

Karl Mannsfeld

Die Erforschung der Kulturlandschaft mit dem Konzept der Landschaftsökologie

1. Theoretische Grundpositionen in der Geographie

Die geographische Wissenschaft als Raumwissenschaft ist heutzutage ein Schlüsselfach, da diese Fachdisziplin elementare Beiträge zur Erkennbarkeit und Erklärung unserer Welt beigesteuert hat und beisteuern kann. Zu den zentralen Forschungsgegenständen der Geographie zählt das Beziehungsgefüge von Mensch/Gesellschaft und Natur/Umwelt sowie dessen Entwicklung in Raum und Zeit. Davon ausgehend nahmen in den vergangenen 60 bis 70 Jahren die Anstrengungen zu, den Funktionszusammenhang »Natur–Technik–Gesellschaft«¹ zu analysieren, wobei – dem komplexen Charakter entsprechend – ganzheitliche Denkansätze und ein adäquater Methodenapparat nötig sind, um ein wirklichkeitsnahes Abbild von den Erscheinungsformen auf der Erde und ihren Gesetzmäßigkeiten zu entwerfen.

Besonders innerhalb des naturwissenschaftlichen Zweiges der Geographie wurde seit ca. 60 Jahren der Ansatz entwickelt, die Erdoberfläche mit ihren vielfältigen Erscheinungen aus Natur und Gesellschaft als ein materielles System aufzufassen, das durch die substantiellen Faktoren (Struktur) wie zugleich die Prozesseigenschaften (Dynamik) bestimmt ist, die in einem Funktionszusammenhang stehen. Aus dem Zusammenspiel von Struktur und Dynamik ergibt sich ein vielfältiges Wirkungsgefüge, das letztlich an jedem Punkt der Erdoberfläche realisiert ist und in Abhängigkeit von den dynamischen Kräften zur ständigen Veränderung und damit zur Entwicklung unserer Umwelt beiträgt. Begrifflich übertrug man im deutschen Sprachgebrauch diesen Wirkungszusammenhang auf die »Landschaft«, die damit zu einem zentralen Arbeitsfeld der Geographie geworden war. Anfänglich dominierten zur Charakterisierung der Landschaft noch genetisch-geomorphologische oder physiognomisch-beschreibende Verfahren, wurde sie doch vor allem als Naturphänomen verstanden; erst schrittweise wuchs die Einsicht, dass der Mensch die

1 Ernst Neef, *Theoretische Grundlagen der Landschaftslehre*, Gotha 1967.

Landschaft zunehmend gestaltet und verändert. Die Definition des Begriffs »Landschaft« ging daher auch bald über bildhafte, ästhetische oder gestaltemorphologische Ansätze hinaus. Mit Landschaft meinte man in Anlehnung an Humboldt (1854) den Inbegriff mehr oder weniger gleichartiger Beschaffenheit eines konkreten Teils der Erdoberfläche, die ihrerseits aus Naturgegebenem und vom Menschen Geschaffenem besteht. Mit dem Verständnis von Geographie als Raumwissenschaft rückte das räumliche Gefüge einer Landschaft sowohl aus naturwissenschaftlicher Sicht (Klima, Relief, Boden, Gestein, Vegetation) als auch aus wirtschaftlicher und sozialer Sicht (Wirtschaft, Verkehr, Siedlungen, Fremdenverkehr) ins Zentrum der Forschungen. Trotz zahlreicher und häufig widerstreitender Definitionen hat sich in jüngerer Vergangenheit die folgende Kennzeichnung durchgesetzt: »Landschaft ist ein von den Naturbedingungen vorgezeichneter und vom Menschen überprägter bzw. gestalteter Ausschnitt der Erdoberfläche. Diese (Kultur-)Landschaft stellt den komplexen Lebens-, Handlungs- und Identifikationsraum, die natürliche und gebaute Umwelt der Gesellschaft dar und ist einem ständigen Wandel unterworfen«.²

2. Die Erfassung der natürlichen Bedingungen im Landschaftskonzept

Eine Landschaft im Sinne der skizzierten Vorstellungen zu erforschen, musste sich zwangsläufig von der Art und Weise unterscheiden, wie dies bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts gehandhabt wurde. Grundsätzliches Merkmal einer modifizierten Herangehensweise war das Ziel, das vielfältig verflochtene, jedoch gesetzmäßig geordnete Wirkungsgefüge der Naturfaktoren, das an verschiedenen Örtlichkeiten in unterschiedlicher und differenzierter Form auftritt, zu analysieren und dabei möglichst quantitativ zu erfassen. Gleichzeitig musste berücksichtigt werden, dass die bis dahin übliche Unterscheidung von Natur- und Kulturlandschaften beim Tempo der Umgestaltung natürlicher Landschaftskomponenten fragwürdig wurde. Aus diesem Grund haben in die Landschaftsforschung Begriffe wie »Landesnatur« oder »Naturraum« Eingang gefunden, wenn es um die Kennzeichnung des natürlichen Dargebotes in der Kulturlandschaft geht. Solche Abbilder von der vollen landschaftlichen Realität, mit denen vorrangig die natürlichen Komponenten und ihre Verflechtungen erfasst werden, sind besonders dann von Wert, wenn – unabhängig

2 Günter Haase und Hans Richter, *Geographische Landschaftsforschung als Beitrag zur Lösung von Landeskultur- und Umweltproblemen* (Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR, 5 N), Berlin 1980, S. 23–51.

von den gegenwärtigen (und historischen) Einflüssen durch die Landschaftsnutzung – die Grundstruktur der natürlichen Verhältnisse und somit auch die eigentliche Leistungsfähigkeit der Landschaft gekennzeichnet werden soll. Zugleich war klargestellt, dass die Analyse der naturräumlichen Sachverhalte keine Rekonstruktion früherer Zustände bedeutet, sondern mit dem neuen Arbeitsansatz eine naturgesetzlich dominierte Teilstruktur erfasst wird, deren anthropogene Überformung nicht außer Acht gelassen ist. Mehr noch als bei der »Kulturlandschaft« sind beim »Naturraum«-Begriff räumliche Aspekte relevant – Merkmale wie Relief, Bodenform, hydrologische Eigenschaften oder Vorrat an organischer Substanz sind dabei von Bedeutung. Nicht ausgewiesen werden, sofern keine außergewöhnlichen Kultureingriffe vorliegen, die durch die aktuelle Nutzung bedingten landschaftlichen Unterschiede innerhalb eines Naturraumes. So wird z. B. eine sandlössbedeckte Grundmoräne im Leipziger Land stets als naturräumliche Einheit abgegrenzt; unabhängig davon, ob Teile dieser Fläche gegenwärtig als Ackerland, Wald oder Siedlungsraum genutzt werden. Dies hat zur Folge, dass in einem Naturraum mehrere Landschaftsräume ausgebildet sein können. Weiterhin ging dieser sich herausbildende Forschungsansatz von der Überlegung aus, dass sich stoffliche Veränderungen in der Natur nach Art und Intensität erfassen lassen, im landschaftlichen Gefüge also ein Haushalt existiert, den man zeitlich und vor allem quantitativ bilanzieren kann. Damit konnten bis dahin erklärende Beschreibungen durch wissenschaftlich exakte Aussagen abgelöst werden. Der komplexe Zusammenhang der beteiligten Naturfaktoren musste hierzu erkannt und möglichst mit Maß und Zahl belegt werden. Einen Meilenstein in der Umsetzung dieser theoretischen Position bedeutete der Versuch von Gerhard Schmidt³, im Einzugsgebiet der Weißen Elster aus verfügbaren Daten Aussagen zum Landschaftshaushalt abzuleiten. Die Unvollkommenheit des Ergebnisses war eine Folge der mangelhaften Datenbasis und führte zu der Einsicht, dass nur großmaßstäbige Studien den Ausgangspunkt für ein solches Ziel bieten können. An der Universität Leipzig (und nach seiner Zuwahl im Jahr 1956 auch an der Sächsischen Akademie der Wissenschaften) förderte Ernst Neef diese Forschungsrichtung und man begann 1954 »kleinere Landschaftskomplexe« in Nordwestsachsen messend und beobachtend zu kontrollieren, um das Normverhalten und Schwankungen oder Extremsituationen für ausgewählte Aspekte des Naturhaushaltes (Bodenwasserregime, Nährstoffvorräte, Verdunstungsgrößen, pflanzensoziologische Ausstattung) zu erfassen. Die Annahme, dass bei dem

