

## CO-EVOLVIERENDE + CO-RESPONDIERENDE SYSTEME = CO-OPERIERENDES SYSTEM

Mit 7 Abbildungen und 10 Tabellen

KLAUS D. AURADA

*Summary:* Co-evolving systems + co-responding systems = co-operating system

The geosystem approach in geography can be traced back to impulses and developments effective towards the end of the 19<sup>th</sup> century. The spatially differentiated reflection of long-term and short-term processes of the past and their structural expressions which serve as the carriers of present and future processes characterize geosystems as conservative cellular systems. The heterogeneous structure of the geosystem reflects its heterochrone development: physiogenic self-organization and self-regulation are characteristic for evolving and responding geosystems (example: Baltic Sea area), anthropogenic organization and regulation are characteristic for convergent or divergent colonization and implementation of geosystems; physiogen-anthropogenic systems represent co-evolving and co-responding systems and finally a co-operating system. Example: dam building and controlling in Northern, Central and Southern Europe.

*Zusammenfassung:* Das Geosystem-Konzept der Geographie kann auf Impulse und Entwicklungen seit Ende des 19. Jahrhunderts zurückgeführt werden. Die räumlich differenzierte Widerspiegelung von Langzeit- und Kurzzeitprozessen der Vergangenheit als strukturellem Träger gegenwärtiger und zukünftiger Prozessabläufe kennzeichnen das Geosystem als konservatives, zelluläres System. Die heterogene Struktur des Geosystems reflektiert seine heterochrone Entwicklung: Natürliche Selbstorganisation und -regulation sind Eigenschaften evolvierender und respondierender Geosysteme (Beispiel: Ostseeraum), anthropogene Organisation und Regulation werden durch eine konvergente oder divergente Kolonisation und Implementierung des Geosystems charakterisiert; physiogen-anthropogene Systeme repräsentieren somit co-evolvierende und co-respondierende Systeme und schließlich ein co-operierendes System. Beispiel: Talsperrenentwicklung und -bewirtschaftung in Nord-, Mittel- und Südeuropa.

### 1 Einführung (Logik des System-Konzepts)<sup>1)</sup>

Die Systemtheorie als Betrachtungsweise komplexer (dynamischer) Systeme, als der "Laws of organization and organizational forces ..." (BERTALANFFY 1968, 27), fußt auf der Erkenntnis, dass ein System nicht nur aus Elementen und den Wechselbeziehungen zwischen diesen Elementen (holistische Option), sondern auch eine Ordnung bzw. Organisiertheit dieser Elemente einschließt (hierarchische Option); nach ROPOHL (1999, 76) repräsentiert die Systemtheorie eine Einheit von funktionalem, strukturelem und hierarchischem Konzept. Sie ist dadurch auch geowissenschaftlich interessant (AURADA 1979, 1982; HUGGETT 1980).

<sup>1)</sup> Nach BOCHENSKI (1973) wird unter „Logik“ (griech. *logikós*) die Lehre von der Folgerichtigkeit verstanden (formale Logik), die als traditionelle Logik durch eine neue oder moderne Logik, die Logistik (griech. *logistikós*), insbesondere mit dem Namen Gottlob Freges (1848–1925) verbunden, abgelöst worden ist. Die Bezeichnung „Logistik“ wird erstmals 1904 von Louis Couturat (1868–1914) vorgeschlagen. Die Logistik unterscheidet sich von der Logik vor allem durch Formalisierung und Kalkülisierung; AURADA (1982) hat deshalb ein „systemtheoretisches Kalkül“ der Geographie zu spezifizieren versucht.

Dem Ideengebäude der Systemtheorie liegen zwei 1958 von W. R. ASHBY (1903–1972) dezidierte fundamentale Kategorien zu Grunde: der Wandel als Veränderung in Raum und Zeit und die Wechselwirkung benachbarter Veränderungen (WUNSCH 1990). Diese Kategorien treffen auch für die Begriffe „Landschaft“ (SCHMITHÜSEN 1976) bzw. „Erdoberflächensysteme“ (HUGGETT 1985) zu: Sie kennzeichnen einen Ausschnitt der Erdoberfläche mit konservativer zellulärer Struktur sowohl als strukturell differenziertes (konstitutionelles) Ergebnis seiner bisherigen Entwicklung (als evolvierendes Geosystem) als auch als prozesstragenden (funktionellen) Zustandsraum mit einer bestimmten strukturellen Disposition (als respondierendes Geosystem); die heterogene Strukturierung des Geosystems entspricht seiner heterochronen Entwicklung (AURADA 1999b).

Das soziotechnische 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 zunächst durch eine konvergent-, später divergent-naturraumnutzende Kolonisierung bzw. naturraumverändernde Implementierung. Da-

durch kann das System als Summe jeweils komplementärer co-evolvierender und co-respondierender Systeme als co-operierendes System im Sinn der Synergetik interpretiert werden, das geowissenschaftlich relevant ist.

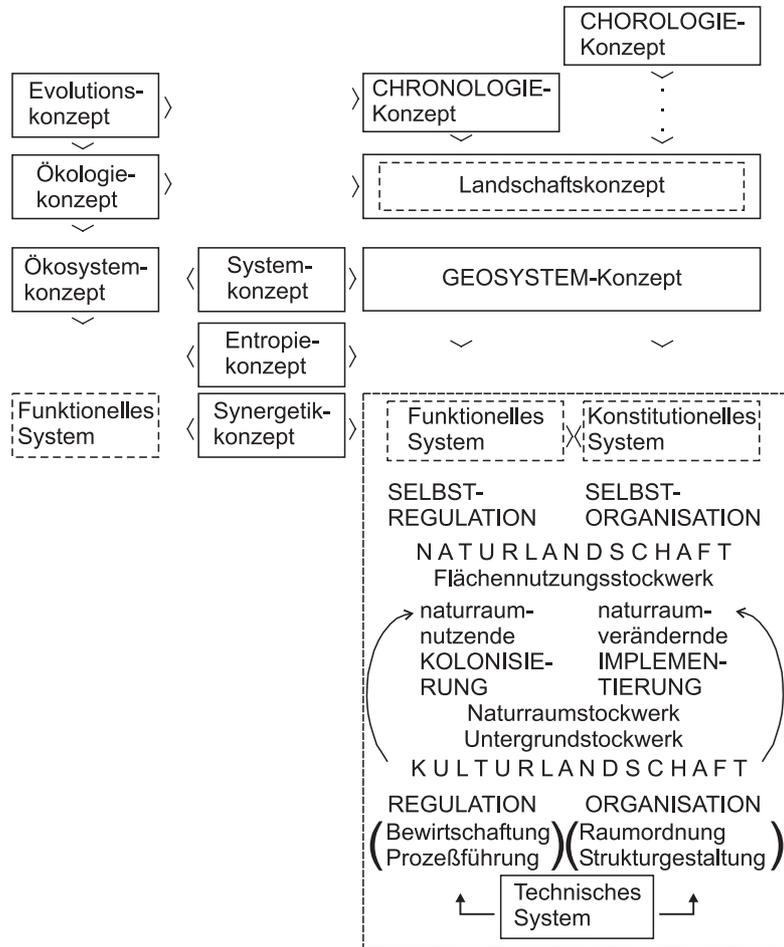
Vor dem Hintergrund dieser wissenschaftshistorischen Entwicklung (vgl. Tab. 1) lässt sich eine Logik der (naturwissenschaftlichen) Geographie wie folgt ableiten (vgl. Abb. 1).

2 *Kolonisierung der Natur durch Implementierung technischer Systeme*

HÖRZ (1986) hat einen „Ökologischen Grundwiderspruch“ formuliert: „Er ist die 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, der sich unter konkret-historischen gesellschaftlichen Verhältnissen entwickelt, der auszuhalten und zu lösen ist, 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).

Vor diesem Hintergrund einer Wechselwirkung oder besser Integration von Sach- und Handlungssystemen



Grafik: H. Sattler

Abb. 1: Logik des Systemkonzepts der naturwissenschaftlichen Geographie  
 Logic of a systematical conception in physical geography

Tabelle 1: Hauptströmungen systemtheoretischer Grundlagen in Naturwissenschaft und Technik

MATHEMATIK/ PHYSIK		BIOLOGIE	(Physische) GEOGRAPHIE	TECHNIK	
KOSMOLOGISCHE DIMENSION					
TERRESTRISCHE DIMENSION					
Limitierung der Erdoberfläche („SPHÄRE“)					
Differenzierung der Erdoberfläche („ZONE“)					
(Chorologie-Konzept/ Chronologie-Konzept)					
Vorläufer der modernen Geographie:					
Operatorenlehre FOURIER (1768–1830)	Evolutions-Theorie	BERNHARD VARENIUS	(1622–1650)	1650	AGRICOLA 1556
		PHILIPPE BUACHE	(1700–1773)	1756	BECKMANN 1777
LAPLACE (1749–1827)	LYELL (1797–1875)	Begründer der modernen Geographie:			
HEAVISIDE (1850–1925)	DARWIN (1809–1882)	ALEXANDER v. HUMBOLDT	(1769–1859)	1845	
System-Konzept (implizit)					
offenes System/ geschlossenes System					
LJAPUNOV (1857–1918)	HAECKEL (1834–1919)	SCHREIBER 1892	DAVIS	1899	(THÜNEN 1826) (MARSH 1864) KAPP 1877
20. Jahrhundert:					
Thermodynamik irrev. Prozesse	Populations-Theorie	System-Hydrologie		Quantitative Geomorphologie	
DE DONDER 1927	CLEMENTS 1916			SCHLÜTER 1906	
ONSAGER 1931	VOLTERRA 1926	SHERMAN 1932	HORTON 1932		MARKUS 1925
PRIGOGINE 1947	TANSLEY 1935	JOHNSON 1943	KESSELI 1941		LUCERNA 1931
Kybernetik	Prod.-ökologie	Landschafts-/ Geo-Ökologie			
WIENER 1948	LINDEMANN 1944	TROLL 1945			
Inf.-theorie	Kompartiment-Theorie	SCHMITHÜSEN 1948			
SHANNON 1948	SHEPPARD 1948	PAFFEN 1948			
Systemtheorie					
KÜPFMÜLLER 1949					
1950	System-Konzept	Formulierung des System-Konzepts			
HUFFMAN 1954	BERTALANFFY 1950	NASH 1957	SCHUMM 1956		
ASHBY 1956	WHITTAKER 1955	DOOGE 1959	CHORLEY 1957		
1960		Geo-Ökologie (Paradigma?)			
		NEEF 1967			
		PREOBRAZHENSKIJ 1967			
		HAASE 1968			
1970	Ökosystem-Konzept	Formulierung des System-Paradigmas in der Geographie			
Synergetik		SOCAVA 1974			RAPP 1978
HAKEN 1970	E.P. ODUM 1971	SCHMITHÜSEN 1976			ROPOHL 1979
		LESER 1976			
		<i>Anwendung systemtheoretischer Methoden in der Geographie</i>			
1980		<i>Formulierung systemtheoretisches Kalkül in der Geographie</i>			
				KLUG & LANG	1983
		Erdoberflächen-Systeme		HUGGETT	1985
1990		Landschaftsökologie		LESER	1991
		Autometamorphose der Landschaft		HERZ	1994
		<i>Komplementäre Geosysteme</i>			
		AURADA 1999			

21. Jahrhundert: (Selbst-) Organisation/ (Selbst-) Regulation co-evolvierender und co-respondierender Geosysteme naturraumnutzende Kolonisierung bzw. naturraumverändernde Implementierung durch co-operierende Systeme.

Kursiv: Beiträge des Verfassers im Rahmen dieser Entwicklungen

(ROPOHL 1999) der Gesellschaft in die Natur ist – nun aus geographischer Sicht formuliert – sowohl die Sicherung der Funktionsfähigkeit der Landschaft als Synonym für die ihr innewohnenden naturgesetzlichen Wirkungsmechanismen als auch die Sicherung der Leistungsfähigkeit der Landschaft als Synonym für ihre Belastbarkeit durch soziotechnische / sozioökonomische Inanspruchnahme eine fundamentale Aufgabe der Gegenwart. Wissenschaftlich ausgedrückt, erfordert sie die Beantwortung der Frage, wie die Selbstorganisation und die Selbstregulation der Landschaft, deren Wechselspiel Grundlage ihrer Funktionsfähigkeit ist, mit ihrer Gestaltung durch Raumordnung (Organisation) und Bewirtschaftung (Regulation), deren (technisch bedingter) Zusammenhang die Grundlage ihrer Leistungsfähigkeit darstellt, verknüpft sind (AURADA 1982) (vgl. Abb. 2).

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 „Cultursphäre“ 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 in einer „Bonitierung der Erde“ (1925) A. Pencks bzw. W. Hollsteins 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 in diesem Zusammenhang, dass Schlüter durch die Intentionen der „Grundlinien einer Philosophie der Technik“ (1877) des Geographen E. Kapp (1808–1896) beeinflusst worden ist (BECK 1973, 327), der auch als Begründer der Technikphilosophie angesehen wird (ROPOHL 1999, 13).

