliziert, die durchaus, aber nicht durchgängig, kausale Beziehungen beinhalten kann).

Die Entstehung der Erfahrung der Räumlichkeit der dinglichen Welt basiert somit auf der bereits vorhandenen, irgendwie verinnerlichten Räumlichkeit der eigenen Körperlichkeit. In dieser Hinsicht ist allerdings die Komplementarität von Konstruktion und Konstrukt erfüllt – die soziale bzw. personale Konstruktion von Räumlichkeit der dinglichen Welt setzt das Konstrukt der körperlichen Räumlichkeit voraus. Was fehlt, ist die Umkehrung und der soziale Kontext. Die Entstehung und Entwicklung der körperlichen Räumlichkeit bedarf, um wahrgenommen und erkannt zu werden, des räumlichen Konstrukts der dinglichen Welt. Und die Einbindung des sozialen Kontextes zielt darauf ab, die soziale Konstruktion von Räumlichkeit (die hier von WERLEN beschrieben wird) mit dem Konstrukt Raum zu verknüpfen und umgekehrt. Auf diese Weise ergibt sich eine zirkuläre Verweisung: Die soziale Konstruktion von Raum setzt die räumliche Konstruktion des Sozialen

voraus, die ihrerseits die soziale Konstruktion von Raum voraussetzt... Das oben beschriebene Katzen-Experiment macht dies auf zweifache Weise deutlich. Zum einen setzt die Aneignung des Raumes, seines geometrischen und topologischen Gefüges, diesen Raum bereits voraus. Beide Katzen beziehen sich, wenn auch auf unterschiedliche Art und Weise, im Prozess der (tierischen) Konstruktion der Räumlichkeit, auf einen bereits so und nicht anders konstruierten Raum (Die Erfahrungen, die beide Katzen in diesem Raum machen, sind für sie zweifelsohne auf andere Räume übertragbar). Gleichmaßen gilt dies zum anderen für die beiden Experimentatoren. Ohne eine Bezugnahme auf den für sie bereits konstruierten Raum, wäre eine Ergebnisdarstellung und Bewertung des Experiments überhaupt nicht möglich.

Die Räumlichkeit sowohl der dinglichen Welt als auch der Körperlichkeit weisen Wesensmerkmale auf, die von sozialen, biologischen oder subjektiven Konnotationen zur dinglichen bzw. körperlichen Welt andersartige Seinsweisen aufweisen. Räumliche Charakteristika wie Geometrie und Topologie spielen hier eine zentrale Rolle. Diese eigenständigen räumlichen Eigenschaften müssen jedoch in soziale bzw. personale Kontexte übersetzbar sein. Aber auch soziale Eigenschaften wie Identität, Inklusion, Interaktion und Kommunikation lassen sich mit Räumlichkeit in Verbindung bringen (KOCH 2006; KAUFMANN 2005). Eigenständigkeit bedingt somit Übersetzbarkeit und Übersetzbarkeit bedingt Eigenständigkeit. So lässt sich beispielsweise soziale Nähe nicht durch distanziell-metrische und/oder raumtopologische Charakterisierungen beschreiben, räumliche Mobilität nicht mit Bildungs- oder Karrieremustern. Auf diesen Punkt weist WERLEN (1998a: 93f), wenn auch vor einem anderen Begründungszusammenhang, zu Recht hin: "Orte als solche können keine Sinngehalte aufweisen. Es sind die handelnden Personen, welche den Sinn von Orten konstituieren, und dieser kann von Person zu Person oder besser: von Handlungsintention zu Handlungsintention wechseln". Orte können **aus sich heraus** keine Sinngehalte generieren, es ist aber möglich und tatsächlich gegeben, Orten einen Sinn zu geben. Sowenig wie Ort mit Sinn identisch, sowenig ist Sinn mit Ort identisch. Daraus folgt, ich wiederhole mich, dass auch Sinngehalte (soziale Interaktionen, Normen, Bräuche, etc.) aus sich heraus keine Orte hervorbringen, es ist aber möglich, Sinngehalten einen konkreten Ort zu geben.

Zusammenfassend bleibt aus dieser Interpretationsweise des Zusammenhangs von Handlungstheorie und sozialer Konstruktion festzuhalten, dass soziale Konstruktionen von Räumen immer auch soziale Rekonstruktionen von konstruierten Räumen, und räumliche Konstruktionen des Sozialen immer auch räumliche Rekonstruktionen von konstruierten Sozialaspekten beinhalten.

2.2 Soziale Konstruktion und transaktionistische Humanökologie

Der transaktionistisch-humanökologische Raumansatz von WEICHHART (1998, 1999) weist, ähnlich dem handlungstheoretischen Raumverständnis, eine erkennbare Skepsis gegenüber dem Raumbegriff auf. "Warum werden die meisten Geographen - auch solche, die sich für durchaus progressiv und „aufgeklärt“ halten - immer wieder von Evidenzerlebnissen nahezu überwältigt, in denen uns „Regionen“ und ganzheitlich-substanzialistische „Räume“ eben doch - und eigentlich wider besseren Wissens - als eigenständige ontologische Struktur der Wirklichkeit **erscheinen**?" (WEICHHART 1998: 76f). Dass auch bei Weichhart dennoch von einem Raumansatz die Rede ist, soll hier lediglich durch das nachfolgende Bild 11. 1 angedeutet werden (ausführlicher WEICHHART 1993, 1998, 1999).

Eines der Argumente, die für den grundlegenden Stellenwert des Raumes in WEICHHART'S Konzeptualisierung sprechen, beinhaltet gleichzeitig das zentrale Prinzip des wechselseitigen Bedingungs-zusammenhangs. Aus einer sozialkonstruktivistischen Perspektive, die auch dem transaktionistischen Ansatz zugrunde liegt, lehnt WEICHHART (1998: 83) den Verzicht auf die Berücksichtigung des Räumlichen mit folgender Begründung ab: "Wir können es nicht tun, weil nicht zu bestreiten ist, dass Räumlichkeit eines der immanenten Strukturprinzipien der sozialen Welt darstellt". Mit anderen Worten: Ohne räumliche Konstruktion der sozialen Welt ist eine soziale Konstruktion von Raum bzw. Räumlichkeit nicht denkbar.

Da die Elemente der Welt 1 (nach Popper die materielle Welt) als materielle Grundlagen und Constraints heterogen verteilt und räumlich spezifisch konfiguriert sind (WEICHHART 1999: 73), ist Räumlichkeit allerdings eigentlich kein **immanentes** Strukturprinzip der sozialen Welt, sondern ein eigenständig wirkendes Strukturationsprinzip (KOCH 2004: 116). Im Unterschied zu WEICHHART'S Auffassung wird hier die Ansicht vertreten, dass dem Raum eine eigenständige ontologische Qualität immanent zugrunde liegt. Diese Aussage führt dabei keineswegs zwangsläufig zu der Schlussfolgerung, dass der Containerraum (Raum₂ in Bild 11. 1) ontologisch materiell sei. Im Gegenteil: Auch der Containerraum ist, wie beispielsweise der Handlungs-, Wahrnehmungs-, erlebte oder gelebte Raum auch, ein Vorstellungsbild oder Modell, also ein soziales Konstrukt. Ein soziales Konstrukt, das auf der Grundlage räumlicher Eigenschaften, mit einer wahrscheinlich bevorzugten

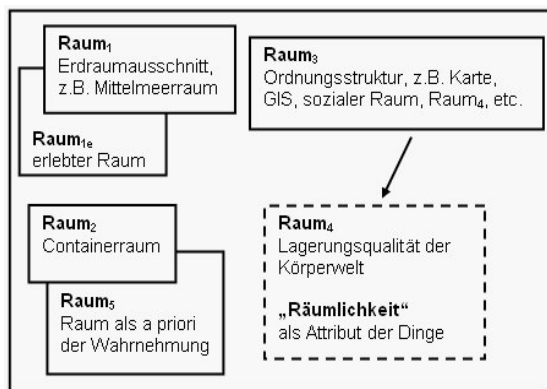


Bild 11. 1 - Raumkonzepte in der Geographie nach WEICHHART (1999)

geometrischen Konstruktionskomponente, gebildet wird. Die Annahme eines substantialistischen Containerraumes, die von Vertretern eines sozialkonstruktivistischen Paradigmas als kritischer Einwand gegen raumzentrierte Ansätze ins Feld geführt werden, basiert meines Erachtens auf einer verkürzten Bezugnahme auf 'Welt' bzw. 'Realität', indem ein Begriff als unmittelbar auf diese 'Welt' rekurriert verstanden wird. In Anlehnung an FLUSSER (1998: 103) bezieht sich ein jeglicher Text oder ein jegliches Wort jedoch auf ein Bild, das dieser Text bzw. dieses Wort repräsentiert; und erst dieses Bild bezieht sich dann repräsentativ auf 'Welt'.

WEICHHART'S Raum₄-Vorstellung, die explizit und exklusiv das Beziehungsgefüge zwischen physisch-materiellen Dingen betont, repräsentiert wiederum die Komplementarität von Konstruktion und Konstrukt treffend: "Das Konzept geht nämlich von der Vorstellung aus, dass „Raum“ ausschließlich durch die Beziehungen und die Relationalität der physisch-materiellen Dinge zueinander konstituiert wird. Wenn wir also aus einem solchen Raum₄ die „Dinge“ herausnehmen, dann bleibt schlicht und einfach gar nichts übrig" (WEICHHART 1999: 78). Trifft dies zu, dann ist Raum₄ mit "Dingen" identisch, dann basiert die soziale Konstruktion von Raum₄ nicht nur auf topologischen Eigenschaften ('Beziehungen und Relationalität'), sondern auch auf geometrischen. Um als Lagerungsqualität für soziale Kontexte zu fungieren, bedarf es der Rekonstruktion von Raum und nicht ausschließlich (noch vorrangig) der Konstruktion von Raum. Der Vorgang der Konstruktion setzt Konstruiertes bereits voraus - dies gilt gleichermaßen und wechselseitig für Soziales wie für Räumliches. Damit trifft die zuvor für die handlungstheoretische Sozialgeographie formulierte Zusammenfassung auch für den transaktionistisch-humanökologischen Ansatz zu.

2.3 Soziale Konstruktion und Raum als relationale (An)Ordnung

Nach den beiden dezidiert sozialgeographischen Ansätzen ist für eine Interpretation des Begriffes der 'sozialen Konstruktion von Raum bzw. Räumen', die sich an den oben genannten komplementären Verweisungszusammenhängen orientiert, nun der Blick auf einen raumsoziologischen Ansatz zu richten. Ein solcher Perspektivwechsel ist nicht allein einem transdisziplinären Erfordernis geschuldet, vielmehr eröffnet er die Möglichkeit, einen komparativen Bewertungsmaßstab für den formulierten systemtheoretischen Ansatz, dessen Theorielogik ja ebenfalls soziologischen Ursprungs ist, zu entwickeln.

Mit ihrer Theorie, Raum als "[...] relationale (An)Ordnung von Lebewesen und sozialen Gütern [...]" (LÖW 2001: 160) zu konzeptionalisieren, hat LÖW einen solchen raumsoziologischen Ansatz vorgelegt. Die wechselseitige Bedingung von Sozialem und Räumlichem bringt sie nun darin zum Ausdruck, dass sie von **einem** Raum ausgeht, der sozialen und materiellen Raum vereint. Eine Trennung würde nämlich, so Löw, zum einen unterstellen, es könne ein sozial konstruierter Raum ohne Bezug auf einen materiellen Raum entstehen, und zum anderen ließe die räumliche Konstruktion des Sozialen keinen sozialen Raum hervorbringen. Das, was in diesem einen Raum kulminiert, ist auf der analytischen Ebene das Wechselspiel von sozialen und räumlichen Konstruktionsprozessen und das Wechselspiel mit deren temporären Ergebnissen. Auf diese Weise wird auch eine unmittelbare Gleichsetzung von Sinn und Ort vermieden und damit ein Lösungsvorschlag unterbreitet, diese problematische Konnotation zu überwinden und gleichzeitig den materiellen Raum in das Theoriegebäude eines auch raumwissenschaftlich argumentierenden Ansatzes zu integrieren.

Aus ihrem Ansatz, Raum als relationale (An)Ordnung zu denken, wird zudem die Komplementarität zwischen der Eigenständigkeit der sozialen bzw. räumlichen Eigenschaften und ihrer gegenseitigen Bezugnahme deutlich, denn: "*Raum wird konstituiert durch zwei analytisch zu unterscheidende Prozesse, das Spacing und die Syntheseleistung*" (LÖW 2001: 160). Während somit der erste Konstitutionsaspekt eine geschlossene Operationsweise betont – Raumkonstitution durch Spacing –, integriert die Syntheseleistung die Verknüpfung von Raum und Gesellschaft. Nicht vollends nachvollziehbar bleibt daher ihre Schlussfolgerung, dass alle Räume soziale Räume seien, "[...] insofern keine Räume existieren, die nicht durch synthetisierende Menschen konstituiert werden [und] [a]lle Räume eine materielle Komponente [haben]" (ebd. 228). Schließt man den offensichtlichen Fall, dass alle Räume durch individuelles und kollektives Handeln **beeinflusst** werden aus, dann blendet diese Annahme die räumliche Konstruktion des Sozialen aus und fokussiert ausschließlich auf die soziale Konstruktion des Räumlichen.

Die Konstitution von Etwas, seine Konstruktion, seine Hervorbringung, bedingt zugleich, sich der Differenz von Konstituierendem und Konstituiertem bewusst zu sein und diese Differenz permanent zu verknüpfen – eine im Prinzip klassische dialektische Angelegenheit. So ist beispielsweise auch die Entwicklung der eigenen Biographie dieses Differenzprinzip immanent. Für die Entstehung und Erfahrung der je eigenen Identität sind immer auch andere Menschen mit ihren Identitäten notwendig. Die Biographie entwickelt sich im Menschen, setzt darum aber Etwas (die Mitmenschen) voraus, das außerhalb des Menschen liegt, das er zwar beeinflussen kann und von dem er beeinflusst wird, das er aber nicht **ausschließlich** konstituiert. In diesem Zusammenhang (und auch mit Blick auf das einleitende Katzenexperiment bzw. der Feststellung, Raum entstünde aus Bewegung) ist auf eine Feststellung von GRAUMANN/KRUSE (2003: 242) hinzuweisen, die jenes Differenzprinzip auf das

Mensch/Gesellschaft-Raum Verhältnis bezieht: "Kindliches Spiel enthüllt [...] deutlicher als Erwachsenentätigkeit, dass Raum nicht (nur) eine Vorgabe ist, worin – wie in einem Behältnis – Verhalten „stattfindet“. Vielmehr gilt, dass *Raum und Bewegung einander bedingen*". An anderer Stelle wird noch deutlicher, worum es geht, nämlich um die "[...] Wechselwirkung zwischen Mensch und Raum, vor allem die wechselseitige Bedingtheit beider [...]" (ebd. 244).

Folglich erscheint es angebracht, LÖW's Argumentationsweise zu modifizieren. Die Konstitution von Raum ließe sich, so ihre Annahme, nur erklären, "[...] wenn Raum und Gesellschaft nicht als zwei getrennte Realitäten definiert werden" (Löw 2001: 129). Dem ist nun entgegenzuhalten, dass Raum und Gesellschaft zwei getrennte Realitäten sind, im Vorgang der Beobachtung bzw. des Handelns jedoch zu einem hybriden Setting verschmelzen. "Nur wenn man die systematische Trennung zwischen Raum und Handeln überwindet und Raum (bzw. Räume) als gesellschaftliche Produkte begreift, gelingt es, die verschiedenen [!] Dimensionen der Konstitution zu verstehen" (ebd.). Statt einer erkenntnistheoretischen Überwindung erfolgt, so die hier vertretene Annahme, eine im Prozess des Handelns bzw. des sinnlichen Wahrnehmens induzierte 'Überwindung' – die beiden Welten werden im wechselseitigen Konstruktionsvollzug zusammengebracht.

3 Probleme des Sozialkonstruktivismus

Aus den Ausführungen zur sozialen Konstruktion von Raum in handlungstheoretischem, transaktionistischem und relationalem Ordnungskontext (weitere ließen sich hinzufügen) sollte, neben einer Bewertung dieser Ansätze hinsichtlich ihrer Berücksichtigung komplementärer Verweisungsstrukturen ein weiteres Phänomen deutlich werden: Obgleich von ihrem theoretischen Ansatz her sozialkonstruktivistisch argumentierend, wird Raum – in unterschiedlicher Weise, aber in jedem Fall auch in seiner materiellen Komponente – als unverzichtbarer Bestandteil für Handeln, Interagieren, Kommunizieren, kurz: für Soziales betrachtet. Wird dem Raum (den Räumen) ein derartiger Status zuerkannt, dann wirft das sozialkonstruktivistische Paradigma eine Reihe von Problemen auf. Zunächst wird, mit ihrer einseitigen Ausrichtung auf den sozialen Konstruktionsprozess und dem damit zusammenhängenden Sozialdeterminismus, die von ihr intendierte Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie nicht erreicht. Natur oder Raum werden zwar als in Soziales oder Kulturelles zu integrierende Phänomene akzeptiert, ihre Wesensmerkmale bleiben aber, abgesehen davon, dass sie Ergebnis sozialer Konstruktionsprozesse sind, relativ diffus. "Die Sichtweise der Sozial- und Kulturwissenschaften kann dadurch stabilisiert und auch immunisiert werden, dass man eine agnostische bzw. extrem konstruktivistische Position einnimmt: Menschen bzw. Gesellschaften „konstruieren“ sich ihre Wahrnehmung von Natur (und Naturwissenschaft als Teil dieser Konstruktion), und jenseits dieser Konstruktion sei nichts zu beweisen" (FISCHER-KOWALSKI/ERB 2003: 258).

