

SYSTEMTHEORIE / SYSTEMANALYSE UND GEOGRAPHIE

ZUM BUCH VON G. P. CHAPMAN „HUMAN AND ENVIRONMENTAL SYSTEMS –
A GEOGRAPHER'S APPRAISAL“

Von DIETER STEINER (Zürich)

Einleitung

Es ist heute viel von Systemanalyse die Rede, wobei verschiedene Vorstellungen darüber bestehen, was das eigentlich sei. Es herrscht die Mode, von systemanalytischen Untersuchungen zu sprechen, wenn irgendwelche quantitative Methoden zur Darstellung von Beziehungen eingesetzt werden. Als Verfahren, die explizit den Anspruch erheben sich mit Systemen zu beschäftigen, sind zu nennen: Die etwas lose formulierte, aus einzelnen Bausteinen bestehende „System Dynamics“ von FORRESTER (1968) und die aus den Ingenieurwissenschaften stammende, viel strenger aufgebaute Theorie der linearen Systeme (s. z.B. LANDGRAF 1976, MEDITCH 1969). In beiden Fällen wird mit Differenzgleichungen 1. Ordnung operiert, im ersten Fall in deterministischer, im zweiten in stochastischer Weise. Es handelt sich zunächst um abstrakte mathematische Formalismen, die dann für eine bestimmte Untersuchung mit konkretem empirischen Inhalt gefüllt werden.

Geographen haben sich bisher mit diesen genannten Verfahren wenig beschäftigt. Dies mag erstaunen, da der Anspruch der Systemanalyse, komplexe Situationen analysieren und simulieren zu können, gerade auch für die Geographie von Interesse sein müßte. Vielleicht ist es aber besser so; zweifellos besteht die Gefahr, daß bei der Übernahme anderswo etablierter Methoden Inhalte in unzumutbarer Weise in ein vorgegebenes Gerüst hineingezwängt werden. Man sollte sich zuerst mit dem Wesen eines Systems beschäftigen und die Frage nach möglichen mathematischen Formulierungen erst in zweiter Linie stellen. In dieser Richtung gibt uns das Buch von CHAPMAN (1977) über Systeme aus geographischer Sicht einen wesentlichen Anstoß, indem er von einer in der „General Systems Theory“ (von BERTALANFFY 1973) verankerten philosophisch-methodologischen Position ausgeht. Mit diesem Werk liegt zum ersten Mal eine ausführliche und tiefer gehende Behandlung der Systemtheorie und ihrer Bedeutung für die Geographie vor. Darüber hinaus wirft es grundlegende Fragen auf, die das Wesen der Geographie betreffen.

Der folgende Beitrag ist ein Versuch, auf dieser Grundlage eine Standortbestimmung bezüglich der Frage Systemtheorie/Systemanalyse und Geographie vorzunehmen. Als Ausgangspunkt dient CHAPMANS Gedankengut; dieses wird zunächst in zusammenfassender Weise unter den drei Titeln „Grundlagen“, „Mathematische Formulierungen“ und „Anwendungsbeispiele“ dargestellt. Anschließend wird in kritischer Weise auf sich ergebende Konsequenzen und offene Fragen eingetreten.

Grundlagen

Systeme

CHAPMAN lehnt sich an die Definition eines Systems von ROTHSTEIN (1958) an, die er als die beste bezeichnet. Sie lautet: „A system is a set of objects where each object is associated with a set of feasible alternative states and where the actual state of any object selected from this set is dependent in part or completely upon its membership of the system“. Wir haben es also mit Objekten zu tun, deren Zustände (Merkmale, Attribute) nicht beliebig variabel sind, sondern, aufgrund eines Systemverbandes, einer gewissen Kontrolle unterliegen. Wir müßten uns also darüber klar werden, was Objekte sind, mit welchen Variablen ein System beschrieben werden kann und was Kontrolle bedeutet.

Zur weiteren Charakterisierung eines Systems gehört, daß es eine Umwelt hat, bestehend aus Objekten außerhalb der Grenzen des Systems, die aber auf das System noch einen Einfluß ausüben, bzw. von diesem beeinflusst werden. CHAPMAN klärt die Konfusion, die bezüglich der Begriffe der Abgeschlossenheit eines Systems und des System-Gleichgewichtes herrschen.

Ein System heißt isoliert, wenn es weder Energie noch Materie mit der Umwelt austauscht (im Prinzip eine Fiktion). Es heißt geschlossen, wenn es bezüglich der Umwelt für Energie durchlässig, für Materie aber undurchlässig ist. Es heißt schließlich offen, wenn sowohl Energie- wie auch Materie-Austauschvorgänge mit der Umwelt stattfinden. Die Verwirrung rührt davon her, daß es hier um physikalische Definitionen in einem thermodynamischen Kontext geht.

In den Sozialwissenschaften werden oft nicht die grundlegenden physikalischen Quantitäten verwendet, und ein System mag dann bezüglich anderer Quantitäten als geschlossen oder offen bezeichnet werden (z. B. Geld in der Ökonomie). CHAPMAN zitiert einen nicht-thermodynamischen Fall, bei dem das Konzept der Geschlossenheit wohl definiert ist. Er bezieht sich auf Zustandstransformationen. Ein System ist demnach geschlossen, wenn die Zustände, die die Teile des Systems nach jeder Transformation erreichen können, eine geschlossene Menge bilden. Ein Beispiel wäre die Modellierung

des Verhaltens eines Systems durch eine Markoff-Kette, wobei durch wiederholte Vorwärtsprojektion sich unter Umständen ein dynamisches Gleichgewicht einspielen kann. Es handelt sich also um eine verhaltensmäßige Abgeschlossenheit. Im thermodynamischen Sinne muß ein derartiges System durchlässig sein: Ein dynamisches Gleichgewicht kann nur durch konstanten Import von Energie oder Energie und Materie aufrecht erhalten werden. Damit ist der Begriff des Gleichgewichtes angesprochen. In der Physik ist er mit isolierten und geschlossenen Systemen assoziiert, die den Zustand der maximalen Entropie erreicht haben (tote Systeme, die sich durch homogene Verteilung der Materie und durch ein Unvermögen der vorhandenen Energie, Arbeit zu leisten, charakterisieren lassen). In der Biologie und in den Sozialwissenschaften hingegen gibt es ein Gleichgewichtskonzept, das mit offenen Systemen (z. B. Organismen, Wirtschaftssysteme) im Zusammenhang steht. Gemeint ist damit ein „dynamisches Gleichgewicht“, das, wie oben schon gesagt, nur durch einen stetigen Austausch von Energie und allenfalls Materie fortbestehen kann.

Diese Betrachtungen führen CHAPMAN zum Schluß, daß beim Verhalten von sozioökonomischen Systemen neue Gesetzmäßigkeiten auftreten, bzw. gesucht werden müssen, die von den physikalischen verschieden sind. Gleichzeitig können diese aber mit den physikalischen Gesetzen nicht im Widerspruch stehen.

Objekte

Objekte sind Dinge, die strukturell integriert sind und eine äußere Grenze haben. Diese definiert die Morphologie eines Objektes; es ist damit als diskrete Einheit erkennbar. Objekte sind aber nicht isoliert, sondern ihre Grenzen sind durchlässig. Solche gleicher Stufe verbinden sich deshalb zu einem System, das selbst wieder ein Objekt auf höherer Stufe ist. Umgekehrt stellen die Objekte eines Systems Subsysteme dar, deren Teile untergeordnete Objekte sind. Es ergibt sich also eine Hierarchie, und die Begriffe System und Objekt sind Synonyme; die Verwendung des einen oder des andern Terms hängt davon ab, ob innerhalb der Hierarchie der Blick nach oben, bzw. nach unten gerichtet ist.

Objekte der untersten Stufe sind Atome, der nächsthöheren Moleküle. Darüber findet eine Aufspaltung in tote Objekte (Studienobjekte der Geologie, Astronomie, Ingenieurwissenschaften, Architektur usw.) und lebende Objekte (Studienobjekte der Biologie) statt, wobei wir im letzteren Fall die hierarchische Reihenfolge Zelle, Organ, Organismus haben. Was darüber kommt, ist relativ unklar. Kandidaten für Objekte auf den obersten Stufen sind Ökosysteme (deren Existenz von CHAPMAN aber nur mit Vorbehalt akzeptiert wird) und, unter Einschluß des Menschen, geographische Systeme. Jedes

Objekt hat einen räumlichen und einen zeitlichen Standort. Es ist dabei der absolute Raum (gegeben durch ein absolutes Koordinatensystem) vom relativen Raum zu unterscheiden. Beim letzteren erhält ein Objekt eine Position aufgrund seiner Beziehungen zu anderen Objekten. Bei absoluten räumlichen Positionsangaben wird keine Kenntnis eines Systems vorausgesetzt. Der relative Raum hingegen kann nur definiert werden, wenn vorher das System definiert ist, das die betrachteten Objekte umfaßt. Ähnlich kann eine absolute Zeit von einer relativen Zeit unterschieden werden. Die letztere wird definiert in Abhängigkeit von einem vor sich gehenden Prozeß.

Der Raum (Raumbedarf) ist eine Eigenschaft der Objekte und nicht umgekehrt die Objekte eine Eigenschaft des Raumes. So sollte eigentlich das Konzept der Bevölkerungsdichte durch das umgekehrte ersetzt werden, d. h. durch einen Raum-pro-Person-Index.