Etwa zeitgleich entsteht der Begriff „Biosphäre“, den der österreichische Geologe und Paläontologe E. Suess (1831–1914) prägte, der aber erst 1926 durch „Die Biosphäre“ von V. I. Vernadskij (1863–1945) populär wurde; durch die Übernahme des Begriffs „Noosphäre“ von É. le Roy (1870–1954) und T. de Chardin (1881–1955) wurde er erweitert. Anders als de Chardin verstand Vernadskij Menschheit und Technologie als

integralen Bestandteil der Biosphäre, Noosphäre als „Sphäre der Vernunft“ (PERELMAN 1977, 111).

Aus geographischer Sicht dominiert in der vorindustriellen Gesellschaft eine Nutzung der Natur durch in die Natur integrierte, die Naturraumpotentiale im Rahmen ihres Schwankungsverhaltens nutzende, technische Systeme; es dominiert eine Konvergenz zwischen oszillierendem Naturhaushalt und Ansprüchen gesellschaftlicher Nutzungsformen (AURADA 1987). Die Funktionsfähigkeit des physiogenen Teilsystems bleibt erhalten, weil das anthropogene Teilsystem integriert ist.

In der industriellen Gesellschaft wird zunehmend die Integration des anthropogenen Teilsystems in das physiogene System aufgegeben, es nimmt tendenziell eine Nutzung der Natur durch die Natur verändernde und damit ihr natürliches Schwankungsverhalten tangierende Nutzungsformen zu, es beginnt eine Divergenz zwischen natürlich oszillierendem Naturhaushalt und Anforderungen der gesellschaftlichen Nutzungsformen (AURADA 1987). Da dadurch die Funktionsfähigkeit des physiogenen Teilsystems eingeschränkt wird, muss das anthropogene Teilsystem Teilfunktionen (Verringerung des Gefährdungspotentials, Erhöhung des Versorgungspotentials) übernehmen.

HABERL (1998) kennzeichnet diese Entwicklung als Kolonisierung: „Wesentliches Merkmal ist nicht nur der Eingriff in die Natur, sondern auch die Permanenz dieser Eingriffe: Von Kolonisierung 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) (vgl. Tab. 2).

„Ein Grundsignum der Industrialisierung ist, daß ehemals dezentrale, vereinzelte und lokale Ver- und Entsorgungsvorgänge, Produktions- und Verbrauchsverläufe immer mehr in voneinander abhängige Gesamtsysteme gebracht werden“ (BAYERL u. BORRIES 1998, 13). RADKAU (1993) bemerkt bezüglich des „größtechnischen Systems“, dass es „Durch seine geographische Ausdehnung oder sein Umgreifen unterschiedlicher Subsysteme ... einen Umfang [besitzt], der Transport-, Koordinations- und Schnittstellenprobleme aufwirft“ (a.a.O., 379); es entstehen co-operierende Systeme.

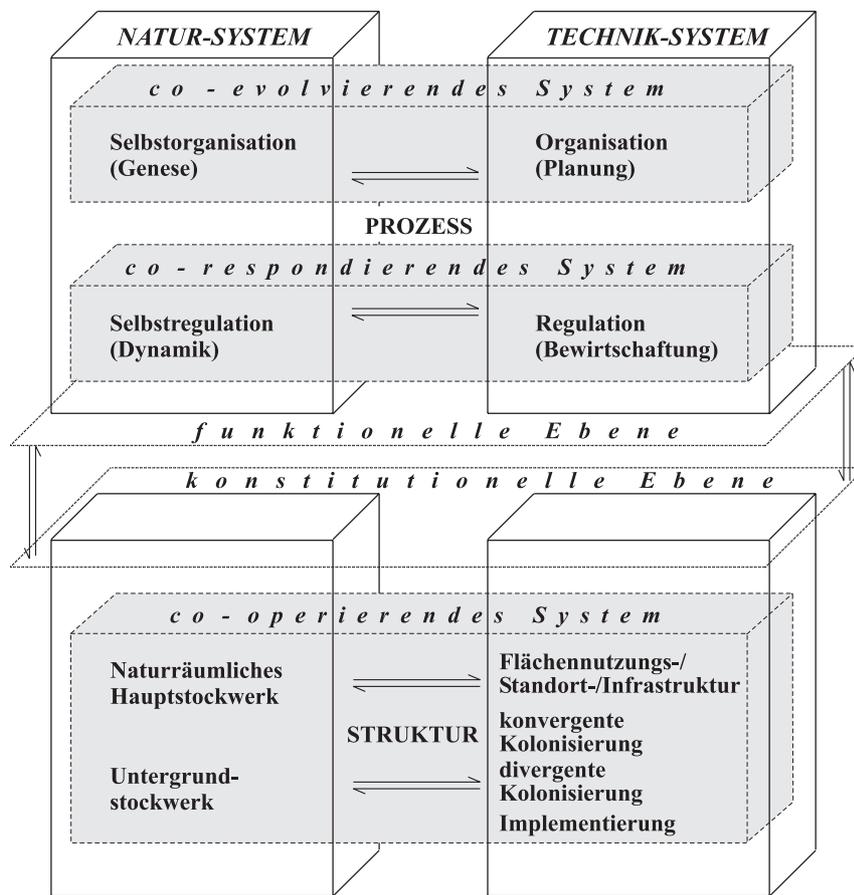
Eine erste Reaktion auf diese Entwicklung artikuliert G. P. Marsh (1801–1882), der in „Man and Nature“ (1864) „Umwelt-Regeneration“ als „... great political and moral revolutions in the governments and peoples

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; Hervorhebungen 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 (nach RAPP 1978: ingenieurwissenschaftliche, kulturphilosophische, sozialkritische und eben auch systemtheoretische) entwickelte sich der Begriff des „sozialen Systems”, der von ROPOHL in einer „Systemtheorie der Technik” (1979 und 1999) mit dem „soziotechnischen System” kompatibel gestal-

tet worden ist. Dieses System-Konzept beschreibt die Beziehungen zwischen einem menschlichen, hierarchisch aufgebauten Handlungssystem und einem gegenständlichen Sachsystem gesellschaftlicher Herkunft. Eine Übersicht über technikphilosophische bzw. technik-historische Entwicklungslinien geben HUBIG et al. (2000).

Eine modellhafte Abstraktion landschaftsverändernder Prozesse durch anthropogene Einflüsse hat NEEF (1980b) als sogenanntes „Transformationsmodell” formuliert, das sowohl eine Impuls-Transformation (aus dem Kausalitätsbereich der Gesellschaft in den der Natur) als auch eine Rückkopplungs-Transformation (aus dem Kausalitätsbereich der Natur in den der Gesellschaft) einschließt. AURADA (1979) hatte bereits geowissenschaftliche Anwendungen der Systemtheorie publiziert, die eine Kopplung von physiogenem und anthropogenem Teilsystem repräsentieren.



Grafik: H. Sattler

Abb. 2: Theoretischer Rahmen zur Interpretation co-evolvierender, co-respondierender und co-operierender Geosysteme  
Theoretical scope for the interpretation of co-evolving, co-responding and co-operating geosystems

“... the idea of a natural-technical systems” formuliert PREOBRAZHENSKIJ (1984): “Modern landscapes are understood, as V. B. Socava has formulated it, as a product of ‘co-creation of man and nature’, as systems, which combine within them the features of **self-organization** specific for nature with **management** typical for human society” (a.a.O., 24; Hervorhebungen im Orig.), die im Rahmen dieser Auffassung “... of natural-technogenic geosystems as integrated bodies” (a.a.O., 26) verstanden werden.

Eingebettet zwar in die Idee des „natürlich-technischen Systems“ PREOBRAZHENSKIJs bzw. des „physiogen-anthropogenen Systems“ des Autors hat sich aber vor dem Hintergrund einer „geographieinternen“ Entwicklung, die Raumordnung als Organisation räumlicher Strukturen (ROPOHLS „Sachsysteme“) als einziges bzw. dominierendes Handlungskonzept der Geographie herausgebildet. Demgegenüber sind funktionsorientierte räumliche Nutzungsformen (ROPOHLS „Handlungssysteme“), insbesondere die Bewirtschaftung mithilfe von integrierten Bewirtschaftungssystemen, unterrepräsentiert; die der Raumordnung komplementär entsprechende Bewirtschaftung als Regulation im Rahmen zeitorientierter Diskontinuitäten wird nicht als Gegenstand der Geographie begriffen.

Dabei gehen die wirtschafts- und sozialpolitischen Anforderungen von Zielstellungen der Soziosphäre aus und greifen im Rahmen des o.a. „ökologischen Grundwiderspruchs“ (HÖRZ 1986) in die Wechselbeziehungen mit „Ökosphäre“ (L. COLE 1958 nach STODDART 1965, 243) im Rahmen einer „Technosphäre“ (F. RAPP 1978 nach ROPOHL 1999, 253) ein: „Als elementare Formel für die Landschaft könnte ... das Integral über die Struktur von Naturraum und Flächennutzung gelten“ (RICHTER 1984), d.h. die (Kultur-) Landschaft repräsentiert durch die Integration von co-evolvierenden und co-respondierenden Systemen ein co-operatives (kooperatives) System.

### 3 Co-evolvierende und co-respondierende Geosysteme

Die Geographie benötigt als erdoberflächenorientierte und raum- / zeitdifferenzierende Wissenschaft neben der funktionellen 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 1980a, 86; Hervorhebung: Autor). In diesem Sinn versteht PREOBRAZHENSKIJ (1977) die Landschaftsökologie als Spezialfall der Systemtheorie; AURADA (1999b) will eine

duale Einheit von Physischer Geographie und Landschaftsökologie gewahrt wissen.

Die Strukturdifferenzierung (Raumdiskretisierung) sowohl zur externen Begrenzung als auch zur internen Untergliederung des Geosystems kann als Voraussetzung einer Prozessbilanzierung (Zeitdiskretisierung) mithilfe barriere- bzw. membranähnlich wirkender Diskontinuitäten erfolgen. Dabei kann – maßstabsabhängig – sowohl das Flächen-Zeit-Konzept ( $R^3$  [zeitdiskretisiertes 2D-Modell]) als auch das Volumen-Zeit-Konzept ( $R^4$  [zeitdiskretisiertes 3D-Modell]) zu Grunde gelegt werden. Sie schließen die mathematische Beschreibbarkeit von Flächenfluktuationen (als Variabilität von Flächenexpansion  $+A/dt$  und Flächenkontraktion  $-A/dt$  in  $m^2 \dots km^2 \Delta t^{-1}$ ) bzw. Volumenpulsationen (als Variabilität von Volumenexpansion  $+V/dt$  oder Volumenkontraktion  $-V/dt$  in  $m^3 \dots km^3 \Delta t^{-1}$ ) ein (AURADA 1982). An dieser Stelle sei angemerkt, dass erst die Erweiterung der funktionalen Betrachtungsweise der Systemtheorie durch den Übergang von Systemen ohne Raumstruktur zu Systemen mit Raumstruktur (WUNSCH 1977) das Postulat eines zellularen Geosystems mit konservativer Struktur und damit eines sowohl evolvierenden als auch respondierenden und damit komplementären Geosystems (AURADA 1997a) ermöglicht hat.

Bereits R. LUCERNA (1931) hatte in einem weitgehend der Vergessenheit anheim gefallenen Aufsatz über die – aus moderner Sicht als Kompartimentierung zu bezeichnende – Facettierung der Erdoberfläche auf den Zusammenhang von Raummaßstäben und Zeitskalen hingewiesen: „Fazettierung löst als Zweig der Morphologie die Landoberfläche in ihre kleinsten natürlich umgrenzten Einheiten auf, setzt diese wieder zu größeren Einheiten zusammen und begründet damit die **chronologische Flächengliederung**. Fazettensysteme, das sind gleichzeitig gebildete Fazetten gleicher Art, bilden, in mehrfachen Arten aus verschiedener Zeit zu einer Landschaft zusammentretend, das Flächenmosaik“ (a.a.O., 1; Hervorhebung im Orig.); logisch weiterführend wird zwischen „Paläofazetten“ und „Kulturfazetten“ unterschieden. SOLNCEV (1981) spricht von einer „Chronoorganisation“ im Sinn einer raumzeitlichen Organisation der Geosphäre.

Auch E. MARKUS (1889–1971) hatte – ebenfalls weitgehend vergessen und offenbar noch wie Hettner einer „Chorologie“ der Geographie und einer „Chorogenie“ der Geschichte verpflichtet – nicht nur festgestellt: „Es ist nicht nur ein **räumliches Nebeneinander**, sondern auch ein **zeitliches Nacheinander** faßbar ...“ (1936, 78/79; Hervorhebungen im Orig.), sondern die Notwendigkeit einer Darstellung eines „ökogenen Entwicklungsgangs“ postuliert. MARKUS, ein Schüler

L. S. BERGS (1876–1950) hatte bereits 1925, und damit Troll (1938) vorwegnehmend, einen „natural complex“ im Kontext zur „Biogeozönose“ formuliert und 1926 dessen räumliche Verschiebung in Europa untersucht; zu Recht gebührt MARKUS damit ein Platz in der Weltgeschichte der Landschaftslehre (ROOSAARE 1994, 31).