Das Natur-Kultur- bzw. Raum-Gesellschaft-Verhältnis bleibt zudem nicht nur dichotom, es wird auch hierarchisiert. Die Ausschließlichkeit sozialer Konstruktionen von Räumen bedingt, dass Räume/Räumlichkeiten keinen, das Soziale differenzierenden Erklärungswert besitzen. Abgesehen von der Frage, warum wir Menschen alltäglich Geographie-Machen, wenn das (temporäre) Ergebnis, die gemachte Geographie, keine wirkende Rückbezüglichkeit besitzt, bleibt offen, warum Raum – im Sinne einer raumbezogenen Sozialwissenschaft – zu berücksichtigen bleibt. Mit dieser Hierarchie

bleibt das Verhältnis der sozialen Konstruktionsergebnisse zur Gesellschaft ausgeklammert. Zweifelsohne machen Kinder eine andere Geographie als Erwachsene (aber warum eigentlich?), das Geographie-Machen variiert aber auch von Kind zu Kind. Wie ließe sich dies erklären, ohne einen auch wirkenden Raumbezug zu berücksichtigen.

Die Einseitigkeit des Sozialkonstruktivismus' mit seiner beanspruchten Autonomie des Sozialen ist u.a. auch von STICHWEH (2003: 95) kritisch hinterfragt worden: „Meiner Meinung sagen diese Formeln zu wenig aus, weil sie erneut einen soziologischen Gemeinplatz formulieren“. Sein Vorschlag lautet, statt von ‚sozialer Konstruktion‘ von ‚sozialer Kontrolle‘ zu sprechen. An dieser Stelle interessiert vor allem seine Begründung: „Angesichts der Exteriorität von Raum (!) und Zeit erscheint es angemessen, an die Stelle der der Formel der sozialen Konstruktion des Raumes [...] die Formel einer sozialen Kontrolle von Raum [...] zu setzen. Der Begriff der Kontrolle meint, dass man einen Sachverhalt [wie den Raum; A.K.] **in seiner Eigenständigkeit** akzeptiert, aber Operationen anschließt, die den Sachverhalt den Imperativen eines anderen Systems zu unterwerfen versuchen“ (ebd.; Hervorhebung A.K.). Aus diesem Plädoyer kann durchaus ein Versuch der Symmetrisierung von Raum und Sozialem gelesen werden, ein Versuch, der im Folgenden systemtheoretisch durchgeführt wird (vgl. hierzu auch KRÄMER-BADONI (2003: 280f), der STICHWEH'S Aussagen vehement verteidigt).

Zwei weitere Fragen sollen noch aufgeworfen werden. Die **soziale** Konstruktion von Räumen suggeriert eine primär durch Kommunikation und Interaktion konstruierte Räumlichkeit. Andererseits werden – bei WERLEN – die Erfahrung der körperlichen Räumlichkeit und – bei LÖW – die Fähigkeiten der synthetisierenden Menschen als zentrale konstitutive Elemente der Hervorbringung von Raum genannt. Damit, so die eine Frage, müssten doch auch intrapersonale, subjektive Konstruktionsprinzipien zum Tragen kommen. Dann wiederum müssten, zweitens, neben bewussten auch affektive, emotionale oder intentionale Räume entstehen (GRAUMANN/KRUSE 2003: 242).

Vor dem Hintergrund dieser Diskussion soll nun im Folgenden ein systemtheoretischer Ansatz vorgestellt werden, mit dessen Hilfe die sozialkonstruktivistische Asymmetrie durch den wechselseitigen Bedingungs Zusammenhang von ‚sozialer Konstruktion von Raum‘ und ‚räumlicher Konstruktion von Sozialem‘ symmetrisiert werden kann.

4 Räumliche Systeme

Bei der Darstellung dessen, was räumliche Systeme sind und wie sie mit sozialen Systemen verknüpft werden können, kann im Rahmen dieses Beitrages nur knapp eingegangen werden, daher sei an dieser Stelle auf KOCH (2005, 2004, 2003) verwiesen. Ein zentraler Ausgangspunkt bei der Formulierung dieses systemtheoretischen Raumansatzes besteht in der relativ engen Anlehnung an die Theorie der sozialen Systeme von LUHMANN (1993). Nach Luhmann ist jedes soziale System – vom einfachen Interaktionssystem über Organisationen bis zum funktional-differenzierten System der Gesellschaft – ein autopoietisches und selbstreferentielles System, d.h. das System produziert und reproduziert sich aus seinen eigenen Operationsweisen und stellt dabei einen Bezug zu sich selbst her. Mit der Entstehung des Systems entsteht zugleich eine Umwelt, die jedoch abstrakt und nicht räumlich zu interpretieren ist. Die Sozialität des Systems wird über Sinn hergestellt (näheres hierzu in Bild 11. 2 unten) und die Grundlage für die Herstellung von Sinn beruht auf Kommunikation. Was

LUHMANN's Systemtheorie von anderen unterscheidet – und zu manchen Missverständnissen führt – ist, dass er nicht Individuen, sondern eben Kommunikation als Systemelemente betrachtet, da es sich um soziale und nicht psychische Systeme handelt. Ein soziales System entsteht und erhält sich, indem Kommunikation an Kommunikation anschließt.

Individuen, als psychische Systeme, bleiben jedoch nicht völlig unberücksichtigt. Ihre Einbeziehung erfolgt über strukturelle Kopplung mit dem sozialen System, d.h. in der Umwelt des sozialen Systems sind weitere, andersartige Systeme, die mit jenem verbunden werden können. Wichtig ist nun, dass jedes soziale System operativ geschlossen **und** strukturell offen ist. Die operationelle Schließung – die Autopoiesis – ist die entscheidende Voraussetzung, damit ein soziales System überhaupt entstehen kann. Beim einfachsten sozialen System, einem aus zwei Personen bestehenden Interaktionssystem, kann beispielsweise ein Gespräch nur dann stattfinden, wenn gesprächsstörende Einflüsse ausgeschlossen werden. Die strukturelle Offenheit ist jedoch für die Entstehung und Erhaltung des Systems gleichermaßen wichtig. Strukturelle Offenheit bedingt die Möglichkeit der strukturellen Kopplung mit anderen Systemen. Daraus folgt, ein soziales System ist ein soziales System (ein Kommunikationssystem) und damit ein nicht-individuelles und auch ein nicht-räumliches System. Alles, was komplementär zur operationellen Schließung und damit zur Erhaltung des Systems erforderlich ist, wird über strukturelle Kopplung hergestellt.

Aus der Aussage, soziale Systeme sind aräumlich, ist nicht die Schlussfolgerung zu ziehen, soziale Systeme verfügten über überhaupt keine räumliche Bezugnahme. So kommen auch FISCHER-KOWALSKI /ERB (2003: 261) im Rahmen ihrer Überlegungen zur Notwendigkeit der Klärung der Frage, "[...] wie soziale Systeme naturale Systeme real beeinflussen können. Wenn ein soziales System als System rekursiver Kommunikation aufgefasst wird, [...], muss man eine Zusatzklärung oder Zusatzannahmen dafür haben, wie denn dieses symbolische System materielle Realitäten verändern kann. Man braucht ein Bindeglied zwischen diesem System rekursiver Kommunikation und der naturalen Wirklichkeit [...]". Aus der Theorie logik der strukturellen Kopplung leitet sich nun die Idee

ab, den räumlichen Bezug über räumliche Systeme herzustellen – Räume als eigenen Systemtyp mit sozialen Systemen strukturell zu koppeln. Ein räumliches System wird hierbei nun ebenfalls als ein "[...] autopoietisches, selbstreferentielles System, das sich in Differenz zu einer Umwelt konstituiert [definiert]. Es ist ein Kongruenz konstituierendes System. Seine Operationen und Elemente sind Kommunikationen" (KOCH 2004: 309). Die Begriffe Kongruenz und Kommunikation sind dabei näher zu erläutern (vgl. Bild 11. 2).

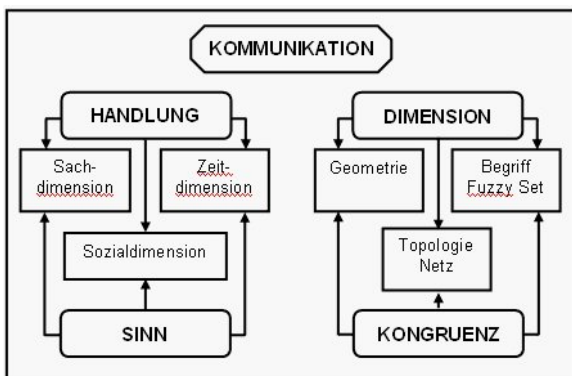


Bild 11. 2 - Kommunikation in sozialen und räumlichen Systemen. Quelle: KOCH 2004

Aus Bild 11. 2 wird deutlich, dass Kongruenz in räumlichen Systemen die Funktion einnimmt, die Sinn in sozialen Systemen besitzt. Über die Sinndifferenzierung lassen sich im Kommunikationsvollzug Handlungsoptionen generieren. Über die Differenzierung der Kongruenz lassen sich analog die räumlichen Dimensionskategorien für unterschiedliche räumliche Systeme generieren. FISCHER-KOWALSKI/ERB (2003: 262) plädieren dafür, „[...] Gesellschaft als strukturelle Kopplung zwischen einem nach Luhmann gefassten sozialen System und bestimmten biophysischen Strukturen

aufzufassen“. Dieser Ansatz wird hier nicht verfolgt, zum einen, weil Gesellschaft selbst ein soziales System ist und damit ein System zugleich System und Kopplungsinstanz wäre; zum anderen, weil nicht nachvollziehbar ist, ob und wie ein (soziales) System mit (biophysischen) Strukturen gekoppelt werden kann.

Kommunikation in räumlichen Systemen meint natürlich etwas anderes als in sozialen Systemen. Während sich in sozialen Systemen Kommunikation aus Information, Mitteilung und Verstehen zusammensetzt, ist Kommunikation in räumlichen Systemen als Synthese aus Netzwerken, Plätzen und Lokationen zu verstehen (KOCH 2004: 324). Die Systemlogik ist jedoch dieselbe: So wie verstandene Mitteilungen über einen anderen, nämlich systemerhaltenden Status verfügen, besitzen Lokationen, als konkret räumlich gewählte Plätze, einen ebenso systemerhaltenden Stellenwert. Netzwerke stellen wie Informationen eine Art Gerüst für das Prozessieren der Kommunikation dar. Eine mitgeteilte und verstandene Information dient als neue Information für die nachfolgende Kommunikationssequenz.

So verstandene räumliche Systeme können, aufgrund ihrer Strukturanalogie, mit sozialen Systemen strukturell gekoppelt werden. Dabei sind mehrere Alternativen möglich (KÄMPER/SCHMIDT 2000: 220ff). Der hier präferierte Vorschlag, der auf Überlegungen von TACKE (2000) aufbaut, stellt den Begriff der 'Adresse' in den Mittelpunkt. Die an diesen Begriff angelehnte Idee nutzt die Zuordnungsmöglichkeit an beide Systemtypen. Unter soziale Adressen lassen sich Variablen wie Name, Alter, Geschlecht, Familienstand oder berufliche Stellung, aber auch die Wohnadresse im physischen Raum subsumieren (zu denken ist aber auch an die E-Mail Adresse im virtuellen Raum sowie die Unternehmensstruktur bei Organisationssystemen oder die Sprache bei Gesellschaftssystemen). In sozialen Systemen bieten sie eine Möglichkeit der Zuschreibung in Kommunikationsprozessen. Desgleichen lassen sich räumliche Adressen ausmachen. Hierzu gehören Variablen wie Grenzlinien, administrative Einheiten (Kommunen, Kreise, Länder, Nationen, etc.) oder Verbreitungsgebiete, aber auch geographische, geosphärische oder kartesische Koordinatenangaben.

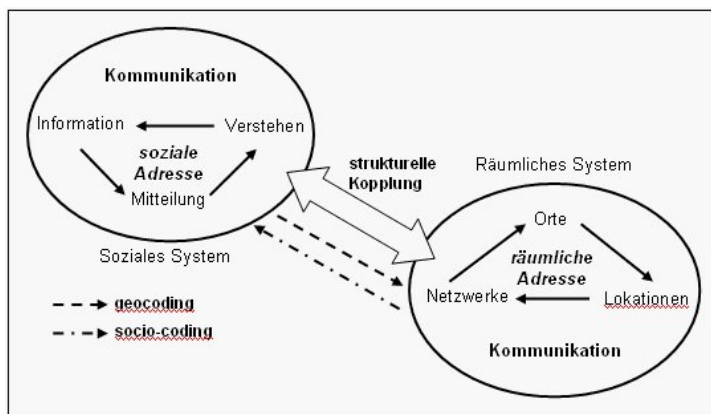


Bild 11. 3 - Strukturelle Kopplung zwischen sozialem und räumlichem System. Quelle: Eigener Entwurf

Soziale wie räumliche Adressen weisen, in unterschiedlichem Maße, füreinander kompatible Übersetzungsrelationen auf. Damit ist gemeint, dass soziale Adressen geo-codiert und räumliche Adressen socio-codiert werden können. Die Wohn-adresse lässt sich in X- und Y-Koordinaten angeben und umgekehrt können geographische Längen- und Breitenangaben in Straße und Hausnummer übersetzt werden (vgl. Bild 11. 3). Mit dieser wechselseitigen Codierbarkeit

ist eine (und nicht die einzige) Möglichkeit gegeben, soziale und räumliche Systeme strukturell zu koppeln. Und: Mit einem derartig konzeptualisierten Raumentwurf liegt nun ein Vorschlag vor, der die Konstruktionskomplementarität als tatsächlich symmetrisch und wechselseitig umsetzt.

5 Soziale Konstruktion und räumliche Systeme

Analog dem obigen Bewertungsmuster von Kapitel 2 sollen nun die vier Kategorien der zirkulären und komplementären Verweisungszusammenhänge auf den systemtheoretischen Raumansatz bezogen werden. Aus den knappen Ausführungen zum räumlichen Systemansatz dürfte die Komplementarität von Eigenständigkeit und wechselseitiger Relationierung bereits deutlich hervorgetreten sein. Soziale und räumliche Systeme sind nicht identisch. Erstere konstituieren sich über Sinn und Handlung, während räumliche Systeme sich über die geometrischen, topologischen und fuzziness-Komponenten der Kongruenz und ihren Dimensionsaspekten konstituieren (der Begriff 'fuzziness' subsumiert, dies sei hier nur angemerkt, den fluid-space und den fire-space, zwei Raumgebilde der Akteur-Netzwerk-Theorie, die über Kontinuum bzw. Diskontinuum charakterisiert sind (MOL/LAW 1994: 643; LAW/MOL 2001: 615)). Es handelt sich somit um ontologisch differenzierte Eigenschaften, die zugleich in und für das jeweilige System übersetzt werden können. Aus empirischer Perspektive stehen die jeweiligen Übersetzungsergebnisse, die durch strukturelle Kopplung entstehenden Überlagerungen sozialer und räumlicher Systeme im Vordergrund. So entsteht und entwickelt sich zum Beispiel aus der Sicht eines Single-Haushaltes ein soziales Netzwerk an Interaktionen mit anderen Mitmenschen, deren Verortungen (beispielsweise Cafés, Lebensmittelgeschäfte, Wohnungen der Mitmenschen) ein räumliches Netzwerk aus 'Plätzen' bzw. 'Lokationen' mitentstehen lässt. Bei einem Umzug ins benachbarte Stadtviertel kann dieses räumliche Netzwerk als Ganzes, oder auch nur partiell Persistenz aufweisen. So wird zum Beispiel ein bislang häufig besuchtes Café kaum oder gar nicht mehr besucht, obwohl der neue Wohnstandort nur 500 m vom alten entfernt liegt.

Die über strukturelle Kopplung erfolgende Übersetzung der ontologisch unterschiedlichen Systemtypen und der damit einhergehenden Verknüpfung ist ein permanenter Konstruktions- und Rekonstruktionsprozess auf beiden Seiten. Räumliche und soziale Systeme entstehen, erhalten sich temporär und lösen sich wieder auf – und dies mit unterschiedlicher Dynamik und aufgrund unterschiedlicher Konstellationen der jeweiligen Netzwerke. Auf beiden Seiten bedingen Struktur und Prozess einander wechselseitig, räumliche/soziale Konstrukte schaffen die Voraussetzung für Konstruktionen und soziale/räumliche Konstruktionsvorgänge schaffen die Voraussetzung für (temporär) Bestehendes, an das sich weitere Konstruktionen anschließen lassen. Die Rede von der 'sozialen Konstruktion von Räumen' heißt also, Räume hervorzubringen **und** sie vorauszusetzen (dabei handelt sich natürlich nicht um dieselben Räume), **und** die Rede von der 'räumlichen Konstruktion des Sozialen' heißt, Soziales hervorzubringen **und** es vorauszusetzen. Beide Ebenen bedingen einander und sind daher mit zu bedenken.