Kontrolle

Jedes Objekt ist einer gewissen Kontrolle unterworfen, die verhindert, daß es beliebige Zustände annehmen kann. Andere Objekte, die auf das betrachtete Objekt einwirken, stellen dessen Umwelt (im system-theoretischen Sinne) dar, und diese Einwirkungen können als beschränkende externe Parameter aufgefaßt werden. Andererseits gibt es Beschränkungen, die mit den internen Verflechtungen im Objekt selbst zu tun haben. Bei biologischen Objekten im speziellen besteht eine Fähigkeit der Selbstregulierung, die einen gewissen Grad der Unabhängigkeit von externen Parametern gewährleistet. Beim Menschen kommen die Möglichkeiten der Wahl und Entscheidung dazu, und diese ermöglichen eine zielbewußte (aber in bezug auf das angestrebte Ziel nicht unbedingt erfolgreiche) Abänderung externer Parameter.

Aus den Ansichten von ASHBY (1969) ergibt sich, daß ein Objekt auch folgendermaßen definiert werden kann: Ein Objekt ist ein Gebilde, bei dem die Fülle der internen Verbindungen maximal, diejenige der externen Verbindungen minimal ist. Bei Dominanz von externen Verflechtungen würden die Zustände des betrachteten Gebildes vorwiegend von außen diktiert; es kann dann kein selbständiges Objekt mehr sein. Andererseits ist auch klar, daß Objekte, die keine externen Verbindungen zu andern Objekten aufweisen, nicht Teil eines Systems sein können. CHAPMAN kritisiert in diesem Zusammenhang die Darstellung eines geomorphologischen Systems in CHORLEY und KENNEDY (1971), bei der unkorrelierte Variablen (statt Objekte in diesem Fall; auf diesen Punkt wird weiter unten eingegangen) im gleichen System erscheinen.

Die Abhängigkeit eines Objektes von andern Objekten in einem System nennt CHAPMAN System-Bestimmtheit, die Fähigkeit eines Objektes, seinen

eigenen Zustand zu beeinflussen, lokale Bestimmtheit. Man kann eine Skala aufstellen, die von keiner System-Bestimmtheit und gänzlicher lokaler Bestimmtheit zu kompletter System-Bestimmtheit und abwesender lokaler Bestimmtheit geht. Ein Beispiel für totale System-Bestimmtheit ist die theoretische Landschaft der zentralen Orte von CHRISTALLER. Bevor die zentrale Metropole bestimmt ist, hat jeder Ort die gleiche Chance, ein Dorf, ein Flecken, eine Stadt usw. zu sein. Nachher ist die Art jeden Ortes eindeutig gegeben.

Ein Beispiel für komplette lokale Bestimmtheit wäre eine Agrarlandschaft, in der die Landnutzung in jeder Parzelle genau durch die lokalen Bedingungen und nur durch diese fixiert ist (geographischer Determinismus). Im ersten Fall können Veränderungen von Zuständen nur durch Einwirkungen von außen eintreten, im zweiten Fall sind Veränderungen vollends unmöglich; es kann nicht mehr von einem System gesprochen werden. Ein System, in dem spontane Veränderungen auftreten können, muß über eine Mischung von System- und lokaler Bestimmtheit verfügen. Die Art und Weise, wie eine Zustandsveränderung in einem Objekt Veränderungen in andern Objekten hervorruft, ist auch von Bedeutung. Wenn eine Veränderung in einem Objekt sofort Veränderungen in allen andern Objekten hervorruft, liegt ein instabiles System vor. Andererseits kann kein System-Zusammenhang bestehen, wenn eine solche Veränderung keinen Effekt auf andere Objekte hat. Die Fragen der System-Veränderung und -Stabilität hängen eng mit dem Problem der Regulierung zusammen (s. Abschnitt „Mathematische Formulierung“).

Geographische Objekte

Die traditionellen Studienobjekte der Geographie sind Raumeinheiten. Unter den vorgenannten Gesichtspunkten kommt nun bei CHAPMAN der geographische Regionsbegriff notwendigerweise unter Beschuß. Die regionale Geographie mit ihrem Integrationsanspruch kann als Vorläufer der Anwendung des modernen Systemgedankens in der Geographie angesehen werden, sie kam aber mit dem Problem nicht zurecht. Es ist nicht möglich, Raumeinheiten als Objekte und als Individuen einer geographischen Klassifikation leicht, unzweideutig und sinnvoll zu identifizieren. Das Konzept der funktionalen (nodalen) Region kommt der Auffassung eines Systems zwar nahe, jedoch liefern erstens verschiedene Kriterien zur Abgrenzung solcher Regionen nach irgendwelchen Einflußsphären verschiedene Resultate und zweitens definiert eine Einflußsphäre nicht ein Objekt, sondern sie kann umgekehrt erst bestimmt werden, wenn ein Objekt vorher festgelegt ist.

Was sind denn nun geographische Objekte? CHAPMAN verwendet das Kriterium des Vorhandenseins eines Kontrollmechanismus. Für den human-

geographischen Bereich, auf den er sich beschränkt, fällt dies mit der Suche nach Objekten zusammen, die als Entscheidungsträger angesehen werden können. Über dem Niveau des Individuums ist das erste solche Objekt eindeutig der Haushalt. Dann folgen Einrichtungen und Unternehmen wie Schulen, Läden, Firmen etc. (CHAPMAN nennt sie „concerns“). Beim weiteren Fortschreiten zu höheren Stufen gibt es Schwierigkeiten. Ist zum Beispiel eine Stadt ein Objekt (System) oder müssen wir vom Konzept der „cities as systems within systems of cities“ (BERRY 1964) Abstand nehmen? Haushalte und „Konzerne“ gruppieren sich durch Verbindungen (Pendlerflüsse, Informationsflüsse etc.) zu Objekten höherer Ordnung. Das heißt aber noch nicht, daß wir damit ein Gebilde erhalten, das mit einer Stadt identisch ist. Die Ganzheit einer Stadt ist nämlich insofern in Frage gestellt, als erstens eine Grenze nicht eindeutig festlegbar ist (die moderne Stadt hat keine Morphologie im Gegensatz zur mittelalterlichen, die durch eine Mauer abgegrenzt war) und zweitens die Verbindungen nach außen (wenn eine Grenze irgendwie festgelegt worden ist) so stark sein können, daß das Vermögen der Kontrolle der Stadt über sich selbst limitiert ist. Dagegen kann nach CHAPMAN auf einer noch höheren Stufe ein nationales System wieder einigermaßen eindeutig als Objekt angesprochen werden.

Da jedes Objekt einen Raumanpruch hat, gelangen wir zu räumlichen Einheiten, wenn die Summe der Raumanprüche der sich zu einem System zusammenschließenden Objekte betrachtet wird. Solche Raumgebilde sind aber nicht notwendigerweise räumlich zusammenhängend. Wichtig ist, daß sie sich aus der Untersuchung bestimmter Objekte ergeben und nicht aus einer mehr oder weniger willkürlichen Aufteilung der Erdoberfläche. Mit einer solchen erhält man auch willkürliche Resultate.

Variable

Allgemein gilt: Es müssen zuerst Dinge identifiziert (qualitativ erkannt) werden, bevor Eigenschaften dieser Dinge gemessen werden könne. „Entitation must precede quantification“ (GERARD 1957). Wir fragen uns zu wenig, was eigentlich untersucht werden soll und welche Datenbedürfnisse sich daraus ableiten. Statistische Ämter erheben bestimmte Daten aus traditionellen Gründen oder weil sie als nützlich erachtet werden. Diese gelten für statistische oder Verwaltungseinheiten. Im ersten Fall können wir sicher nicht, im zweiten nur mit Fragezeichen von Objekten reden. Variable, die solche Einheiten beschreiben, beziehen sich auf Aggregate von Objekten niedrigerer Ordnung bzw. auf Beispielseigenschaften dieser Aggregate (z. B. Bevölkerung, Bevölkerungscharakteristika). Solche Aggregate sind selbst keine Objekte höherer Ordnung, ihre Teile stehen höchstens in loser Verbindung miteinander. Damit gilt im wesentlichen, daß das Ganze gleich der Summe der Teile ist,

im Gegensatz zu einem wirklichen Objekt (System), bei dem das Ganze mehr als die Summe der Teile ist. Beim Vergleich von Aggregatmerkmalen, die für ein- und dieselben „Objekte“ gelten (es werden also Variable und nicht Objekte miteinander in Beziehung gesetzt, z. B. Korrelationsrechnung für Gemeindemerkmale), wie auch bei der Analyse von Flüssen zwischen Aggregaten (z. B. ökonomische Input-Output-Analyse für aggregierte Wirtschaftssektoren auf nationalem Niveau) wird gewissermaßen über verschiedene Systeme gemittelt. Der Informationsverlust ist bei dieser Art der Darstellung sehr groß. Weiter werden, beim Versuch der Generalisierung, etwa der vergleichenden Beschreibung von Ländern, Variable ausgewählt, die auf alle Länder anwendbar sind. Das Generelle liegt dabei in der Natur der Variablen, nicht in der Natur der Dinge. Solche Variablen lassen sich nur aus sich selbst erklären: Beschreibung und Erklärung fallen zusammen (Zirkelschlüsse).