Unter dem Aspekt einer „Katalysator“-Wirkung im Rahmen des geographisch orientierten Landschafts-Paradigmas gehört in diesem Zusammenhang – ebenfalls viel zu wenig beachtet – die Theorie der Areal-Struktur (1975) K. HERZ' (1924–1993). Er hat einerseits „Heterogenisierungs- und Homogenisierungsprozesse der Landschaftssphäre“ (1987) als Folge einer „Autometamorphose der Landschaft“ (1984b) und die „Evolution der Landschaftssphäre“ (1984a) im Kontext mit der Bio- bzw. Noosphäre Vernadskijs (1926) gesehen. HABERL (1998) versteht diesen Prozess als „koevolutionär“ (a.a.O., 36), SIEFERLE (1998) als „evolutionär-historisch“ (a.a.O., 53); „Der Mensch als Störfaktor im Geosystem“ (HAMBLOCH 1986) wird dadurch relativiert.

HERZ (1994) mahnt posthum, die Intentionen Schlüters (1906) prüfend: „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).

### 3.1 Selbstorganisation (Genese) und Selbstregulation (Dynamik)

Sowohl die Thermodynamik irreversibler Prozesse Prigogines (1967) als auch die Synergetik Hakens (1970) liefern die theoretischen Grundlagen der Erklärung von Selbstorganisationsprozessen (Begriffsbildung 1962 durch ASHBY) zur Bezeichnung von Strukturbildungsprozessen im makroskopischen Bereich, die innerhalb definierter Ausgangs- und Randbedingungen zu bestimmten Ordnungszuständen bzw. Zustandsfolgen führen (EBELING u. FEISTEL 1984). Das Synergetik-Konzept betrachtet – im Gegensatz zum Konzept der dissipativen Strukturen – kooperative Phänomene und Strukturbildungen unabhängig von ihren stofflichen Trägern, wobei der irreversible Prozess der Selbstorganisation „... durch das kooperative Wirken von Teilsystemen zu komplexeren Strukturen des Gesamtsystems führt“ (a.a.O., 22).

Ist der Zustand der Selbstorganisation einmal erreicht, wird das System durch Fluktuationen getrieben, neue Zustände zu erkunden. Existiert ein Ensemble solcher Systeme unter Wettbewerbsbedingungen (die auch als alternative Bifurkations- bzw. Entscheidungsmöglichkeiten interpretiert werden können), tritt Selektion auf: Das Zusammenspiel von Fluktuationen und Selektion führt zur Evolution des Systems: „Die Geographie untersucht sich in Raum und Zeit verändernde Ob-

Tabelle 2: Periodisierung der Technikgeschichte in verschiedenen Auffassungen (verändert und ergänzt nach ROPOHL 1999, 255)

Periods of technological history in various conceptions					
Klassische Historische Epochen	Technikgeschichtliche	Entwicklungsinterpretation			Entwicklungslinien der Implementierung von Technik-Systemen (AU.)
	ORTEGA Y GASSET (1949)	GÜNTHER & BENSE (1965)	RIBEIRO (1968)	ROPOHL (1999)	
Vorgeschichte	Technik des Zufalls		Agrarrevolution Urbane Revolution	Agrarrevolution	konvergent-naturraumnutzende Kolonisierung
Frühgeschichte			Bewässerungsrev.		
Antike	Technik des Handwerkers	Klassische Technik	Metallurgische Revolution		divergent-naturraumnutzende Kolonisierung
Mittelalter			Hirten Revolution		
Renaissance	Technik des Technikers		Merkantile Revolution		
Neuzeit			Industrielle Revolution	Industrielle Revolution	naturraumverändernde Implementierung
Neueste Zeit		Transklassische Technik	Thermonukleare Revolution	Informationelle Revolution	

jekte, die sich zu einem konkreten Zeitpunkt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten (wahrscheinlicheren) Zustand einer begrenzten Menge von (unwahrscheinlicheren) alternativen Zuständen befinden" (AURADA 1987, 35).

In Erdoberflächensystemen entspricht den Prozessen der Selbstorganisation unter evolvierenden Gleichgewichtsbedingungen eine räumlich-zonale Verschiebung von Diskontinuitäten; den Bifurkationsmöglichkeiten der zeitlichen Entwicklungsneigung entsprechen Driftmöglichkeiten der räumlichen Widerspiegelung evolvierender Geosysteme. Den Prozessen der Selbstregulation unter pulsierenden Gleichgewichtsbedingungen entspricht eine räumlich-zonale Variation von Diskontinuitäten; den Fluktuationmöglichkeiten der zeitlichen Entwicklung entsprechen Amplifikationsmöglichkeiten der räumlichen Widerspiegelung respondierender Geosysteme (AURADA 1997a).

In Wechselwirkung mit diesem theoretischen Hintergrund konnte für den Ostseeraum nachgewiesen werden (vgl. Abb. 3). Die Deglaziation (a) repräsentiert als räumlich-zonale Drift des zwei- (b) bzw. dreidimensionalen (c) Eiskörperabbaus (20–9 ka BP) einen Selbstorganisationsprozess, dessen Auswirkungen sich in der Volumenreduktion des Ostseewasserkörpers (8,8–0 ka BP) (d) fortsetzt. Die sich rezent im Auftreten laminierter Sedimente (e) manifestierende Häufigkeit von Flächenfluktuationen (f) bzw. Volumenpulsationen (g) O<sub>2</sub>-armen bzw. H<sub>2</sub>S-belasteten Wassers (1968–98) widerspiegelt einen durch eine räumlich-zonale Variation manifestierten Selbstregulationsprozess (AURADA 1988, 1997a; FORSTREUTER 1990; MEHNERT 1996; UNVERZAGT 2001).

### 3.2 Organisation (Strukturgestaltung) und Regulation (Prozessbewirtschaftung)

Unter der Voraussetzung eines Geosystems als kolonisiertes bzw. implementiertes System wird die Möglichkeit eröffnet, 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 der Wahrscheinlichkeit von Prozessen oder Zuständen berücksichtigt werden kann.

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 damit nur durch eine anthropogen

langfristig wirkende Organisation und Raumordnung von Strukturen beeinflussbar (AURADA 1982). 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 und Bewirtschaftung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Leistungsfähigkeit des physiogenen Systems stabilisiert bzw. optimiert werden (AURADA 1982).

Die damit verbundene Stabilisierung variabler Systemeigenschaften kann mit Hilfe des Ljapunovschen Zustandsraumes und des Hakenschen Ereignisraumes erläutert werden (AURADA 1987). Ein allgemeines ungestörtes lineares System wird dann als stabil bezeichnet, wenn aus einem systemspezifischen Anfangszustand  $q_0$ , der nur innerhalb eines Zustandsraumes mit der Umgebung  $\Omega(\mathbf{q}_G, \eta)$  variieren kann, in einer Zeiteinheit  $\Delta t$  ( $\forall t \geq 0$ ) ein Endzustand  $p_T$  erreicht werden kann, der nur innerhalb eines Zustandsraumes mit der Umgebung  $\Omega(\mathbf{q}_G, \varepsilon)$  variieren kann. Ein solches System wird bezüglich einer gegebenen Menge von limitierten Eingangssignalen als stabil bezeichnet, wenn für jede Zeiteinheit  $\Delta t$  innerhalb  $\forall t \geq 0$  und alle Eingangssignale  $x \in X$  der Zustand beschränkt bleibt (Ljapunovsches Stabilitätstheorem 1892 nach A. M. Ljapunov [1857–1918]):

$$\mathbf{q}(0) \in \Omega(\mathbf{q}_G, \eta) \Rightarrow \mathbf{q}(t) \in \Omega(\mathbf{q}_G, \varepsilon) \text{ in } \forall t \geq 0; \quad (1)$$

es ist asymptotisch stabil, wenn es stabil ist und für alle  $\mathbf{q}(0) \in \Omega(\mathbf{q}_G, \eta)$  gilt:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{q}(t) - \mathbf{q}_G\| = 0. \quad (2)$$

Stellt man sich den durch  $\Omega$  beschriebenen Zustandsraum als Ereignisraum (HAKEN 1983) vor, so ist  $\mathbf{V}_L(\mathbf{q})$ , wobei  $\mathbf{q} \neq 0$ , positiv in  $\Omega$  und genügt als zeitabhängige Funktion mit  $\mathbf{q}_j = \mathbf{F}_j(\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_n)$  durch Ableitung nach der Zeit mit

$$\mathbf{V}_L = \mathbf{F}(\mathbf{q}) \text{ grad } \mathbf{V}_L \leq 0 \quad (3)$$

in  $\Omega$  dem Ljapunovschen Stabilitätstheorem (Abb. 4).

Werden nun  $\Omega$  bzw.  $\mathbf{V}_L$  als ein durch eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zu beschreibender Ereignisraum aller möglichen Systemzustände aufgefasst, eröffnet sich eine interessante Perspektive, zwei alternative co-operierende Verhaltensstrategien des Systems interpretieren zu können (vgl. Abb. 5):

– Dominanz einer Erhaltungsneigung (Zuverlässigkeit) bei kleinen Fluktuationen und hohen Potentialbarrieren,

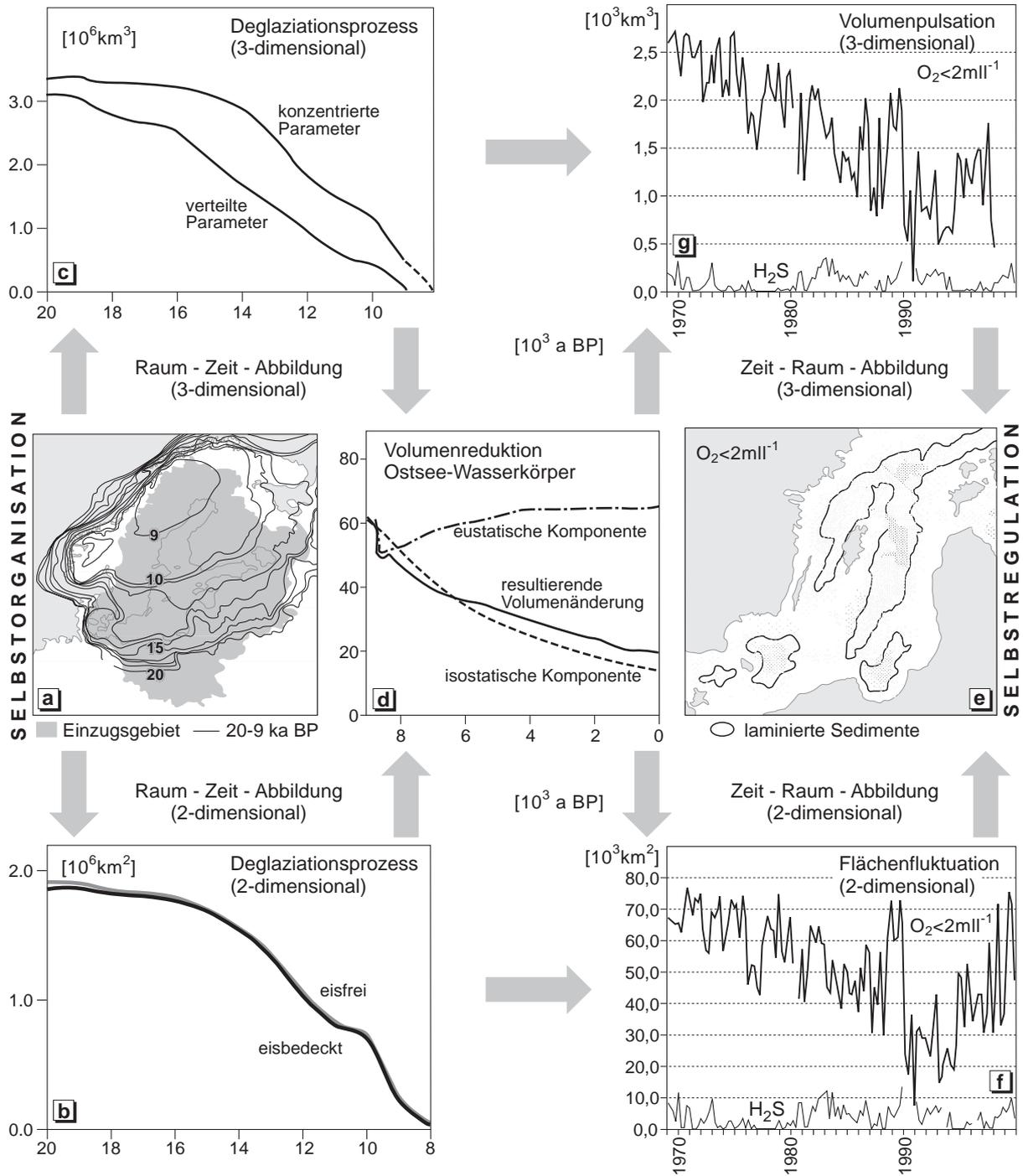


Abb. 3: Selbstorganisations- und Selbstregulationsprozesse im Ostseeraum (nach FORSTREUTER 1990; MEHNERT 1996 u. UNVERZAGT 2001)

Processes of self-organization and -regulation in the Baltic Sea area (after FORSTREUTER 1990; MEHNERT 1996 a. UNVERZAGT 2001)

– Dominanz einer Entwicklungsneigung (Anpassungsfähigkeit) bei großen Fluktuationen und niedrigen Potentialbarrieren.