Ein derart konzipierter Raumansatz ist somit in der Lage, die mit den sozialkonstruktivistischen Annahmen induzierten Implikationen zu überwinden. Denn die Symmetrisierung des Konstruktionsbegriffes auf soziale und räumliche Systeme überwindet den – zumindest latenten – Sozialdeterminismus, der von der ausschließlichen 'sozialen Konstruktion von Räumen' ausgeht, ohne damit unausweichlich raumdeterministisch zu argumentieren. WERLEN'S (1998b: 34) Einschätzung, "[...] aus „der sozialen Raumforschung“ [ist] eine „raumbezogene Gesellschaftsforschung“ zu machen“, ist nun dahingehend zu modifizieren, dass es um eine sozial- und raumbezogene Forschung, eben SozialGeographie geht.

In den Worten SCHLÖGELS (2003: 49) lässt sich, unabhängig von dem hier eingeschlagenen Weg, die allgemein zugrunde gelegte Intention eindrucksvoll auf den Punkt bringen: „Bevor wir wahrnehmen, was sich bewegt und was sich entwickelt, nehmen wir wahr, was ist. [...] Wir verlieren uns im Raum, der nach allen Seiten offen ist, und wir sind vom Raum gehalten, denn er umgibt uns. **Er ist – auch ohne uns.** [...] Räume [...] folgen keiner Teleologie. Man darf freilich die Entgegensetzung nicht übertreiben, denn bei näherem Hinsehen stellt sich heraus, daß Raum und Zeit, nichtreduktionistisch und komplex aufgefaßt, eher komplementär und parallel sind [...]“ (Hervorhebung A.K.).

6 Systemische Agentenbasierte Geosimulation

Bislang wurde das Problem der fehlenden bzw. mangelnden Komplementarität von Raum und Gesellschaft/Individuum einiger sozial- und humangeographischer Raumkonzepte und ihre systemtheoretische Überwindung auf der theoretischen Ebene beleuchtet. Komplementär dazu wird nun abschließend und knapp auf eine mögliche methodische Umsetzung Bezug genommen, auf deren Grundlage die theorieinduzierten Ansprüche realisiert werden können. Hierbei handelt es sich um die Agentenbasierte Geosimulation. Nach BENENSON/TORRENS (2004: 1) ist Geosimulation „[...] concerned with the design and construction of object-based high-resolution spatial models, using these models to explore ideas and hypotheses about how spatial systems operate [...]“. Doch spricht nicht allein die definitorische Nähe für den Einsatz dieses Verfahrens, auch das instrumentelle Design der Agentenbasierten Geosimulation ist für eine Anwendung zur Lösung des beschriebenen Problems geeignet, was im Folgenden für sozialräumliche Interaktionsprozesse exemplarisch illustriert wird. Analytisch ist das Modell in zwei Ebenen getrennt, jene der sozialen Systeme und jene der räumlichen Systeme. In der Ausgangssituation verfügen die zur sozialen Interaktion fähigen, mobilen und Haushalte repräsentierenden Agenten über eine Adresse (x- und y-Koordinate) und über ein spezifisches Konsumverhalten, das ausschließlich zu Hause ausgeübt wird und über Variablen wie ‚Konsumhöhe‘ und ‚Konsumgewohnheit‘ unterschiedliche Haushaltstypen generiert. Zusätzlich sind sie nach ihrem sozialen Status differenziert. Sobald ein bestimmter Schwellenwert unterschritten wird, gehen diese Agenten einkaufen. Auf dem Weg zum Geschäft und im Geschäft begegnen sie anderen Agenten, mit denen sie – unter bestimmten Voraussetzungen wie Schichtzugehörigkeit und Wissensstand – kommunizieren. Auf diese Weise werden soziale Systeme generiert, über gewisse Zeiträume aufrechterhalten und wieder aufgelöst.

Komplementär hierzu entstehen räumliche Systeme nun dadurch, dass die Treffpunkte der sozialen Agenten nicht homogen über den Raum verteilt sind, vielmehr kristallisieren sich im Laufe der Zeit bestimmte öffentliche Plätze als beliebte Treffpunkte heraus. Das daraus entstehende, zeitlich variierende Netzwerk aus spezifischen Lokationen bildet diese räumlichen Systeme. Ergänzend ist die Darstellung eines anderen Netzwerks räumlicher Systeme möglich, nämlich jenes, das durch die Verknüpfung der Wohnungen der miteinander interagierenden Agenten gebildet wird.

Diese knappe Darstellung lässt durchaus erkennen, dass der Ansatz der Agentenbasierten Geosimulation auf methodischer Ebene in der Lage ist, einer die Komplementaritäten berücksichtigenden Herangehensweise gerecht zu werden. Der Aspekt der **wechselseitigen Bedingung** kommt darin zum Ausdruck, dass zum einen der sozialen Konstruktion von Räumen bereits die gebaute Umwelt als Räume vorausgehen und zum anderen der räumlichen Konstruktion

des Sozialen soziale Phänomene (wie Schichtzugehörigkeit, Kommunikation, oder überhaupt Sprache) vorausgehen. Auch wird das Verhältnis von **Konstruktion** und **Konstrukt** in der Simulation insofern idealtypisch repräsentiert, als die durch soziale Interaktion entstandenen beliebten Treffpunkte von anderen (nicht an der Konstruktion beteiligten) Agenten als Gegebenes genutzt werden, und damit eine Re-Konstruktion stattfindet. Dieser Vorgang ist jedoch im zeitlichen Fluss. Mit der Differenzierung in soziale und räumliche Systeme liegt zudem eine Unterscheidung in zwei eigenständige ‚Welten‘ vor. Diese **Eigenständigkeit** bezieht sich gleichwohl nur auf die jeweils systemspezifischen Eigenschaften, so beispielsweise, dass soziale Agenten miteinander kommunizieren können. Die **Wechselseitigkeit** der Bezugnahme auf das jeweils andere System ergibt sich aber gerade in der Wahrnehmung räumlicher und sozialer Konstruktionsleistungen: Der Raum ist nicht homogen, folglich entstehen ungleiche Verteilungen beliebter und weniger beliebter Plätze. Auch das Soziale ist nicht homogen und somit entstehen auch hier ungleiche Verteilungen des Einkommens, der Bildung, etc. Das temporär variierende Ergebnis sind – in unterschiedlichem Maße – heterogene sozialräumliche Strukturen, mit Überlagerungen einer Vielzahl strukturell gekoppelter sozialer und räumlicher Systeme. Die **Übersetzungsmechanismen**, wie beispielsweise geo- und sozio-codierte Adressen, sind auch im Falle der Agentenbasierten Geosimulation erkennbar und vorhanden.

Literatur

- BENENSON, I. & P.M. TORRENS: Geosimulation. Automata-based modeling of urban phenomena. Chichester, 2004.
- FISCHER-KOWALSKI, M. & K. ERB: Gesellschaftlicher Stoffwechsel im Raum. Auf der Suche nach einem sozialwissenschaftlichen Zugang zur biophysischen Realität. In: MEUSBURGER, P. & TH. SCHWAN [Hrsg.]: Humanökologie. Erdkundliches Wissen, Band 135, Stuttgart, S. 257-285, 2003.
- FLUSSER, V.: Kommunikologie. Frankfurt a. M., 1998.
- GRAUMANN, C.F. & L. KRUSE: Räumliche Umwelt. Die Perspektive der humanökologisch orientierten Umweltpsychologie. In: MEUSBURGER, P. & TH. SCHWAN [Hrsg.]: Humanökologie. Erdkundliches Wissen, Band 135, Stuttgart, S. 239-256, 2003.
- KÄMPER, E. & J.F.K. SCHMIDT: Netzwerke als strukturelle Kopplung. Systemtheoretische Überlegungen zum Netzwerkbegriff. In: WEYER, J. [Hrsg.]: Soziale Netzwerke. München & Wien, S. 211-235, 2000.
- KAUFMANN, J. C.: Die Erfindung des Ich. Eine Theorie der Identität. Konstanz, 2005.
- KOCH, A.: Raumkonstruktionen. In: Meusburger, P. & TH. SCHWAN [Hrsg.]: Humanökologie. Erdkundliches Wissen, Band 135, Stuttgart, S. 175-196, 2003.
- KOCH, A.: Dynamische Kommunikationsräume. Ein systemtheoretischer Raumentwurf. Münster, 2004.
- KOCH, A.: Autopoietic Spatial Systems. The significance of actor network theory and system theory for the development of a system theoretical approach of space. In: Social Geography, Vol. 1, pp. 5-14, 2005.
- KOCH, A.: Informationsinfrastrukturen und raumbezogene Identität als Ansatzpunkte nachhaltiger Lebensqualität. Empirische Untersuchungen in der Messestadt Riem (München). In: CORP proceedings, S. 397-407, 2006.
- KRÄMER-BADONI, TH.: Die Gesellschaft und ihr Raum – kleines verwundertes Nachwort zu einem großen Thema. In: KRÄMER-BADONI, TH. & K. KUHM [Hrsg.]: Die Gesellschaft und ihr Raum. Raum als Gegenstand der Soziologie. Stadt, Raum, Gesellschaft, Band 21, S. 275-286, 2003.
- LAW, J. & A. MOL: Situating technoscience: an inquiry into spatialities. In: Environment and Planning D: Society and Space, Vol. 19, pp. 609-621, 2001.
- LÖW, M.: Raumsoziologie, Frankfurt a. M., 2001.
- LUHMANN, N.: Soziale Systeme, 3.Aufl., Frankfurt a. M., 1993.

- MOL, A. & J. LAW: Regions, Networks and Fluids: Anaemia and Social Topology. In: Social Studies of Science, Vol. 24, pp. 641-671, 1994.
- NOLLER, P.: Globalisierung, Raum und Gesellschaft: Elemente einer modernen Soziologie des Raumes. In: Berliner Journal für Soziologie, Band 10, S. 21-48, 2000.
- SCHLÖGEL, K.: Im Raume lesen wir die Zeit. Über Zivilisationsgeschichte und Geopolitik. München/Wien, 2003.
- STICHWEH, R.: Raum und moderne Gesellschaft. Aspekte der sozialen Kontrolle des Raumes. In: KRÄMER-BADONI, TH. & K. KUHM [Hrsg.]: Die Gesellschaft und ihr Raum. Raum als Gegenstand der Soziologie. Stadt, Raum, Gesellschaft, Band 21, S. 93-102, 2003.
- TACKE, V.: Netzwerk und Adresse. In: Soziale Systeme, Heft 6, S. 291-320, 2000.
- VARELA, F.J.: Die biologischen Wurzeln des Wissens – Vier Leitprinzipien für die Zukunft der Kognitionswissenschaft. In: MAAR, CH.; OBRIST, H.U. & E. PÖPPEL [Hrsg.]: Weltwissen – Wissenswelt. Köln, S. 146-160, 2000.
- WEICHHART, P.: Geographie als Humanökologie? Pessimistische Überlegungen zum Uralt-Problem der „Integration“ von Physio- und Humangeographie. In: KERN, W. et al. [Hrsg.]: Festschrift für M. RIEDL. Salzburger Geographische Arbeiten, Heft 25, S. 207-218, 1993.
- WEICHHART, P.: „Raum“ versus „Räumlichkeit“ – ein Plädoyer für eine transaktionistische Weltansicht der Sozialgeographie. In: HEINRITZ, G. & I. HELBRECHT [Hrsg.]: Sozialgeographie und Soziologie. Münchner Geographische Hefte, Heft 78, S. 75-88, 1998.
- WEICHHART, P.: Die Räume zwischen den Welten und die Welt der Räume. In: MEUSBURGER, P. [Hrsg.]: Handlungszentrierte Sozialgeographie. Erdkundliches Wissen, Band 131, S. 67-94, 1999.
- WERLEN, B.: Gibt es eine Geographie ohne Raum? Zum Verhältnis von traditioneller Geographie und zeitgenössischen Gesellschaften. In: Erdkunde, Band 47, S. 241-255, 1993.
- WERLEN, B.: Thesen zur handlungstheoretischen Neuorientierung sozialgeographischer Forschung. In: SEDLACEK, P. & B. WERLEN [Hrsg.]: Texte zur handlungstheoretischen Geographie. Jenaer Geographische Manuskripte, Heft 18, S. 85-102, 1998a.
- WERLEN, B.: WOLFGANG HARTKE – Begründer der sozialwissenschaftlichen Geographie. In: HEINRITZ, G. & I. HELBRECHT [Hrsg.]: Sozialgeographie und Soziologie. Münchner Geographische Hefte, Heft 78, S. 15-41, 1998b.

Zeitgeographische Prozesse in der Stadt und ihre Relevanz für raumstrukturelle Disparitäten

Thomas Pohl, Hamburg

Als Basis GIS-gestützter Raumanalysen in der Wirtschafts- und Sozialgeographie dominierten lange Zeit Ansätze, die einer theoretischen Perspektive „klassischer“ Standorttheorien folgten und deren Fokus auf die räumliche Verteilung infrastruktureller Gelegenheiten gerichtet war. In Zeiten stetig abnehmender Bedeutung von Transport- und Kommunikationskosten erscheint dieses Vorgehen zumindest ergänzungsbedürftig. Insbesondere die aktuellen Tendenzen innerstädtischer Differenzierung und Fragmentierung lassen sich ohne die Integration raum-zeitlicher Bedingtheit individuellen Handelns in GIS-gestützte Raumanalysen kaum empirisch fassen (vgl. MILLER 2005). Eine solche, vom Individuum ausgehende, Betrachtungsperspektive stellt der zeitgeographische Zugang von Torsten Hägerstrand dar.

Zeitgeographische Untersuchungen in Anlehnung an die Lund-Schule galten aber aufgrund des großen empirischen Aufwands lange Zeit als ein schwer umsetzbarer Forschungsansatz. Heute stehen mit den entsprechenden GIS-Modulen nicht nur die erforderlichen Werkzeuge zur Verfügung: Inzwischen liegt mit dem geokodierten Wegedatensatz der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen in Auftrag gegebenen Studie „Mobilität in Deutschland 2002“ (MiD) auch umfangreiches Datenmaterial zu deutschlandweit über 100.000 Probanden vor, das sekundäranalytisch mit dem Instrumentarium der Zeitgeographie in Wert gesetzt werden kann.

Am Beispiel ausgewählter Quartiere Hamburgs sollen die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die sich durch die integrierte Analyse von Aktivitäten in Raum und Zeit für die geographische Stadtforschung eröffnen.

1 Die Zeitgeographie als Bindeglied von Mensch und Raum

Ausgangspunkt des zeitgeographischen Zugangs ist das routinisierte Alltagshandeln von Individuen, das mittels einer dreidimensionalen kartographischen Darstellung (Raum-Zeit-Prisma) abbildbar ist. Bei dieser Darstellungsform wird die Zeit zusätzlich zu zwei räumlichen Dimensionen als dritte Dimension projiziert, sodass Bewegungen von Personen in Raum und Zeit als Linien im dreidimensionalen Raum abgebildet werden können (Zeitpfade, vgl. HÄGERSTRAND 1970; PARKES & THRIFT 1980). Die Handlungsoptionen des Individuums bei seiner Bewegung durch Raum und Zeit

werden dabei durch verschiedene Einschränkungen („constraints“) limitiert: Erstens sind dies physisch-materielle Axiome, die etwa durch die Unteilbarkeit des menschlichen Körpers sowie durch das biologische Bedürfnis nach Schlaf bedingt sind, oder die von der Zugänglichkeit zu Verkehrsmitteln abhängig sind („capability constraints“). Zweitens existieren soziale Notwendigkeiten, sich zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort aufzuhalten, um Situationen der Kopräsenz („bundles“) zu realisieren; zum Beispiel die zeitlich und räumlich festgelegte Anwesenheit am Arbeitsplatz („coupling constraints“). Drittens bestehen hegemoniale Reglementierungen von Zugänglichkeiten zu bestimmten Orten („domains“), etwa durch Zutrittsverbote oder Öffnungszeitenregelungen („authority constraints“). „Constraints“ können demnach als raum-zeitliche Begrenzung der Handlungsoptionen des Individuums interpretiert werden, die durch die Endlichkeit der Zeitverfügbarkeit sowie der räumlich-strukturellen Verteilung von Gelegenheiten bedingt werden. Wenngleich der Constraints-Ansatz den sozialen Interaktionsrahmen der Individuen nahezu außer Acht lässt (vgl. zur Kritik an HÄGERSTRAND: GIDDENS 1997: 168ff; KRAMER 2005: 54ff), bietet er einen Zugang zur Interpretation raum-zeitlicher Bindungen individuellen Handelns.