3 Gerhard Schmidt, *Der Landschaftshaushalt des Weiße-Elster-Gebietes unter besonderer Berücksichtigung des engeren nordwestsächsischen Raumes*, Habil.-Schrift, Universität Leipzig 1951.

gefundenen Ansatz⁴ stoffliche wie auch energetische Veränderungen nach Art und Intensität erfassbar werden, stützte die Vorstellung, dass im landschaftlichen Komplex ein Haushalt existiert, der überwiegend quantitativ bestimmt werden kann. Diese Einsicht korrespondierte mit dem von Carl Troll (1939) eingeführten Begriff der Landschaftsökologie.

Als Landschaftsökologie galt das Studium des gesamten, in einem bestimmten Landschaftsausschnitt herrschenden komplexen Wirkungsgefüges zwischen den Lebensgemeinschaften und ihren abiotischen Umweltbedingungen, die ihrerseits als ein Mosaik aus verschiedenen Standortbedingungen aufgefasst wurden. Im Unterschied zu dem engeren Ökologie-Konzept der Biologie nach Troll unterschied sich die Vorstellung bei Neef durch die Überlegung, die landschaftsökologische Arbeitsweise nicht allein auf einzelne Organismen oder Populationen im Verhältnis zu ihrem Umfeldkomplex anzuwenden, sondern komplette Landschaftsräume (verschiedener Größenordnung) diesem Prinzip für ihre Erfassung und inhaltliche Kennzeichnung zu unterwerfen. Die Betonung des funktional-ökologischen Herangehens bei der Charakterisierung von Natur- bzw. Landschaftsräumen bestimmte die landschaftsökologische Arbeitsweise. Diese erschien erfolgversprechend, um neue Erkenntniswege zu erschließen sowie durch die quantitativ untersetzte Raumanalyse eine größere Verbindlichkeit und anwendbare Arbeitsergebnisse zu erreichen.

In der Zeit zwischen 1955 und 1980 wurde auf der umrissenen theoretischen Basis ökologischer Landschaftsforschung im mitteldeutschen Raum eine große Anzahl von Regionalstudien zur Analyse des Naturhaushaltes durchgeführt. Modifikationen, die aus Eingriffen der Gesellschaft resultierten, wurden dabei beachtet und letztlich ein Mosaik kleinster, geographisch relevanter und im Stetigkeitsbereich der erhobenen Merkmale als homogen angesehener Areale (sogenannte topische Einheiten) erfasst. Da keine publizierte Bibliographie hierzu vorliegt, muss auf umfassendere Zusammenstellungen solcher Kartierungsleistungen⁵ verwiesen werden. In dem genannten Zeitraum

4 Ernst Neef, Gerhard Schmidt und Magda Lauckner, *Landschaftsökologische Untersuchungen an verschiedenen Physiotopen in Nordwestsachsen* (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. 47, Heft 1), Berlin 1961.

5 Heinz Hubrich, »Arbeiten von Geographen, geographischen Arbeitsgruppen und geographischen Instituten zur Landschaftsökologie und naturräumlichen Gliederung«, in Günter Haase und Hans Richter (Hg.), *Exkursionsführer zum Symposium zu Fragen der naturräumlichen Gliederung*, 27. Sept. – 2. Okt. 1965 in Leipzig, Deutsche Akademie der Wissenschaften, Sektion Geographie, Berlin 1965, S. 11–19; Günter Haase, »Zur Methodik großmaßstäbiger landschaftsökologischer und naturräumlicher Erkundung«, in Wissenschaftliche Abhandlungen der Geographischen Gesellschaft der Deutschen Demokrati-

wurden zugleich methodische Grundsätze einer rationellen Erkundung und Kartierung kleinster Bausteine der Raumstrukturen geklärt, die vor allem bei Ernst Neef⁶, Günter Haase⁷ und Heiner Barsch⁸ ausführlich dargestellt sind.

Die großmaßstäbige Arbeitsweise (1 : 10.000 bis 1 : 25.000) führte zu einer Definition von Grundelementen der Landschaftsstruktur – mit jeweils begrenzter Flächengröße (wenige Hektar) und einem geographisch homogenen Inhalt (unter Berücksichtigung der Gültigkeits- oder Stetigkeitsgrenzen der Leitmerkmale) –, wodurch erstmals die Möglichkeit eröffnet wurde, die Landschaftssphäre, trotz nach wie vor bestehender Schwächen, räumlich objektiv zu strukturieren. Für diese Grundeinheiten konnten weitgehend quantitativ gefasste Merkmalskennzeichnungen zur abiotischen und biotischen Naturausstattung vorgelegt werden. Bei der Analyse größerer Landschaftsräume wurde davon ausgegangen, dass in ihnen stets Verbände oder Mosaik dieser quasi-homogenen naturräumlichen Grundeinheiten vorhanden sind. Die Kennzeichnung größerer Raumeinheiten bedeutete damit jeweils eine Auseinandersetzung mit der inhaltlichen und räumlichen Heterogenität, besonders für Fragen der Landschaftsprozesse. In Anlehnung an Karl Herz⁹ wurde der Übergang vom quasi-homogenen Einzelareal zu einer aus solchen Bausteinen zusammengesetzten großflächigeren Naturraumeinheit verglichen mit der Zunahme der Betrachtungshöhe über der Erdoberfläche. Die Information wird abstrakter, der Verlust an Detailinformation jedoch kompensiert durch den Gewinn an Übersichtsinformationen. Besonders mit Fortschritten bei den messtechnischen Möglichkeiten zur Quantifizierung von Prozessmerkmalen und ersten Ansätzen zur Modellierung stieg der Bedarf an solchen Informationen, die im mittleren Maßstab (1 : 50.000 bis 1 : 200.000) im Zusammenhang mit Planungs- und Nutzungsfragen relevant waren. Großmaßstäbige Detailstudien, nun bei Flächengrößen zwischen 30 und 50 km², konnten in Sachsen für alle wesentlichen Naturregionen, d. h. vom Tiefland über das Lösshügelland bis in die

schen Republik, Bd. 5, Berlin 1967, S. 35–128; Karl Mannsfeld, »Etappen und Ergebnisse landschaftsökologischer Forschung in Sachsen«, in Institut für Geographie der Technischen Universität Dresden (Hg.), *Dresdner Geographische Beiträge*, Heft 1, S. 3–21.