Sie ermöglichen es, parametrisierbare Unterscheidungskriterien alternativer Zustandsmöglichkeiten eines kolonisierten bzw. implementierten Geosystems zu formulieren. Ein implementiertes Techniksystem vermag durch Änderung der Parameter (Frequenz und Amplitude) des Systemverhaltens (wobei eine anthropogen erzwungene Reaktion einer natürlichen Bifurkation ähnlich sein kann) ein co-operierendes System zu initiieren; in beiden Fällen wird  $\Omega_{T+\tau} \neq \Omega_{T-\tau}$  (vgl. Abb. 5 unten).

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraumes trendfrei und innerhalb des Schwankungsverhaltens der pulsierenden bzw. evolvierenden Systemzustände des physiogenen Systems, ist also  $\Omega(\mathbf{q}_G, \eta \dots \eta_{\max}) \leq \Omega(\mathbf{q}_G, \eta \dots \eta_{\min})$ , sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems konvergent; es existieren keine Nutzungskonflikte, es werden keine Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation und/oder einer strukturbezogene Organisation erforderlich (= konvergent-kolonisiertes Geosystem; vgl. Abb. 5 oben).

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraums trendbehaftet und überschreitet damit tendenziell zunehmend das Schwan-

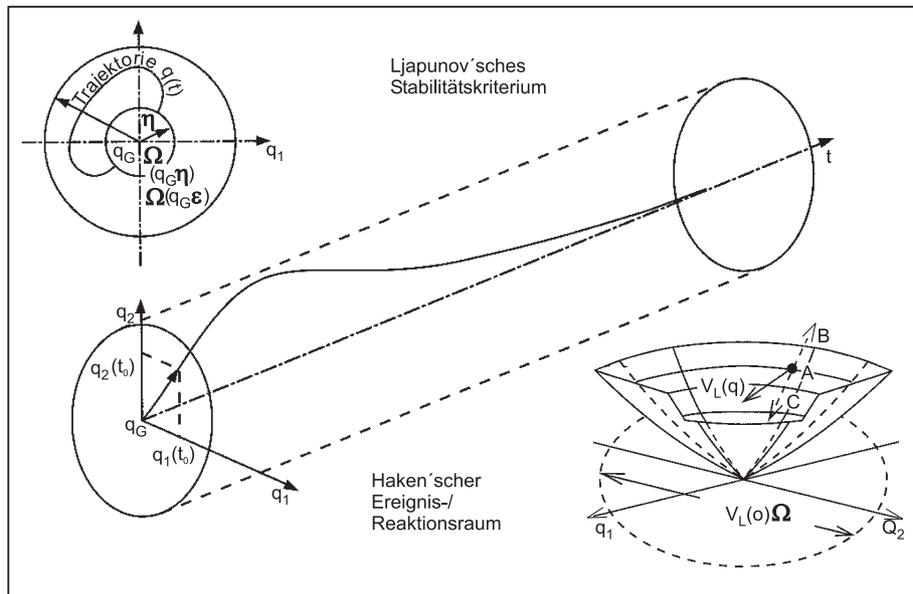
kungsverhalten der pulsierenden bzw. evolvierenden Systemzustände des physiogenen Systems, wird also  $\Omega(\mathbf{q}_G, \eta \dots \eta_{\max}) \geq \Omega(\mathbf{q}_G, \eta \dots \eta_{\min})$ , sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems divergent; es existieren zunehmende Nutzungskonflikte, es werden Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation bzw. der strukturbezogenen Organisation erforderlich (= divergent-kolonisiertes Geosystem; vgl. Abb. 5 Mitte).

4 Co-operierendes System:

Beispiel Speicherraubau und -bewirtschaftung

Speicherraubausbau und -bewirtschaftung bieten durch eine sowohl räumlich differenzierte planmäßige Implementierung technischer Systeme in natürlich entstandene Gewässereinzugsgebiete bzw. Einzugsgebietskörper 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.

Die Bewirtschaftung des Wasserdargebots mithilfe von Speicheranlagen repräsentiert ein Verbundsystem von Speichereigenschaften des oberhalb liegenden Einzugsgebietes bzw. Einzugsgebietskörpers (Schnee-



Grafik: H. Sattler

Abb. 4: Stabilitätseigenschaften nach LJAPUNOV (1892) und HAKEN (1983)

Attribute of stability after LJAPUNOV (1892) and HAKEN (1983)

deckenrückhalt, Bodenwasserzone, Grundwasserspeicherraum), der bewirtschaftbaren Speicherlamelle des Speicherraums (z.B. beherrschbarer Hochwasser(HW)-Schutzraum) und dem unterhalb gelegenen Vorteilsgebiet (Überschwemmungsgebiet beim Hochwasserschutz, Versorgungsgebiet bei Niedrigwasseraufhöhung oder Wasserversorgung). Während die Abgabe der integrierten Naturspeicher nicht bewirtschaftbar ist, ist der Verbund Naturspeicher und Speicherraum bewirtschaftungsfähig; er repräsentiert ein co-operierendes (kooperatives) System.

Beginnend seit dem letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts ist seit etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts ein rasanter, sowohl Anzahl als auch Speichervolumen betreffender Ausbau von Talsperren im globalen und regionalen Maßstab erfolgt (VÖRÖSMARTY et al. 1997) (vgl. Tab. 3).

Diese im globalen Maßstab wahrnehmbare Tendenz ist auch in Mitteleuropa (AURADA 1999a; FRANKE 2001), im Alpenraum (LINK 1970) und in Nordeuropa (LUDIN 1930) seit ca. 1890 und insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (ICOLD 1998) festzustellen (vgl. Tab. 4).

Dabei ist daran zu erinnern, dass der umfassende Talsperrenausbau in Mitteleuropa der Häufung von katastrophalen Hochwässern im ausgehenden 19. Jahrhundert geschuldet ist. Gleichzeitig (1891) fällt jedoch in diesen Zeitraum die Möglichkeit der Erzeugung elektrischer Energie durch Wasserkraft und ihre Übertragung über größere Entfernungen. Damit werden in die Bewirtschaftung des aufgestauten Wasserkörpers zwei konkurrierende Strategien integriert. Die Wasserkraftnutzung verlangt nach einem möglichst gefüllten Stauraum, um effektiv Energie erzeugen zu können,

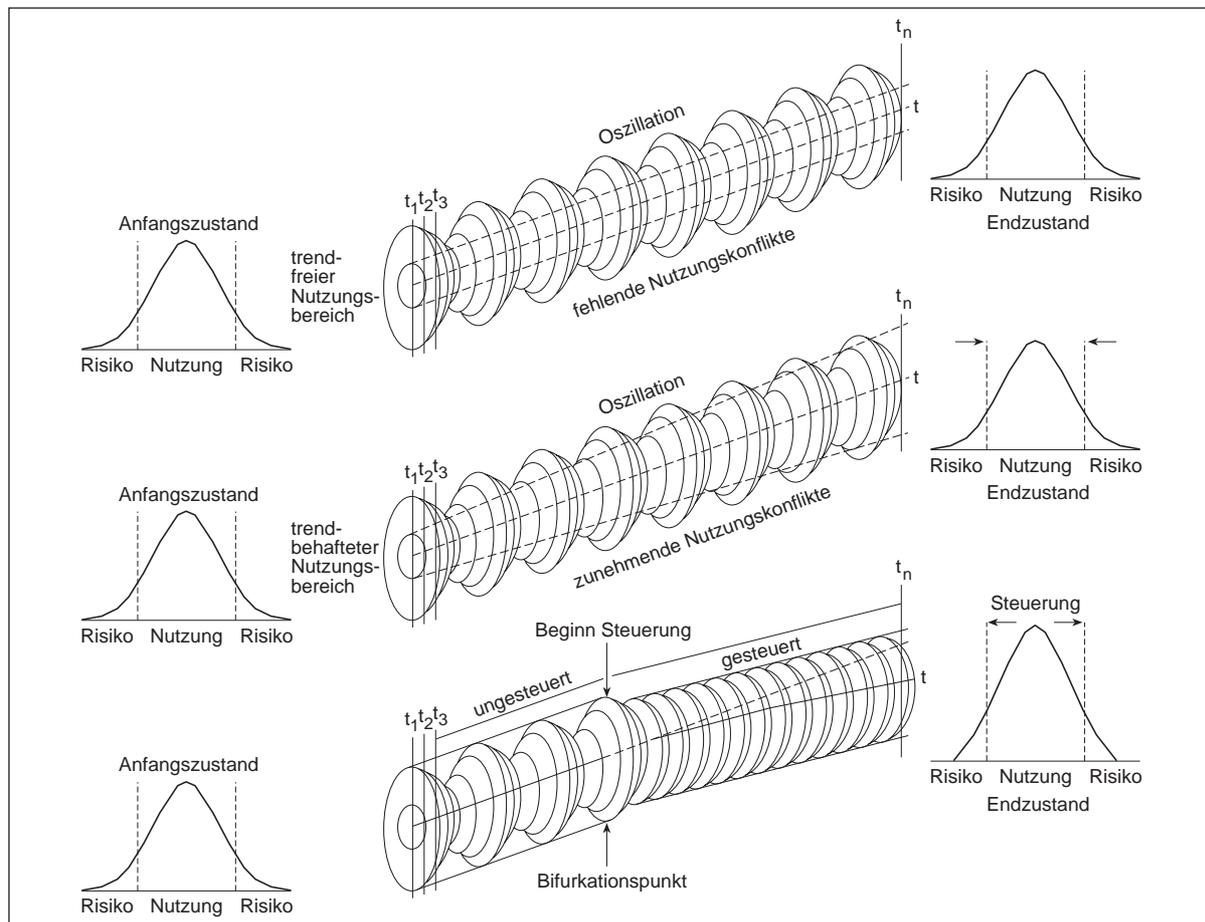


Abb. 5: Veranschaulichung eines konvergent-kolonisierten [oben] bzw. divergent-kolonisierten [Mitte] Geosystems durch Implementierung eines technischen Systems [unten]

Illustration of a convergent-colonized [above] and divergent-colonized [middle] geosystem by implementation of a technological system [below]

der Hochwasserschutz erfordert einen möglichst entleerten Speicherraum, um effektiv Hochwasserabflüsse zurückhalten zu können; beide Systemzustände sind kurzfristig aus sowohl ökologischen (Durchlassfähigkeit) als auch technischen Gründen (Grundablass) nicht ineinander zu überführen. Andererseits kann nicht übersehen werden, dass ohne die Berücksichtigung der Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung ein so umfassender Ausbau der Speichersysteme, die erst in ihrer

Gesamtheit eine Verbundwirkung des Hochwasserschutzes ermöglichen, überhaupt finanzierbar gewesen wäre.

Die historische Einordnung zeigt, dass die Zunahme der Zahl und Volumina der Speicheranlagen in Deutschland als gegenläufig zur offenbar rückläufigen Retentionsflächenentwicklung durch Vergrößerung des Offenlandanteils, der Eindeichung von natürlichen Überschwemmungsflächen und des zunehmenden Ver-

*Table 3: Kumulative Entwicklung des Talsperrenbaus (Speicherräume > 0,1 km<sup>3</sup>) im globalen Maßstab (berechnet nach AVAKYAN a. IAKOVLEVA 1998 in GLEICK 2000, 272 und 274)*

Development of dam building (volumes > 0,1 km<sup>3</sup>) in global scale (acc. to AVAKYAN a. IAKOVLEVA 1998 in GLEICK 2000, 272 and 274)

Zeitraum	Nordamerika		Südamerika		Europa		Asien		Afrika		Australien/ Ozeanien		Globale Verhältnisse Wasserdargebot <sup>a)</sup> -verbr: <sup>b)</sup>		
	[km <sup>3</sup> ]	[%] <sup>a)</sup>	[km <sup>3</sup> ]	[%] <sup>a)</sup>	[km <sup>3</sup> ]	[% <sub>kum.</sub> ]	[% <sub>kum.</sub> ]								
bis 1900	8,4	0,11	0,3	0,00	3,3	0,11	1,7	0,01	0,1	0,00			13,8	0,03	0,61
1901-50	353,1	4,48	9,1	0,08	125,0	4,31	19,6	0,15	15,1	0,37	10,6	0,45	532,5	1,25	23,51
1951-60	607,5	7,70	37,9	0,32	300,0	10,34	313,2	2,32	396,2	9,78	30,7	1,30	1685,5	3,94	74,42
1961-70	1141,5	14,47	134,8	1,12	489,4	16,88	953,2	7,06	760,6	18,78	46,2	1,96	3525,7	8,25	155,66
1971-80	1480,5	18,76	386,3	3,21	593,0	20,45	1437,3	10,64	934,3	23,07	88,6	3,75	4920,0	11,51	217,22
1981-90	1657,4	21,01	735,4	6,11	642,3	22,15	1758,8	13,02	990,9	24,47	94,5	4,00	5879,3	13,76	259,57
1991-96	1692,1	21,45	971,5	8,08	645,0	22,24	1980,4	14,66	1000,7	24,71	94,8	4,02	<b>6384,5</b>	<b>14,94</b>	<b>281,88</b>

<sup>a)</sup> Bezug: kontinentaler Abfluss [km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>] (Zeitraum 1921–1985) (nach SHIKLOMANOV 1993 und 1998 in GLEICK 2000, 22/23)