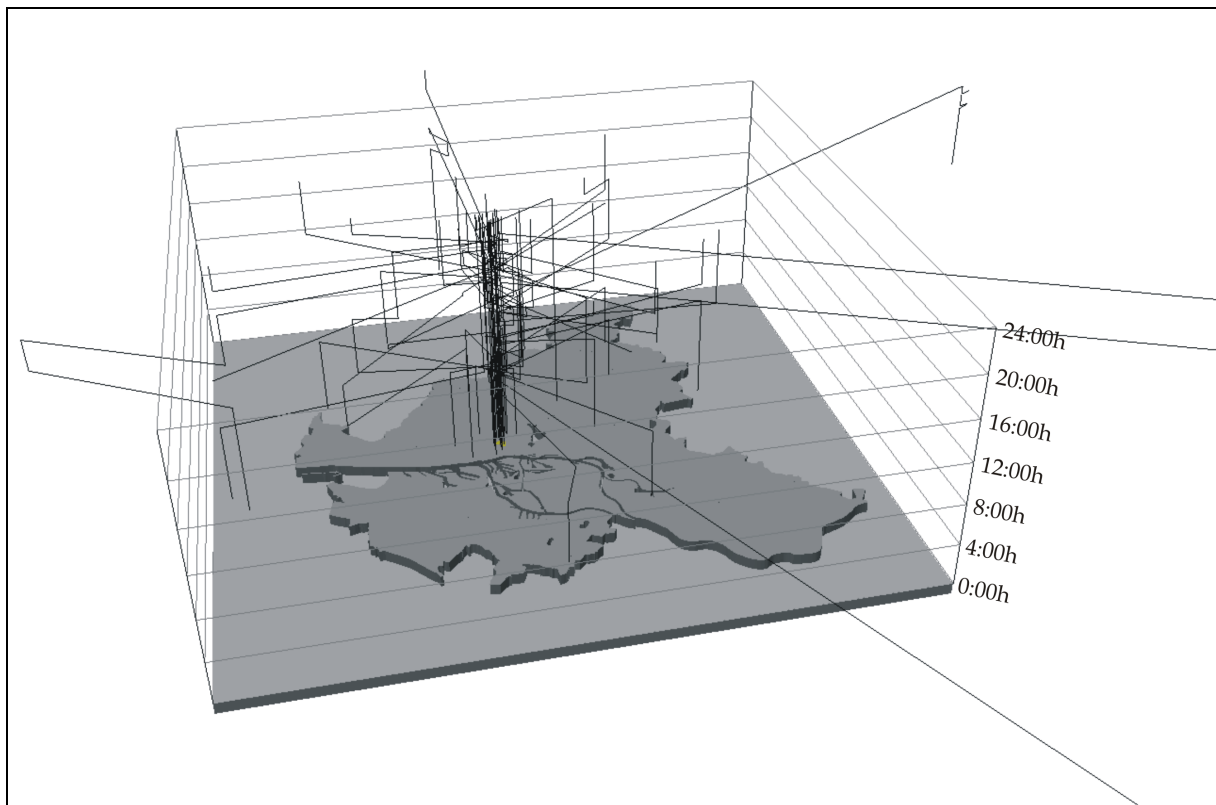


Bild 12. 1 - Raum-Zeit-Prisma des „Schanzenviertels“ in Hamburg. (Datengrundlage: MiD 2002)

Bild 12. 1 zeigt die Zeitpfade der im MiD-Datensatz erfassten Personen, die am jeweiligen Stichtag im Hamburger Schanzenviertel¹ Station gemacht haben. Augenfällig ist die Vielzahl der quartiersinternen Zeitpfade, die auf die Möglichkeit zur Realisierung enger Aktionsräume hinweisen.

¹ Das Schanzenviertel in Hamburg ist eines der Untersuchungsgebiete des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojektes VERA – Verzeitlichung des Raumes, das sich mit den veränderten Implikationen raum-zeitlicher Restrukturierung auseinandersetzt. Es handelt sich um ein innenstadtnahes Altbauquartier, in dem in den letzten Jahren starke sozio-ökonomische Aufwertungsprozesse stattgefunden haben.

Darüber hinaus bestehen vom Schanzenviertel ausgehend aber auch „Brücken in überlokale Zusammenhänge“ (LÄPPE & WALTER 2003), die Rückschlüsse auf die funktionale Verflechtungen des Quartiers erlauben.

Ohne Kontextbezug zu den Wegezwecken (Gründe für das Aufsuchen entsprechender infrastruktureller Gelegenheiten) lässt sich zwar die funktionsräumliche Reichweite des Quartiers erkennen und mit anderen Quartieren vergleichen, die strukturelle Bedingtheit der Zeitpfade ist jedoch noch weitgehend unklar. Zwar ist eine Integration der Wegezwecke in diese Darstellung (etwa über farbliche Signaturen) möglich, in jedem Fall bleiben aber die Motive und Präferenzentscheidungen unberücksichtigt, die zum Aufsuchen eines konkreten Ortes führen. Denn zusätzlich zu den von HÄGERSTRAND benannten „Constraints“ werden die Handlungsoptionen des Individuums von sozial-räumlichen Rahmenbedingungen beeinflusst. Diese Rahmenbedingungen lassen sich in Abhängigkeit zu gruppenspezifischen Variablen wie Ressourcenverfügbarkeit, Lebenslage, Stellung im Erwerbsleben, bestehenden Existenzverflechtungen (vgl. SIEVERTS 2002), sowie präferierten Lebens- bzw. Mobilitätsstilen interpretieren. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit zur Ergänzung des zeitgeographischen Ansatzes durch weitere Variablen, die insbesondere auf die sozio-kulturellen Aspekte von Mobilität abzielen, da sowohl das Aufsuchen bestimmter Orte als auch die Wahl des hierzu verwendeten Verkehrsmittels immer auch als Strategie der sozialen Positionierung gedacht werden muss (vgl. CITY:mobil 1999: 28ff).

2 Zeitgeographische Regionalisierung

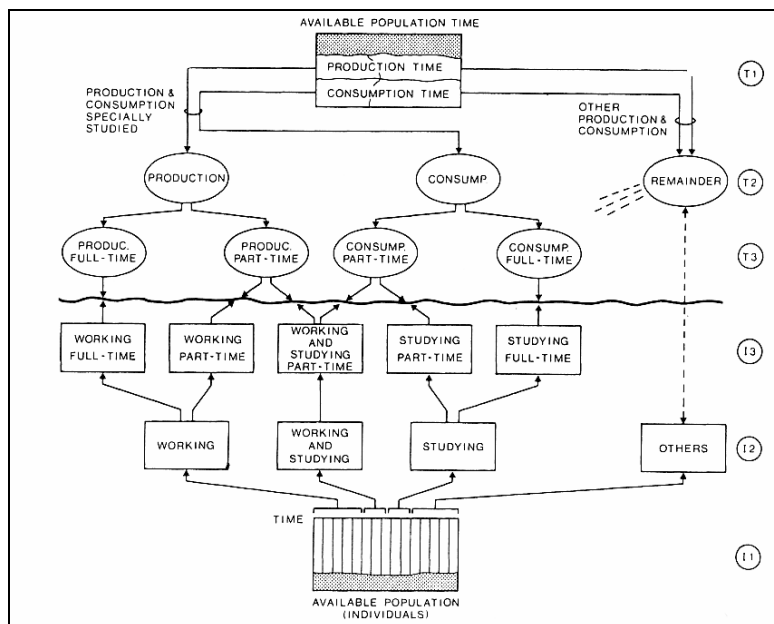


Bild 12. 2 - Description of the principal division of activity time. (Quelle: ELLEGARD & HÄGERSTRAND & LENNTROP 1977)

Ungeachtet der noch zu leistenden Ergänzungen des zeitgeographischen Ansatzes zeigen ELLEGARD & HÄGERSTRAND & LENNTROP (1977) eine Möglichkeit zur Aggregation der für Produktion und Konsumtion aufgewendeten Zeit von Gesellschaften auf, die für eine zeitgeographische Regionalisierung von Städten in Wert gesetzt werden kann. Mit Regionalisierung sei hier „das Einhegen von Zonen von Raum und Zeit“ (GIDDENS 1997: 177) gemeint. Ziel ist es, raumstrukturelle Disparitäten

hinsichtlich unterschiedlicher Zeitverwendungsmuster herauszuarbeiten, um schließlich Aussagen über das Zusammenfallen von Raum und Zeit an spezifischen Orten („Chronotope“) treffen zu können.

Ausgehend von der Überlegung dass jeder Mensch täglich 24 Stunden zur Verfügung hat, die individuell auf Arbeit, Bildung oder weitere Funktionen verteilt werden können, lässt sich die gesamte Zeitmenge aggregieren, die von einer Gesellschaft für einzelne Funktionen aufgewendet wird (vgl. Bild 12. 2). In Rückgriff auf die individuellen Zeitpfade lässt sich zudem feststellen, an welchen spezifischen Orten (z.B. bestimmten innerstädtischen Quartieren) dieser Zeitkonsum erfolgt. Durch die Aggregation der Gesamtmenge der Zeit, die für die einzelnen Funktionen an bestimmten Orten aufgewendet wird, gelingt ausgehend vom routinisierten Alltagshandeln (das mittels der Zeitpfade abgebildet wird) sowohl die Überwindung der sozialen Aggregatebene vom Individuum zur Gesellschaft (Mikro-Makro-Link), als auch die Verbindung von sozialem Handeln zur raumbezogenen Betrachtung (Mensch-Raum-Link).

Tab. 12. 1 - Außerhäuslicher Zeitkonsum in ausgewählten Stadtteilen Hamburgs (Datenbasis: MiD 2002)

	Arbeit	Bildung	private Erledigung	Einkauf	Freizeit	Sonstiges	Summe
Hamburg-Altstadt (Einwohnerzahl: 1.800)							
hours_sum	565,6	15,1	35,0	24,7	55,6	13,4	709,5
timebudget	79,7%	2,1%	4,9%	3,5%	7,8%	2,0%	100,0%
Steilshoop (Einwohnerzahl ca. 19.500)							
hours_sum	24,8	0	0	7,1	36,5	0	68,5
timebudget	36,3%	0,0%	0,0%	10,4%	53,3%	0,0%	100,0%
Schanzenviertel (Einwohnerzahl ca. 9.500)							
hours_sum	119,5	9,8	25,0	4,9	56,0	14,6	229,7
timebudget	52,0%	4,2%	10,9%	2,1%	24,4%	6,40%	100,0%

Eine solcher zeitgeographischer Zugang ermöglicht eine Analyse innerstädtischer Differenzierung, die ihren Ausgangspunkt nicht in der infrastrukturellen Verteilung verschiedener Funktionen über das Stadtgebiet hat, sondern in dem tatsächlichen Aufsuchen der lokalen Gelegenheiten. Eine derartige „zeitgeographische Strukturanalyse“ erscheint insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender sozial-räumlicher Disparitäten in unseren Städten ein vielversprechendes Vorgehen.

Tabelle 12. 1 zeigt beispielhaft für drei räumlich etwa gleich große Stadtviertel Hamburgs die aufaddierten Zeitmengen, die außerhalb der eigenen Wohnung für Produktions- und Konsumtionsfunktionen aufgewendet wird (Datenquelle: MiD 2002). Die aggregierten Zeitanteile (Zeile „timebudget“), die auf die einzelnen Funktionen entfallen, lassen Rückschlüsse auf die Diversifizierung des Infrastrukturangebots der jeweiligen Stadtviertel zu, während die Gesamtsumme

der außerhäuslich verbrachten Zeit² (Spalte Summe) eine Quantifizierung der Aktivität der Quartiere erlaubt.³

Augenfällig ist die Dominanz der Arbeitsfunktion in der Hamburger Altstadt: Vier Fünftel der gesamten außerhäuslich verbrachten Zeit in diesem Stadtteil entfällt auf die Funktion „Arbeit“. Aus der Perspektive des Zeitkonsums betrachtet erscheint die Bedeutung der in der City konzentrierten höchsten zentralörtlichen Versorgungsfunktionen mit 3,5% des außerhäuslichen Zeitkonsums nahezu marginal. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die von den Probanden angegebenen Wegezwecke diskrete Merkmale sind. Tätigkeiten wie „private Erledigungen“ oder „Freizeitaktivitäten“ können demnach ebenfalls Versorgungszwecke umfassen, je nachdem ob mehr die Notwendigkeit der Tätigkeit („Erledigung“) oder der mit ihr verbundene Freizeit aspekt („Shopping“) in den Vordergrund gerückt wird.

Eine im Vergleich zur City geringere absolute Menge an außerhäuslich verbrachter Zeit, aber eine größere zeitbezogene Nutzungsmischung weist das Schanzenviertel auf: Gut die Hälfte der dort außerhäuslich verbrachten Zeit entfällt auf die Arbeitsfunktion, ein Viertel der Zeit wird für Freizeitaktivitäten aufgewendet, das verbleibende Viertel teilen sich die anderen Tätigkeitskategorien. Die hier ausgeprägte Diversifizierung der kumulierten Zeitverwendung spiegelt das differenzierte infrastrukturelle Angebot an Gelegenheiten im Quartier. Die oftmals recht kleinräumig orientierten Zeitpfade im Schanzenviertel (vgl. Bild 12. 1) verweisen auf die Realisierungschance einer „Stadt der kurzen Wege“ durch viele Bewohner, die durch die fußläufige Entfernung zu einem Großteil der aufgesuchten Gelegenheiten ermöglicht wird. Hinzu kommen die Einpendler ins Quartier, die den Bedeutungsüberschuss des Schanzenviertels für andere Stadtteile Hamburgs erkennen lassen.

Obgleich sozialstrukturell dem Schanzenviertel ähnlich, ist der im Nordosten Hamburgs gelegene Stadtteil Steilshoop vorwiegend durch das städtebauliche Paradigma der Funktionstrennung geprägt (vgl. LÄPPLE & WALTER 2003). Neben einem kleineren Einkaufszentrum zur Versorgung der lokalen Bevölkerung dominiert die Wohnfunktion. Diese funktionale Trennung findet eine empirische Bestätigung in der Analyse des im Stadtteil erfolgten Zeitkonsums: Der größte Anteil der außerhäuslichen Zeitverwendung in Steilshoop entfällt auf die Freizeitfunktion. Angesichts der geringen absoluten kumulierten Zeitmengen muss der erste Eindruck vom „Freizeitareal“ aber schnell als widerlegt gelten: Die kumulierte außerhäuslich verbrachte Zeit in Steilshoop entspricht bei etwa gleicher Fläche weniger als ein Zehntel der in Hamburg-Altstadt außerhäuslich aufgewendeten Zeitmenge und weniger als ein Drittel der Zeit, die außerhäuslich im Schanzenviertel verbracht wird.

Ausgehend von der Gesamtmenge des außerhäuslichen Zeitkonsums lässt sich eine zeitbezogene Darstellung der Hamburger Stadtteile erstellen, die eine prägnante Sicht auf die raum-zeitlich aktiven bzw. raum-zeitlich passiven Räume der Stadt erlaubt. Die Basis für die Größe der Darstellung der administrativen Stadtteile ist dann nicht ihre Fläche, sondern die Gesamtmenge der jeweils vor Ort für außerhäusliche Aktivitäten aufgewendete Zeitmenge (Bild 12. 3). Die Dimension „Zeit“ wird in dieser

² Gemeint ist hier die Zeit, die außerhalb der privaten Wohnung verbracht wird, nicht etwa die im Freien verbrachte Zeit.

³ Aufgrund geringer Fallzahlen gerade bei wenig aktiven Stadtteilen (wie beispielsweise dem i.W. durch die Wohnfunktion strukturierten Stadtteil Steilshoop) kann der hier vorgestellten Betrachtung nur ein explorativer Charakter beigemessen werden. Für genauere kleinräumige Analysen müssen weitere Primärdaten erhoben werden, was derzeit im Rahmen des Forschungsprojektes VERA in einzelnen Untersuchungsgebieten erfolgt.

kartographischen Darstellungsweise gleichsam „verräumlicht“. Monostrukturell durch Wohnfunktion geprägte Stadtteile sowie wenig durch Aktivitäten geprägte Flächen schrumpfen in diesem Kartogramm stark zusammen. Demgegenüber werden Stadtteile mit einem großen (kumulierten) außerhäuslichen Zeitkonsum stark vergrößert dargestellt. Neben den innerstädtischen Gebieten, die die höchsten zentralörtlichen Funktionen beherbergen, weisen vor allem die innenstadtnahen Altbauquartiere sowie vereinzelte innerstädtische Subzentren eine hohe Aktivität auf. Als raumzeitlich passiv müssen dagegen die vorwiegend durch die Wohnfunktion geprägten Quartiere sowie ein Großteil der Hafengebiete gelten, darüber hinaus der weniger urban geprägte Süden und Südosten Hamburgs.

Die funktionale Mischung eines Stadtteils kann als gute Voraussetzung für das Greifen von Förderstrategien zur Verbesserung der lokalen Ökonomie gelten (vgl. LÄPPLE & WALTER 2003). Des Weiteren kann in funktionsgemischten Quartieren, in denen Wohnen, Arbeiten, Freizeit, Bildung etc. zu verwirklichen sind, zumindest ansatzweise das „Leitbild der kompakten ‚Stadt der kurzen Wege‘ als Lösung für Nachhaltigkeitsprobleme aufgenommen“ werden (ORENBRÜGGE & HAFERBURG: 2004: 6).

Diese funktionale Mischung an Gelegenheiten (Angebotsseite) entfaltet aber nur dann ihre Wirkung, wenn eine lokale sowie überlokale Nutzung durch Menschen stattfindet (Nachfrageseite). Die Zeitgeographie ermöglicht einen analytischen Zugang zu dieser Nachfrageseite und damit zur raumzeitlichen Strukturierung innerstädtischer Quartiere.