Es hat den Anschein, daß ein System nur erfaßt und verstanden werden kann, wenn ein bestimmtes individuelles System untersucht wird. Heißt dies, daß wir nomothetische zugunsten idiographischer Untersuchungen aufgeben und auf das Finden von Gesetzmäßigkeiten verzichten müssen? Es würde keine Systemtheorie geben, wenn dem so wäre. Es ist klar, daß das Allgemeine in der Struktur oder Organisation eines Systems begründet liegt. Das Spezifische oder Einmalige dagegen bezieht sich auf den oberflächlichen Ausdruck eines Systems (Zustandsbeschreibung). Die gleiche Struktur kann zu verschiedenen Oberflächenmanifestationen führen, oder, anders ausgedrückt: Input und Output eines Systems bestimmen seine Natur nicht eindeutig. Oft ist es deshalb nicht nur wünschenswert, sondern notwendig, sich nicht nur mit dem zu befassen, was wirklich ist, sondern auch mit dem, was hätte sein können. Nur dann läßt sich erklären, was in Wirklichkeit existiert. Andernfalls bleibt die Erklärung beim historischen Zufall stecken. Aus dem Gesagten leitet CHAPMAN die Folgerung ab, daß es zumindest zwei wichtige Klassen von Variablen gibt: Die spezifischen, die zur Zustandsbeschreibung dienen, und die generellen, die für die Zustandserklärung (aus der Systemstruktur) gebraucht werden. Die Unterscheidung zwischen Generellem und Speziellem führt auch zu einer Differenzierung zwischen allgemeiner und spezifischer Evolution. Ein Objekt ist weiter entwickelt im allgemeinen Sinne, wenn es mehr Teile hat, die Teile stärker spezialisiert sind und das Ganze stärker integriert ist. Ein Objekt hat einen höheren Entwicklungsgrad im spezifischen Sinne, wenn es an eine bestimmte Lokalität besser adaptiert ist.

Mathematische Formulierungen

Allgemein gesagt verwendet CHAPMAN zur mathematischen Formulierung systemanalytischer Konzepte fast ausschließlich das Rüstzeug der Informa-

tionstheorie. Ihre Wichtigkeit beleuchtet er mit einem Zitat aus CONANT (1976): „If each variable in a system is viewed as a message source which sends information about its values to the other variables that are ‚listening‘ then what is conveniently seen as a network of causes and effects can be viewed as a network of transmitters, channels, and receivers.“ Im folgenden sind einige Beispiele für Probleme, die auf dieser Grundlage behandelt werden, gegeben.

Organisation

Jedes Objekt kann sich mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten in einer Anzahl von alternativen Zuständen befinden. Es wird die Annahme gemacht, daß das System, um funktionieren zu können, für jeden Zustand eine bestimmte Anzahl von Objekten benötigt, die sich in dem betreffenden Zustand befinden. Diese Systemteil-Erfordernisse treten also als Randbedingungen auf. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen möglichen Zustände eines einzelnen Objektes muß gleich 1 sein, die Summe der Wahrscheinlichkeiten für einen bestimmten Zustand über alle Objekte gleich der Zahl, die durch die Systemteil-Erfordernisse gegeben ist. Zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet sich jedes Objekt nur in einem bestimmten Zustand. Es liegt somit eine bestimmte Realisation („complexion“) aus verschiedenen möglichen vor. Die Menge aller möglichen Realisationen stellt das System-Ensemble dar.

Der Grad der Organisation (O) ist nun definiert als

$$O = H_e - H_b,$$

wobei H_e = a priori erwartete Entropie des Ensembles (die Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Realisationen werden aus den Zustandswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Objekte abgeleitet, wobei der Reihe nach alle theoretisch möglichen Kombinationen von Objektzuständen berücksichtigt werden), H_b = a posteriori beobachtete Entropie des Ensembles (abgeleitet aus den Wahrscheinlichkeiten des Auftretens der tatsächlich möglichen Realisationen). Wenn alle theoretisch möglichen Realisationen gleich wahrscheinlich sind (bedeutet auch: Die Zustands-Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind für alle Objekte gleich), ergibt sich aus kombinatorischen Überlegungen

$$H_e = \ln (N! / \prod_i N_i!),$$

wo N = Gesamtzahl der Objekte und N_i = Zahl der Objekte, die sich zufolge der Randbedingungen im Zustand i befinden müssen. Wenn dies nicht der Fall ist, wird die Berechnung komplizierter und es muß auf die Detailangaben in CHAPMANS Buch verwiesen werden. H_b ist Null, wenn nur eine Realisation tatsächlich möglich ist. Es ist dann $O = H_e$, und es liegt maximale

Organisation oder totale System-Bestimmtheit vor. Andererseits ist $H_b = H_e$, wenn alle theoretisch möglichen Realisationen auch in Wirklichkeit vorkommen können. Die Organisation ist dann Null, d. h. der Zustand eines bestimmten Objektes ist nicht mehr von den Zuständen der übrigen Objekte abhängig. Es kann in diesem Fall nicht mehr von einem System gesprochen werden. Wenn mehrere aber nicht alle theoretisch möglichen Realisationen tatsächlich auftreten, ist $0 < H_b < H_e$. Das System hat einen gewissen Grad von Organisation, der aber kleiner als der maximal mögliche ist.

Durch die Unterscheidung der beiden Fälle für die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen theoretisch möglichen Realisationen, nämlich einerseits gleiche, andererseits ungleiche Wahrscheinlichkeiten, kann nun noch das Phänomen der lokalen Bestimmtheit mit ins Spiel gebracht werden. Dieses tritt im zweiten der genannten Fälle auf. Das bedeutet, daß sich für bestimmte Objekte lokale Restriktionen bemerkbar machen. Diese bewirken, daß gewisse Zustände wahrscheinlicher, andere weniger wahrscheinlich sind als für andere Objekte. H_e ist dann kleiner als das theoretisch mögliche Maximum ($H_{e^{max}}$), das sich bei gleichen Wahrscheinlichkeiten für die Realisationen ergibt, d. h.

$$H_e = H_{e^{max}} - I_\ell,$$

wobei I_ℓ die lokale Information oder das Maß der lokalen Bestimmtheit darstellt. Bei absoluter lokaler Bestimmtheit hat jeder Teil eine Wahrscheinlichkeit von 1 für nur einen Zustand. Da dann theoretisch nur eine Realisation möglich ist, wird $H_e = 0$ und $I_\ell = H_{e^{max}}$; es besteht keine Organisation.

Um die Organisation eines Systems erfassen und beschreiben zu können, ist es also wichtig, daß wir Informationen nicht nur über die tatsächliche gegenwärtige Realisation haben, sondern auch über mögliche alternative Realisationen. Hier liegt eine Schwierigkeit. Die Wahrscheinlichkeiten für alternative Realisationen müssen subjektiv geschätzt oder allenfalls aus bekannten Veränderungen in der Vergangenheit empirisch abgeleitet werden. Im letzteren Fall kann auch die Redundanz berücksichtigt werden, die durch die Tendenz entsteht, daß Nachbarn in Raum und Zeit sich beeinflussen. Es handelt sich also in andern Worten um eine Untersuchung der raum-zeitlichen Autokorrelation. Ein anderes Problem besteht darin, dass die Teil-Erfordernisse a priori definiert und außerdem (bei der Allokation von Zuständen zu Objekten) konstant sein müssen, Voraussetzungen, die in der Realität kaum zutreffen. Es wäre wünschbar, daß die Teil-Erfordernisse unabhängig von einem konkret betrachteten System bestimmt werden könnten, aber es ist unklar, wie solche Information gewonnen werden kann.

Ein alternatives Maß für den Organisationsgrad ist die Reduktion der Anzahl Freiheitsgrade (maximale Zahl der Freiheitsgrade = Summe der Freiheitsgrade, die alle Einzelteile haben, wenn sie keinen Beschränkungen

unterworfen sind), die durch einen Systemverband entsteht. CHAPMAN bringt in diesem Zusammenhang auch den anschaulichen Vergleich von perfekten Stühlen (maximale Organisation mit minimaler Zahl von Freiheitsgraden) und knarrenden Stühlen (reduzierte Organisation mit über-minimaler Zahl von Freiheitsgraden). Er sagt dazu, daß die von Geographen untersuchten Systeme im allgemeinen knarrenden Stuhl-Systemen entsprechen.

Regulierung

Es geht hier um den Input von Störungen aus der Umwelt (ausgedrückt als mögliche alternative Zustände der Umwelt) in ein System und die Antwort des Systems auf diese Störungen (dargestellt als verschiedene mögliche Aktionen eines Regulators). Die mathematische Behandlung ist schwieriger und es sollen hier nur einige Prinzipien kurz angedeutet werden. Das Ziel eines Regulators ist es, den Zustand des Systems möglichst gegenüber Einflüssen aus der Umwelt abzuschirmen. Die Wirksamkeit einer Regulierung wird, aufbauend auf dem „Law of Requisite Variety“ von ASHBY (sagt aus, daß nur Varietät, nämlich im Regulator, Varietät, nämlich in der Umwelt, aufheben kann) wiederum auf informationstheoretischer Grundlage ausgedrückt. CHAPMAN zeigt an Beispielen, wie man Tabellen konstruieren kann, die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten alternativer Umweltzustände, Wahrscheinlichkeiten für die alternativen Reaktionsmöglichkeiten des Regulators und Wahrscheinlichkeiten für die resultierenden alternativen Systemzustände enthalten. Anhand eines mehrteiligen ökologischen Räuber-Beute-Modells wird ferner demonstriert, daß Markoffsche Gleichgewichtszustände und Gleichgewichtsflüsse zwischen den Teilen abgeleitet werden können. Daraus läßt sich der Grad der Stabilität (S) eines Systems quantitativ definieren als:

$$S = \sum_i p_i \log (1/p_i),$$

wo p_i = Anteil der Flußmenge an der Gesamtflußmenge, die durch den i-ten Pfad des Systems passiert. Dies gilt aber nur für einfachste Modelle und Annahmen. Komplexere Modelle berücksichtigen auch Zeitverzögerungseffekte, wodurch über die Zeit Zustandsoszillationen entstehen, die unter Umständen nicht zu einem dynamischen Gleichgewicht führen.