<sup>b)</sup> Bezug: Schätzung Wasserverbrauch [km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>] (Konsumtion 1995) (nach SHIKLOMANOV 1998 in GLEICK 2000, 52/53)

*Table 4: Entwicklung und Auswirkungen des Talsperrenbaus in europäischen Regionen*

Development and effects of dam building in European regions

Zeitraum	Deutschland <sup>a)</sup>				Alpenraum <sup>b)</sup>				Ostseeraum <sup>c)</sup>						
	353,3 x 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>				SpE				1721 x 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>				SpE		
Bezugsfläche	Zahl	[km <sup>3</sup> ]	[km <sup>3</sup> <sub>kum.</sub> ]	[%]	Zahl	[km <sup>3</sup> ]	[km <sup>3</sup> <sub>kum.</sub> ]	[%]	Zahl	[km <sup>3</sup> ]	[km <sup>3</sup> <sub>kum.</sub> ]	[%]			
Vor 1800	21	0,018	0,018	0,02	1	0,074	0,074	0,05							
1801–1850	2	0,004	0,022	0,02	1	0,002	0,076	0,05					keine differenzierten Angaben verfügbar		
1851–1900	7	0,006	0,028	0,03	4	0,080	0,156	0,11							
1901–1910	16	0,089	0,117	0,13	8	0,077	0,233	0,16	7	0,502	0,502	0,10			
1911–1920	12	0,392	0,509	0,55	18	0,111	0,344	0,24	5	0,672	1,174	0,24			
1921–1930	20	0,131	0,640	0,69	46	0,975	1,319	0,91	12	3,329	4,503	0,94			
1931–1940	28	0,778	1,419	1,53	37	0,684	2,003	1,39	16	11,311	15,814	3,29			
1941–1950	13	0,217	1,636	1,77	43	1,024	3,027	2,10	22	9,893	25,707	5,35			
1951–1960	55	0,712	2,347	2,53	92	4,230	7,257	5,03	54	10,841	36,548	7,61			
1961–1970	75	0,568	2,916	3,15	65	2,861	10,118	7,02	72	16,409	52,957	11,03			
1971–1980	104	0,627	3,543	3,83	51	1,732	11,850	8,22	35	11,725	64,682	13,47			
1981–1990	63	0,480	4,023	4,34	39	0,390	12,240	8,49	22	1,819	66,501	13,85			
Nach 1991	22	0,305	4,328	4,68	10	0,034	12,274	8,51					keine Angaben verfügbar		
Gesamt:	440		4,328	4,68	415		12,274	8,51	245		66,501	13,85			

<sup>a)</sup> verändert nach AURADA (1999a), einschl. TS in Bau

D<sub>pot.</sub> 92,6 km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> (1850–1990)

<sup>b)</sup> LINK (1970) und BAUMGARTNER, REICHEL u. WEBER (1983)

D<sub>pot.</sub> 144,2 km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> (1931–1960)

<sup>c)</sup> ICOLD (1998), RÖDEL (2001) sowie KUUSISTO (1995)

D<sub>pot.</sub> 480,3 km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> (1950–1990)

SpE: Speichereffekt: D<sub>reg</sub>/D<sub>pot.</sub> [%]

siegelungsgrades gesehen werden kann, ohne deren Rückhaltewirkung aber insgesamt kompensieren zu können (vgl. Tab. 5). Die daraus resultierenden Auswirkungen können in Ermangelung geeigneter Parameter (DYCK 1999, 235) sowohl als Kennzeichnung der

– Erhöhung des Versorgungspotentials mit einem Regulierungsfaktor RV ( $D_{\text{stab.}} + D_{\text{reg 80}} / D_{\text{stab.}}$  [%]) als  $D_{\text{verfügbar}}$  bzw. als

– Verminderung des Gefährdungspotentials mit einem Regulierungsfaktor RG ( $D_{\text{var.}} - D_{\text{reg 20}} / D_{\text{var.}}$  [%]) als  $D_{\text{reduzierbar}}$

charakterisiert werden (AURADA 2001).

Am Beispiel tendenzieller Veränderungen von Komponenten des Wasserdargebots in Deutschland lassen sich in säkularem (dezennialen) Zeitmaßstab durch die Implantation technischer Systeme der Talsperren eine Zunahme des Versorgungspotentials und eine Abnahme des Gefährdungspotentials nachweisen (Tab. 6).

Eine sinngemäß gleiche Entwicklung in allerdings anderer Dimension lässt sich auch im Ostseeraum konstatieren (AURADA 2003) (vgl. Tab. 7); nach LUDIN (1930) gab es allein in Skandinavien bereits ca. 1920 über 800 Speicherräume kleinerer Volumina.

Es ist damit zu rechnen, dass ein kumulativer Talsperreneinfluss auf die Zuflussverhältnisse der Ostsee (1921–1990) existiert (vgl. Tab. 8).

In einer höher auflösenden Zeitskala kann durch die Veränderungen von Übergangswahrscheinlichkeiten sowohl zwischen natürlichen Abflussregimen als auch anthropogen durch Talsperrenbewirtschaftung erzeugten Abflussregimen eine großräumige Aufeinanderfolge bzw. Wechselfolge der als instabil oder stabil identifizierten Systemzustände der Abflussregime nachgewiesen werden (RÖDEL 2001) (vgl. Tab. 9).

Die Schätzung der Übergangswahrscheinlichkeit zwischen entsprechend unterschiedlich definierten Zustands-/Regimeklassen im Ostseeraum erfolgte als Maximum-Likelihood-Schätzung (RÖDEL 2001; UNVERZAGT 2001). Die Häufigkeit einzelner Zustands- bzw. Regimewechsel wurden jeweils mit 95% Konfidenzintervallen berechnet. Damit repräsentiert das natürlich-schwankende Abflussregime bei einem Übergang zum anthropogenen Abflussregime eine Antwort des natürlichen Systems auf seine technogene Regulation; es antwortet im Verbund einer durch die Standortverteilung durch Organisation entstandenen räumlichen

Tabelle 5: Historische Entwicklung der Veränderungen der Hochwasserverhältnisse in Deutschland (nach MENDEL 1997; BORK et al. 1998 u. AURADA 1999a)

Historical development of changing flood conditions in Germany

Historische Entwicklung	Hochwasserverschärfung durch Waldbedeckung	Landwirtschaft	Hochwasser- informationen	aktiver HW-Schutz passiver HW-Schutz
Gegenwart Industrialisierung	Zunahme Versiegelungsgrad Rückgang Retentionsgebiete: Wald: 30 %	Offenland: 70%	HW-Zunahme? ~15 x 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> HW-Häufung?	2000: 4 329,6 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> seit ca. 1890: HW- u. Wasserkraftausbau
Industrialisierung Spätmittelalter	Urbanisierung/ Aufforstung Waldknappheit	Gewässerausbau Intensivierung Landwirtschaft	15 Hochwässer (1750–1800)	1850: 22,4 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Regul.-maßnahmen einschl. Deichbau
Spätmittelalter	außergewöhnliche Bodenerosion: geringe Wald- anteile/ Weide	große Offenland- anteile/ Weide	Sommer 1342 regional max. bek. HW	1500: > 6,3 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Volumenzunahme Bergbauteiche
Hoch- und Frühmittelalter	größter historischer Eingriff Intensivierung max. Ausdehnung Rodungstätigk. (dom. Getreide)		spärliche Hochwasser- Informationen	1200: > 1,0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> Bergbau-/ Fisch-T. einsetz. Deichbau
Früh-MA u. Römische Kaiserzeit	Wiederbewaldung SW-Deutschland anfängl.: 30 %	Kriege/ Völkerw. Ausweitung der Rod.-gebiete	fehlende historische Nachrichten	(Fortifikation) ? m <sup>3</sup> Bergbauteiche Fischteiche
Neolithikum	part. Wüstungen u. fast geschloss. Waldbed. (96 %).	Wiederbewaldung Rodungsinseeln d. Siedl.-kammern	fehlende Informationen	fehlende ? m <sup>3</sup> Informationen

Tabelle 6: Erhöhung des Versorgungspotentials und Verringerung des Gefährdungspotentials in Deutschland (1850–1995)

Increase of supply potential and decrease of risk potential in Germany (1850–1995)

[10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> ] Zeitreihe	Wasserhaushaltsgrößen							Wasserdargebotsgrößen (1850–1990) Deutschland		
	Dt. (1937)	W-Dt.	E-Dt.	Deutschland				Versorgungs- potential	Gefährdungs- potential	
	1891 1930 [mm] a	1931 1960 [mm] b	1901 1970 [mm] c	1931 1960 [mm] d	1961 1990 [mm] e	1931–60 1901–70 [mm] f	1851 1990 [mm] g			
Niederschlag	650	837	662	768	790	784	693			
Verdunstung	489	519	518	501	492	519	431			
Abfluss	161	313	144	264	299	262	262	92,6	D <sub>pot.</sub>	92,6
A <sub>oberird.</sub>	37	59	63	65	122	60	60		D <sub>var.</sub>	21,2
A <sub>unterird.</sub>	124	254	81	199	181	202	202	71,4	D <sub>stab.</sub>	
								+3,6	D <sub>reg.</sub>	-0,9
								75,0	D <sub>verf.</sub>	
									D <sub>red.</sub>	20,3
									(Zeithorizont 1995)	
	Talsperrenentwicklung h (kumulative Entwicklung)		Zeitraum		(Faktor RV) [%]	D <sub>reg 80</sub> [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	D <sub>reg 20</sub> [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	(Faktor RG) [%]		
			etwa 1500		100,00	0,001	0,000	100,00		
			etwa 1600		100,01	0,004	0,001	100,00		
			etwa 1700		100,01	0,010	0,003	99,99		
			etwa 1800		100,02	0,015	0,004	99,98		
			etwa 1850		100,02	0,018	0,004	99,98		
			1851–1900		100,03	0,022	0,006	99,97		
			1901–1910		100,13	0,094	0,023	99,89		
			1911–1920		100,57	0,407	0,102	99,52		
			1921–1930		100,72	0,512	0,128	99,40		
			1931–1940		101,59	1,135	0,284	98,66		
			1941–1950		101,83	1,309	0,327	98,46		
			1951–1960		102,63	1,878	0,469	97,79		
			1961–1970		103,27	2,333	0,583	97,25		
			1971–1980		103,97	2,834	0,709	96,66		
			1981–1990		104,51	3,218	0,805	96,20		
			seit 1991 i		104,85	3,464	0,866	95,92		

RV Faktor: Regulierung Versorgungspotential

RG Faktor: Regulierung Gefährdungspotential

a nach Denkschrift ... (1945) in THIENEMANN (1955, 97)

b nach HAVLIK in TIETZE et al. (1990, 269); SIMON (1993, 27) sowie ELLERBROCK (1986, 14; nach WINJE u. IGLHAUT 1983)

c nach DYCK (1964, 1985, 1988)

d verändert nach LIEBSCHER u. EYRICH (1995, 15)

e nach KRAHE u. GLUGLA (1996, 3)

f abflussbildungsflächenbezogene Berechnung (353,3 x 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>) nach (b) und (c)

(MARCINEK u. SCHMIDT (1994, 140): N: 783 mm, V: 514 mm, A: 270 mm)

g berechnet auf der Grundlage der verlängerten BAUR'schen Reihe (nach BAUR 1962, 746–748 und 1970, 696 sowie ergänzt nach der Beilage zur Berliner Wetterkarte des Instituts für Meteorologie)

h Historische Speicherräume (vor 1850), Talsperren (nach 1850) nach LAWA (1998)

i einschließlich PSW Goldisthal (am 04.02.2003 in Betrieb)

Tabelle 7: Wasserhaushalts- und Wasserdargebotsgrößen des Ostseeraums

Water balance and water resources in the catchment of the Baltic Sea

Wasserhaushaltsgrößen			Wasserdargebotsgrößen (1950–1990)			
Zeitreihe	1931–1960	1951–1970	1950–1990	Versorgungs- potential [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	Gefährdungs- potential [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	
	[mm] a	[mm] a	[mm] b			
Abfluss	285	282	279	480,3	D <sub>potl.</sub>	480,3
A <sub>oberirdisch</sub>	(198)	(196)	194		D <sub>var.</sub>	333,8
A <sub>unterirdisch</sub>	( 87)	( 86)	85	146,5	D <sub>stab.</sub>	
				<b>+53,2</b>	D <sub>reg.</sub>	<b>-13,3</b>
					D <sub>red.</sub>	320,5
				199,7	D <sub>verf.</sub>	
				(Zeithorizont: 1990)		