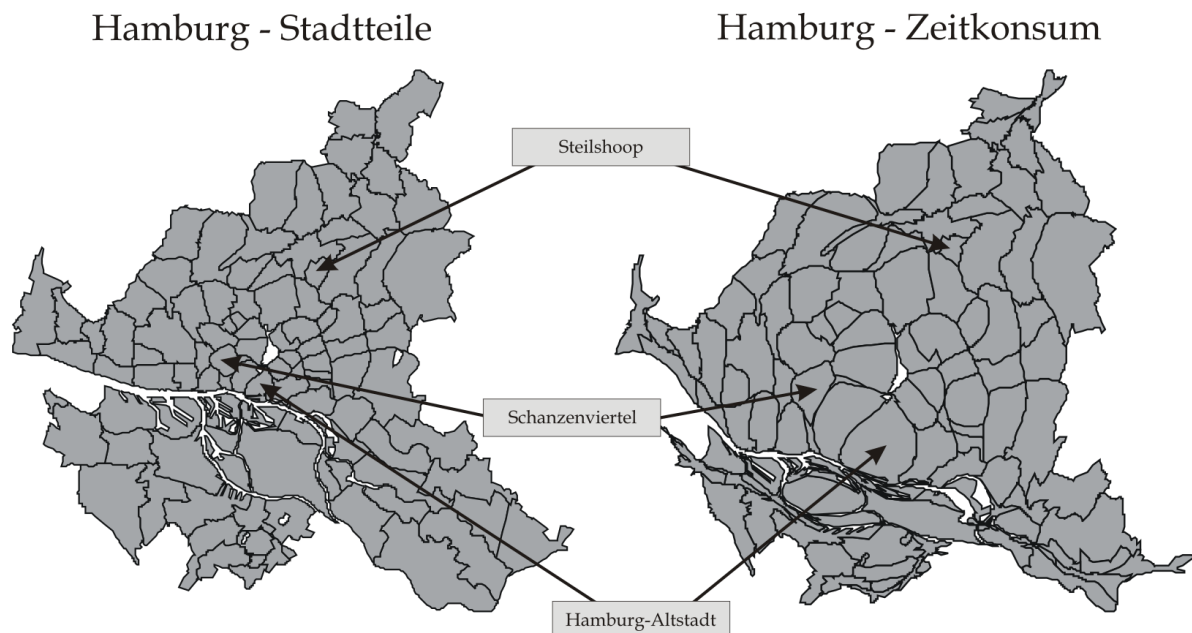


Bild 12. 3 - Hamburg – Darstellung des aggregierten außerhäuslichen Zeitkonsums

Ausblick und weiteres Vorgehen

Der hier vorgestellte zeitgeographische Zugang erlaubt den analytischen Zugriff auf innerstädtische Differenzierung, die von den handelnden Individuen ausgeht. Noch weitgehend unklar ist die Bedeutung der aktuellen Tendenzen der raum-zeitlicher Veränderungen der Arbeits-, Freizeit- und Konsumbeziehungen in unseren Städten für das routinisierte Alltagshandeln der Individuen. So befördert die Flexibilisierung städtischer Arbeitsbeziehungen und die zunehmende Optionalität der individuellen Alltagsgestaltung in unserer Gesellschaft eine Ausweitung der Aktivitätszeiten unserer Städte sowie eine verstärkte Diskordanz einer Vielzahl verschiedener Alltagsrhythmen: Resultierend aus dem Wechsel von Aktivitäts- und Ruhezeiten lassen sich in unseren Städten gleichsam rhythmisch wiederkehrende Phänomene beobachten. Ein Beispiel möge hier die sog. „Rushhour“ dienen, die aus räumlicher Perspektive durch die funktionale Differenzierung innerstädtischer Quartiere, und aus zeitlicher Perspektive durch kollektiv geteilte Arbeitszeiten erklärbar ist. Der aktuell zu konstatierende Prozess der Erosion der relativ starr getakteten Normalarbeitsverhältnisse und die hiermit einhergehende Zunahme (zwangs)flexiblierter Arbeitsbeziehungen mit „freier“ Zeiteinteilung bleibt nicht ohne Folgen für den Rhythmus städtischer Quartiere: Mit der Flexibilisierung der Arbeitsbeziehungen verlängern sich nicht nur die täglichen Aktivitätszeiten der Stadt – auch ihr Rhythmus wird komplexer. Schon vor über zehn Jahren konstatierte HENCKEL „eine zunehmende Überformung des Tag-Nacht-Rhythmus vor allem in den Städten“ und eine „Tendenz [...] auf dem Weg in die kontinuierliche (rund-um-die-Uhr) Gesellschaft“ (HENCKEL 1995) – Phänomene, deren raum-strukturelle Konsequenzen bis dato aber noch weitgehend ungeklärt sind.

Verstärkt wird die Tendenz der zeitlichen Entgrenzung und Flexibilisierung durch den Prozess der gesellschaftlichen Individualisierung und der Pluralisierung der Werte. Hieraus resultiert eine Vielfalt verschiedener optionaler Modelle der Lebensführung. Die „Normalbiographie“ mit ihrer geschlechtsspezifischen Rollenverteilung und dem an sie gekoppelten Modell des Kernfamilienhaushalts vermag keine „Normalität“ mehr zu repräsentieren, beläuft sich doch der Anteil der Kernfamilienhaushalte (Ehepaar mit mind. einem Kind u. 18 Jahren) an allen Privathaushalten in einer Großstadt wie Hamburg auf nur noch ca. 12% (Statistisches Jahrbuch Hamburg 2004/2005). Die Debatte um die Ausdifferenzierung (vor allem: städtischer) Lebens- und Mobilitätsstile verweist dabei auf die räumliche Dimension des routinisierten Alltagshandelns (vgl. GÖTZ 1998; CITY:mobil 1999; HAMMER & SCHEINER 2002) und macht die Relevanz zeitgeographischer Forschungsansätze für die Stadtforschung deutlich.

Literatur:

CITY:mobil (Hrsg.): Stadtverträgliche Mobilität. Berlin, 1999.

ELLEGARD, KAJSÅ, THORSTEN HÄGERSTRAND & BO LENNTROP: Activity Organization and the Generation of Daily Travel: Two Future Alternatives. In: Economic Geography, Vol. 53, No. 2, p 126-152, 1977.

GIDDENS, ANTHONY: Die Konstitution der Gesellschaft. Frankfurt/Main, New York. 3. Aufl., 1997.

GÖTZ, KONRAD: Mobilitätsstile: ein sozial-ökologischer Forschungsansatz; Arbeitsbericht; Subprojekt 1 / CITY:mobil, Forschungsverbund. Frankfurt am Main: Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), 1998.

HAMMER, ANTIJE & JOACHIM SCHEINER: Lebensstile, Milieus und räumliche Mobilität. Technical Note für das Projekt „StadtLeben“, Arbeitspaket 1 + 2, 2002.

- HÄGERSTRAND, TORSTEN: What about people in regional science? Papers of the Regional Science Association, 24: 7-21, 1970.
- HENCKEL, DIETRICH: Rhythmen der Stadt. In: MARTIN HELD & KARLHEINZ A. GEIßLER (Hrsg.): Von Rhythmen und Eigenzeiten. Perspektiven einer Ökologie der Zeit, Stuttgart, p. 157-167, 1995.
- KRAMER, CAROLINE: Zeit für Mobilität. Räumliche Disparitäten der individuellen Zeitverwendung für Mobilität in Deutschland. Erdkundliches Wissen, Band 138, 2005.
- LÄPPEL, DIETER & GERD WALTER: Lokale Ökonomie und soziale Stadt. In: StadtBauwelt 157, p. 24-33, 2003.
- MILLER, HARVEY J.: What about People in Geographic Information Science? In: FISHER, PETER & DAVID J. UNWIN (Ed.): Re-Presenting Geographic Information Systems. JOHN WILEY & SONS, p. 215-242, 2005.
- OßENBRÜGGE, JÜRGEN & CHRISTOPH HAFFERBURG: Synthesebericht Stadtentwicklung in raum-zeitlicher Perspektive (Alltagswelt - Aktionsräume - Ökologie). <http://www.forschungsstelle-zeitpolitik.de/pdf-files/SyntheseGeo-final.pdf>, Date of access: 27.04.2006.
- PARKES, DON & NIGEL THRIFT: Time, Spaces and Places. A Chronogeographic Perspective. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1980.
- SIEVERTS, THOMAS: Zeitverwendungsmuster und Raumnutzung. In: HENCKEL, DIETRICH & MATTHIAS EBERLING (Hrsg.): Raumzeitpolitik. Opladen, p. 251-264, 2002.

Analyse des Verkehrsmittel- und Schulwahlverhaltens Dresdner Gymnasiasten

Sven Müller, Dresden

Zusammenfassung: Auf Basis einer umfangreichen empirischen Studie (n=12.000) mit kleinräumig geocodierten Daten sind schulprofilspezifische Attraktivitäts-funktionen und ein multinomiales Logit-Modell zur Verkehrsmittelwahl spezifiziert worden. In einem Szenario werden mit Hilfe der Modelle die Auswirkungen einer Schulschließung auf die Schülerströme und das Verkehrsmittelwahlverhalten untersucht.

1 Einleitung

Zahlreiche Regionen in Europa sehen sich mit unzureichenden Auslastungen von Schulen konfrontiert. Die politische Konsequenz ist oftmals die Schließung einer oder mehrerer Schulstandorte. Bei der Entscheidungsfindung, welche Standorte für eine Schließung in Frage kommen, werden nach bisherigem Kenntnisstand die individuellen Präferenzen der Schüler hinsichtlich bestimmter Profile oder Schulträgerschaft bzw. der Verkehrsmittelwahl außer Acht gelassen. Diese sind jedoch, insbesondere bei Erhöhung der Reiseweiten in Folge einer Schulnetzausdünnung, Veränderungen unterworfen. Hierbei kommt es, neben den erhöhten Kosten für die privaten Haushalte, durch § 45 (a) Personenbeförderungsgesetz und durch subventionierte Schülertickets zu Kostensteigerungen für die öffentlichen Haushalte. Konnte ein Schüler bei einem dichten Schulnetz die von ihm bevorzugte nächstgelegene Schule noch zu Fuß erreichen, so muss er nach Schließung dieses Standorts auf Grund der größeren Distanz eventuell auf den Bus umsteigen, um zur Schule seiner Wahl zu gelangen.

Der Aufbau des Artikels ist wie folgt: Die Datengrundlage wird in Kapitel 2 beschrieben. Hierauf aufbauend wird das Schulwahlverhalten analysiert (Kapitel 3) und ein multinomiales Logit-Modell zum Verkehrsmittelwahlverhalten spezifiziert (Kapitel 4). In Kapitel 5 werden die Auswirkungen von Schulschließungen auf den Modal-Split und die Schulwahl anhand eines Beispiels verdeutlicht. Kapitel 6 enthält einige abschließende Bemerkungen.

2 Datendisaggregation

Auf Basis der im Jahr 2004 von der Professur für BWL, insb. Verkehrsbetriebslehre und Logistik der TU Dresden durchgeführten „Mobilitätsstudie Dresdner SchülerInnen“ (MoDI), ist ein Stichprobendatensatz, $n=4.700$, der 14.000 Gymnasiasten in der Landeshauptstadt Dresden ausgewählt worden. Auf Grund von Datenschutzgründen konnten die Daten lediglich auf Stadtteilebene (64 Einheiten) erhoben werden. Um eine bessere Basis (genaues Distanzmaß) für die Modellierung zu erhalten, mussten diese zunächst mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) auf Baublockebene (6.400 Einheiten) disaggregiert werden. BACH (1981), FOTHERINGHAM et al. (1995), GOODCHILD (1979) und LONGLEY et al. (2001, S.137-141) empfehlen die Verwendung von disaggregierten Daten im Rahmen von Modellen mit Raumbezug. Die Distanz ist sowohl bei der Schulwahl als auch bei der Verkehrsmittelwahl auf Grund des Raumbezugs von hoher Bedeutung. Im vorliegenden Fall wurden möglichst genaue Distanzen mit Hilfe eines kürzeste-Wege-Algorithmus ermittelt, der die Straßennetzdistanz zwischen dem Wohnbaublock eines jeden Schülers und der besuchten Schule bestimmt. Disaggregationsverfahren für räumliche Daten können gefunden werden u.a. bei OOSTERHAVEN (2005), GREAVES (2004), VAN DER HORST (2002), SPIEKERMANN & WEGENER (2000) und GIMONA et al. (2000).

Im vorliegenden Fall konnten die Informationen zu Reisezeiten, Verkehrsmittelwahl und genutzten Haltestellen herangezogen werden, um eine möglichst genaue Geocodierung der Datensätze

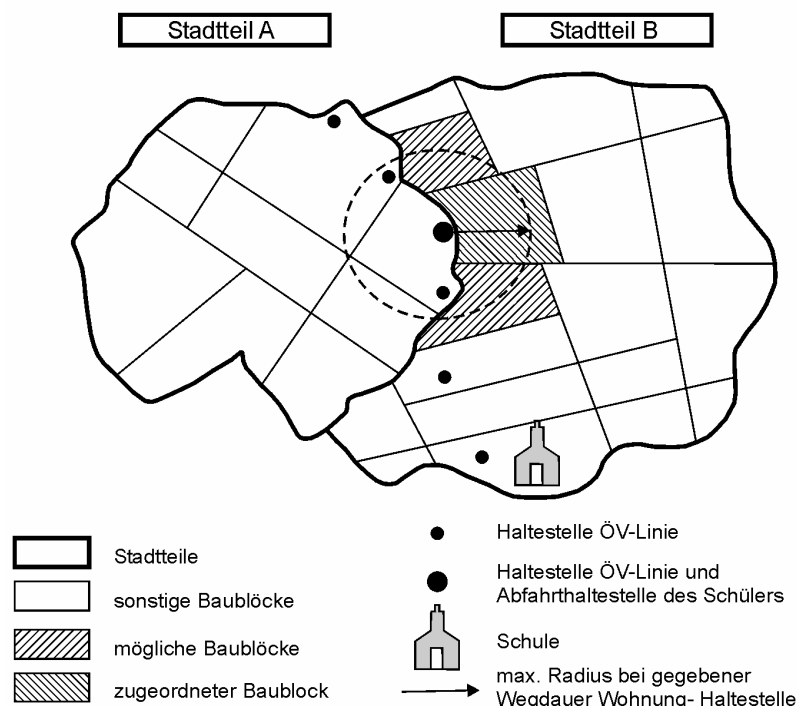


Bild 13. 1 - Zuordnung von Schülern, die den ÖPNV nutzen.

vorzunehmen. Da der Großteil der Schüler zumindest zeitweise öffentliche Verkehrsmittel benutzt, sind aus der Befragung die Starthaltestelle, die Fußwegezeit vom Wohnort des Schülers zu der Haltestelle und die genutzte(n) Linie(n) bekannt. Des Weiteren liegt die Information über den Herkunftsstadtteil des Schülers vor. Nimmt man also an, die Starthaltestelle eines Schülers aus Stadtteil B liegt in Stadtteil A (vgl. Bild 13 1) und setzt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von max. 4 km/h für den Fußweg voraus, steht nur noch eine kleine Anzahl an Baublöcken für die Zuweisung des Schülers zur Auswahl. Betrachtet man nun nur solche Baublöcke, die auch tatsächlich von Schülern bewohnt sind und unterstellt, dass die Schüler immer die nächstgelegene Haltestelle der entsprechenden Linie wählen, kann die Anzahl der zur Auswahl stehenden Baublöcke abermals reduziert werden.

Im vorliegenden Fall konnten die Informationen zu Reisezeiten, Verkehrsmittelwahl und genutzten Haltestellen herangezogen werden, um eine möglichst genaue Geocodierung der Datensätze vorzunehmen. Da der Großteil der Schüler zumindest zeitweise öffentliche Verkehrsmittel benutzt, sind aus der Befragung die Starthaltestelle, die Fußwegezeit vom Wohnort des Schülers zu der Haltestelle und die genutzte(n) Linie(n) bekannt. Des Weiteren liegt die Information über den Herkunftsstadtteil des Schülers vor. Nimmt man also an, die Starthaltestelle eines Schülers aus Stadtteil B liegt in Stadtteil A (vgl. Bild 13 1) und setzt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von max. 4 km/h für den Fußweg voraus, steht nur noch

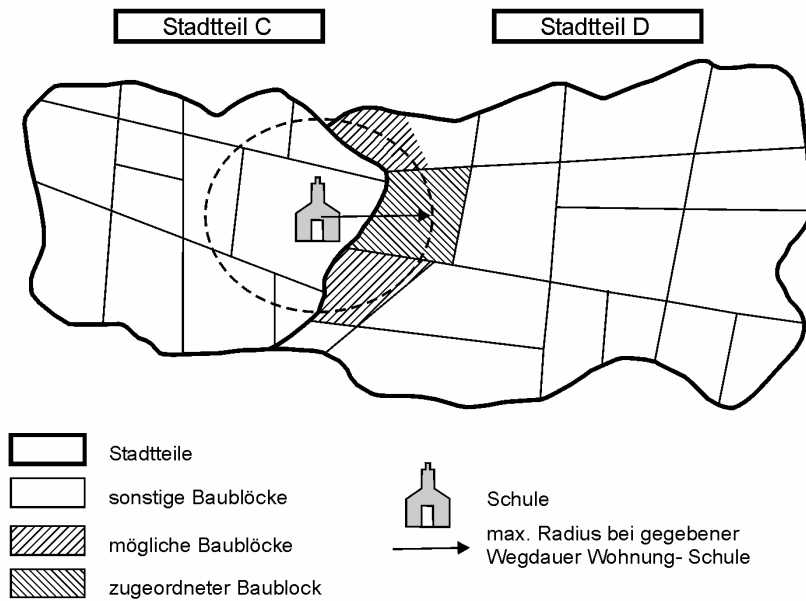


Bild 13. 2 - Zuordnung von Schülern, die den ÖPNV nicht nutzen.

Schüler mit gleichen Angaben (Verkehrsmittelwahl, Reisezeit, Herkunftsstadtteil, Alter etc.) gemäß der Bevölkerungsverteilung in den zur Auswahl stehenden Blöcken auf diese aufgeteilt.