Wachstum und Lernen

Regulierung ist nur eine Möglichkeit für einen Teilnehmer in einem komplexen System, Unsicherheit bezüglich der Umwelt zu eliminieren. Andere sind Wachstum und Lernen. Diese beiden Aspekte demonstriert CHAPMAN am Verhalten von Investoren an der Börse, denen der zukünftige Wert der Aktien unbekannt ist und mit dem Hintergrund dieser Unsicherheit

entscheiden müssen, wieviel Kapital sie investieren wollen (nach MURPHY 1965). Es wird ein Ausdruck für die Maximierung der erwarteten Wachstumsrate abgeleitet, die wiederum eine informationstheoretische Interpretation hat.

Hierarchie

Auch bezüglich der Hierarchie der Objekte kann die Informationstheorie herangezogen werden, um die Information zu messen, die vorliegt, wenn wir ein Objekt betrachten, das aus mehreren Teilen besteht. Das von CHAPMAN gegebene Beispiel bezieht sich auf zwei Stufen in einer Hierarchie, nämlich auf Städte (!) und auf Personen, die in diesen Städten leben. Er zeigt, wieviel Information vorliegt, wenn

1. die Zahl der Städte bekannt ist (abgeleitet aus der Überlegung, wieviele mögliche Anzahlen von Städten bei vorliegender Gesamtbevölkerung es geben könnte);
2. die tatsächlichen Größen der Städte bekannt sind (aus der Überlegung, wieviele mögliche Größenverteilungen es bei vorgegebener Zahl der Städte und Gesamtbevölkerung geben könnte);
3. für jede Person bekannt ist, in welcher Stadt sie wohnt (aus der Überlegung, auf wieviele mögliche Arten die Personen auf die Städte verteilt werden können, wenn ihre Zahl und Größe bekannt ist);
4. bekannt ist, an welchem Standort innerhalb einer Stadt jede Person wohnt (aus der Überlegung, auf wieviele Arten die Personen auf diese Standorte verteilt werden könnten).

Das verlangte Wissen wird von Schritt zu Schritt detaillierter; entsprechend steigt auch der Informationsgehalt rapide.

Anwendungsbeispiele

Die Anwendung der vorher theoretisch entwickelten Konzepte auf empirische Situationen wird in CHAPMANS Buch mit den folgenden Beispielen illustriert.

Beispiele Relativ-Raum

Mit der Analyse von relativen Räumen erfaßt man Aspekte der Organisation eines Systems im räumlichen Sinne. In einer ersten Anwendung des Konzeptes des Relativ-Raumes sucht CHAPMAN nach einem Index, der die Ungleichheit der Raumanprüche der einzelnen Personen als Folge ihrer Mitgliedschaft in einem sozio-ökonomischen System ausdrückt. Er geht davon aus, daß in einer primitiven Gesellschaft mit geringer Organisation und bei gleichmäßiger Verteilung der natürlichen Ressourcen alle das gleiche tun (sammeln und jagen

und/oder primitiver Ackerbau) und deshalb die Raumbedürfnisse für alle Personen (besser: Familien oder Großfamilien) gleich sind. Bei Entwicklung zu höherer Organisation setzen Spezialisierung und Arbeitsteilung ein, und zwar für die Stufe der Personen (oder Haushalte) wie auch für diejenigen der Siedlungen. Die Raumannsprüche differenzieren sich je nach Tätigkeit. Die Ungleichheit des Raumbedarfs ist deshalb ein Maß für den Grad der räumlichen Organisation. CHAPMAN verwendet dazu die Formel für den Informationsgewinn

$$G = \sum_{i=\ell}^n q_i \log (q_i/p_i),$$

wo p_i = a priori erwartete relative Häufigkeit, mit der ein Objekt im Zustand i vorkommt und q_i = a posteriori gefundene relative Häufigkeit; n ist die Zahl der Objekte. Im konkreten Beispiel entspricht jedes p_i dem erwarteten relativen Raumannspruch pro Person bei der Annahme einer Gleichverteilung und bei einer Gesamtbevölkerung von n Personen, d. h. alle $p_i = 1/n$. Die q_i stellen die tatsächlich beobachteten variablen Raumbedürfnisse für die einzelnen Personen dar. In der Praxis liegen die Daten für Individuen nicht vor; man muß deshalb auf aggregierte statistische Daten für Verwaltungseinheiten zurückgreifen. Es ist dann: p_i = Bruchteil der Gesamtbevölkerung, der in Raumeinheit i lebt und q_i = Bruchteil der Gesamtfläche, die auf Raumeinheit i entfällt. Wenn alle $q_i = p_i$ sind, haben wir durchgehende Gleichheit der Raumbedürfnisse, G ist Null und es besteht keine Organisation (jedenfalls auf der Stufe der betrachteten Raumeinheiten). Je mehr die q_i von den p_i abweichen, desto größer wird G und damit der Grad der räumlichen Organisation. CHAPMAN analysiert und interpretiert in dieser Richtung Daten für die USA (Staaten) und England und Wales (Counties).

Ein zweiter Index soll die relativen Standorte von Städten innerhalb eines Gesamtsystems von Städten messen. Die verwendeten Daten sind Einwohnerzahl (m_i) und Distanzen (d_{ij}) zwischen Städten in der USA und in England und Wales. Beide werden in einem Gravitationsmodell kombiniert, um eine Matrix von vorausgesagten Flüssen (F_{ij}) zwischen Städten zu bekommen:

$$F_{ij} = m_i m_j / d_{ij}^2.$$

Zusätzlich wird eine zweite Matrix berechnet, wobei angenommen wird, daß der Distanzschwächungseffekt wegfällt, d. h. es werden alle $d_{ij} = 1$ gesetzt. Nach der Umwandlung der absoluten F_{ij} in relative Werte p_{ij} wird für jede Zeile beider Matrizen das Informationsmaß

$$I_i = \sum_j (p_{ij}/p_{i\cdot}) \log (p_{i\cdot}/p_{ij}) \quad \text{mit } p_{i\cdot} = \sum_j p_{ij}$$

berechnet. I nimmt hohe Werte an, wenn alle Flüsse mehr oder weniger gleich groß sind (Indiz für Zentralität), tiefe Werte, wenn sie sehr verschieden groß sind (Indiz für Exzentrizität oder Spezialisierung). Schließlich wird ein prozentualer Index

$$K = (I_{di}/I_{ji}) 100$$

bestimmt, wobei I_{di} auf der ersten, I_{ji} auf der zweiten Matrix beruht. Eine prozentuale Veränderung über die Zeit zeigt den Grad an, mit dem die Position der Stadt i auf dem Transportnetzwerk die Interaktionen spezieller oder genereller macht. Die Ergebnisse werden von CHAPMAN ausführlich interpretiert und kartographisch ausgewertet.

Beispiel Zeit–Raum–Redundanz

Hier untersucht CHAPMAN industrielle und kommerzielle Objekte an 166 Standorten entlang von Straßenfronten im Gebiet von Acton in London in bezug auf Zustandsänderungen (Übergänge von einer zur andern Kategorie). Neben der zeitlichen Sequenz sind räumliche Nachbarschaftseffekte von Interesse. Dieser Versuch der Anwendung des raum-zeitlichen Redundanz-Konzeptes hatte mit Datenproblemen zu kämpfen. Auch sind die Resultate insofern negativ, als kein erkennbares Muster räumlicher Ordnung entsteht. Das Beispiel soll hier nicht weiter besprochen werden.

Beispiel Regulierung

Das interessanteste und vermutlich überzeugendste Anwendungsbeispiel befaßt sich mit Regulierungsproblemen in der traditionellen indischen Landwirtschaft (Reisanbau) in Süd-Bihar. Ein landwirtschaftlicher Betrieb hat zwei Umwelten: Einerseits eine natürliche, andererseits eine menschliche (Marktfaktoren). Da es sich hier in erster Linie um eine Selbstversorgungswirtschaft handelt, wird nur die natürliche Umwelt berücksichtigt. Das landwirtschaftliche System wird durch drei Informationsquellen dargestellt:

- a. Die natürliche Umwelt: Ihre möglichen Zustände sind „Regen“ oder „kein Regen“ und „Pflanzenkrankheit“ oder „keine Pflanzenkrankheit“;
- b. Die Bauern als Regulatoren (Reaktionen auf die Umwelt) mit den möglichen Zuständen „Bewässerung“ oder „keine Bewässerung“ und „chemische Bekämpfung“ oder „keine chemische Bekämpfung“;
- c. Die Reiskulturen, die die Zustände „gut“, „mittel“ oder „schlecht“ haben können (Abstufung nach Ernteerträgen).

Die Reiskulturen durchlaufen in ihrer jahreszeitlichen Entwicklung drei wichtige Stadien, nämlich Keimungsperiode, mittlere Wuchsperiode und Blüteperiode. Die erhobenen Daten beruhen auf Befragungen; sie stellen damit

Perzeptionen und nicht die Wirklichkeit dar. Aus ihnen wird nach den Prinzipien der Regulierungstheorie (s. oben) für jede der drei Perioden eine Wahrscheinlichkeitsmatrix erstellt. Nach der Betrachtung der ersten Periode geht auch der an ihrem Ende vorhandene Zustand der Kulturen in den Umweltsinput für die zweite Periode ein. Ähnlich wird beim Übergang von der zweiten zur dritten Periode verfahren. CHAPMAN zeigt damit, wie mit informationstheoretischem Instrumentarium auch Simulationen durchgeführt werden können. Die Berechnung der informationstheoretischen Masse zur Charakterisierung des Grades der Regulierung zeigen, daß diese im Ganzen sehr klein ist. Dies weist auf die limitierten technischen Möglichkeiten der indischen Bauern hin, allenfalls auch auf fehlerhafte Perzeption. Bei der Disaggregation in die Gruppen a) Betriebe in Stammesgebieten, b) Betriebe außerhalb von Stammesgebieten, c) große Betriebe und d) kleine Betriebe ergibt sich, daß die Kategorien b und c erwartungsgemäß stärker regulieren. Entsprechend fallen auch die Ernteerträge höher aus. Dem Wahrnehmungsmodell müßte noch ein zweites Modell an die Seite gestellt werden, das die tatsächlichen Verhältnisse wiedergibt. Aus Diskrepanzen zwischen den beiden Modellen ergäben sich dann Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Perzeption. Die Resultate aus solchen Untersuchungen könnten für die Definition von Planungszielen verwendet werden: Verbesserung der Regulierung und/oder Verbesserung der Wahrnehmung durch Schulung.