Talsperrenentwicklung <sup>c</sup> (kumulative Entwicklung)	Zeitraum	(Faktor RV) [%]	D <sub>reg. 80</sub> [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	D <sub>reg. 20</sub> [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	(Faktor RG) [%]
	vor 1910	100,27	0,402	0,100	99,97
	1911–1920	100,64	0,939	0,235	99,93
	1921–1930	102,46	3,602	0,901	99,73
	1931–1940	108,64	12,651	3,163	99,05
	1941–1950	114,04	20,566	5,141	98,46
	1951–1960 d	119,96	29,238	7,310	97,81
	1961–1970 d	128,92	42,366	10,591	96,83
	1971–1980 d	135,32	51,746	12,936	96,12
	1981–1990 e	136,31	53,201	13,300	96,02

a Wasserhaushaltsgrößen nach MIKULSKI (1984, 129)

b Wasserhaushaltsgrößen nach KUUSISTO (1995)

c Talsperren- Absperrbauwerk > 15 m (ICOLD 1988/ 1998 und RÖDEL 2001, 30)

d ohne Verkhne-Svirskaja/ Svir (1952) mit 17,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> Volumen mit Onega-See

e bis 1990 vorhanden, einschließlich noch geplanter Talsperren

Tabelle 8: Trendgleichungen der Zuflüsse in den Teileinzugsgebieten der Ostsee für den Zeitraum 1921–1990 (n = 70) (verändert nach SDANA-WITSCHUS 1998, 61 und RÖDEL 2001,106)

Trend equations of runoff in the catchment of the Baltic Sea in 1921–1990 (n = 70)

	Teileinzugsgebiet	Minimal- abflüsse a [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	Mittlere Abflüsse b [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	Maximal- abflüsse c [km <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	Speicher- volumen [km <sup>3</sup> ]	Saisonale Veränderung d			
						Wi [%]	Fr [%]	So [%]	He [%]
I	Bottenwiek	19,309 +0,520	92,886 +0,085	285,215 -0,719	20,539	<b>+18,5</b>	<b>+32,2</b>	-15,5	-9,5
II	Bottensee	30,975 +0,429	90,906 -0,003	245,360 -1,261	17,510	<b>+20,6</b>	<b>+29,6</b>	-21,8	-6,8
III	Finn. Meerbusen	76,825 -0,164	113,012 -0,041	142,464 +0,325					
IV	Rigaer Bucht	9,410 +0,003	35,800 -0,066	128,730 -0,319					
V	Zentrale Ostsee e	56,393 +0,110	111,234 +0,063	240,532 -0,192	17,909	+8,3	+9,3	-10,7	-3,4
VI/VII	Übergangsgebiet	28,786 -0,218	34,850 +0,025	38,275 +0,470	10,543	+8,0	+9,5	-11,1	-3,9
Ostsee (gesamt)		267,980 +1,082	478,786 +0,057	834,020 -0,908					

(Zeitreihenkonstruktion nach MIKULSKI 1983 für 1921–49 und BERGSTRÖM u. CARLSSON 1994 für 1950–90)

a dominierend: zunehmender Trend

b generell: signifikant trendfrei

c dominierend: abnehmender Trend

d nach modifiziertem Bilanzmodell WULFF et al. (1999) in RÖDEL (2001, 106)

e einschließlich Finnischer Meerbusen und Rigaer Bucht

fett: > + 10 % Abflusserhöhung durch Talsperrenbewirtschaftung

kursiv: > - 10 % Abflusserniedrigung durch Talsperrenbewirtschaftung

Struktur und der dadurch ermöglichten Regulation als co-operierendes System.

Als Beispiel für eine Talsperrenbewirtschaftung mit hoher Zeitdiskretisierung wird eine ständig wiederkehrende, im (6-)Stundentakt aktualisierte, Steuerung des Abflusses und eines konservativen Wasserinhaltsstoffes (Salzmineralisation) im Flussgebiet der mittleren Saale (12.000 km<sup>2</sup>) angeführt (AURADA 1979, 1997b, 2001). Sie wird in Abhängigkeit von der historischen Herausbildung dieses räumlich organisierten technischen Systems (Kalibergbau seit etwa 1893, Wasserversorgung der chemischen Industrie seit 1916/17 bzw. 1936/37, Talsperrenbau seit 1932 bzw. 1941) nach ersten Versuchen bereits 1943 seit 1963 bis zur Gegenwart praktiziert und kann seit 1976 als Prozessführung gestaltet werden (AURADA 1979, 1997b). In Abbildung 6 sind

sowohl der steuerbare Anteil der Führungsgrößen in der Steuerstrecke (Kasten) als auch die zeitliche Entwicklung der Störimpulse (a), der Steuerimpulse (b) sowie der Steuerergebnisse (c) für den Zeitraum 1963 bis 1996 enthalten (vgl. Tab. 10). Während die Grenzwerteinhaltnung bis 1979 mit 10–130 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup> Verdünnungswasser gewährleistet werden konnte, stieg diese Menge auf 200–300 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup> im Zeitraum 1980–1990 an; die Versorgungssicherheit sank auf 85%. Durch die Produktionseinstellung des Südharz-Kalireviers (1990–1993) kann die Salzlaststeuerung seither mit einer Sicherheit von 99% unter fast allen Bedingungen als beherrschbar gelten (THEILE 1996).

Die gegenwärtige Chloridbelastung der Saale nimmt bei mittlerer Niedrigwasserführung (MNQ) von 70 mg l<sup>-1</sup> bzw. 1 kg s<sup>-1</sup> (oberhalb der Unstrut-Einmündung) auf

Tabelle 9: Stabilität/ Instabilität und Übergangswahrscheinlichkeiten unregulierter/regulierter Abflussregimezustände im Einzugsgebiet der Ostsee (zusammengestellt nach RÖDEL 2001, 43–45 und 89/90)

Stability/instability and probabilistic transitions unregulated/regulated runoff regimes in the catchment of the Baltic Sea

Teileinzugs-Gebiet	Gewässer	unregulierter Zustand			Regul.-effekt nach-gewiesen	regulierter Zustand		
		Regime	Übergangswahrscheinlichkeit	Verw.-dauer [a]		Regime	Übergangswahrscheinlichkeit	Verw.-dauer [a]
I Botten-Wiek	Kemijoki	5 <-> 6	0,47±0,14	2,6		keine Daten vorhanden		
	Luleälv	T <-> 7	0,48±0,14	2,0	1940/70	7 <-> 8	0,32±0,16	1,6
	Kalajoki	4 <-> 3	0,35±0,16	2,2	1976 <sup>a</sup>	4 <-> 3	0,49±0,14	2,7
	Oulujoki	<b>6</b>	0,96±0,04	31,7	1949 <sup>b</sup>	<b>8</b>	0,80±0,09	8,1
	Iijoki	5 <-> 6	0,27±0,17	1,5	1961 <sup>ab</sup>	<b>5</b>	0,56±0,13	2,2
	Skellefte	Ü	1,00±0,00	99,0	1959	<b>8</b>	0,87±0,07	18,2
II Bottensee	Angerman	<b>6</b>	0,52±0,14	3,8	1956	<b>8</b>	1,00±0,00	99,0
	Dalälven	6 <-> 7	0,40±0,17	2,1	1931	8 <-> 2	0,23±0,15	2,0
	Umeälv	<b>7</b>	0,61±0,12	4,9	1963	<b>6</b>	0,76±0,10	8,8
	Kokemäen	8 <-> 2	0,50±0,14	2,4		keine Daten vorhanden		
	Indalsälv	6 <-> 7	0,46±0,14	2,2	1944	<b>8</b>	0,80±0,09	7,2
	Ljusnan	<b>6</b>	0,74±0,10	5,8	1959	<b>5</b>	0,51±0,14	2,5
	Ljungan	6	0,43±0,15	2,7	1944	5 <-> 6	0,30±0,17	1,5
V Zentrale Ostsee	Vistula	<b>2</b>	0,41±0,15	2,9	1974	<b>2</b>	0,59±0,13	4,0
	Oder	1 <-> 2	0,27±0,17	1,7	1971	8 <-> 1	0,31±0,16	2,0
	Neman	3 <-> 2	0,49±0,14	2,9	1959	<b>2</b>	0,53±0,13	2,9
	Motala	8 <-> 2	0,37±0,16	2,1	1921	8 <-> 2	0,22±0,17	1,3
VI/ VII	Göta älv	8 <-> 1	0,49±0,14	2,5	1934	<b>1</b>	0,68±0,11	3,4

a Einfluss durch Seeentwässerung

b Einfluss durch Moorentwässerung

<-> Übergang (Übergangswahrscheinlichkeiten) in beiden Richtungen möglich

fett: stabiles Abflussregime

Abflussregime: 1: Atlantic 5: Northern Inland T: Transition (North Scandinavian Inland)

2: Baltic 6: Mountain

3: Baltic Inland 7: North Scandinavian

4: Southern Inland 8: Anthropogenic Regime

310 mg l<sup>-1</sup> bzw. 12 kg s<sup>-1</sup> (oberhalb der Einmündung des Schlüssel-Stollen) bis zu ihrer Mündung in die Elbe auf 1.200 mg l<sup>-1</sup> bzw. 56 kg s<sup>-1</sup> zu. Auf diese Längsschnittentwicklung haben die Unstrut (510 mg l<sup>-1</sup> bzw. 5 kg s<sup>-1</sup>; Altlast des Südharz-Kalireviers), die Salza (30.775 mg l<sup>-1</sup> bzw. 12 kg s<sup>-1</sup>; Kavernenaussolung), der Schlüssel-Stollen (22.000 mg l<sup>-1</sup> bzw. 8 kg s<sup>-1</sup>; Altlast des 1970 aufgelassenen Mansfelder Kupferschieferbergbaus) und die Bode (2.700 mg l<sup>-1</sup> bzw. 11 kg s<sup>-1</sup>; Kali- und Sodaindustrie im Staßfurter Revier) Einfluss (THEILE 2001, 122). Mittel- und langfristig wird eine Be-

lastung der mittleren Saale von 180–650 mg l<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> und 30–41°dH und der unteren Saale von 500–700 mg l<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> (unterhalb Schlüssel-Stollen) und ca. 900 mg l<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> (unterhalb der Bode-Mündung) erwartet (a.a.O., 127).

Neben einem untertägigen Hohlraum von ca. 200 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (der durch Versatz und Konvergenz auf ca. 130 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> verringert worden ist) (HARTWIG et al. 2001, 8) hinterließ der Südharz-Kalibergbau 6 großräumige Rückstandshalden mit einer Aufstandsfläche von 310 ha und 167,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> Volumen, aus dem durch Niederschlagstätigkeit gegenwärtig ca. 525 kt a<sup>-1</sup>

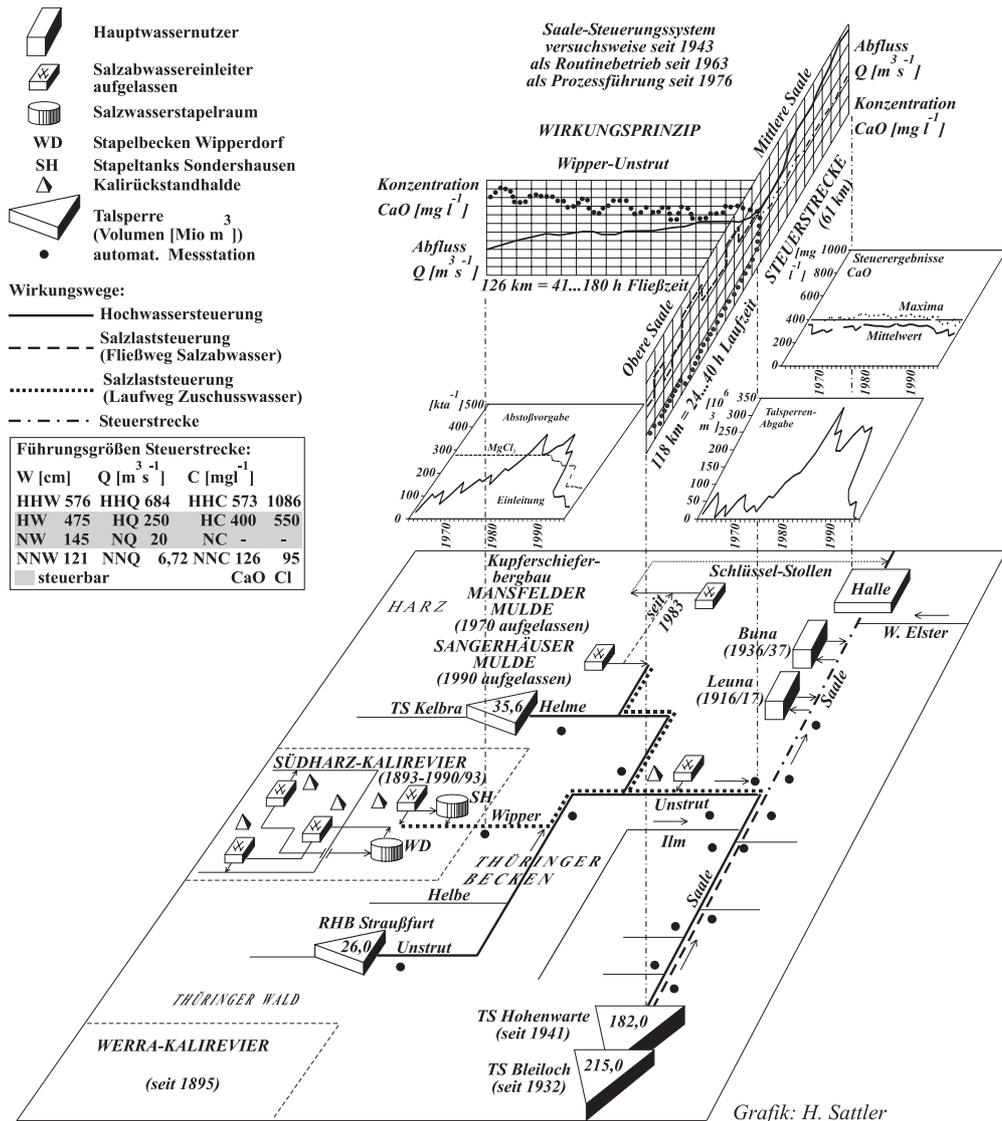


Abb. 6: Schema der Prozessführung im Flusseinzugsgebiet der Saale in Mitteldeutschland  
 Scheme of process control system in the catchment of the Saale in Central Germany