6 Ernst Neef, »Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 107/4 (1963), S. 249–259.

7 Günter Haase, »Landschaftsökologische Detailuntersuchung und naturräumliche Gliederung«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 108/Heft 1/2 (1964), S. 8–30.

8 Heiner Barsch, *Einführung in die Landschaftsökologie* (Lehrmaterial zur Ausbildung von Diplomfachlehrern Geographie), hg. von der Pädagogischen Hochschule Potsdam, Potsdam 1988.

9 Karl Herz, »Beitrag zur Theorie der landschaftsanalytischen Maßstabbereiche«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 117/2 (1973), S. 91–96.

Bergländer, bearbeitet werden. Die wichtigsten wurden von Karl Herz¹⁰, Magda Lauckner¹¹, Heinz Hubrich¹², Arnd Bernhardt¹³, Rudolf Krönert¹⁴, Konrad Billwitz¹⁵, Rolf Schmidt¹⁶, Wolfgang Kaulfuß¹⁷, Manfred Kramer¹⁸, dem Verfasser¹⁹, Ingrid Schmidt²⁰ und Eberhard Sandner²¹ vorgelegt. Letztlich waren dies die Grundlagen für ein Jahrzehnte später vom Freistaat Sachsen gefördertes Landeskartenwerk im Maßstab 1 : 50.000 für das gesamte Territorium des Bundeslandes. Das Projekt »Naturräume und Naturraumpotentiale des Freistaates Sachsen im Maßstab 1 : 50.000 als Grundlage für die Landesentwicklung und Regionalplanung« (bearbeitet zwischen 1994 und 2001 von der Dresdner Forschungsgruppe »Naturhaushalt und Gebietscharakter« der Sächsischen Aka-

10 Günter Haase, *Landschaftsökologische Untersuchungen im Nordwest-Lausitzer Berg- und Hügelland*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1961.

11 Magda Lauckner, *Die ökologische Catena im Gebiet des Eibenstocker Turmalin-Granites*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1961.

12 Heinz Hubrich, *Landschaftsökologische Untersuchungen im Übergangsbereich des Nordsächsischen Flachlandes und der Sächsischen Gefildezone*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1965.

13 Arnd Bernhardt, *Beschaffenheit und Genese des Substrates und der Böden als bestimmendes Element des Landschaftshaushaltes im sächsisch-thüringischen Hügelland*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1965.

14 Rudolf Krönert, *Über die Anwendung landschaftsökologischer Untersuchungen in der Landwirtschaft*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1967.

15 Konrad Billwitz, *Die Physiotope des Lössgebietes östlich Grimma und seines nördlichen Vorlandes in ihren Beziehungen zur Bodennutzung*, Dissertation, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig 1968.

16 Rolf Schmidt, *Landschaftsökologisches Mosaik und naturräumliches Gefüge in der nördlichen Großenhainer Pflege*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Institut für Geographie, Dresden 1965.

17 Wolfgang Kaulfuß, *Untersuchungen der Lockermaterialdecke im unteren Osterzgebirge*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1970.

18 Manfred Kramer, *Hanggestaltung und Physiotopegefüge im Mittelsächsischen Lößgebiet*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1971.

19 Karl Mannsfeld, *Landschaftsökologie und ökonomische Wertung der Westlausitzer Platte*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1971.

20 Ingrid Schmidt, *Landschaftsökologische Untersuchungen am Ostrande des Lausitzer Berglandes*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1970.

21 Eberhard Sandner, *Beitrag zur naturräumlichen Erkundung und Ordnung des Oberen Vogtlandes*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1974.

demie der Wissenschaften zu Leipzig) zeichnet sich neben einer Gliederung des Landes in rd. 1460 Bezugsseinheiten (sogenannte Mikrogeochoren) durch ein zugehöriges Geoinformationssystem aus, das für jede Kartierungseinheit eine mehrseitige Datendokumentation zu Geologie, Klima, Relief, Boden, Wasserhaushalt, Vegetation, Landnutzung, Schutzgebieten und Biotopen enthält. Das Bearbeitungskonzept sowie die Ergebnisse wurden im Zwischen- und im Abschlussbericht dokumentiert.²² Die Naturraumkarte des Landes ist hier mehr als nur ein räumliches Gliederungsbild. Ihre Inhalte sollen beispielsweise in Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, der Landschaftspflege sowie im Umwelt- und Naturschutz aber auch in der Landes- oder Heimatkunde sowie in der Umweltbildung, dem Fremdenverkehr oder im Regionalmarketing Anwendung finden. Die Raumeinheiten haben zugleich in den fünf sächsischen Regionalplänen und einschlägigen Fachplanungen als Bezugsareale Eingang gefunden und sind Grundlage für das Landschaftsprogramm des Landesentwicklungsplanes.

3. Zur Ergebnistransformation in die gesellschaftliche Praxis

Eine grundsätzliche Frage bei der Erfassung landschaftlicher Raumstrukturen mit dem Landschaftsökologiekonzept betraf das Verhältnis von Naturfaktoren und -prozessen zu gesellschaftlichen Prozessen, wie es sich in den reellen Strukturen des Territoriums widerspiegelt. Damit war von Beginn an die Frage nach der Leistungsfähigkeit natürlicher Strukturen für die Erfüllung gesellschaftlicher Zielstellungen verbunden. Im Gedankengebäude der Landschaftsforschung moderner Prägung war beispielsweise der später als Konzept der Natur(raum)potentiale²³ bezeichnete methodische Ansatz fest verankert. Dieser wurde zunächst nach Neef²⁴ als eine Präsentation natürlicher Einflussfaktoren verstanden, bei der das Leistungsvermögen eines Naturraumes für wirtschaftliche Bedürfnisse im Vordergrund steht (»Transformationsproblem«). Bereits

22 Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (Hg.), *Naturräume und Naturraumpotentiale des Freistaates Sachsen* (Materialien zur Landesentwicklung 2), Dresden 1997; Günter Haase und Karl Mannsfeld (Hg.), *Naturraumeinheiten, Landschaftsfunktionen und Leitbilder am Beispiel von Sachsen* (Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 250), Flensburg 2002.

23 Günter Haase, »Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotentialen«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 122/2 (1978), S. 113–125.

24 Ernst Neef, »Der Stoffwechsel zwischen Gesellschaft und Natur als geographisches Problem«, in *Geographische Rundschau* 21 (1969), S. 453–459.

weit früher hatte Neef²⁵ zur Absicht praxisnaher, angewandter physio-geographischer Arbeit ausgeführt: »Liegt das Ziel geographischer Forschung darin, dass wir die Mannigfaltigkeit systematisch ordnen oder eine Einteilung der Erdoberfläche nach räumlichen Gesichtspunkten vornehmen? Doch keineswegs. Alles das sind notwendige Hilfsmittel, aber doch nicht mehr als methodische Hilfsmittel für die eigentliche Aufgabe, das Wesen der geographischen Wirklichkeit von Ort zu Ort feststellen zu können. Damit erst bekommen wir Einsicht in die mannigfaltigen gesetzmäßigen Zusammenhänge und damit erst wird die geographische Wissenschaft auch die praktischen Bedürfnisse befriedigen, die die Gesellschaft nun einmal an die Wissenschaft stellt und stellen muss«. Einige Beispiele für die Umsetzung dieser Zielstellung sollen kurz vorgestellt werden.