Im Fall, dass kein öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) genutzt wird, stehen solche detaillierte Informationen nicht zur Verfügung (vgl. Bild 13. 2). Aufgrund des wesentlich größeren Radius der Isochrone um die jeweilige Schule (Fuß: 4 km/h, Rad: 12 km/h, motorisierter Individualverkehr (MIV): 30 km/h) ist trotz Verwendung sämtlicher verfügbaren Informationen eine eindeutige Zuordnung oftmals nicht möglich. Hier werden alle

3 Analyse des Schulwahlverhaltens

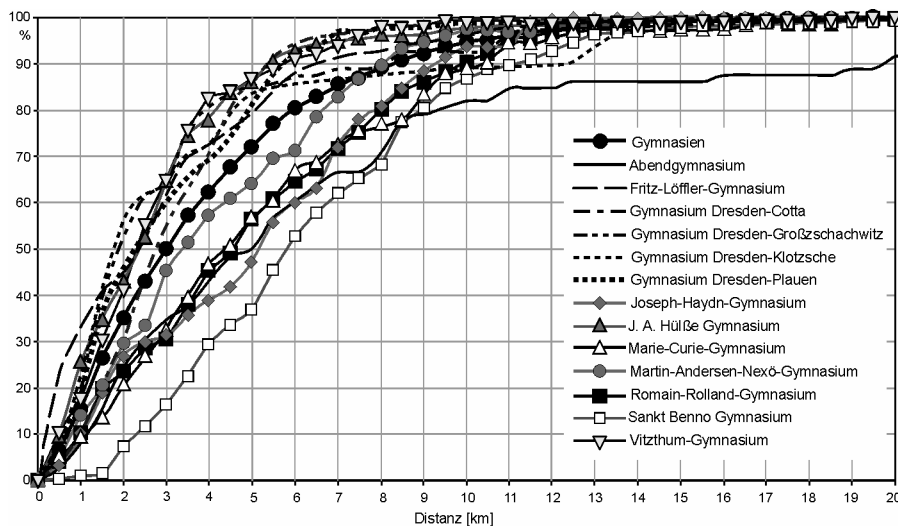


Bild 13. 3 - Schulspezifische Distanzwiderstände

zurücklegen. Dies lässt unmittelbar auf unterschiedlich große Einzugsgebiete der Schulen schließen. So weisen beispielsweise lediglich 30% der Schüler des St. Benno Gymnasiums eine Distanz von vier oder weniger Kilometer auf, wohingegen es bereits mehr als 80% des Vitzthum Gymnasiums sind. Ein so definierter, nicht linearer Widerstand der Distanz ist beim Vitzthum

Studien zeigen, dass die auf dem Schulweg zurückzulegende Distanz und das angebotene Profil, bzw. der Schwerpunkt, erheblichen Einfluss auf die Wahl einer bestimmten Schule hat (SCHNEIDER 2004, MAHR-GEORGE 1999, SPEISER 1993). Bild 13. 3 zeigt, wie viel Prozent der Schülerschaft eines Gymnasiums eine bestimmte Distanz auf dem Schulweg

Gymnasium größer als beim St. Benno Gymnasium. Ordnet man die einzelnen Gymnasien bestimmten Profilgruppen zu (vgl. Tabelle 13. 1), erhält man also profilspezifische Widerstände. Eine inverse Betrachtung der Widerstandsverläufe, ermöglicht eine Interpretation als Attraktivität, die mit zunehmender Distanz abnimmt. Um diese Attraktivitäten formal zu beschreiben, kommen unterschiedliche Funktionen in Betracht (JANSSEN & LAATZ 2005 S.445, MÜLLER 2004 S. 384, LOHSE 1997 S.82-91):

Logarithmisch	$f^1(x) = \alpha + \beta \cdot \ln(x)$	Klassisch	$f^5(x) = \frac{1}{x^\alpha}$
Exponent	$f^2(x) = \alpha \cdot x^\beta$	Wilson	$f^6(x) = \frac{1}{e^{\alpha \cdot x}}$
Exponentiell	$f^3(x) = \alpha \cdot e^{\beta \cdot x}$	Tanner	$f^7(x) = \frac{1}{e^{\alpha \cdot x} x^\beta}$
Logistisch	$f^4(x) = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \beta^x}$	EVA	$f^8(x) = \frac{1}{(1+x)^{\frac{\alpha}{1+e^{\beta-\lambda \cdot x}}}}$
x	Distanz in Metern		
f(x)	Attraktivität [0,1]		
α, β, λ	Zu schätzende Modellparameter		

Tab. 13. 1 - Dresdner Gymnasien

Schule	Stich- probe	öff.- rechtl.	math.- naturw.	vertieft math.- naturw.	sprachlich	vertieft sprachlich	musisch	Profil
Marie-Curie Gymnasium	ja	ja	X					1
Pestalozzi Gymnasium	nein	ja	X					1
Gymnasium Dreikönigsschule	ja	ja	X				X	2
Gymnasium Dresden-Cotta	ja	ja	X				X	2
Vitzthum Gymnasium	ja	ja	X				X	2
Julius-Ambrosius-Hülße Gymnasium	ja	ja	X		X			3
Gymnasium Dresden-Klotzsche	ja	ja	X		X			3
Bertold-Brecht Gymnasium	nein	ja	X		X			3
Hans-Erlwein Gymnasium	nein	ja	X		X			3
Gymnasium Dresden-Plauen	ja	ja	X		X			3
Carl-Maria-von-Weber Gymnasium	nein	ja					X	4
Ev. Kreuzgymnasium	nein	nein	X		X		X	5
St. Benno Gymnasium	ja	nein	X		X		X	5
Martin-Andersen-Nexö Gymnasium	ja	ja	X	X				6

Romain-Rolland Gymnasium	ja	ja	X	X	7
--------------------------	----	----	---	---	---

Tab. 13. 2 - Parameterschätzer und Anpassungsgüte der Tanner Funktion

Profil	r ²	α	Stand. Fehler	β	Stand. Fehler
P1	0,97	0,00022	-0,00001	0,02493	0,00156
P2	0,97	0,00039	-0,00001	0,03242	0,00091
P3	0,99	0,00048	-0,00001	0,02731	0,0005
P4	-	-	-	-	-
P5	0,94	0,0024	-0,00001	0,05755	0,0021
P6	0,97	0,00026	-0,00001	0,01962	0,00135
P7	0,97	0,00022	-0,00001	0,01805	0,00134
∅	0,97				

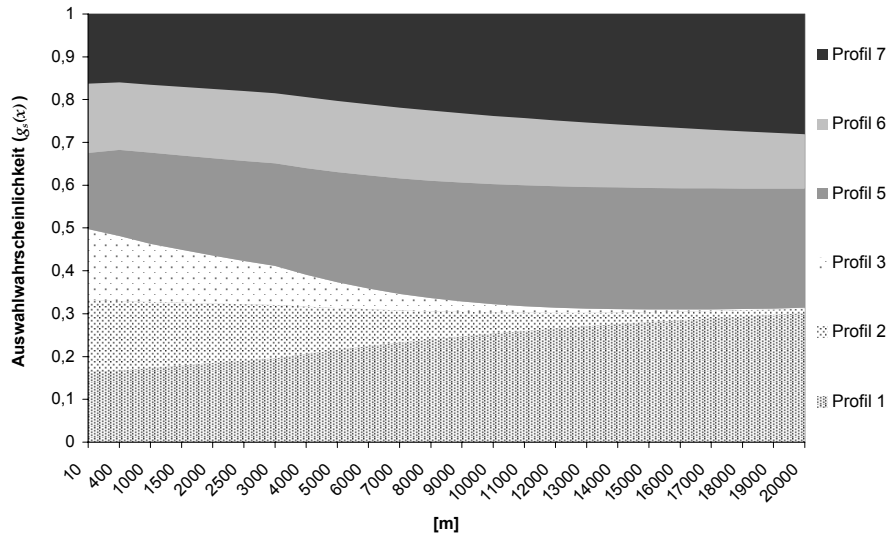
Die Spezifikation der acht Funktionen mit Hilfe der Kleinste Quadrate Schätzung für sämtliche sieben aus Tabelle 13. 1 bekannten Profilgruppen, ergibt deutliche Unterschiede hinsichtlich der Anpassungsgüte. Für eine weitergehende Analyse empfiehlt sich hier die Verwendung der Funktion nach TANNER (1), da diese über alle Funktionen die höchste Anpassungsgüte aufweist (Tab. 13 2). Um aber die Entscheidungssituation eines Schülers bzw. einer Schülerin abzubilden, muss eine Formulierung gefunden werden, die eine Auswahl aus sämtlichen Schulen ermöglicht. Dazu muss die Attraktivität jeder Schule in Abhängigkeit des Profils und der Distanz in Verhältnis zu allen anderen

Schulen gesetzt werden (2). In Bild 13. 4 sind die Verläufe der Auswahlwahrscheinlichkeiten für sieben jeweils die Profile repräsentierende Schulen in Abhängigkeit der Distanz dargestellt.

$$f_p^7(x) = \frac{1}{e^{\alpha_p \cdot x} x^{\beta_p}} \tag{1}$$

$$g_s(x) = \frac{f_{p(s)}^7(x)}{\sum_{\bar{s}} f_{p(\bar{s})}^7(x)} \tag{2}$$

- x Distanz in Metern
- s Schule
- p Profil
- p_s Profil der Schule s
- α_p, β_p Geschätzte Modellparameter
- f_p^7 Attraktivität des Profils p
- g_s Auswahlwahrscheinlichkeit der Schule s



Deutlich treten die unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten eines bestimmten Schulprofils in Abhängigkeit der Distanz hervor. Besonders attraktive Profile wie zum Beispiel sprachliche Vertiefung (Profil 7) überwiegen mit zunehmender Distanz. Die als unrealistisch anzunehmenden nahezu identischen

Bild 13. 4 - Distanzabhängige Auswahlwahrscheinlichkeiten der Schulprofile

Auswahlwahrscheinlichkeiten im niedrigen Distanzbereich sind modellbedingt. Es handelt sich hier nicht um eine geschlossene Modellformulierung, wie dies zum Beispiel bei dem nutzentheoretisch fundierten Logit-Modell der Fall ist (vgl. Kapitel 4), sondern um relative Attraktivitätsfunktionen. Die verwendete Formulierung (2) entspricht grundsätzlich dem Ansatz von HUFF (1963, 1964), welcher in Theorie und Praxis häufige Anwendung erfährt (DREZNER und EISELT 2002).

4 Verkehrsmittelwahlmodellierung

Mit Hilfe eines multinomial-logistischen Regressionsansatzes soll die Frage beantwortet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Wahl der Verkehrsmittelalternativen in Abhängigkeit verschiedener Einflussgrößen zu erwarten ist (3 und 4). Dieser Modellansatz gehört im Rahmen von Verkehrsnachfragemodellierung zu der am häufigsten verwendeten Methode (vgl. EWING et al. 2004, KOPPELMANN & SETHI 2000, BEN-AKIVA & LERMAN 1985). Die Verkehrsmittelwahl dient dabei als abhängige (erklärte) Variable des Modells. Die unabhängigen (erklärenden) Variablen sind die das Verkehrsmittelwahlverhalten beeinflussenden Größen und entsprechen den individuellen Charakteristika der Schüler, wie zum Beispiel die Distanz zwischen Wohnort und Schule, Alter, Geschlecht sowie die Pkw-Verfügbarkeit.

$$W_{it} = \frac{e^{v_{it}}}{\sum_j e^{v_{jt}}} \tag{3}$$

$$v_{it} = b_{i0} + \sum_k b_{ik} \cdot x_{kt} + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

W_{it} Wahrscheinlichkeit, dass Schüler t das Verkehrsmittel i wählt

v_{it}	deterministischer Nutzenwert eines Schülers t , wenn dieser das Verkehrsmittel i wählt
ε_{it}	stochastischer Nutzenwert eines Schülers t , wenn dieser das Verkehrsmittel i wählt
b_{ik}	Regressionskoeffizient der unabhängigen Variablen x_k bei Verkehrsmittel i ,
b_{i0}	konstanter Regressionsparameter der Verkehrsmittelalternative i

Die abhängige Variable „Verkehrsmittelwahl“ besitzt die Ausprägungen zu Fuß, Fahrrad, ÖV und MIV. Als unabhängige Variable wurden zunächst die Einflussgrößen Distanz in Kilometern, Alter, Geschlecht und Pkw-Verfügbarkeit (Dummy) und Wetter (Dummy) in die Betrachtung einbezogen. Eine Beschränkung auf diese Variablen erleichtert zum einen die Interpretation der Modellergebnisse und zum anderen soll sich das Modell auch für die Prognose des zukünftigen Modal-Splits im Dresdner Schülerverkehr eignen. Mehrere Modellschätzungen führten zu einem Modell mit folgenden Variablen: Distanz, Pkw-Verfügbarkeit, Wetter (Jahreszeit). Die Einflussgrößen „Alter“ sowie „Geschlecht“ tragen zu keiner entscheidenden Verbesserung der Güte und Erklärungskraft des Modells bei.

Tab. 13. 3 - Parameterschätzer und Anpassungsgüte MNL Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	i	Modellparameter	Schätzwerte	Signifikanz
Fuß	1	konstanter Term	b_{10} 10,774	0,000
		Distanz	b_{11} -4,376	0,000
		Pkw-Verfügbarkeit	b_{12} -5,279	0,000
		Jahreszeit	b_{13} -0,591	0,000
Fahrrad	2	konstanter Term	b_{20} 6,57	0,000
		Distanz	b_{21} -0,904	0,000
		Pkw-Verfügbarkeit	b_{22} -4,772	0,000
		Jahreszeit	b_{23} -2,081	0,000
ÖV	3	konstanter Term	b_{30} 4,477	0,000
		Distanz	b_{31} -0,052	0,003
		Pkw-Verfügbarkeit	b_{32} -5,553	0,000
		Jahreszeit	b_{33} -0,489	0,000
MIV	4	Referenzkategorie		
Modellgüte	Klassifikationsmatrix: 80,7% (gr. Kategorie ÖV: 56,3), r^2 : 0,79			

Sämtliche Schätzer sind hochsignifikant und auch die Modellanpassung zeigt ein sehr gutes Ergebnis (vgl. Tab.13. 3). Neben dem hohen Pseudo- r^2 zeichnet sich das Modell gerade durch eine sehr gute Klassifikation der Datensätze aus. Das Modell ordnet über 80% der Datensätze der richtigen Kategorie zu. Eine Zuordnung in die stärkste Kategorie ÖV erreicht eine Trefferquote von 56%. Den Verlauf der Auswahlwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der drei Variablen zeigen die Bilder 13. 5 bis 13. 8. Die Distanz diskriminiert

zwischen den Verkehrsmitteln "Fuß" und "Rad" auf der einen und "ÖV" und "MIV" auf der anderen Seite. Des Weiteren hat das Wetter bzw. die Jahreszeit entscheidenden Einfluss auf die Auswahl des Verkehrsmittels "Rad". Zwischen "ÖV" und "MIV" unterscheidet die Möglichkeit ständig einen Pkw zur Verfügung zu haben (Selbst- oder Mitfahrer).