Tabelle 10: Ergebnisse der Salzlaststeuerung (als Jahreswerte des Zeitraumes 1963–1996) (ergänzt und verändert nach THEILE 1996)

Results of salt load controlling (period 1963–1996)

Jahr	Salzwasserabstoß Südharz-Kalirevier		Zuschusswasser Talsperrensystem der Oberen Saale			Ergebnisse der Steuerung Steuerstrecke Mittlere Saale		Jahr	Mitt.	Max. Tag Cl [mg l <sup>-1</sup> ]	Jahr	Mitt.	Max. Tag CaO [mg l <sup>-1</sup> ]
	Vorgaben MgCl <sub>2</sub> Cl [kta <sup>-1</sup> ]	Einl. MgCl <sub>2</sub> jährl. kumul. [kta <sup>-1</sup> ] [kt]	jährl. [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> ]	kumul. [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	Mitt.	Max.							
1950						(243)			(138)				
1955						(290)			(193)				
1960						(304)			(297)				
1961						(250)			(259)				
1962						(356)			(275)				
1963a	277	25,7	25,7	13,4	13,4	357	388		495			543	
1964	277	107,2	133	77,0	90,4	357	486		480			763	
1965	277	91,5	224	51,5	141,9	276	434		313			812	
1966	277	120,0	344	3,1	145,0	288	395	414	264	486		564	
1967	277	62,2	407	42,0	187,0	314	423	450	333	568		639	
1968b	277	103,2	510	7,2	194,2	293	395	415	335	585		678	
1969c	277	159	669	52,3	246,5	316	420	486	313	592		862	
1970	277	109	778	70,9	317,4	405	426		513	610			
1971	277	140	918	34,2	351,6	331	411	440	370	512		688	
1972	277	173	1091	20,6	372,2	340	412	440	397	594		688	
1973	277	160	1251	40,2	412,4	343	448	575	388	784		1086	
1974	277	192	1443	19,9	432,3	308	444	487	293	750		837	
1975	277	148	1591	66,3	498,6	356	428	426	370	530		576	
1976d	277	219	1810	61,5	560,1	357	436	458	456	620			
1977	277	211	2021	105,1	665,2	348	437	532	438	716		965	
1978	277	246	2267	127,0	792,2	344	446	492	354	634		560	
1979	277	287	2554	136,4	928,6	343	437	482	354	511		578	
1980	277	369	2923	189,7	1118,3	339	415	438	377	611		670	
1981	277	317	3240	323,2	1441,5	339	420		367	579		607	
1982	277	278	3518	244,9	1686,4	364	435	468	409	614		717	
1983	277	285	3803	257,5	1943,9	352	430	464	345	649		713	
1984	277	315	4118	196,9	2140,8	344	445	545	359	567		745	
1985	256	322	4440	197,9	2338,7	361	425	477	356	582		752	
1986	250	420	369	4809	243,5	2582,2	357	429	480	362	553	639	
1987	250	420	282	5091	270,8	2853,0	343	426	448	349	536	560	
1988	230	420	295	5386	252,8	3105,8	342	411	460	338	524	560	
1989	230	386	221	5607	266,8	3372,6	352	423	448	398	548	639	
1990e	230	386	118	5725	200,7	3573,3	335	432	454	404	530	561	
1991	230	386	93	5818	84,0	3657,3	318	385	416	356	482	526	
1992	140	386	94	5912	59,2	3716,5	282	361	378	303	466	511	
1993	140	235	100	6012	40,3	3756,8	291	368	378	288	434	469	
1994	140	235	78	6090	50,0	3806,8	319	410	436	262	443	617	
1995	134,1	235	51,3	6141	6,9	3813,7	256	344	350	200	298	319	
1996	134,1	235	51,3	6193	0	3813,7	283	404	424	211	349	390	

a Beginn der Salzlaststeuerung seit 16.08.1963

b Beginn Zwischenspeicherung Stapelbecken Wipperdorf seit 10.01.1968

c Beginn Zwischenspeicherung Stapeltankanlage Sondershausen seit 17.03.1969

d Beginn der Prozessführung seit 01.10.1976

e Auflassung Kali- (Südharz) und Kupferschieferbergbau (Sangerhäuser Mulde)

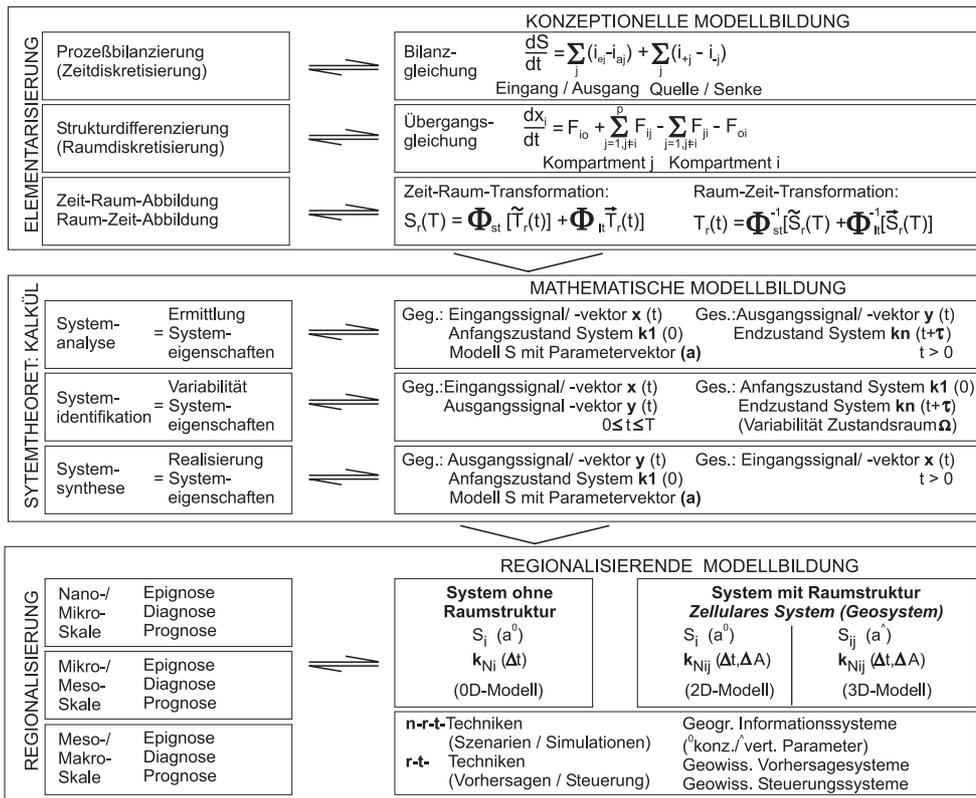
Salz gelöst werden (RAUCHE et al. 2001, 2). Da mit einer etwa 500-jährigen tendenziell abnehmenden Auslaugungstätigkeit im Bereich der Haldenkörper zu rechnen ist, werden die entsprechenden Bewirtschaftungsmöglichkeiten auch für etwa diesen Zeitraum vorgehalten werden müssen.

Sowohl die historisch entstandene räumliche Verteilung (Organisation) der technischen Steuereinrichtungen, einschließlich ihrer Lage mit Bezug auf die Strecken, als auch die davon abhängigen zeitlichen Beziehungen der Früherkennung von Störimpulsen (Hochwasserabflüsse und Salzabwassereinleitung) und Steuerimpulsen (Wasserrückhaltung im Hochwasserfall, Verdünnungswasserabgabe im Einleitungsfall) verdeutlichen einerseits eine zur Entstehung kooperativer Systeme erforderliche Raum-Zeit-Struktur und andererseits die Wirkungsweise und den Effekt einer das natürliche Prozessgeschehen stützenden Regulation im Rahmen der Variabilität des Natursystems, weshalb auch der Begriff der Prozessführung gewählt worden ist.

5 Zusammenfassung (Logistik des System-Konzepts)

Der Übergang von Systemen ohne Raumstruktur (funktioneller Aspekt) zu Systemen mit (konservativer zellulärer) Raumstruktur (konstitutioneller Aspekt) ermöglicht es, im Rahmen des Geosystem-Konzepts räumliche Strukturen aus Prozessabläufen und (invers) Prozessabläufe aus räumlichen Strukturen abzuleiten. Während evolvierende Systeme mit trendbehafteten Prozessabläufen eine räumlich-zonale Drift aufweisen, sind responzierende Systeme mit trendfreien Prozessabläufen durch eine räumlich-zonale Variabilität gekennzeichnet (Beispiel Ostseeraum).

Beide Systemaspekte können durch die jeweiligen Fluktuationen (zweidimensional) bzw. Pulsationen (dreidimensional) berücksichtigende (evolvierende und pulsierende) Gleichgewichtsverhältnisse mit Hilfe des Ljapunovschen Stabilitätskriteriums bzw. des Hakenschen Ereignisraumes charakterisiert werden. Sie erlauben, anthropogene Eingriffe in Form konvergent-naturraumnutzender und divergent-naturraumverän-



Grafik: H. Sattler

Abb. 7: Logistik des Systemkonzepts der naturwissenschaftlichen Geographie

Logistic of a systematical conception in physical geography

dernder Kolonisierung durch Implementierung technischer Systeme zu berücksichtigen (Beispiel Speicherausbau und -bewirtschaftung). Ausgehend von systemtheoretisch begründeten Auffassungen zur Selbstorganisation (Genese) und Selbstregulation (Dynamik) natürlicher Geosysteme und zur Organisation (Planung) und Regulation (Bewirtschaftung) durch tech-

nische Systeme kann eine darauf aufbauende Logik der Geographie abgeleitet werden: co-evolvierende Systeme + co-respondierende Systeme = co-operierende (kooperative) Systeme. Methodologisch kann eine darauf gründende systemorientierte Logistik der naturwissenschaftlichen Geographie (AURADA 1999b) abgeleitet werden (vgl. Abb. 7).

### Literatur

(Auswahl ohne die nur wissenschaftshistorisch relevanten Titel)

- ASHBY, W. R. (1958): General Systems Theory as a new discipline. In: General Systems Yearbook 3, 3–6.
- AURADA, K. D. (1979): Ergebnisse geowissenschaftlich angewandter Systemtheorie (Vorhersage und Steuerung lang- und kurzfristiger Prozeßabläufe). In: Peterm. Geogr. Mitt. 123, 217–224.
- (1982): Zur Anwendung des systemtheoretischen Kalküls in der Geographie. In: Peterm. Geogr. Mitt. 126, 241–249.
- (1987): Strukturdifferentierung und Prozeßbilanzierung in der Geographie auf der Grundlage des Geosystem-Konzepts. In: AURADA, K. D. (Hg.): Strukturen und Prozesse in der Geographie. Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR 19. Gotha, 22–52.
- (1988): Raum-Zeit-Phänomene im Ostseeraum. In: Peterm. Geogr. Mitt. 131, 1–14.
- (1997a): Evolvierendes und respondierendes Geosystem: Ostseeraum. In: Peterm. Geogr. Mitt. 141, 307–321.
- (1997b): Logistik der Salzabwasserbeseitigung im Saale- und Werra-Gebiet. In: Wasser und Boden 49 (5), 33–45.
- (1999a): Die Bildungs- und Nutzungsbedingungen des Wasserdargebots in Deutschland. In: Peterm. Geogr. Mitt. 143, 333–347.
- (1999b): Logik und Logistik des Systemkonzepts der naturwissenschaftlichen Geographie. In: SCHNEIDER-SLIWA, R.; SCHAUB, D. u. GEROLD, G. (Hg.): Angewandte Landschaftsökologie. Berlin u.a., 65–86.
- (2001): Logistik der Wasserdargebotsbewirtschaftung in Deutschland. Implantation technischer Systeme in natürliche Systeme. In: HOFFMANN, A. (Hg.): Wasserwirtschaft im Wandel. Kasseler Wasserbau-Mitt. 12. Kassel, 483–490.
- (2003): Ostsee-Hydrologie zwischen Klima- und Technikfolgenabschätzung. In: CHMIELEWSKI, F.-M. u. FOKEN, T. (Hg.): Beiträge zur Klima- und Meeresforschung. Berlin, Bayreuth, 179–188.
- BAUMGARTNER, A.; REICHEL, E. u. WEBER, G. (1983): Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931–1960. München, Wien.
- BAUR, F. (Hg.) (1962): Meteorologisches Taschenbuch. 1. Band. Leipzig.
- (Hg.) (1970): Meteorologisches Taschenbuch. 2. Band. Leipzig.
- BAYERL, G. u. BORRIES, B. v. (1998): Geschichte und Umweltsystem. In: FRÄNZLE, O.; MÜLLER, F. u. SCHRÖDER, W. (Hg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. 3. Erg.-lief. Landsberg a. L., 1–18.
- BECK, H. (1973): Geographie. Europäische Entwicklung in Texten und Erläuterungen. Orbis Academicus 2/16. Freiburg, München.
- BERGSTRÖM, S. a. CARLSSON, B. (1994): River Runoff to the Baltic Sea: 1950–1990. In: Ambio 23, 280–287.
- BERTALANFFY, L. v. (1968): General Systems Theory. Foundations, Development, Applications. New York.
- BOCHENSKI, I. M. (1973): Grundriß der Logistik. Paderborn.
- BORK, H. R.; BORK, H.; DALCHOW, C.; PIORR, H. P. u. SCHATZ, D. (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Gotha, Stuttgart.
- BRAUN, M. (2003): Auswirkungen des Talsperrenbaus in Deutschland. Hausarbeit, Univ. Greifswald.
- Denkschrift (1945): Denkschrift über die wasserwirtschaftliche Generalplanung, bearb. von der Generaldirektion für Wasserstraßen und Binnenschifffahrt, Windelsbleiche, Dezember 1945.
- DIENEL, H.-L. (1994): Homo Faber – Der technische Zugang zur Natur. In: NACHTIGALL, W. u. SCHÖNBECK, C. (Hg.): Technik und Natur. Technik und Kultur 6. Düsseldorf, 13–84.
- DYCK, S. (1964): Das Schema der Wasserbilanz für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik 14 (10), 301–304.
- (1985): Schema der Wasserbilanz der DDR. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik 35 (2), 41.
- (1988): Umfang und Probleme der Nutzung des Wasserdargebotes. In: Geogr. Berichte 33, 23–36.
- (1999): Erfassung und Wertung der weltweiten Wasserproblematik. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43 (5), 233–241.
- EBELING, W. u. FEISTEL, R. (1984): Thermodynamik irreversibler Prozesse und spontane Strukturbildung mit Beispielen aus Physik und Geophysik. In: Sitz.-ber. d. Akad. d. Wiss. d. DDR, Math.-Naturwiss.-Techn. 10 N, 22–29.
- (1986): Physik der Selbstorganisation und Evolution. Berlin.