3.1. Agrarökologische Kartierungen

Vor diesem theoretischen Hintergrund wurden bereits in den 60er Jahren zahlreiche großmaßstäbige landschaftsökologische Studien z. B. für eine Anwendung gewonnener Erkenntnisse in der landwirtschaftlichen Praxis durchgeführt. Konzeptionelle Vorarbeiten für eine agrarökologische Kartierung des gesamten ostdeutschen Gebietes wurden aus den flächenkonkreten Hinweisen auf Störareale, Inhomogenitäten und andere Abweichungen innerhalb bodenkundlicher Normareale oder von Variationen der Oberflächengestalt sowie erkannter Gunst von Standorten für hohe Ertragsleistungen u. ä. abgeleitet.²⁶ Gestützt auf eine weitgehend ausgereifte Methodik zur Erfassung des Standortinventars wurde daraus die Ausgrenzung »agrarökologischer Leistungstypen« vorbereitet. Diese modifizierte räumliche Darstellung beabsichtigte, durch Aggregierung oder auch Teilung von Grundeinheiten Vorschläge für eine optimale Nutzung natürlicher Voraussetzungen für hohe und ressourcenschonende Ertragsleistungen abzuleiten. Allein aus der Vermeidung unzumutbarer Aufwendungen für nicht standortgerechte Kulturartenwahl, falsch bemessenen Düngemiteleinsetzes oder unterbleibender Anpassung der Schlägeinteilung an

25 Ernst Neef, »Einige Grundfragen der Landschaftsforschung«, in *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig*, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe, 5 (1955/56), S. 531–541.

26 Ernst Neef, Günter Haase und Rolf Schmidt, *Ausarbeitung einer Methodik für eine großmaßstäbige agrarökologische Erkundung*, Manuskript, Technische Universität Dresden, Institut für Geographie, Dresden 1965; Günter Haase, »Inhalt und Methodik einer umfassenden Standortkartierung auf der Grundlage landschaftsökologischer Untersuchungen«, in *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen Instituts für Länderkunde*, Neue Folge 25/26, Leipzig 1968, S. 309–349.

natürliche Gegebenheiten u. a. wäre eine solche landesweite Kartierung durchaus von erheblichem wirtschaftlichem Nutzen gewesen. Das Institut für Geographie der TU Dresden wurde auf der Basis der o. g. Projektarbeit 1965 sogar zum Leitinstitut für das Thema befördert, doch das Vorhaben kam, vorrangig aus finanziellen Gründen, nicht zustande. Erst 15 Jahre später wurde durch das Forschungszentrum Müncheberg (Bereich Bodenkunde Eberswalde) eine mittel- bis kleinmaßstäbige Variante zur Durchführung gebracht, die aber nur ein begrenztes Informationspotential für die agrarische Praxis besitzt.

3.2. Ansätze zur Prozessforschung bis 1990

Am Ende der 70er Jahre wandte sich das Forschungsinteresse der vertieften Betrachtung prozessualer Eigenschaften in den Naturräumen zu, die in der vorherigen Phase auch auf Grund notwendiger, aber fehlender technischer Voraussetzungen zu kurz gekommen war. Es entwickelte sich ein Ansatz in der ökologischen Landschaftsforschung, der mit dem von Neumeister gewählten Begriff der »physisch-geographischen Prozessforschung«²⁷ umrissen werden kann. Besonderer Wert kam der Einsicht zu, dass elementare natürliche Prozesse (u. a. Auftreffen eines Regentropfens auf die Bodenoberfläche, Reaktion von Bodenlösungen, Photosynthese) erst den Rang landschaftlicher Prozesse erlangen, wenn sie sich miteinander verflechten und quantitativ bestimmbare Formen wie Abflussbildungs- und -konzentrationsprozesse oder Bodenbildungsprozesse entstehen. Die damit verbundenen Umsatzprozesse, Kreisläufe und Austauschvorgänge eröffnen die Möglichkeit, Bilanzierungen vorzunehmen, die den Zusammenhang zwischen Raum, Zeit und Eigenschaften verdeutlichen. Insofern will die Prozessforschung nicht nur einzelne Prozessglieder erkennen und aufklären, sondern es interessiert zugleich, wie die über o. g. Prozesse realisierten Leistungen der Landschaft (biotische Stoffproduktion, Selbstreinigungsvermögen der Gewässer, Biodiversität usw.) im gesellschaftlichen Interesse, einschließlich der entsprechenden Grenzen, einerseits bestimmbar und andererseits beeinflussbar sind. Eingang in diesen Forschungsansatz fanden auch methodisch-theoretische Neuerungen wie die des allgemeinen Modells des Geosystems²⁸ oder des Stockwerks- und Schichtmodells²⁹ als Basis für gezielte Unter-

27 Hans Neumeister, »Zur Theorie und zu Aufgaben in der physisch-geographischen Prozessforschung«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 122/1 (1978), S. 1–11.

28 Hans Richter, »Beitrag zum Modell des Geokomplexes«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Ergänzungsheft 271, Gotha/Leipzig 1968, S. 39–48.

29 Hans Neumeister, »Das Schichtkonzept und einfache Algorithmen zur Vertikal-

suchungen zur Quantifizierung stofflicher Transformationsprozesse in den Landschaftsräumen. Die Beziehungen zwischen dem Raumstrukturcharakter und gesellschaftlichen Eingriffen durch Nutzungsvorgänge wurde mithilfe von Prozessanalysen sichtbar gemacht.³⁰ Einerseits handelte es sich um gezielte Interpretationen von Untersuchungsergebnissen für Fragestellungen der Praxis und andererseits um direkte Forschungsprojekte zur Aufklärung von Stoffbewegungen und -kreisläufen. Als besonders gelungene Beispiele aus der Zeit bis 1990 können genannt werden: Beiträge für eine zweckbezogene Interpretation der Landschaftsdynamik zum Abflusskonzentrationsprozess bei Hochwassersituationen im Erzgebirge,³¹ zur Bodenerosion im Mittelsächsischen Lössgebiet³² oder zum komplizierten Prozessgefüge in einem neu eingerichteten großflächigen Obstanbaugebiet.³³ Darüber hinaus wurden besonders am Leipziger Akademieinstitut für Geographie und Geoökologie konkrete Vorhaben zum Zusammenhang zwischen den Raumstrukturen und Auswirkungen gesellschaftlich bedingter Landschaftsprozesse verfolgt. Schwerpunkte bildeten Einflüsse von Luftverunreinigungen (Bitterfelder Braunkohlerevier) auf Wachstumsvorgänge der Kulturpflanzen und die Bodenfruchtbarkeit³⁴ sowie

verknüpfung von Schichten in der Physischen Geographie«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 123/2 (1979), S. 19–23; Hans Richter, *Naturräumliche Stockwerksgliederung* (Potsdamer Forschungen, Wissenschaftliche Schriftenreihe, Reihe B, Bd. 15), Potsdam 1980, S. 141–149.

30 Ernst Neef u. a., *Analyse und Prognose von Nebenwirkungen gesellschaftlicher Aktivitäten im Naturraum* (Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. 54, Heft 1), Berlin 1979.