Folgerungen, Kritik, Offene Fragen

Als anfänglicher Skeptiker hat CHAPMAN, wie er selbst sagt, sich von der Aussage der allgemeinen Systemtheorie überzeugen lassen, wonach die Wissenschaft bei der Suche nach Isomorphismen in Systemen, die von verschiedenen Disziplinen studiert werden, enorm lernen könne. Dies gelte auch, oder besonders auch, für die Geographie. Diese habe die Aufforderung, Systemtheorie zu benutzen, zwar angenommen, aber sie beschränke sich auf den Gebrauch des Wortes „System“; das Konzept finde nicht Verwendung. Tatsächlich erwartet CHAPMAN, daß das Systemkonzept noch für längere Zeit keine großen operationellen Konsequenzen in der Geographie haben wird. Das hängt damit zusammen, daß es einem Ideal entspricht, das der realen Welt nicht ganz gerecht wird (dies heißt doch wiederum nur, daß auch ein System nichts Reales ist, sondern lediglich ein Modell der Wirklichkeit). Dagegen findet CHAPMAN, daß dieses Konzept als Rahmen für Analysen gegenwärtig unübertroffen ist.

Nachdem wir nun CHAPMANS Auffassungen im Überblick kennengelernt haben, möchte ich noch einige persönliche Bemerkungen teils zusammenfassender, teils kritischer Art anschließen.

Objekte ohne Daten und Daten ohne Objekte

Die von CHAPMAN genannten Schwierigkeiten der Operationalisierung haben in erster Linie mit den Problemen der Objektdefinition und der Datenverfügbarkeit zu tun. Grob gesagt haben wir, wenn wir uns an die Untersuchung von Objekten im systemtheoretischen Sinne halten, die nötigen Daten nicht; umgekehrt haben wir es nicht mehr mit Objekten zu tun, wenn wir die üblicherweise vorhandenen statistischen Daten auswerten. Nach CHAPMAN ist zwar die statistische Aggregation eine Möglichkeit, um Aussagen allgemeinerer Art über Teile in einem Ganzen zu machen. Sie ist aber der andern Möglichkeit, der Verwendung der Systemtheorie, weit unterlegen; die letztere befaßt sich explizit mit Anordnungsprinzipien und assoziierten Freiheitsgraden.

Gegen die Forderung, daß im Bereich der Humangeographie Objekte als Teile eines übergeordneten Systems untersucht werden sollten, die nach den Kriterien der Abgegrenztheit, der Kontrolle und der Entscheidungsfähigkeit diesen Namen auch verdienen, läßt sich im Prinzip nichts einwenden. Das Argument ist plausibel. Das Problem ist aber ganz einfach das, daß wir, wenn wir uns strikt daran halten wollten, uns einerseits am untern Ende der Skala nur mit Individuen, Haushalten, Betrieben usw., am obern Ende nur mit Ländern und mit der ganzen Erde beschäftigen dürften. „Objekte“ intermediärer Größenordnung (z. B. Gemeinden oder allenfalls funktionale Regionen) sind ja suspekta Gebilde. Wir müßten dann die Sammlungen statistischer Daten auf gemeindeweiser Basis und noch vielmehr die immer häufiger vorkommenden Daten aus auf willkürlichen Rasternetzen aufbauenden Informationssystemen zum Abfall werfen.

Untersuchungen am unteren Ende der humangeographischen Objektskala müssen nach dem Gesagten in Richtung von Mikroanalysen laufen, also z. B. aus Haushaltbefragungen bestehen. In diesem Sinne kann man sagen, daß die vielen Arbeiten der deutschen Sozialgeographie (MAIER et al., 1977), die auf dieser Grundlage aufbauen, auf der richtigen Linie liegen. Bei der nachherigen Bildung von Gruppen müssen allerdings wieder Fragezeichen gesetzt werden. Im einen Fall wird davon gesprochen, daß Individuen eine Gruppe bilden, wenn sie häufiger untereinander in Wechselbeziehungen stehen als mit andern Personen. Dies entspricht dem früher genannten Kriterium von ASHBY bezüglich interner und externer Verflechtungen, und wir könnten uns also vorstellen, daß wir auf diese Weise zu einem übergeordneten Objekt kommen. Es gibt aber zwei Einwände, die dagegen sprechen. Erstens wird dabei nur ein Interaktionsaspekt, nämlich der soziale, erfaßt. Zweitens kann eine Person verschiedenen Gruppen angehören. Aus Teilen, die sich auf verschiedene Weise gruppieren lassen, können aber keine Objekte gebildet werden (vgl.

dazu die Idee der „fuzzy sets“ weiter unten). Im andern Fall erfolgt eine Gruppenbildung auf der Grundlage gleichartigen räumlichen Verhaltens. Damit erhalten wir aber ein Aggregat; über Zusammenhänge zwischen den Teilen ist nichts ausgesagt. Auf alle Fälle ist es klar, daß die beiden Kriterien der Gruppierung, einerseits Interaktionen zwischen den Teilen und andererseits gleichartiges Verhalten der Teile, zu verschiedenen Resultaten führen muß.

Die Auffassung, daß das Niveau individuellen Verhaltens und Entscheidens wesentlich ist, steht auch bei BERRYS (1973) „Prozeß-Geographie“ und bei HÄGERSTRANDS (1970) Konzept der Raum-Zeit-Registrierung von Ereignissen im Vordergrund. Im ersten Fall wird vorgeschlagen „that geographical explanation be viewed as dealing with the antecedents and consequences of environmental and locational decision-making in which man, as the prime actor, is viewed as an information-processing, decision-making cybernetic machine“. Die Idee im zweiten Fall besteht darin, über einen ausgewählten Teil des Raumes und eine ausgewählte Zeitperiode die komplette Menge der Raum-Zeit-Pfade, die von Individuen und von allen Dingen der Umwelt, die für den Menschen von Wichtigkeit sind, produziert werden, zu „kartieren“. Das Resultat wäre eine Art von Wilsonkammer-Bild, die Aufgabe, darin die Pfade in kohärente Bündel zu gliedern. Die a priori Wahl einer räumlichen Begrenzung läuft sicher einem systemtheoretischen Konzept entgegen. Dagegen paßt die Bündelbildung bestens hinein. Bündel entstehen dort, wo infolge von Interaktionen Pfade zusammenlaufen, und diese Interaktionen sind nicht auf solche sozialer Art beschränkt.

Sind wir damit am Beginn einer Ära von auf Mikrodaten basierenden Modellen? Die Schwierigkeiten sind enorm. Die Notwendigkeit für eigene Datenerhebungen limitiert uns auf kleine Stichproben. Für umfassende Untersuchungen wären wir auf ein Orwellsches Überwachungssystem angewiesen. Die Unmöglichkeit des Unterfangens demonstriert CHAPMAN selbst anhand des im Zusammenhang mit der Betrachtung der Objekthierarchie genannten Beispiels von Städten und der Verteilung von Personen in diesen Städten. Es läßt sich ableiten, daß die Information darüber, an welchem Standort jede namentlich bekannte Person wohnt, bei einer Gesamtbevölkerung von (nur) 262 000 rund 4,3 Millionen Bits wert ist. Daraus ist ersichtlich, mit welchen enormen Mengen von Information der Geograph sich beschäftigen müßte. Zwar finden wir heute einen Trend zur Einrichtung von zentralisierten Datenbanken, in denen eine Menge von Information über Individuen abgespeichert ist. Daß sich damit aber auch keine Lösung abzeichnet, wissen wir.

Unglücklicherweise oder glücklicherweise, je nachdem wie man das Problem betrachtet, stellen Datenschutz-Auflagen für den wißbegierigen Forscher

eine Barriere dar. Es bleibt auch völlig unklar, wie die große Lücke vom Mikroniveau zum nächsten gesicherten Niveau, dem der Nationen, in systemtheoretisch korrekter Weise zu überbrücken ist.

CHAPMAN demonstriert in seinem Buch diese Schwierigkeiten unfreiwillig, indem er sich selbst nicht an seine Vorschriften halten kann. Er operiert im Zusammenhang mit einem Landnutzungs-Allokationsspiel mit einer Quadrat-raster-Aufteilung des Raumes, in anderen Beispielen verwendet er Städte als „Objekte“, und in der Analyse der Regulierung in der indischen Landwirtschaft schließlich aggregiert er über viele Betriebe, er mittelt also über verschiedene Systeme. CHAPMAN entschuldigt sich dafür; wenn man überhaupt etwas machen will, muß man zu derartigen „verbotenen“ Behelfen Zuflucht nehmen. CHAPMANS relative Verlegenheit in dieser Richtung kommt auch allgemein im kleinen Umfang zum Ausdruck, der der Anwendung gewidmet ist.