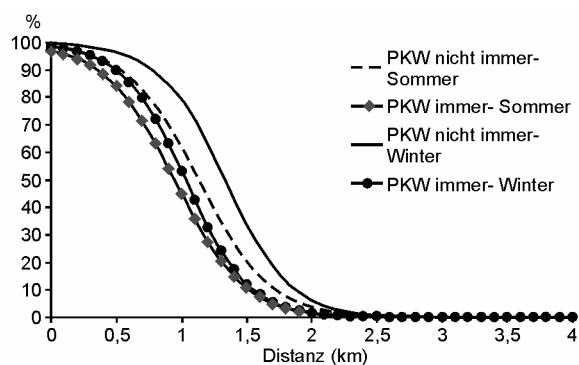


Bild 13. 5 - Auswahlwahrscheinlichkeit "Fuß"

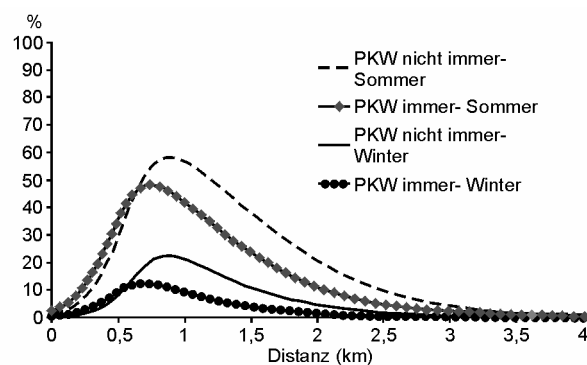


Bild 13. 6 - Auswahlwahrscheinlichkeit "Rad"

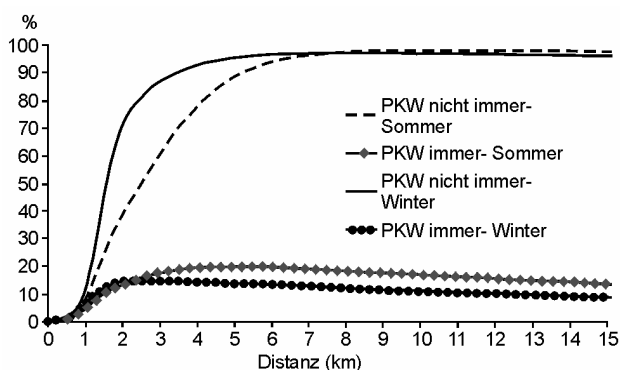


Bild 13. 7 - Auswahlwahrscheinlichkeit "ÖV"

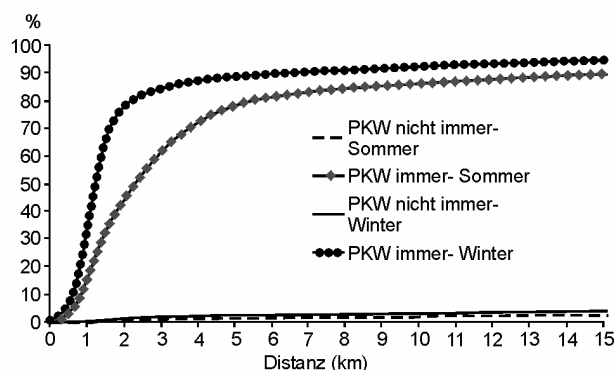


Bild 13. 8 - Auswahlwahrscheinlichkeit "MIV"

5 Beispiel

Mit Hilfe der in den vorangegangenen Kapiteln spezifizierten Modelle sollen hier nun die Neuverteilung der Schüler und die Veränderung im Modal-Split sowie die damit verbundenen Auswirkungen auf die Netzbelastung skizziert werden. Bild 13. 9 zeigt die Netzbelastung im Jahr 2004 am Beispiel der Linie 73. Im Einzugsgebiet des Gymnasiums Großschachwitz (Baublöcke, für die das Gymnasium das nächstgelegene ist) sind kaum ÖV-Nutzer vorhanden, da die Distanzen eher die Modi Fuß und Rad bedingen. Die Linienbelastung bei einem angenommenen Haltestelleneinzugsgebiet von 250 m ist dementsprechend gering. Auch ist der Verkehrsstrom zweigeteilt, da die Schüler aus zwei Richtungen zur Schule fahren. Im Jahr 2008¹ (vgl. Bild 13. 10) ist die Situation stark verändert. Der Großteil der Schüler aus dem betrachteten Einzugsgebiet wird das

¹ Das sächsische Kultusministerium hat zu Beginn des Jahrzehnts beschlossen, u.a. das Gymnasium Großschachwitz im Jahr 2008 zu schließen.

Gymnasium Julius-Ambrosius-Hülße besuchen und auf Grund der gestiegenen Distanzen dafür in großer Mehrheit den ÖPNV nutzen.

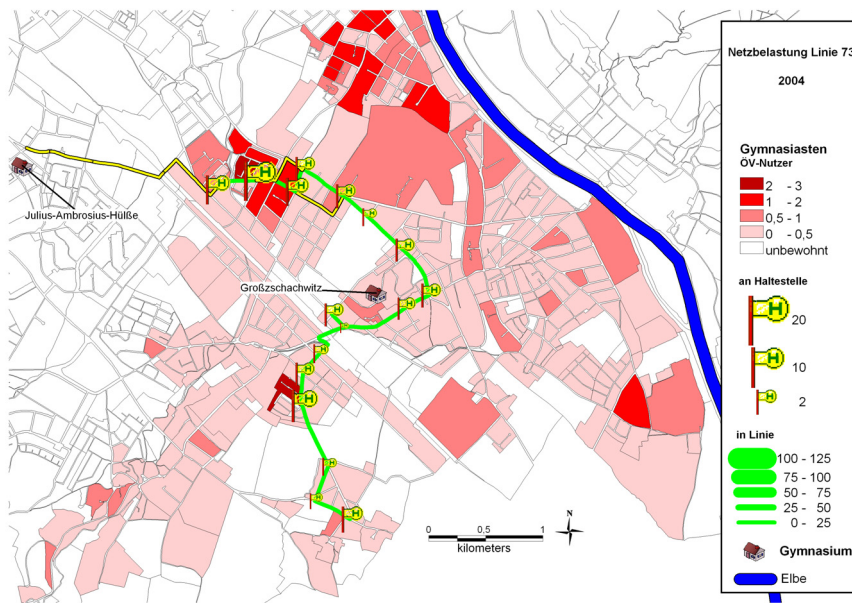


Bild 13. 9 - Linienbelastung 2004

eindeutig und die Distanzen würden sich auch nicht in diesem Maße erhöhen. Vor dem Hintergrund, dass ein wichtiges Argument bei den Schulschließungen die Kostenersparnis ist, ist die Steigerung der Schülerzahlen mit mehr als 3,5 km Schulweglänge im ÖV zu sehen (vgl. Bild 13. 11). Ab dieser Distanz besteht der Anspruch auf kommunal subventionierte Fahrausweise. Ferner kann mit der generellen Steigerung der Distanzen im ÖV auch eine Erhöhung der Ausgleichszahlungen gemäß § 45 (a) Personenbeförderungsgesetz verbunden sein.

Dies und der singuläre Verkehrsstrom bewirken einen erheblichen Anstieg der Linienbelastung. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei dem hier behandelten Gebiet um ein Stadtrandgebiet mit einer geringen Schulstandortdichte handelt. Bei einer zentraleren Lage, wäre die Verteilung der Schüler nicht so

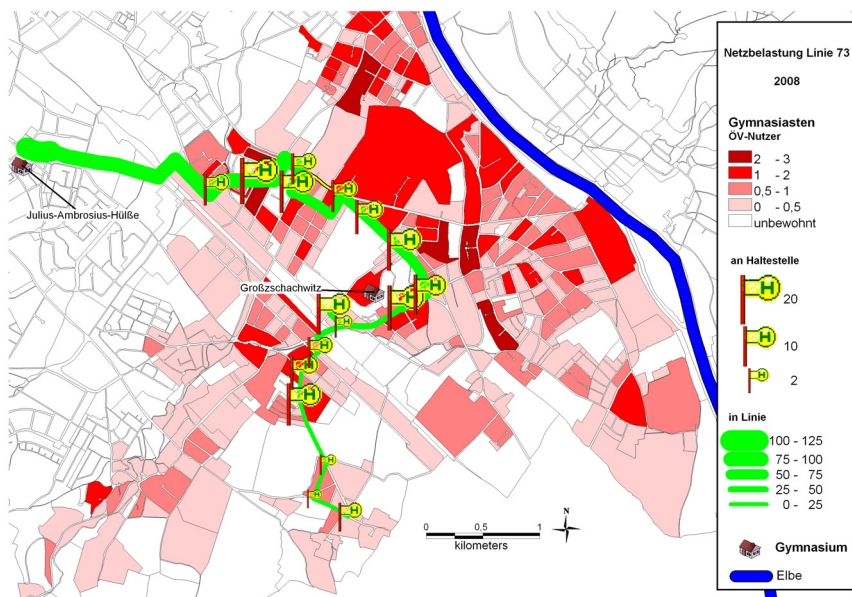


Bild 13. 10 - Linienbelastung 2008

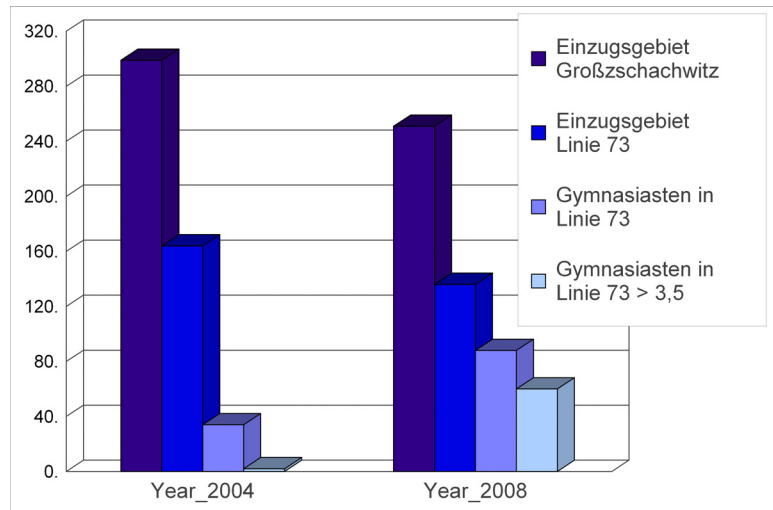


Bild 13.11 - Veränderung der Schülerzahlen

6 Fazit

Durch eine kleinräumige Geocodierung mit Hilfe eines GIS konnten den auf Stadtteilebene erhobenen Daten sehr exakte Distanzen zu gewiesen werden. Bedingt durch die Verwendung genauer Distanzen, der Einflussvariable "Wetter" und die Größe des Datensatzes konnte ein sehr gutes Verkehrsmittelwahlmodell spezifiziert werden. Für die Schulwahlmodellierung sollte im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten ein konditionales oder mixed Logit-Modell geschätzt werden, um eine Interpretation der Auswahlwahrscheinlichkeiten von Schulstandorten auch nutzentheoretisch abzusichern. Das hier behandelte Beispiel zeigt, dass die mit Schulschließungen einhergehenden Beförderungskostensteigerungen in der Schulnetzplanung berücksichtigt werden sollten. Dies kann mit Hilfe eines mathematischen Entscheidungsmodells geschehen.

Literatur

- BACH, L.: The problem of aggregation and distance for analyses of accessibility and access opportunity in location-allocation models. In: *Environment and Planning A* 13, pp. 955-978, 1981.
- BEN-AKIVA, M., LERMAN, S.R.: *Discrete choice analysis, theory and applications to travel demand*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- DREZNER, T. & H.A. EISELT: Consumers in competitive location models, In: DREZNER, Z. & H.W. HAMACHER (Hrsg.): *Facility Location, Applications and Theory*, pp. 151-178, Berlin, 2002.
- EWING, R., SCHROEER, W., GREENE, W.: School location and student travel, Analysis of factors affecting mode choice. In: *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board (TRB)* 1895, pp. 55-63, 2004.
- FOTHERINGHAM, A.S., DENSHAM, P.J., CURTIS, A.: The zone definition problem in location-allocation modelling. In: *Geographical Analysis* 27, Vol. 1, pp. 60-77, 1995.

- GIMONA, A, GEDDES, A., ELSTON, D.A.: Localised areal disaggregation for linking agricultural census data to remotely sensed land cover data. *Innovations in GIS 7, Computational Issues*. Philadelphia: Francis and Taylor, 2000.
- GOODCHILD, M.F.: The aggregation problem in location-allocation. *In: Geographical Analysis 11, Vol. 3*, pp. 240-255, 1979.
- GREAVES, S.: GIS and the collection of travel survey data. *In: HENSHER, D.A. et al., (Eds), Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*. Amsterdam: Elsevier, pp. 375-390, 2004.
- HUFF, D.L.: A probabilistic analysis of shopping centre trading areas. *In: Land economics 39, Vol. 1*, pp. 81-90, 1963.
- HUFF, D.L.: Defining and estimating a trading area. *In: Journal of Marketing 28, Vol. 3*, pp. 34-38, 1964.
- JANSSEN, J., LAATZ, W.: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*, 5. Auflage, Berlin, 2005.
- KOPPELMANN, F.S., SETHI, V.: Closed-form discrete choice models. *In: HENSHER, D.A., BUTTON, K.J. (Eds), Handbook of Transport Modelling*, Amsterdam: Elsevier, pp. 211-226, 2000.
- LOHSE, D.: Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung, *Schriftenreihe des Institutes für Verkehrsplanung und Straßenverkehr Heft 5*, 1997.
- LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W.: *Geographic Information Systems and Science*, Chichester: Wiley, 2001.
- MAHR-GEORGE, H.: Determinanten der Schulwahl beim Übergang in die Sekundarstufe 1. *Forschung Soziologie 28*, Opladen: Leske+Budrich, 1999.
- MÜLLER, S.: Untersuchung des Verkehrswiderstands im schienenengebundenen Berufspendlerverkehr in ländlich-peripheren Räumen Großbritanniens, *in: Kagermeier, A (Hrsg.): Verkehrssystem- und Mobilitätsmanagement im ländlichen Raum, Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, Bd. 10*, pp. 379-390, 2004.
- OOSTERHAVEN, J.: Spatial interpolation and disaggregation of multipliers. *In: Geographical Analysis 37, Vol. 1*, pp. 69-84, 2005.
- SCHNEIDER, T.: Der Einfluss des Einkommens der Eltern auf die Schulwahl. *German Institute for Economic Research, Discussion Papers (446)*, Berlin: DIW, 2004.
- SPEISER, I.: Determinanten der Schulwahl, Privatschulen – öffentliche Schulen. *In: Europäische Hochschulschriften 11 (513), Pädagogik*, Frankfurt a.M, 1993.
- SPIEKERMANN, K., WEGENER, M.: Freedom from the tyranny of zones: towards new GIS-based spatial models. *In: FOTHERINGHAM, A.S., WEGENER, M., (Eds), Spatial models and GIS – New potential and new models*, London: Taylor & Francis, pp. 45-62, 2000.
- VAN DER HORST, D.: The benefits of more spatial detail in regional bioenergy models and the problems of disaggregating agricultural census data. *In: Options Méditerranéennes A 48*, pp. 131-138, 2002.

Der Arbeitskreis „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“

unter Verwendung eines Textes von K. D. Aurada, R. Giffinger und O. Margraf, 1998

aktualisierter Nachdruck aus: KARRASCH, H. (Hrsg.) (1998): Geographie: Tradition und Fortschritt. Festschrift zum 50jährigen Bestehen der Heidelberger Geographischen Gesellschaft. (=HGG-Journal 12) - Heidelberg. 282 - 289.

„Es ist ein bemerkenswerter Trend seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts, daß zunächst in Spezialdisziplinen der Geographie beginnend, eine Entwicklung einsetzte, die heute als ‚Mathematisierung der Geographie‘ bezeichnet wird“ (AURADA 1987, 12). Mit den Möglichkeiten der quantitativ arbeitenden Geographie wuchs aber auch zugleich die Notwendigkeit einer theoretischen Fundierung (HARD 1973; AURADA 1979; KLUG/LANG 1983; BAHRENBERG 1986). Wenn Theorie als eine Menge von Konzepten begriffen wird, die sich mathematischer Verfahren bedient, um spezielle Problemkonstellationen mit Hilfe von Modellen lösen zu können, ist der allgemeine Rahmen des Tätigkeitsfeldes des Arbeitskreises „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“ abgesteckt.

Die nachfolgende wissenschaftshistorische Skizze zeichnet die Entwicklungslinien eines Arbeitskreises der Deutschen Gesellschaft für Geographie nach, der - eingebettet in die historische Entwicklung der Nachkriegszeit - drei Wurzeln aufweist (vgl. auch BARSCH 1991; FISCHER/SCHWARZ 1987; HERZ 1988; KAPPLER 1996; LEYKAUF 1989): den aus Vorstandsberatungen der Fachsektion Physische Geographie der Geographischen Gesellschaft (1972) hervorgegangenen Arbeitskreis „Theoretische Probleme der Physischen Geographie“ (seit 1977 als „Oberbärenburger Kolloquium“), den aus einer von der DFG geförderten Vorlaufphase (1974 Symposium Gießen, 1975 Geographentag Innsbruck) heraus entwickelt und heute namengebenden Arbeitskreis „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“ (seit 1977), das „colloquium parvum“ (seit 1980), das 1986 in den Arbeitskreis „Mathematische Methoden und Informatik“ der Hauptforschungsrichtung Geographie/Hydrologie der AdW der DDR übergang.

2. Entwicklung des deutschsprachigen Arbeitskreises 1974 bis 1990

Bis zur Mitte der 60er Jahre wurden in der deutschsprachigen Geographie, anders als im angloamerikanischen Sprachraum, quantitative Verfahren nur zögernd verwandt (GIESE 1980). Im Spannungsfeld der Notwendigkeit, komplexe Problemstellungen der Raumplanung anzugehen und zugleich der Aufbruchsstimmung im Gefolge der 68er Zeit Rechnung tragend sowie vor dem

Hintergrund wissenschaftstheoretischer Entwicklungen (z. B. BARTELS 1968 „Zur wissenschaftstheoretischen Grundlegung einer Geographie des Menschen“) gewannen quantitative Verfahren an Bedeutung (SCHWARZ 1974; SCHMIDT 1976).

Sie fanden nicht nur Niederschlag in einer dementsprechenden Orientierung der Ausbildung, sondern verlangten auch (nach Anregungen der Geographentage in Erlangen/Nürnberg 1971 und Kassel 1973) in Auswertung eines 1974 in Gießen durchgeführten von der DFG geförderten Symposiums nach einem Podium des Erfahrungsaustausches, um „Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung mathematisch-statistischer Methoden in der Geographie“ (GIESE 1975) diskutieren zu können. Es wurde mit der Gründungsveranstaltung des Arbeitskreises „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“ innerhalb des Zentralverbandes Deutscher Geographen 1977 in Bremen geschaffen (BAHRENBERG/TAUBMANN 1978).

Die regelmäßig alle zwei Jahre stattfindenden Arbeitskreis-Tagungen (mit dazwischen liegenden Arbeitskreis-Sitzungen im Rahmen der jeweiligen Geographentage) und seit 1978 als Arbeitskreis zugleich die „European Colloquia on Theoretical and Quantitative Geography“ (siehe unten) mitgestaltend, sind in den entsprechenden Tagungsbänden dokumentiert. Ihre inhaltliche Kommentierung ist hier wegen unterschiedlicher theoretischer und methodischer Schwerpunkte aus Platzgründen nicht möglich. Kennzeichnend ist aber durchwegs das Bemühen, neue Methoden zur quantitativen Analyse räumlicher Informationen unterschiedlicher Datenniveaus aufzugreifen und die Theoriebildung in der Geographie voranzutreiben.