31 Hellmuth Barthel, Karl Mannsfeld und Eberhard Sandner, »Flächen gleicher Abflussbereitschaft bei sommerlichen Starkregen (dargestellt am Einzugsgebiet der Flöha im Erzgebirge)«, in *Petermanns Geographische Mitteilungen* 117/2 (1973), S. 107–116.

32 Manfred Kramer, *Bodenerosion und Flurordnung im mittelsächsischen Lössgebiet* (Wissenschaftliche Abhandlungen der Geographischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik, Bd. 15), Leipzig 1981, S. 211–220.

33 Arnd Bernhardt, »Intensivobstanlagen und ihre Nachbarschaftswirkungen aus wasserwirtschaftlicher Sicht«, in Dieter Graf (Hg.), *Ökonomie und Ökologie der Naturnutzung*, Jena 1984, S. 172–183.

34 Christine Nagel und Christa Franke, »Darstellung von Pflanze-Bodenbeziehungen in Immissionsgebieten am Beispiel einiger Schwermetalle«, in *Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR*, Heft 11, Leipzig 1984, S. 83–90; Hans Neumeister, »Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor«, in *Geoökodynamik* 12 (1991), S. 1–40; Christine Nagel u. a., »Atmosphärische Stoffeinträge und ihre Wirkungen auf den Naturraum«, in Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (Hg.), *Ausgewählte geoökologische Entwicklungsbedingungen Nordwestsachsens (ehemaliger Bezirk Leipzig)*, Leipzig 1991, S. 229–340.

die Auswirkungen der agrarischen Praxis, z. B. auf den Stickstoffhaushalt, und die daraus resultierenden Gewässerbelastungen,³⁵ die in kleinflächigen Testgebieten untersucht wurden.

3.3. Beiträge zur Prozessforschung nach 1990

3.3.1. Erfassung und Modellierung der Stickstoffverlagerung

Durch fortschreitende Nutzungsintensivierung, vor allem in der Landwirtschaft, sind Böden und Gewässer seit mehreren Jahrzehnten hohen stofflichen Belastungen ausgesetzt. Der Schutz von Grund- und Oberflächenwasser vor Stoffeinträgen hat sowohl die langfristige Sicherung für eine wirtschaftliche Nutzung als auch den dauerhaften Erhalt der aquatischen Ökosysteme sowie der Bodenfruchtbarkeit zum Ziel. Eine der wesentlichen Aufgaben besteht dabei in der dringend notwendigen Verminderung des Eintrags der Pflanzennährstoffe Phosphor und Stickstoff in nachteiligen Konzentrationen.

Schon vor der Wiedervereinigung hatte die ökologische Landschaftsforschung in Ostdeutschland begonnen nachzuweisen, dass undifferenziert hohe Düngergaben, verstärkte Bodenerosion und andere Einflussfaktoren beim Ziel maximaler Erträge auf Dauer zu Schäden am Boden und in den Gewässern führen können (vgl. Fn. 35). Andererseits setzte sich später die Tendenz durch, Prozesszusammenhänge nicht nur auf Einzelschlägen oder in Kleinstzugsgebieten zu erforschen, sondern mittelmaßstäbig (z. T. mit großmaßstäbigen »Messfenstern«) größere Flusseinzugsgebiete zu analysieren und den Stoffumsatz zu quantifizieren.³⁶ Besonders am wieder eröffneten Geographischen

35 Wolfgang Gerds, *Der sickerwassergebundene Stoffumsatz in zwei Agroökosystemen und seine zeitliche Variabilität*, Dissertation, Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR, Leipzig 1983; Wolfgang Gerds und Norbert Hansel, »Zur Kontrolle der flächenhaften Gewässerbelastungen infolge atmosphärischen Stoffeintrages und durch die Landwirtschaft mittels Drainagemessfeldern«, in *Acta hydrophysica* 31/Heft 3/4 (1987), S. 239–250; Wolfgang Gerds u. a., »Potentielle Trinkwassergefährdung durch landwirtschaftliche Pflanzenproduktion am Beispiel eines Lössstandortes«, in *Wissenschaftliche Mitteilungen* (Fn. 34), Heft 28, Leipzig 1988, S. 47–70; Hans Neumeister, Udo Jäger und Wolfgang Gerds, »Zur Erfassung von Stickstoff als Komponenten des Stoffkreislaufes in der Agrarlandschaft«, in ebd., Heft 17, Leipzig 1986, S. 75–83; Karl-Heinz Arnold, *Nährstoffeintrag aus landwirtschaftliche genutzten Flächen in die Gewässer*, Dissertation. Technische Universität Dresden, Fakultät Bau, Wasser, Forst, Dresden 1971.

36 Eberhard Sandner, Karl Mannsfeld und Joachim Bieler, *Analyse und Bewertung der potentiellen Stickstoffauswaschung im Einzugsgebiet der Großen Röder* (Abhandlungen der

Institut der TU Dresden (Lehrstuhl Landschaftslehre/Geoökologie) wurden derartige Forschungen im Sinne angewandter Landschaftsökologie fortgeführt, zumal die Gültigkeit strenger Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes auch verstärkte Anstrengungen zum Schutz von Boden und Gewässern erforderte. So waren nun Gewässerbewirtschaftungspläne vorgeschrieben, deren Ziele und Maßnahmen jedoch auf konkreten Untersuchungen oder belastbaren Modellrechnungen basieren mussten.³⁷ Zunächst zwischen 1994 und 1998 liefen umfangreiche Forschungsarbeiten in den Flussgebieten der Großen Röder und des Schwarzen Schöps.³⁸ Darauf aufbauend konnten später validierte Modellkonzepte zur Übertragung auf andere Flussgebiete abgeleitet werden. Aus verschiedenen Ansätzen schälte sich insbesondere das Modell *Stoffbilanz* heraus, mit dem flussgebietspezifisch diffuse Sediment- und Nährstoffverlagerungen aus der Fläche in das ober- und unterirdische Gewässersystem ermittelt und quantifiziert werden konnten.³⁹ Die wesentlichen Modellelemente sind die naturraum- und nutzungsspezifischen Quellen, Pfade und Senken der Nährstoffe sowie die Aggregation unterschiedlicher Raumebenen, z. B. für Grundwasser- oder Oberflächenwasserkörper. Die ständige Verbesserung des Modellansatzes führte zu einer ausgedehnten Anwendung, sodass sich dieses Verfahren zur Beurteilung der prozessualen Zusammenhänge des Stickstoffhaushaltes inzwischen auch in anderen Bundesländern (z. B. Baden-Württemberg, Rhein-

Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. 58, Heft 1), Berlin 1993.

37 Wolfgang Kaulfuß, Manfred Kramer und Karl Mannsfeld, »Beiträge geographischer Landschaftsanalyse zu Musterbewirtschaftungsplänen für Flusseinzugsgebiete – Große Röder«, in *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 45/1 (1996), S. 67–72.

38 Karl Mannsfeld u. a., »Methoden zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in Gewässer – Beispielsbearbeitungen in den Flussgebieten Große Röder und Schwarzer Schöps«, in Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hg.), *Materialien zur Wasserwirtschaft*, Dresden 1998.