Kompartimente und unbekannte Systemgrenzen

Wie sieht denn, im Vergleich zum humangeographischen Bereich, die Situation im biologischen und im ökologischen Bereich aus? Als biologischer Laie würde man wohl vermuten, daß es die Biologen in dieser Hinsicht gut haben. Sie befassen sich mit eindeutig identifizierbaren Objekten wie Organismen, Organen, Zellen. Nun hat sich aber eine Untersuchungsrichtung systemanalytischer Prägung herausgebildet, die als „Compartmental Analysis“ (ATKINS 1969) bekannt ist. Es ist eine Methode, um Stoffwechselvorgänge mit Differentialgleichungs-Systemen zu beschreiben. Die Kompartimente sind die „Objekte“; es handelt sich dabei um eine recht willkürliche Gruppierung von in einem Organismus oder Organ vorkommenden Stoffen in der Weise, daß jede Gruppe eine uniforme und von andern Gruppen unterscheidbare Kinetik der Transformation oder des Transportes hat. Man notiere die Parallele zur Bildung von Gruppen gleichartigen sozialgeographischen Verhaltens! Es ist deutlich, daß hier nicht zuerst Objekte definiert und deren Eigenschaften anschließend bestimmt werden. Eine Unterteilung der Stoffe in „Objekte“ kann nur erfolgen, nachdem ihre Merkmale bekannt sind. Dieser Vorgang der Objektfindung läuft, im Vergleich zu CHAPMANS Forderung, in genau entgegengesetzter Richtung. Es ist dabei von Bedeutung, daß in diesem Fall auf die mögliche Beschäftigung mit Objekten im eigentlichen Sinne freiwillig verzichtet wird. Wenn die Methode lebensfähig ist, kann man daraus schließen, daß sie für die Beantwortung der anvisierten Fragestellungen brauchbare Resultate liefert. Auch auf höherer Stufe, beim Studium von Nahrungsketten und andern Kreisläufen in Ökosystemen, wird der Begriff des „Kompartimentes“ verwendet (ELLENBERG 1973). Kompartimente sind z. B. Nährstoffe und Wasser im Boden, Sauerstoff und Kohlendioxyd in der Luft, die Sonnenstrah-

lung und verschiedene Aggregate von Lebewesen. Das Objekt, dessen Funktionieren durch die Betrachtung einzelner Teile und ihres Zusammenhangs untersucht wird, ist ein Ökosystem. Die Teile sind aber keine untergeordneten Objekte, sondern Aggregate.

Während in der biologisch orientierten Ökosystemforschung die räumliche a priori Abgrenzung von verschiedenartigen Lebensgemeinschaften noch relativ eindeutig sein mag, ist das entsprechende Problem in der allgemeinen Landschaftsökologie systemanalytischer Prägung, die alle wesentlichen Faktoren untersuchen will (LESER 1976) weitaus schwieriger. Wir haben es im wesentlichen mit Kontinua und vielen Überlappungen zu tun. Wie soll ein homogener Geokomplex gefunden werden, so daß sich z. B. nicht nur der Wasserhaushalt sondern auch andere Prozesse in sinnvoller Weise untersuchen lassen? Für den Wasserhaushalt allein ist die Situation relativ einfach. Die klassische Raumeinheit des Hydrologen ist das Einzugsgebiet. Zweifellos haben wir damit in den meisten Fällen ein Gebilde vor uns, bei dem entlang der Grenzen mit Ausnahme des Ausflußpunktes die horizontalen Bewegungen minimal, die „vertikalen“ Bewegungen innerhalb der Grenzen maximal sind. Gibt es also doch eine natürliche Gliederung des Raumes? Können wir uns darauf verlassen, daß Wasserscheiden Objektgrenzen sind? Wir können es vermuten, gelangen aber nur zu einem abschließenden Urteil, wenn wir sicher sind, daß es z. B. keine signifikanten wasserscheidenüberschreitenden Karstwasserströme gibt. Letzten Endes müssen wir also wiederum Merkmale (in diesem Fall Flüsse) beobachtet haben, bevor wir Grenzen festlegen können. Weiter ist nun eben der Wasserhaushalt nur ein „physiologischer“ Aspekt eines Gebietes; wir müssen auch andere, wie z. B. Materialtransporte und Energiehaushalt, berücksichtigen. Beim Versuch der Kombination werden wir unweigerlich auf Schwierigkeiten stoßen, ganz ähnlich wie, um wieder zur Humangeographie zurückzukehren, bei der Abgrenzung von funktionalen Regionen mit Hilfe einer Kombination verschiedener Einfluß- oder Einzugs-kriterien. Ein gangbarer, wenn auch nicht befriedigender Weg ist im Moment die Betrachtung von Einzelphänomenen, im humangeographischen Bereich etwa von Pendler- oder Migrationsströmen, wobei dann eine nachfolgende Dekomposition nach dem Prinzip der Minimierung der externen und der Maximierung der internen Verbindungen, etwa auf graphentheoretischer Grundlage (FISCHER 1978), vorgenommen werden kann. Daß dabei der Versuch einer Systemanalyse Stückwerk bleiben muß, sollten wir allerdings nicht vergessen.

Aggregate und der Umgang mit Unschärfen

Mit einer möglichen Umorientierung der geographischen Forschung im Sinne der systemtheoretischen Forderung steht es also im Argen. In vielen

Bereichen und auf vielen Stufen existieren entweder keine Objekte (wenn dies stimmt, würde das doch heißen, daß die auf der Objektdefinition aufbauende Theorie zu einseitig ist) oder wir können sie nicht erkennen. Wir brauchen also entweder eine neue Theorie, die der Wirklichkeit besser gerecht wird, oder wir müssen auf der Suche nach Objekten fortschreiten, oder beides. Was tun wir in der Zwischenzeit, bis irgendeine Lösung für dieses Problem gefunden ist?

Es bleibt wohl nicht viel anderes übrig, als uns mit dem zu begnügen, was wir im Moment haben, also die Daten der Volkszählung wieder aus dem Papierkorb auszugraben und die etablierten Methoden der Analyse, die auf statistischer Aggregation aufbauen, weiter zu verwenden. Nach CHAPMAN selbst ist dies ja ein gangbarer Weg auf der Suche nach Gesetzmäßigkeiten, wenn auch nicht der beste. Wir sollten dabei allerdings das entworfene systemtheoretische Gedankengebäude als Idealrahmen beibehalten und uns in jedem Fall darüber Rechenschaft ablegen, was die zur Verfügung stehenden mathematischen Analysetechniken (z. B. multivariate Methoden, Markoff-Ketten) innerhalb dieses Gerüsts, wenigstens approximativ, leisten. Ein erster bescheidener Versuch, einige der bekannteren Methoden in einen systemtheoretischen Rahmen einzubetten, liegt vor (STEINER 1978). In diesem Sinne können wir auch die von CHAPMAN besonders propagierte Informationstheorie nur als eine mathematische Methode unter anderen betrachten. Dies schließt nicht aus, daß wir sie als wichtig betrachten, deshalb unser vermehrtes Augenmerk auf sie richten und sie dort, wo es angebracht ist und die Daten in entsprechender Form vorliegen, anwenden. CHAPMAN zeigt in dieser Hinsicht einige Wege auf, andere Möglichkeiten sind sicher noch unausgeschöpft. Wir geraten damit keineswegs auf ein völlig neues Geleise; die Verbindung zwischen Informationstheorie und Statistik ist eng, bzw. die erstere kann als Zweig der letzteren betrachtet werden (KULLBACK 1968). Im ganzen müssen wir uns einfach bewußt sein, daß wir bei der Beschäftigung mit Aggregaten (statt Objekten) mit wesentlichen Unschärfen zu kämpfen haben.

Es scheint mir nun von außerordentlicher Bedeutung zu sein, daß in einigen neueren Entwicklungen die Unumgänglichkeit solcher Unschärfen in positivem Sinne ausgewertet wird. Sie werden nicht verschleiert, sondern explizit berücksichtigt. NEGOTTA (1976) bemerkt dazu, daß die konventionellen mathematischen Techniken der Systemanalyse, die im physischen Bereich zum Erfolg führen, bei der Behandlung sozialer Systeme versagen. Solche Systeme sind derart komplex, daß wir nicht hoffen können, sie in ihrer Gesamtheit sinnvoll und komplett zu beschreiben. Es liegt immer nur Teilinformation vor. Gerade im Hinblick auf solche Situationen ist von ZADEH (1965) die Theorie der „fuzzy sets“ entwickelt worden. Dabei ist die Frage der Mitgliedschaft eines Elementes in einer Menge nicht eine binäre Angelegenheit, ja oder nein, sondern sie wird auf einer gleitenden Skala von 0 bis 1 angegeben. Damit ist ein

Element mehr oder weniger ein Mitglied einer Menge. Es ist klar, daß wir damit in der Richtung der Definition von Objekten nichts getan haben, im Gegenteil. Wir operieren jetzt bewußt mit unscharfen Grenzen. Dagegen ist es möglich, daß wir auf diese Weise zu einer besseren (d. h. realistischeren) Definition von Aggregaten kommen. Zum Vergleich möchte ich noch darauf hinweisen, daß ich das Konzept der abgestuften Mitgliedschaft in einer Arbeit über die (rein formale) Abgrenzung von Landschaftsräumen verwendet habe (STEINER 1975). Unter dem Blickwinkel der „fuzzy sets“ ist die alte Idee von landschaftlichen Kerngebieten und Grenzgebieten nicht so abwegig.