3. Entwicklung der ostdeutschen Arbeitskreise bis 1990

In Ostdeutschland verlief die Entwicklung trotz der weitgehenden personellen Isolierung von der Entwicklung in Westdeutschland natürlich nicht losgelöst von international erkennbaren Tendenzen sowohl im angloamerikanischen als auch slawischen Sprachraum, in einem allerdings zweigeteilten wissenschaftsorganisatorischen Rahmen (BARSCH 1991). Sie war, in gewisser Weise vergleichbar mit den Tendenzen in Westdeutschland, Ergebnis von der in die wissenschaftliche Entwicklung eingebetteten Herausbildung der Landschaftsökologie (NEEF 1967: „Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre“, AURADA 1979: „Ergebnisse geowissenschaftlich angewandter Systemtheorie“) für die Physische Geographie und von Anforderungen der Territorialplanung insbesondere an die Bevölkerungs- und Siedlungsgeographie (MARGRAF 1984; 1987).

Vor dem Hintergrund der Möglichkeiten nicht nur mathematisch-statistischer Methoden (1969 gründete G. SCHMIDT am Institut für Geographie und Geoökologie in Leipzig die Arbeitsgruppe „Mathematische Methoden“), sondern auch einer „Anwendung des systemtheoretischen Kalküls in der Geographie“ (AURADA 1982) wurde einerseits zwar die Mathematisierung der Geographie „[...] als Weg zur Präzisierung der Forschungsergebnisse sowie zur Förderung und Vertiefung der Theoriebildung generell bejaht [...]“ (SCHMIDT 1979, 151), andererseits zugleich jedoch der „Verlust der Anschaulichkeit in der Geographie“ (NEEF 1981) beklagt.

3.1 „Colloquium parvum“ (Arbeitskreis „Mathematische Methoden und Informatik“) 1980 bis 1990

1978 fand in Leipzig die Tagung „Theoretische und methodische Probleme der Siedlungsgeographie“ statt, die einen Themenkomplex „Systemherangehen und Anwendung der Systemtheorie

in der Siedlungsgeographie“ einschloss. Aus ihm erwuchs das Bedürfnis nach einem Kommunikationsverbund, in dem „Ergebnisse und Erfahrungen in der Anwendung mathematischer Methoden und der Rechentechnik in der Geographie vorgestellt und diskutiert werden, praktikable Methoden zur Bearbeitung geographischer Problemstellungen systematisiert werden, mathematische Computerprogramme vorgestellt werden, um das Methodenspektrum für eine Anwendung in der Geographie zu verbreitern, junge Fachkollegen mit einem fundierten Methodeneinsatz weitergebildet werden“ (LEYKAUF 1989, 272).

Die regelmäßig zweimal jährlich durchgeführten Veranstaltungen dieses seit 1980 existierenden „colloquium parvum“ führten 1986 zur Gründung des Arbeitskreises „Mathematische Methoden und Informatik“ der Hauptforschungsrichtung Geographie/Hydrologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Die Themen einzelner Tagungen (1984: „Quantitative Methoden der Strukturforschung in ihrer Anwendung in der Geographie und Territorialplanung“, und „Räumliche Informationssysteme für die geographische Forschung“; 1987: „Quantitative Methoden der Prozessforschung in der Geographie und ihre Anwendung in der Territorial- und Landschaftsplanung“) umreißen das Spektrum der Arbeitskreis-Tätigkeit.

Auf dem „22. colloquium parvum“ (in Steinbach 1990) beschlossen die Mitarbeiter dieses Arbeitskreises, dem deutschsprachigen AK beizutreten. Die schon länger vorbereitete Tagung zur „Mathematischen Modellierung in der Geographie“ (1991 in Gosen bei Berlin) wurde noch selbstständig, in Anwesenheit von M. M. FISCHER und U. STREIT, durchgeführt.

3.2 „Oberbärenburger Kolloquium“ (Arbeitskreis „Theoretische Probleme der Physischen Geographie“) 1972 bis 1990

Im organisatorischen Rahmen der Geographischen Gesellschaft der DDR ging aus den Beratungen des Vorstandes der Fachsektion Physische Geographie (seit 1953 unter der Leitung von E. NEEF, seit 1970 von J. F. GELLERT), die in Dresden stattfanden, der Arbeitskreis „Theoretische Probleme der Physischen Geographie“ hervor. Das erste Kolloquium zu theoretischen Fragen der Physischen Geographie fand bereits 1967 statt; der Arbeitskreis wurde 1972 gegründet. Er sah in der Diskussion, [...] der Übertragbarkeit und der fachspezifischen Nutzung von Ideen, die in anderen Wissenschaftsdisziplinen entstehen und die allgemeinwissenschaftliche Erkenntnisentwicklung zu beeinflussen beginnen“ (HERZ 1988, 205), seinen Schwerpunkt, der auch die Anwendung quantitativer Methoden einschloss.

Die Leitung des Arbeitskreises, der seine Beratungen seit 1977 in zweijährigem Turnus in Oberbärenburg im Erzgebirge durchführte, hatte K. HERZ bis 1987 übernommen. Auf Anregung dieses Arbeitskreises führte die Fachsektion Physische Geographie 1983 eine Tagung über „Struktur und Prozess in der geographischen Landschaftsforschung“ (K.HERZ, G. HAASE) durch. Ihre Vorträge wurden gemeinsam mit den Tagungsbeiträgen der Eisenacher Tagung (1984) des Arbeitskreises „Mathematische Methoden in der Geographie“ (siehe oben) (J. LEYKAUF, D. SCHOLZ) veröffentlicht (AURADA 1987). Die Leitung des Arbeitskreises übernahm 1987 K. D. AURADA. Die Integration in den deutschsprachigen Arbeitskreis als wissenschaftlich zweckmäßigste Lösung wurde seit 1990 angestrebt und mit der Teilnahme an dessen turnusgemäßer Beratung in St. Geragen in Kärnten 1992 vollzogen.

4. Der deutschsprachige Arbeitskreis seit 1991

Wie die Darstellung der beteiligten drei Arbeitskreise bis 1990 gezeigt hat, waren wegen der weitgehenden Übereinstimmung ihrer inhaltlichen Arbeit keine Schwierigkeiten durch ihre Fusionierung zu erwarten. Diese Erwartungshaltung hat sich bestätigt, wie die gegenseitige Kontaktaufnahme auf den Tagungen 1990 in Vatterode und Eschwege sowie 1991 in Gosen bei Berlin gezeigt hat. Die erste gemeinsam vorbereitete Veranstaltung fand 1992 in St. Georgen (Kärnten, Österreich) statt, ihnen folgten Göhren auf Rügen (1994), Naunhof bei Leipzig (1996), Rostock (1997) als „10th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography“ (siehe unten) und Hamburg (1998). Die weitere Entwicklung wurde von Kolloquien in Augsburg (2000), Wien (2002), Halle/S. (2004) und schließlich 2006 nun wieder in Greifswald getragen.

In jüngster Zeit hat sich eine nicht zu übersehende Affinität zum seit 1990 bestehenden Arbeitskreis „Geographische Informationssysteme“ herausgebildet; seit 1996 finden Arbeitskreis-Beratungen zeitgleich bzw. gemeinsam statt.

Die unter Berücksichtigung seiner historischen Wurzeln nahezu 25 Jahre währende Entwicklung des Arbeitskreises „Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie“ der Deutschen Gesellschaft für Geographie schließt, zunächst auf Einzelpersonen konzentriert und sich zwischen 1972 und 1977 institutionalisierend und zugleich um europäische Kooperation bemüht, den auch gegenwärtig noch andauernden Ausbau der quantitativ arbeitenden Geographie - heute nicht wegzudenkender Ausbildungsgegenstand - ein.

Während in Westdeutschland mit einer Publikationsreihe (GEOMOD mit HARTUNG 1981: „Wegwahlmodelle“; SCHWARZ 1981: „Informationstheoretische Methoden“; BAUMANN 1984: „Verkehrsmodelle“; LÖFFLER/WINCK 1984: „Grundfragen räumlicher Bezugssysteme“; KEMPER 1984: „Multidimensionale Skalierung“; HARTUNG 1984: „Stadtentwicklungsmodelle“) versucht wurde, die geographische Öffentlichkeit über Modelle und Methoden der Geographie und Regionalforschung zu informieren, wurde auch in Ostdeutschland an der Herausgabe einer entsprechenden Lehrbriefreihe „Mathematische Methoden in der Geographie“ (THÜRMER 1987: „Probabilistische Typisierung“; 1988: „Aufdecken von Kausalstrukturen“; AURADA 1988: „Systemtheoretische Kalkül“; HIRCHE 1988: „Standortoptimierung“) gearbeitet. Heute ist es selbstverständlich, dass mathematische Methoden Bestandteil der Ausbildung sind. Jüngstes Beispiel für Lehrbücher aus dem Kreis der Arbeitskreis-Mitglieder ist HOFFMANN, T. & R. RÖDEL (2004): Leitfaden für die statistische Auswertung geographischer Daten. Greifswalder Geographische Arbeiten Bd. 33, Greifswald, 2004.

5. Europäische Kooperation

Nach überwiegend auf persönliche Kontakte zurückzuführenden Aktivitäten quantitativ arbeitender Geographen Deutschlands, Frankreichs und Großbritanniens wurde 1978 in Strasbourg ein „Table Ronde de Géographie Théorique et Quantitative“ (S. RIMBERT, Laboratoire de Cartographie Thématique) organisiert, aus dem die „European Colloquia on Theoretical and Quantitative Geography“ hervorgingen, die seither im zweijährigen Abstand folgten. Während daran bis 1989 nur die westdeutschen, schweizerischen und österreichischen Mitglieder des deutschsprachigen

Arbeitskreises partizipieren konnten, wurden seit 1991 auch ostdeutsche Geographen integriert; das „10th European Colloquium“ fand, das Werk J. H. v. THÜNENs (1783 bis 1850) würdigend und vom deutschsprachigen Arbeitskreis ausgerichtet, 1997 in Rostock statt, auch diese Veranstaltung mit einem eigenen Themenkomplex für Geographische Informationssysteme.

6. Ausblick

Im letzten Vierteljahrhundert hat die Entwicklung sowohl der Rechentechnik als auch Geographischer Informationssysteme eine sich ständig beschleunigende Geschwindigkeit erfahren. So sehr sich einerseits ständig vergrößernde Möglichkeiten der Informationsgewinnung und -verarbeitung eröffnen, so sehr unterstreichen sie andererseits die Notwendigkeit einer nach wie vor aktuellen und auch zukünftige erforderlichen Theorieentwicklung und praxisorientierter Anwendung: „Es gibt keine andere Möglichkeit der Beschreibung, Vorhersage und Steuerung komplizierter und komplexer geographischer Realität und abbildbarer adäquater Objekte als die Anwendung Eindeutigkeit fordernder Abstraktion auf mathematischer Grundlage und theoretisch abgesicherter Basis“ (AURADA 1987, 14). In jüngster Zeit haben dabei auch systemtheoretisch orientierte Konzepte (AURADA, 2003) Eingang gefunden, wie auch dieser Tagungsband erkennen lässt.

Greifswalder Geographische Arbeiten

- Band 13 BILLWITZ, K. (Red.) Beiträge des 25. Deutschen Schulgeographentages: Mecklenburg-Vorpommern, Tor zum Norden und Brücke zum Osten, Greifswald 07.10.-11.10.1996: Kurzfassungen der Vorträge. 1996, 211 S.
- Band 14 BILLWITZ, K. (Red.): Mecklenburg-Vorpommern: Grundzüge der Naturraumausstattung, -erkundung und -bewertung. Fachsitzung 1 des 25. Deutschen Schulgeographentages vom 07.10.-11.10.1996 in Greifswald. 1997, 162 S.
- Band 15 AURADA, K. D. & J. NEWIG (Red.): Die Ostsee und ihr Einzugsgebiet – Wandel des Natur- und Kulturraumes. Fachsitzung 3 des 25. Deutschen Schulgeographentages vom 07.10.-11.10.1996 in Greifswald. 1997, 131 S.
- Band 16 LAMPE, R. (Red.): Greifswalder Bodden und Oder-Ästuar – Austauschprozesse (GOAP): Synthesebericht des Verbundprojektes. 1998, 490 S.
- Sonderband ASMUS, I., H. T. PORADA & D. SCHLEINERT (Red.): Geographische und historische Beiträge zur Landeskunde Pommerns : Eginhard Wegner zum 80. Geburtstag. – Schwerin: Thomas Helms Verlag, 1998, 334 S.
- Band 17 HELBIG, H.: Die spätglaziale und holozäne Überprägung der Grundmoränenplatten in Vorpommern. Diss. 1999, 110 S., 82 S. + Anhang und 14 Fototafeln
- Band 18 RÖDEL, R.: Die Auswirkungen des historischen Talsperrenbaus auf die Zuflussverhältnisse der Ostsee. Diss. 2001, 118 S.
- Band 19 UNVERZAGT, S.: Räumliche und zeitliche Veränderung der Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser der Ostsee. Diss. 2001, 122 S. + Anhang
- Band 20 HILBIG, A.: Kleinräumige Differenzierung der Bevölkerungsdynamik in Mecklenburg-Vorpommern. Diss. 2001, 99. S. + Anhang
- Band 21 PAULSON, C.: Die Karstmoore in der Kreidelandschaft des Nationalparks Jasmund auf der Insel Rügen. Diss. 2001, 296 S.
- Band 22 ZÖLITZ-MÖLLER, R. (HRSG.): Historische Geographie und Kulturlandschaftsforschung. Beiträge zum Gedenkkolloquium für Dr. Eginhard Wegner am 4. Mai 2001 in Greifswald. 109 S.
- Band 23 BILLWITZ, K. (HRSG.): Geoökologische und landschaftsgeschichtliche Studien in Mecklenburg-Vorpommern. 2001, 296 S.
- Band 24 KAISER, K.: Die spätpleistozäne bis frühholozäne Beckenentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern – Untersuchungen zur Stratigraphie, Geomorphologie und Geoarchäologie. Diss. 2001, 208 S. + Anhang
- Band 25 BILLWITZ, K. & P. KÜHN: Der Bodenlehrpfad Jägerhof in Vorpommern. 2002, 57 S. + Anhang
- Band 26 KAISER, K. (HRSG.): die jungquartäre Fluss- und Seegenese in Norddeutschland. Beiträge zur Tagung in Hohenzieritz (Mecklenburg) vom 26.-28. Februar 2002. 2002, 243 S.
- Band 27 LAMPE, R. (EDITOR): Holocene Evolution of the South-Western Baltic Coast – Geological, Archaeological and Palaeoenvironmental Aspects. Field meeting of INQUA Subcommission V: Sea-level Changes and Coastal Evolution. Western Europe, September 22 – 27, 2002, 2002, 224 S.
- Band 28 KÜHN, P.: Spätglaziale und holozäne Lessivégenese auf jungweichselzeitlichen Sedimenten Deutschlands. 2003, 164 S. + Anhang
- Band 29 BILLWITZ, K. (HRSG.): Bodenkundliche und landschaftsgeschichtliche Studien in Mecklenburg-Vorpommern., 2003, 247 S.
- Band 30 SUCCOW, M. & K. BILLWITZ (HRSG.): Landschaftsökologische Exkursionen in die Greifswalder Umgebung. 2003, 90 S.
- Band 31 TIMMERMANN, T., W. WICHTMANN, M. SUCCOW & K. BILLWITZ (HRSG.): Alternative Nutzungsformen für Moorstandorte in Mecklenburg-Vorpommern. Beiträge zur Tagung in Greifswald am 23.11.2002, 2003, 123 S.
- Band 32 DECKERS, B.: Die raumstrukturelle Wirkung von Transformation und EU-Osterweiterung zur Rolle der ortsansässigen Bevölkerung bei der Regionalisierung im nördlichen deutsch-polnischen Grenzraum. 2004, 165 S.
- Band 33 HOFFMANN, T. & R. RÖDEL: Leitfaden für die statistische Auswertung geographischer Daten. 2004, 114 S.
- Band 34 ZÖLITZ-MÖLLER, R.: Novellierung des BauGB - umweltrechtliche Belange -. 2004, 69 S.
- Band 35 HEINZ, M.: Entwicklungsstrategien für eine periphere Region – institutionelle und informelle Kooperationen als Träger neuer Ansätze. Das Beispiel Vorpommern mit Betonung der Stadt-Umland-Regionen Stralsund – Grimmen – Greifswald. 2005, 204 S.
- Band 36 GOTTSCHLING, H.: Die Naturräume des Biosphärenreservates Issyk-Kul in Kirgisistan. Eine landschaftsökologische Studie an Transekten. 2005, 221 S. + CD-ROM mit Abbildungen, Tabellen, Fotos
- Band 37 AURADA, K. D. & R. RÖDEL: Widerspiegelung von Natur-, Technik- und Kulturgeschichte im Landschaftsbild des mitteldeutschen Raumes. Wissenschaftliche Grundlagen einer Exkursion
- Band 38 ZÖLITZ-MÖLLER, R. & G. DÖNING POPPENSIEKER(Hrsg.): Greifswalder Baurechtstage. Praxiserfahrungen mit dem neuen BauGB - umweltrechtliche Belange -