39 Michael Gebel, Karl Mannsfeld und Karsten Grunewald, »Modellierung von Stickstoffeinträgen in Oberflächengewässer – dargestellt am Flusseinzugsgebiet Große Röder (Sachsen)«, in *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 46/3 (1998), S. 95–100; Karsten Grunewald und Michael Gebel, *Stoffhaushaltliche Untersuchungen in kleinen Einzugsgebieten im unteren Berg- und Hügelland bzw. pleistozän bestimmten Tiefland Sachsens* (Dresdner Geographische Beiträge, Heft 3), Dresden 1999; Michael Gebel, *Entwicklung und Anwendung des Modells N-BILANZ zur Quantifizierung von Stickstoffeinträgen in mesoskaligen Flusseinzugsgebieten* (Dresdner Geographische Beiträge, Heft 6), Dresden 2000; Karl Mannsfeld, *Raumstruktur und Stoffhaushalt – Beiträge zur Modellierung der Stickstoffauswaschung* (Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. 128, Heft 1), Stuttgart/Leipzig 2000.

land-Pfalz, Niedersachsen) etabliert hat.⁴⁰ Das entwickelte Modell besitzt eine für den mittelmaßstäbigen Anwendungsbereich plausible Aussagegenauigkeit für den Nährstoffeintrag in die Oberflächengewässer. Die modellierten Immissionsfrachten im Vergleich zu stichprobenhaften Pegelmessdaten ergeben eine überwiegend enge Übereinstimmung.

Die umfangreichen Vorarbeiten bis zum Jahre 2000 sowie neuere Ergebnisse auf der Grundlage ständiger Modellqualifizierung konnten zu einem »Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer« verdichtet und entwickelt werden, den die Fachbehörde des sächsischen Umweltministeriums (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) im Jahre 2009 als Demonstrationsbeispiel angewandter ökologischer Landschaftsforschung in Kooperation zwischen universitärer Forschung und der Fachebene der Landesverwaltung veröffentlichte.⁴¹ Einige Ergebnisse daraus sollen exemplarisch die Bedeutung dieser Arbeiten verdeutlichen.

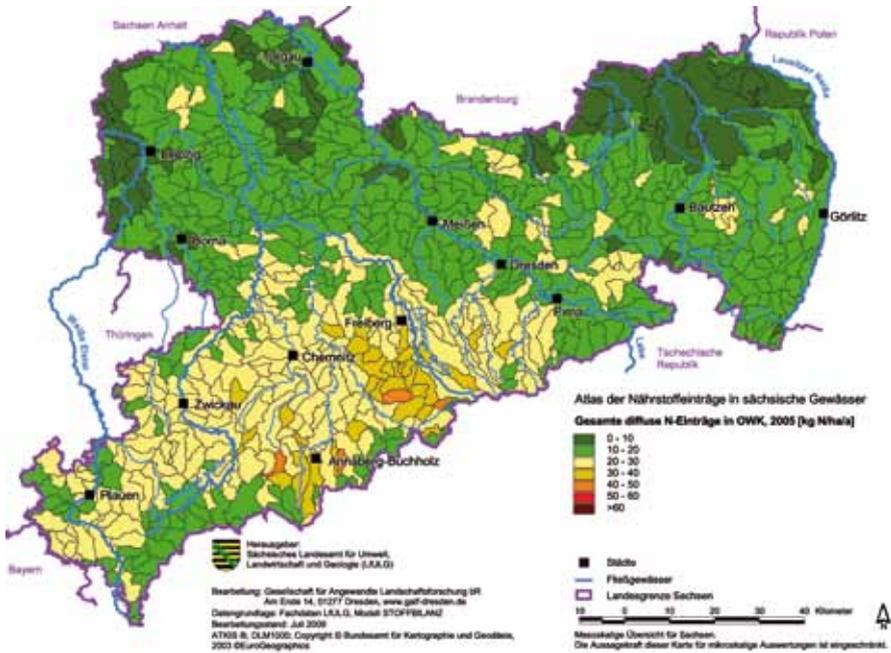


Abb. 1: Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer (Fn. 41), N-Einträge.

40 Michael Gebel u. a., »Modellierung diffuser Stickstoffeinträge in die Grundwasserkörper des Freistaates Sachsen«, in *Beiträge zur Hydrogeologie*, Bd. 56, Graz 2008, S. 170–174.

41 Stefan Halbfaß u. a., *Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer*, hg. vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden 2009.

Betrag für das Gebiet des Freistaates Sachsen die jährliche Summe aller Stickstoffeinträge (punktuelle und diffuse Quellen) in die Oberflächengewässer im Jahre 2000 noch rd. 45.000 t, so sind diese zum Zeitpunkt 2005 auf rd. 38.000 t zurückgegangen. Zugleich bestätigen die Berechnungen, dass der Anteil diffuser Stoffeinträge bei Stickstoff ca. 85 % beträgt (also rd. 39.000 bzw. 33.000 t), während die Herkunftsquellen zu etwa 48 % auf die Ackerflächen, zu 16 % auf den Nadelwald und zu knapp 13 % auf den Siedlungsbereich entfallen. Der Anteil des Rückganges aus diffusen Quellen war danach in Bezug auf den Fünffahresabstand doppelt so hoch wie die Belastungen aus Kläranlagen. Mit dem Atlas konnte ein wichtiger modellbasierter Baustein für die Beurteilung der Maßnahmen zur Verminderung von Stickstoffeinträgen vorgelegt werden, der vor allem den notwendigen Folgemaßnahmen zur Einhaltung der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL) eine inhaltliche wie räumliche Basis gibt.⁴²

3.3.2. Erfassung und Modellierung der Phosphorverlagerung

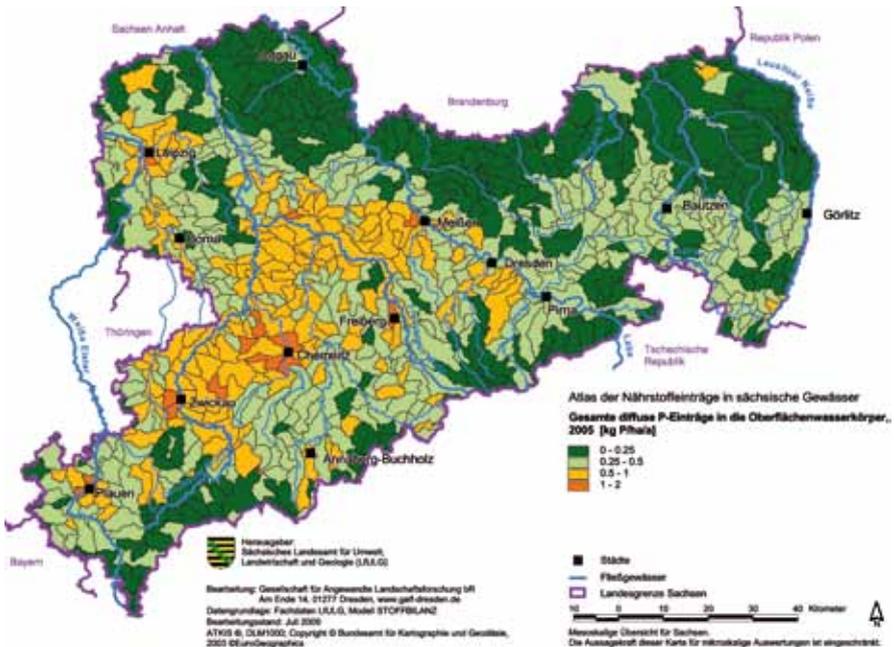


Abb. 2: Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer (Fn. 41), P-Einträge.