Ein zweites Beispiel für den zielbewußten Gebrauch von Unschärfen ist das von SCHMID (1978) für Simulationszwecke entwickelte sog. Bilanzmodell. Es baut auf der eingangs genannten Theorie der stochastischen linearen Systeme auf. Seine Anwendbarkeit erstreckt sich auf alle Phänomene (Aggregate), die sich bilanzieren lassen, z. B. Bevölkerung, Flächennutzung, wirtschaftliche Produktion usw. Für zukünftige Zeitperioden werden Mutationsraten wie etwa Geburtsraten, Migrationsraten und Flächennutzungs-Umwandlungsraten geschätzt, und zwar so, daß neben einem Erwartungswert ein Vertrauensintervall in der Form einer oberen und unteren Grenze angegeben wird. Weiter werden alle bekannten Zusammenhänge, z. B. Geschlechtsverhältnis und Verhältnis zwischen Wohnbevölkerung und Wohnfläche, in das Modell eingebaut. Diese Relationen erzeugen, zusammen mit den im Modell inhärenten Bilanzbedingungen (die Bilanz muß stimmen) starke Korrelationen zwischen den Modellvariablen. Damit haben für die Zukunft vorausgesagte Zustände auch bei großer Unsicherheit der Information relativ kleine Vertrauensbereiche. Außer der zugrundeliegenden mathematischen Theorie der linearen Systeme ist das Verfahren weitgehend theorielos; irgendwelche sozio-ökonomischen Theorien kommen nicht ins Spiel. Gerade deshalb ist es attraktiv: Es verfällt nicht in Spekulationen, sondern macht von der verfügbaren empirischen Information den bestmöglichen Gebrauch. Bisherige Tests scheinen anzudeuten, daß dies ein gangbarer Weg ist, um zu praktisch verwendbaren Resultaten zu gelangen.

Systemtheorie: Rettungsanker für die Geographie?

Auf die immer wieder aufbrechende Frage über Wesen und Ziel der Geographie wirft der systemtheoretische Betrachtungswinkel im wesentlichen kein neues Licht, zumindest nicht im positiven Sinne. Im Gegenteil, man kann leicht zum Schluß kommen, daß hinter die Frage der Eigenständigkeit der Geographie ein noch größeres Fragezeichen als bisher zu setzen ist.

Zunächst ein Wort zur Divergenz zwischen der physischen und der Humangeographie. CHAPMAN bringt sie mit der früher genannten Aufspaltung der hierarchischen Reihe von Objekten in tote und lebende Objekte in

Verbindung. Dabei hat, nach seiner Auffassung, die Einführung systemtheoretischen Gedankengutes diese Divergenz gefördert, weil dadurch klarer wurde, daß die Verschiedenheit im Grad der Komplexheit der in Frage stehenden Systeme unterschiedliche Arten der Analyse erfordert. Dies kommt einerseits überraschend: Die Aussage steht im Gegensatz zur weit verbreiteten Idee, daß die Systemtheorie verbindend wirken könne. Sie steht besonders auch im Kontrast zum allgemeinen Tenor am Ende des Buches von CHAPMAN. Dort ist von der disziplinen-überbrückenden Suche nach isomorphen Strukturen die Rede. CHAPMAN nennt als konkretes Beispiel das Gravitationsmodell und bemerkt dazu, es sei völlig belanglos, ob das in der Geographie verwendete Modell eine physische Analogie sei oder nicht. Wichtig sei hingegen, daß in beiden Fällen ein Schätzproblem vorliege, das in ähnlicher Form auf der Basis allgemeiner Konzepte ausgedrückt werden könne. Andererseits ist die Aussage über die Förderung der Divergenz plausibel. Sie stimmt überein mit dem Hinweis auf unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten auf der physischen (mechanistische Prinzipien) und auf der menschlichen Seite (Berücksichtigung von Wahl- und Entscheidungsfähigkeit). Eine solche Verschiedenheit kann nur auftreten, wenn wir es auch mit verschiedenen Strukturen zu tun haben. Vielleicht löst sich der Widerspruch, wenn wir uns darauf einigen können (wie im Falle des Gravitationsmodelles), auf welchen Stufen wir Systeme auf der einen mit Systemen auf der andern Seite vergleichen dürfen. So oder so, unabhängig von der Frage einer strukturellen Übereinstimmung oder Verschiedenheit, die Notwendigkeit, im Sinne der heutigen Umweltforschung eine Verbindung zwischen beiden Seiten herzustellen, ist davon selbstverständlich nicht betroffen.

Die traditionelle Beschäftigung der Geographie mit Raumeinheiten als „Objekten“ und das Studium von „räumlichen Systemen“, die solche Raumeinheiten als Teile enthalten, bedeutet, vom systemtheoretischen Gesichtspunkt CHAPMANS aus gesehen, daß das Pferd am Schwanz aufgezäumt wird. Nach CHAPMAN hat keine Disziplin je Raum (oder Zeit) zum Objekt des Studiums erhoben. Der Geograph studiert nicht den Raum, sondern Objekte und Systeme, die Raum beanspruchen. Dasselbe tun aber auch andere Fachgebiete, denn da die Dinge auf dieser Erde einen Raumbedarf haben, dieser Raumbedarf also ein Merkmal der Objekte ist, ist es nur folgerichtig, daß auch Ökonomen, Soziologen usw. sich räumlichen Aspekten zuwenden. Was bleibt dann der Geographie? CHAPMAN betont die Wichtigkeit des Konzeptes des relativen Raumes. Daraus kann geschlossen werden, daß sich Geographen vor allem mit den räumlichen Strukturen von Systemen beschäftigen sollten, CHAPMAN gibt dazu ja auch Anwendungsbeispiele.

In diesem Zusammenhang sei hier noch ein kleiner kritischer Exkurs gestattet. Das aus der Bevölkerungs- und aus der Flächenverteilung abgeleitete

Maß für die Ungleichheit der Raumansprüche ist letztlich auch nur ein oberflächliches Merkmal, das sich aus einer tiefer liegenden Struktur ergibt. Über diese selbst wird damit nichts ausgesagt. Auch sind die Einflüsse, die sich aus der ungleichen Verteilung von Ressourcen ergeben, nicht berücksichtigt.

Aber wieder zurück zum Thema. Wenn das Studium räumlicher Strukturen die exklusive Domäne der Geographie sein soll, müssen wir annehmen, daß andere Disziplinen diese Untersuchungsrichtung nicht pflegen oder pflegen sollten. Ist dann die Geographie eine reine Strukturwissenschaft ohne eigene Objekte? Dies ist offensichtlich nicht CHAPMANS Auffassung; er befaßt sich explizit mit „geographischen Objekten“ wie Haushalten, Betrieben usw. Diese werden aber auch von andern Wissenschaftszweigen untersucht. Wenn alle diese Wissenschaften, die die gleichen Objekte zum Studium haben, den Anspruch erheben, Systemanalyse zu betreiben, müßten sie eigentlich alle dasselbe tun, denn ein System kann nur sinnvoll erfaßt werden, wenn möglichst alle Aspekte berücksichtigt werden. Andernfalls beschäftigen sich die einzelnen Disziplinen mit verschiedenen Teilaspekten des gleichen Systems; mit Stückwerk läßt sich aber kaum eigentliche Systemanalyse betreiben. CHAPMAN gibt auf diese Fragen keine Antwort. Er geht davon aus, daß die Geographie traditioneller Richtung sich nicht im klaren ist, was sie tut, wenn er sagt, das, was in „a subject vaguely known as geography“ passierte, hätte ihn über die Jahre zunehmend irritiert. Er findet, daß das Konzept des Systems sehr viel dazu beitragen könne, die methodologischen Probleme der Geographie zu lösen. Es scheint mir allerdings, daß damit die Situation eher noch unklarer wird, womit natürlich gegen die Bedeutung der Systemtheorie nichts gesagt ist.

Was ist überhaupt ein „geographisches System“? In CHAPMANS hierarchischem Diagramm erscheint es an der Spitze, seine Teile sind die auf der nächstunteren Stufe vorkommenden Objekte der menschlichen Welt wie Haushalte, Industrie- und landwirtschaftliche Betriebe. Dagegen ist die Stellung des auf der gleichen Stufe wie die genannten Teile vorkommenden Ökosystems im Verhältnis zum geographischen System nicht klar (CHAPMAN äußert sich dazu nicht deutlich). Im Diagramm sind auch die Disziplinen angeschrieben, die sich mit geographischen Systemen beschäftigen. Es sind dies, außer der Geographie, die Demographie, die Planung, die Soziologie, die Ökonomie, die Geschichte usw. Also erscheint der Begriff „geographisch“ einmal als Überbegriff für etwas Übergeordnetes, Allgemeines und Integriertes, ein andermal für etwas Untergeordnetes, Spezielles und Partielles. Es scheint hier ein Widerspruch vorzuliegen. Dieser Widerspruch bestätigt aber eigentlich meine eigene Meinung, wonach ein Geograph eben zweierlei sein muß: Von der Ausbildung her ein Generalist, der über die verschiedensten Aspekte eines geographischen Systems etwas weiß, als Forscher ein Spezialist,

der sich eingehendst mit klimatischen oder Vegetations- oder Bevölkerungs- usw. Problemen beschäftigt. Das zweite ist unumgänglich, sonst kann er nicht ernst genommen werden. Als Generalist ist er wohl der einzige Wissenschaftler, der sich für das Ganze interessiert und dafür besseres Verständnis aufbringen kann; von diesem Gesichtspunkt aus ist der Term „geographisches System“ gerechtfertigt. Seine Tätigkeit als Spezialist aber überlappt sich teilweise bis völlig mit den Anliegen einer der Nachbardisziplinen.

Es sei damit klar gesagt, daß die Geographie sich nicht anmaßen kann, die Untersuchung von geographischen Systemen im Alleingang zu bewältigen. Dies kann und darf nur in Zusammenarbeit mit Nachbarwissenschaften geschehen; die Geographie kann dabei vielleicht von einer etwas höheren Warte aus mitreden. Letzten Endes ist es sinnlos, Fachgebiete peinlich genau gegeneinander abgrenzen zu wollen. Wir alle bringen gewisse, aus der Geschichte jeden Faches verständliche, Blickwinkel mit, im Grunde genommen arbeiten wir aber, überspitzt ausgedrückt, alle am selben. Interdisziplinäre Kooperation (man kommt um das Schlagwort nicht herum) ist vonnöten, nicht argwöhnische fachliche Segregation. Es sind dies Gedanken, wie sie auch schon anderswo (HARD 1973, LESER 1976) in ähnlicher Weise geäußert worden sind.