- ELLERBROCK, H. (1986): Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland – Grundlage für großräumige Wasserversorgungskonzeptionen. In: DVAG (Hg.): Wasser und Abwasser. Engpassfaktoren der Umweltvorsorge. Material zur Angewandten Geographie 10. Bochum, 13–19.
- FELS, E. (1954): Der wirtschaftende Mensch als Gestalter der Erde. Erde und Weltwirtschaft 5. Stuttgart.
- FINK, H. (1970): Speicherseen der Alpen. In: Wasser- und Energiewirtschaft 62 (9), 243–358.
- FORSTREUTER, S. (1990): Simulation der rezenten Zuflußverhältnisse der Ostsee und Abschätzung paläohydrologischer Veränderungen seit 8 800 BP im Ostseegebiet. Diss., Univ. Greifswald.
- FRANKE, P. (ed.) (2001): Dams in Germany. Essen.
- GLEICK, P. H. (2000): The World's Water 2000–2001. Washington.
- GRENGG, H. (1962): Die Talsperren Österreichs. Wien.
- HABERL, H. (1998): Kolonisierung von Natur. In: HABERL, H.; KOTZMANN, E. u. WEISZ, H. (Hg.): Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur. Wien, New York, 34–39.
- HAKEN, H. (1983): Advanced Synergetics. Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices. Berlin u.a.
- HAMBLOCH, H. (1986): Der Mensch als Störfaktor im Geosystem. Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge G 280. Opladen.
- HARTWIG, H.-J.; SCHOLZ, L. u. TSCHERNATSCH, V. (2001): Erfahrungen bei der Verwahrung von stillgelegten Kalisalzbergwerken. In: Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW 211, 7–11.
- HERZ, K. (1984a): Die Evolution der Landschaftssphäre. In: Geogr. Berichte 29, 81–90.
- (1984b): Beziehungen zwischen Korrelationsdynamik und Autometamorphose der Landschaftseinheiten. In: Peterm. Geogr. Mitt. 128, 127–131.
- (1987): Heterogenisierungs- und Homogenisierungsprozesse der Landschaftssphäre. In: Peterm. Geogr. Mitt. 131, 11–18.
- (1994): Ein geographischer Landschaftsbegriff. In: Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 43 (5), 82–89.
- HÖRZ, H. (1986): Philosophie und Ökologie. In: Sitz.-ber. d. Akad. d. Wiss. d. DDR, Math.-Naturwiss.-Techn. 5 N, 5–24.
- HUBER, J. (1982): Die verlorene Unschuld der Ökologie. Frankfurt a. M.
- HUBIG, C.; HUNING, A. u. ROPOHL, G. (Hg.) (2000): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie. Technik, Gesellschaft, Natur 2. Berlin.
- HUGGETT, R. J. (1980): Systems Analysis in Geography. Oxford.
- (1985): Earth Surface Systems. Springer Series in Physical Environment 1. Berlin u.a.
- HUNING, A. (1990): Der Technikbegriff. In: RAPP, F. (Hg.): Technik und Philosophie. Technik und Kultur 1. Düsseldorf, 11–25.
- ICOLD (1998): World Register of Dams (Computerized version). Paris.
- KNOPF, A. (1967): Regulierung des Salzwasserabstoßes der Kaliwerke des Südhazeres. In: Freiburger Forschungshefte A 426, 175–183.
- KRAHE, P. u. GUGLA, M. (1996): Abfluß- und Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde: Information 1, 1–3.
- KRÜGER, H. (1995): Thünens Beitrag zur Erforschung des Systemcharakters der Landwirtschaftsbetriebe. In: STAMER, H. u. FRATZSCHER, G. (Hg.): Johann Heinrich von Thünen. Münster-Hiltrup.
- KUUSISTO, E. (1995): Hydrology and hydroenergetics of the Baltic Drainage. In: OMSTEDT, A. (ed.): First Study Conference on BALTEX, Visby, Conference Proceedings. International BALTEX Secretariat, Publication 3. Geesthacht, 18–27.
- LAWA (1998): Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in der Bundesrepublik Deutschland mit mehr als 0,3 hm<sup>3</sup> Speicherraum. LAWA-Dokumentationen. Berlin.
- LIEBSCHER, H.-J. a. EYRICH, A. (1995): Meteorological, Hydrological and Geological Conditions in the Federal Republic of Germany. In: National Committee for Geodesy and Geophysics of the Federal Republic of Germany: National Report on Hydrological Research 1983–1993. o.O., 5–15.
- LINK, H. (1970): Speicherseen der Alpen. In: Wasser- und Energiewirtschaft 62 (9), 241–358.
- LUCERNA, R. (1931): Fazettierung. In: Peterm. Geogr. Mitt. 77, 1–7.
- LUDIN, A. (1930): Die nordischen Wasserkräfte. o.O.
- MARCINEK, J. u. SCHMIDT, K.-H. (1994): Gewässer und Grundwasser. In: LIEDTKE, H. u. MARCINEK, J. (Hg.): Physische Geographie Deutschlands. Gotha, 131–155.
- MARKUS, E. (1936): Geographische Kausalität. Eesti Vabariigi Tartu Ülikooli Toimetused (Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis [Dorpatensis]), A, 30, 5. Tartu.
- MEHNERT, A. (1996): Untersuchungen zur Rekonstruktion des spätweichseiszeitlichen Deglaziationsprozesses im Ostseeraum. Diss., Univ. Greifswald.
- MENDEL, H.-G. (1997): Hochwasser. Gedanken über Ursachen und Vorsorge aus hydrologischer Sicht. Bundesanstalt für Gewässerkunde. BfG 1022. Koblenz, Berlin.
- MIKULSKI, Z. (1983): Inflow of river water to the Baltic Sea. In: Journal Hydrologic Science 10, 1–16.
- (1984): New results of calculation of water balance of the Baltic Sea. In: Miscellanea Geographica, 29, 123–134.
- NEEF, E. (1980a): Über Grenzen in physisch-geographischen Komplexen. In: KISHIMOTO, H. (ed.): Geography and its Boundaries. Bern, 81–87.
- (1980b): Ein Modell für landschaftsverändernde Prozesse. In: Geogr. Rundschau 32 (11), 474–477.
- OLWIG, K. R. (1996): Recovering the Substantive Nature of Landscape. In: Annals of the Ass. American Geographers 86 (4), 630–653.
- PERELMAN, A. I. (1977): Zur Geochemie der Technogenese. In: Z. angew. Geologie 23 (3), 111–115.
- PREOBRAZHENSKIJ, V. S. (1977): Formen von Integrationsprozessen in der Geographie. In: Peterm. Geogr. Mitt. 121, 175–177.

- (1984): Trends of development of landscape ecology in the USSR. In: BRANDT, J. a. AGGER, P. (eds.): Proc. of the First International Seminar on Methodology in Landscape Ecology. Vol. 5. Roskilde, 17–27.
- RADKAU, J. (1993): Entwicklungsprozesse und gesellschaftliche Entscheidungsspielräume in der Geschichte großtechnischer Systeme. In: ALBRECHT, H. u. SCHÖNBECK, C. (Hg.): Technik und Gesellschaft. Technik und Kultur 10. Düsseldorf, 373–410.
- RAPP, F. (1978): Analytische Technikphilosophie. Kolleg Philosophie. Freiburg, München.
- RAUCHE, H.; THOMA, H. u. HARTMANN, O. (2001): Aspekte der Langzeitsicherheit bei der Stilllegung und Nachnutzung von Kali- und Steinsalzbergwerken. In: Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW 211, 1–5.
- RICHTER, H. u. AURADA, K. D. (Hg.) (1984): Umweltforschung. Zur Analyse und Diagnose der Landschaft. Gotha.
- RÖDEL, R. (2001): Die Auswirkungen des historischen Tal-sperrenbaus auf die Zuflußverhältnisse der Ostsee. Greifswalder Geogr. Arb. 18. Greifswald.
- ROOSAARE, J. (1994): Physical Geography in Estonia: Bridging Western and Eastern School of Landscape Synthesis. In: GeoJournal 33 (1), 27–36.
- ROPOHL, G. (1999): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. München.
- SCHMITHÜSEN, J. (1976): Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde. Berlin, New York.
- SDANAWITSCHUS, A. (1998): Tendenzielle Veränderungen des Abflusses in den Teileinzugsgebieten und im Gesamteinzugsgebiet der Ostsee. Diplomarbeit, Univ. Greifswald.
- SIEFERLE, R. P. (1998): Was ist Natur? In: HABERL, H.; KOTZMANN, E. u. WEISZ, H. (Hg.): Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur. Wien, New York, 100–103.
- SIMON, M. (1993): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. In: Wasserwirtschaft–Wassertechnik 43 (7), 15–23.
- SOLNCEV, V. N. (1981): Chronoorganizacija geograficeskich javlenii [Zeitorganisation geographischer Erscheinungen]. In: Autorenkollektiv: Geofizika landschafta [Geophysik der Landschaft]. Moskva, 40–68.
- STODDART, D. R. (1965): Geography and the Ecological Approach. The Ecosystem as a Geographic Principle and Method. In: Geography 50, 242–251.
- THEILE, K. (1996): Entwicklung der Salzlaststeuerung als Folge der Oberflächenwasserversalzung durch Abwässer aus dem Kali- und Kupferschieferbergbau. In: MEINICKE, K. P. u. EBERSBACH, W. (Hg.): Bergbau- und Umweltgeschichte in Mitteldeutschland. Halle, 125–137.
- (2001): Gewässergüte der Saale – Vergangenheits- und Zukunftsaspekte. In: Nova Acta Leopoldina NF 84/319, 117–129.
- THIENEMANN, A. (1995): Die Binnengewässer in Natur und Kultur. Eine Einführung in die theoretische und angewandte Limnologie. Verständliche Wissenschaft 55. Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- TIETZE, W.; BOESLER, K.-A.; KLINK, H.-J. u. VOPPEL, G. (Hg.) (1990): Geographie Deutschlands. Bundesrepublik Deutschland. Staat – Natur – Wirtschaft. Berlin u.a.
- UNVERZAGT, S. (2001): Räumliche und zeitliche Veränderungen der Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser der Ostsee. Greifswalder Geogr. Arb. 19. Greifswald.
- VÖRÖSMARTY, C. J.; SHARMA, K. P.; FEKETE, B. M.; COPELAND, A. H.; HOLDEN, J.; MARBLE, J. a. LOUGH, J. A. (1997): The Storage and Aging of Continental Runoff in Large Reservoir Systems of the World. In: Ambio 26, 210–219.
- WINJE, D. u. IGLHAUT, J. (1983): Wasserbedarfsprognose. Bundesminister des Inneren: Wasserversorgungsbericht, Teil B, Band 3. Berlin, Bielefeld, München.
- WULFF, F. et al. (1999): <http://data.ecology.su.se/mnode/Europe/BalticRegion/Mbaltic.htm>
- WUNSCH, G. (1977): Zellulare Systeme. Berlin.
- (1985): Geschichte der Systemtheorie. Berlin.
- (1990): Struktur und Verhalten. In: Spektrum 21 (6), 18–21.