42 Karsten Grunewald u. a., »Nährstoffmodellierung zur Aufstellung der Maßnahme-programme nach WRRL in Sachsen«, in *Wasser und Abfall* 3 (2008), S. 15–19.

Neben den Stickstoffbelastungen ist auch der hohe Anteil gelöster Phosphorverbindungen im Oberflächenwasser, bevorzugt durch Einträge aus diffusen Quellen, ein Problem bei den Anstrengungen zur Gewässerreinigung. Die von Natur aus geringen P-Gehalte in Boden und Gewässer wurden in den vergangenen Jahrzehnten durch Düngungsgewohnheiten und schädliche Formen der Abfallentsorgung sehr stark erhöht, sodass in unseren landwirtschaftlich genutzten Böden bzw. in Gewässersedimenten Phosphor erheblich angereichert worden ist. Zur Verbesserung der Situation ist neben betriebswirtschaftlichen Maßnahmen vor allem der P-Transfer vom Boden in die Gewässer gründlicher zu analysieren. Auch hier war zur Aufdeckung diffuser Quellen für Nährstoffeinträge ein ähnlicher Erfassungsansatz im mittleren Maßstab wie bei der Erfassung von Stickstoffeinträgen notwendig. Da nach 1990 die Errichtung funktionsfähiger Kläranlagen zu einer deutlichen Reduzierung der direkten Phosphoremissionen in die Flüsse geführt hat, sind die wesentlichen Quellen der Belastung bei den diffusen Phosphoreinträgen zu suchen.

Den eindeutigen räumlichen Schwerpunkt dafür bildet das sächsische Lösshügelland (um 50 % Anteil an der naturräumlichen Ausstattung) aufgrund der dort gehäuften Erosionsvorgänge mit der Dominanz partikelgebundener Phosphor-Verlagerung. Gebiete in der Naturregion des Tieflandes mit dominierenden sandigen Substraten bleiben dagegen mit 10–12 % deutlich in ihrer Wirksamkeit zurück. Innerhalb dieser Quellensituation halten sich Acker- und Grünland einerseits (ca. 28 %) sowie Siedlungsbereiche mit hohen Frachtleistungen (ca. 27,5 %) die Waage. Sowohl die Modellierungsergebnisse als auch einzelne Immissionsmessungen bestätigen auch bei Phosphor einen abnehmenden Eintragstrend. So reduzierten sich die Gewässerbelastungen zwischen den Jahren 2000 und 2005 um rund 10 % (125 t). Allerdings muss daran erinnert werden, dass 40 % der Gewässerbelastungen weiterhin aus Direkteinleitungen und aus Kläranlagen stammen. Zur weiteren Schärfung der Genauigkeit modellierter Einträge mit einzelnen Messungen wurde im Modell *Stoffbilanz* das Modul für den Phosphor weiter verbessert. Schwerpunkt bleibt die Simulation landschaftlicher Prozesse, die durch den Eintrag partikulär gebundenen Phosphors (vorrangig durch Bodenerosion bzw. aus Dränagesystemen) sowie gelöster Phosphorverbindungen (durch Oberflächen- oder Zwischenabfluss) in Gang gesetzt werden. Eine spezielle Studie⁴³ konzentrierte

43 Stefan Halbfass, *Entwicklung eines GIS-gestützten Modells zur Quantifizierung diffuser Phosphoreinträge in Oberflächengewässer im mittleren Maßstab unter Berücksichtigung geökologisch wirksamer Raumstrukturen* (Beiträge zur Landschaftsforschung, Bd. 1), Berlin 2005.

sich zusätzlich auf die Bestimmung von Flächen, die unmittelbar oder nur partiell an ein Vorflutsystem angebunden sind. Die Herausarbeitung von sogenannten Sedimenthauptlieferflächen war der entscheidende Ansatz zur Aufhellung des komplizierten Prozessgeschehens, denn Gewässernähe kann nicht mit hauptsächlichen Lieferbereichen gleichgesetzt werden. Flächen mit hohen Bodenabtragsraten sind nicht zwangsläufig Flächen höchster Sedimenteinträge und damit Zulieferflächen für partikulär gebundenen Phosphor, sondern solche, die direkten Anschluss zum Vorfluter haben und über keine Sedimentensenken (u. a. Trassen, Flurelemente, Nutzungsartengrenze, Dellen) verfügen.⁴⁴ In Testgebieten (u. a. Talsperre Bautzen; Talsperre Saidenbach; Jahna-Einzugsgebiet) konnte ermittelt werden, dass auf solchen Hauptlieferflächen im Einzugsgebiet zwischen 60 und 75 % der Phosphoreinträge zu verzeichnen sind. Der mittlere Bodenabtrag im Ackerland der Lössregion beträgt hier auch mit ca. 4–6 t ha/Jahr mehr als das Doppelte des Landesdurchschnittes. Die Bearbeitungsergebnisse zur Bilanzierung der Phosphoreinträge sind eingeflossen in die Kartendarstellungen im Atlas der Nährstoffeinträge. In den Gebieten mit hoher natürlicher Disposition zur Bodenerosion kann mithilfe der gewonnenen Forschungsergebnisse eine gezielte Minderung der beschriebenen Belastungsquellen erreicht werden.

3.3.3. Erfassung und Modellierung von Huminstoffeinträgen

Nach jahrzehntelangen Schwefeldioxidimmissionen durch die energetische Nutzung von Braunkohle mit den bekannten Folgen großflächiger Waldschäden in weiten Teilen Mittel- und Ostmitteleuropas, zeigte sich in den frühen 90er Jahren, als sich die Emissionssituation gegenüber dem vorherigen Zeitraum drastisch verbesserte, in den Mittelgebirgen Zentraleuropas ein anderes, ein neues Schadphänomen, das über das System »Pflanze–Boden–Gewässer« sichtbar wurde. Es handelt sich um die Tendenz eines verstärkten Huminstoffeintrages in die Oberflächengewässer. Da beispielsweise in Sachsen der Anteil der öffentlichen Wasserversorgung zu über 40 % aus Talsperren und Speichern realisiert wird (regional, wie etwa im Erzgebirge, sogar bis zu 70 %), stellt diese erhöhte Konzentration gelösten organischen Kohlenstoffs in den Talsperrenzuflüssen ein erhebliches Problem für die Rohwasserqualität dar – was hohe Aufbereitungskosten zur Folge hat.

⁴⁴ Stefan Halbfaß und Karsten Grunewald, »Abschätzung potentieller Herkunftsflächen von erosionsbedingten Stoffeinträgen in Oberflächengewässer im mittleren Maßstab«, in *Wasserwirtschaft* 12 (2006), S. 28–32.