Die Systemtheorie ist allenfalls ein Rettungsanker für die Wissenschaft im allgemeinen, aber nicht für die Geographie im besonderen, auf alle Fälle nicht in dem Sinne, daß wir damit neue Einsichten über Eigenständiges in diesem Fach gewinnen. Das Problem der Eigenständigkeit ist aber für die Frage des Überlebens der Geographie belanglos. Es hängt einzig und allein davon ab, ob wir als Geographen nützliche Arbeit, in welcher Form auch immer, leisten können. In dieser Hinsicht kann uns das Systemdenken allerdings assistieren – in diesem Sinne auch ist das Buch von CHAPMAN als gewichtiger Beitrag zu werten.

SUMMARY

Systems Theory/Systems Analysis and Geography – on the Book by G. P. Chapman "Human and Environmental Systems – a Geographer's Appraisal"

CHAPMAN (1977) presents for the first time a thorough discussion of systems theory and its importance for geography. This paper reviews some relevant parts of the contents of this book under the three headings "Foundations", "Mathematical Formulations" and "Empirical Examples".

The first of these sections summarizes CHAPMAN'S views concerning the definition of a system, types of systems (isolated, closed, open; systems in equilibrium), objects as parts of systems, types of control operating in systems (system determinacy, local determinacy) and types of variables describing and explaining systems (specific, general). Of particular importance is the definition of

an object: An object is something that can be recognized as a distinct entity; it is structurally integrated and has a boundary. In other words, it is itself a system of lower order. Since an object belongs to a system of higher order, it has a position in relative space and in relative time. Space is a property of objects and not the other way round. Consequently, CHAPMAN attacks the traditional notion of regions or arbitrary subdivisions of space being geographical objects. Instead, geographical objects are individuals, households, firms, etc. at the lower level, nations and the whole earth at the higher level. At an intermediate level, the existence of objects such as, for example, cities, is questionable. It follows that a subdivision of geographical space should be carried out from below, starting with the objects making up a system and adding up their individual space requirements.

The second section reviews some of the mathematical tools that are proposed by CHAPMAN to operationalize systems-theoretic concepts. He maintains that the most important instrument for this purpose is provided by information theory. He indicates how information-theoretic measures can be employed to describe and analyze systems organization, systems regulation and hierarchical aspects in systems.

In the third section empirical examples presented by CHAPMAN in his book are briefly described. CHAPMAN stresses the significance of the concept of relative space as a means to analyze spatial structure and organization. Accordingly, two examples deal with this topic. In the first case CHAPMAN uses the formula for information gain to describe the inequalities of human space requirements. He assumes that this provides a measure for the degree of spatial organization. In the second case CHAPMAN determines the position of cities in an interaction space by deriving information-theoretic indices from hypothetical flow matrices. The most interesting and convincing example, however, is an attempt at describing regulation in Indian farming (reaction of farmers to environmental hazards). He demonstrates how information-theoretic methods can be used for simulation purposes.

Finally, in a fourth and last section, this paper discusses in a critical fashion consequences and open questions arising from CHAPMAN's views on the significance of systems theory for geography. Clearly, an operationalization of the concepts is extremely difficult. CHAPMAN's definition of geographical objects (households etc.) calls for increased efforts in the area of micro analysis. In this sense one could say that, for example, the Munich type of social geography is on the right track. However, its concept of human groups consisting of people with equal spatial behaviour runs contrary to the systemstheoretic notion of an object. CHAPMAN would call such a group an aggregate; it is a loose collection of objects which may not have any significant links between them. Interestingly enough, there is a branch of systems analysis in biology (ATKINS 1969) which is also not based on objects (in this case cells, organs), but on the notion of compartments. A compartment is a quantity of a substance which has uniform and distinguishable kinetics of transformation or transport. One recognizes the parallel to the groups of equal spatial behaviour in social geography. That this type of analysis is viable seems to indicate its practical usefulness. Actually, CHAPMAN is not totally opposed to working with aggregates. For practical reasons (availability of data for administrative units etc.) they cannot be simply dismissed. The investigation of aggregates is a possible avenue for geographical research. However, one must not forget the fact that statistical aggregation means a loss of a large amount of information because it averages over many different systems.

There are some more recent significant developments concerning systems analysis in the social sciences that may help to overcome problems associated with the fuzziness of aggregates. From the definition of systems and objects as given by CHAPMAN it would seem to follow that an object must be a member of one and only one higher-order system unambiguously. In contrast, the theory of fuzzy sets (ZADEH 1965) proposes that an element can have a degree of membership and, therefore, can "belong" to more than one set. Another promising development is the balance model idea

(SCHMID 1978) based on the theory of stochastic linear systems. In both cases, use is made of uncertainties in a positive way: They are not hidden but built into an analysis or a model explicitly.

CHAPMAN argues that systems theory, as the best conceptual framework for analysis presently available, will be capable of solving the methodological problems in geography. However, one can arrive at quite different conclusions. According to CHAPMAN geography should give up the study of spatial units in favour of real objects. Space is but a property of such objects. As a consequence, we should not be surprised if neighbouring sciences, which study the same objects and their properties, also look at spatial aspects. What is it then that remains for geography? CHAPMAN does not actually see and discuss this question, but he illustrates it involuntarily when he describes "geographical systems" as being investigated not only by geographers, but also by demographers, sociologists, economists, etc. The conclusion is that a geographer must be first educated as a generalist, but second, in order to be capable of doing scientific work, specialize in an area that overlaps partially or completely with a neighbouring science. It follows also that geographical systems cannot be studied by geographers alone, but only in cooperation with these neighbouring sciences. The concepts of systems theory do not seem to offer anything in the way of helping to solve geography's identity problems. However, this is not important. Systems theory is a valuable instrument in any science. It is up to the geographers to prove that, armed with this tool, they are capable of doing useful work.

LITERATUR

- ASHBY, W. R.: Adaptation in the Multistable System. In: EMERY, F. E. (Hrsg.): Systems Thinking. Harmondsworth, Middlesex 1969. S. 230–240.
- ATKINS, G. L.: Multicompartment Models in Biological Systems. London 1969.
- BERRY, B. J. L.: Cities as Systems within Systems of Cities. In: Papers, Regional Science Association, Vol. 13, 1964, S. 147–163.
- : A Paradigm for Modern Geography. In: CHORLEY, R. J. (Hrsg.): Directions in Geography. London 1973. S. 3–21.
- BERTALANFFY, L. von: General Systems Theory. Harmondsworth, Middlesex 1973.
- CHAPMAN J. P.: Human and Environmental Systems – a Geographer's Appraisal. London/New York/San Francisco 1977.
- CHORLEY, R. J. und B. K. KENNEDY: Physical Geography: A Systems Approach. London 1971.
- CONANT, R. C.: Laws of Information which Govern Systems. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 6, 1976, S. 240–255.
- ELLENBERG, H.: Stand und Ziele der Ökosystemforschung. In: ELLENBERG, H. (Hrsg.): Ökosystemforschung. Berlin/Heidelberg/New York 1973. S. 1–31.
- FISCHER, M. M.: Zur Lösung funktionaler regionaltaxonomischer Probleme auf der Basis von Interaktionsmatrizen: Ein neuer graphentheoretischer Ansatz. (Karlsruher Manuskripte zur Mathematischen und Theoretischen Wirtschafts- und Sozialgeographie. H. 25). 1978.
- FORRESTER, J. W.: Principles of Systems. Cambridge, Mass. 1968.
- GERARD, R. W.: Units and Concepts of Biology. In: Science, Vol. 125, 1957. S. 429–433.
- HÄGERSTRAND, T.: What about People in Regional Science? In: Papers, Regional Science Association, Vol. 24, 1970, S. 1–7.
- HARD, G.: Die Geographie. Eine wissenschaftstheoretische Einführung. (Sammlung Göschen, Bd. 9001). Berlin/New York 1973.
- KULBACK, S.: Information Theory and Statistics. New York 1968.
- LANDGRAF, C.: Stochastische lineare Systeme – Systembeschreibung und optimale Filterung. Berlin 1976.

- LESER, H.: Landschaftsökologie (Uni-Taschenbücher, Bd. 521). Stuttgart 1976.
- MAIER, J.: R. PAESLER; K. RUPPERT und F. SCHAFFER: Sozialgeographie. (Das Geographische Seminar). Braunschweig 1977.
- MEDITCH, J. S.: Stochastic Optimal Linear Estimation and Control. New York 1969.
- MURPHY, R. E.: Adaptive Processes in Economic Systems. New York/London 1965.
- NEGOITA, C. V.: Fuzzy Models for Social Processes. In: BOSSEL, H.; S. KLACZKO und N. MUELLER (Hrsg.): Systems Theory in the Social Sciences. (Interdisziplinäre Systemforschung, Bd. 20). Basel/Stuttgart 1976. S. 283–291.
- ROTHSTEIN, J.: Communication, Organization and Science. Colorado 1958.
- SCHMID, B.: Bilanzmodelle – Simulationsverfahren zur Verarbeitung unscharfer Teilinformationen. Entwurf. Zürich 1978.
- STEINER, D.: Geographische Raumgliederung und Mustererkennung. (Publikation des Geogr. Inst. d. ETH, Nr. 55). Zürich 1975. S. 19–45.
- : Modelle zur Darstellung geographischer Systeme. (Veröffentlichungen der Geographie-Kommission, Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, H. 5). Lausanne 1978. S. 79–116.
- ZADEH, L. A.: Fuzzy Sets, In: Information and Control, Vol. 8, 1965, S. 338–353.