Die hochmolekularen Substanzen, die gegen Mineralisation stabilisiert sind, haben eine hohe Verweilzeit im Boden, während ein Teil der festen organischen Substanz mobilisiert werden kann und im Sickerwasser als gelöste organische Substanz auftritt. Der überwiegende Teil der Huminstoffe in den Oberflächengewässern ist allochthonen Ursprungs, sodass die Ausstattung der Einzugsgebiete hinsichtlich des Mobilisierungspotentials entscheidend ist. Dennoch war der plötzliche Anstieg hoher Huminstoffkonzentrationen (vor allem in Gebieten, die vorher anhaltend hohen Schwefeldioxid- oder auch Flourkonzentrationen in der Luft ausgesetzt waren) ein überraschender Prozess. Deshalb waren Forschungsprojekte erforderlich, die den Ursachen und Wirkungszusammenhängen auf die Spur kommen sollten. An derartigen Studien war, wie beim Stickstoff- und Phosphorproblem, das Institut für Geographie, Lehrstuhl Landschaftslehre/ Geoökologie, beteiligt. In Kooperation mit der Landestalsperrenverwaltung, dem regionalen Wasserversorger (Fernwasserzweckverband Südsachsen) sowie tschechischen Partnern der Technischen Universität Prag wurden zum Huminstoffproblem zwischen 2001 und 2004 wichtige Forschungsprojekte realisiert. Die komplexen Ökosystemstudien in verschiedenen Talsperreneinzugsgebieten des Erzgebirges – u. a. Rauschenbach, Flaje, Muldenberg, Carlsfeld – widmeten sich vor allem den entscheidenden Einflussgrößen: den Versauerungstendenzen im Boden als Folge jahrelanger Luftschadstoffdeposition und aktuell gleichzeitigem Anstieg des pH-Wertes der Niederschläge und Kalkungsmaßnahmen aus der Luft; der Zunahme von NO_x-Einträgen; der Auflichtung von Waldbeständen mit Vergrasung und Humusabbau; der Wiedervernässung von degradierten Moor- und Anmoorstandorten sowie den Klimawandeleinflüssen in Gestalt zunehmender Erwärmungstendenzen und der Zunahme von Extremereignissen oder reduzierten Abflüssen.

Aus den Forschungsprojekten ergab sich ein tragfähiges Fundament für die Analyse und Bewertung dieses neuartigen Phänomens landschaftlicher Prozesse.⁴⁵ Trotzdem blieben die Erkenntnisse gewissermaßen isoliert, da

45 Jörg Scheithauer, *Landschaftshaushaltliche Untersuchungen im Einzugsgebiet des Rauschenbaches (Osterzgebirge) unter besonderer Berücksichtigung von Huminstoffeinträgen in Oberflächengewässer*, Dipl.-Arbeit, Technische Universität Dresden, Institut für Geographie, Dresden 2000; Karsten Grunewald u. a., »Einzugsgebietsbewirtschaftung von Trinkwassertalsperren im Erzgebirge unter dem Aspekt veränderter Huminstoffeinträge«, in *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 1 (2004), S. 265–272; Karsten Grunewald und Wido Schmidt (Hg.), *Problematische Huminstoffeinträge in Oberflächengewässer im Erzgebirge* (Beiträge zur Landschaftsforschung, Bd. 2), Berlin 2005; Jörg Scheithauer, *Umweltwandel im Erzgebirge – eine vergleichende Analyse und Bewertung geoökologischer Prozesse in bewaldeten Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren der oberen Berglagen*, Dissertation, Technische Universität, Institut für Geographie, Dresden 2006.

großmaßstäbige Studien zum Naturhaushalt und den Flächennutzungsstrukturen nur in ausgewählten Teileinzugsgebieten realisierbar waren. Deshalb war der nächste, auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauende Schritt, ein funktionales Modell zu entwickeln, mit dessen Hilfe mittlere monatliche Huminstoffeinträge flächenhaft quantifiziert werden können. Die entsprechende Studie⁴⁶ stellt mit einem entwickelten Huminstoff-Eintragsmodell den vorläufigen Abschluss von Beiträgen der ökologischen Landschaftsforschung zu einem aktuellen stoffhaushaltlichen Phänomen in der Kulturlandschaft dar. Durch diesen Modellansatz konnten Huminstoff-Eintragsprognosen bis zum Jahr 2050 aufgestellt werden, bei denen sich die generelle Tendenz abzeichnet, dass gelöste Kohlenstoff- (DOC-)Konzentrationen um 15 bis 60 % ansteigen werden. Gleichzeitig konnten regionale Unterschiede in Bezug auf die konkreten Frachten herausgearbeitet werden, wonach im Osterzgebirge eine Zunahme von Frachten zu verzeichnen ist, während im Westerzgebirge sich eine abnehmende Frachttendenz abzeichnet, was möglicherweise auch auf Folgen eines vorhergesagten Klimawandels zurückzuführen ist, denn in dem Zeitraum bis 2050 sollen die Abflüsse in diesem Teil des Gebirges um mehr als ein Drittel zurückgehen. Dies wird unter anderem auch durch steigende Verdunstung begründet, doch bei der Bereitstellung von gelöstem Kohlenstoff ist auch auf Sorptionsprozesse in der Bodenmatrix zu achten – und hier liefern die feinerdereichereren Graugneise potentiell mehr DOC als die Granite und Glimmerschiefer des Westerzgebirges. Letztlich schlägt sich der Anteil organischer Nassstandorte stets in den Frachten nieder und bestätigt den Zusammenhang zwischen dem C-Pool eines Einzugsgebietes und dem Austrag von DOC aus der Fläche.

Auch wenn es sich um langjährig modellierte Mittelwerte handelt, denen der gegenwärtige Wissensstand zugrunde liegt, sind die jetzt vorgelegten Ergebnisse ein praxisnaher Beleg für eine anwendungsorientierte Landschaftsforschung. Sie sind zugleich eine solide Basis für sinnvolle Schutz- und Anpassungsmaßnahmen in der Forstwirtschaft, für die Rohwasserbereitstellung sowie die gebietsweise konkurrierenden naturschutzfachlichen Zielstellungen.

46 Dirk Pavlik, *Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Quantifizierung und Prognose von Huminstoffeinträgen in Oberflächengewässer* (Beiträge zur Landschaftsforschung, Bd. 5), Berlin 2007.

4. Fazit

Die Entwicklung der Geographie führte vor ca. 60 Jahren zu dem Grundverständnis, die natürliche und gestaltete Umwelt als ein Wirkungsgefüge von physikalisch-chemischen, biotischen und anthropogenen Faktoren eines Ökosystems aufzufassen und den räumlichen Repräsentanten einer solchen Vorstellung, die (Kultur-)Landschaft, gründlich zu erkunden und zugleich ihre Leistungsfähigkeit und Entwicklungspotentiale zu bestimmen.

Die ökologische Arbeitsweise im Konzept der geographischen Landschaftsforschung, wie sie im mitteldeutschen Raum theoretisch begründet und später erprobt wurde, zeichnete sich neben dem Erkenntnisgewinn zu den in Sachsen vorhandenen Raumstrukturen durch die Entwicklung von methodischen Verfahren (z. B. Modellierungsansätzen) aus, mit deren Hilfe die Landschaftsökologie wichtige Transferleistungen zwischen Wissenschaft und Praxis übernahm.

Für die Kennzeichnung des Leistungsvermögens, mehr noch für die Aufklärung aktueller Landschaftsprozesse, wurden ausgewählte Beispiele vorgestellt, denen der theoretische Ansatz der sogenannten »Leipzig-Dresdner Schule« der Landschaftsökologie zugrunde liegt. Im Zentrum dieser Arbeitsrichtung steht auch zukünftig ein Ziel: die Tragfähigkeit landschaftlicher Strukturen für Nutz-Ökosysteme herauszuarbeiten, um einerseits den von der Natur vorgegebenen Spielraum zur tolerierbaren Inanspruchnahme zu bestimmen sowie andererseits die notwendigen gesellschaftlichen Anstrengungen zur Erhaltung und Sicherung unserer Naturressourcen abzuleiten und zu gewährleisten.