

Thomas MOSIMANN und Rainer DUTTMANN, Hannover

## Die digitale Geoökologische Karte als Ergebnis einer prozeßorientierten Landschaftsanalyse am Beispiel der Nienburger Geest

### 1. Einleitung

Seit 1984 existiert der Arbeitskreis „Geoökologische Karte und Leistungsvermögen des Landschaftshaushaltes“ im Zentralausschuß für deutsche Landeskunde. Wichtige Ergebnisse der Tätigkeit dieses Kreises sind „Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte“ (H. LESER und H. J. KLINK (Hrsg.) 1988) und die „Anleitung zur Bewertung des landschaftshaushaltlichen Leistungsvermögens“ (R. MARKS u. a. (Hrsg.) 1989). Damit wurde eine Konzeption für eine geoökologische Karte auf der Basis einheitlicher Erfassungsstandards und eine darauf abgestimmte praxisgerechte Bewertung von Landschaftshaushaltsfunktionen vorgelegt. Seit 1989 wird diese Konzeption erprobt, unter anderem vor allem von vier DFG-Projekten auf den Blättern Süderstapel (Treene-Eider-Gebiet), Neustadt a. Rbge. (Nienburger Geest), Bad Iburg (Teutoburgerwald) und Pommelsbrunn (Fränkische Alb).

Inzwischen liegt eine Fülle neuer Erfahrungen vor, die auch eine bereits laufende Neubearbeitung der Kartieranleitung verlangen. Die wichtigsten Stoßrichtungen sind eine Ausweitung, Ergänzung und Differenzierung der Erfassungsstandards, eine Neukonzeption der in Zukunft auf Prozessen basierenden Ökotoptklassifikation und der Einsatz von geographischen Informationssystemen. Im folgenden dargestellte Ergebnisse des GÖK-Projektes „Hagen/Neustadt a. Rbge.“, in dessen Rahmen die erste digitale geoökologische Karte entstand, zeigen dies auf.

Die Ergebnisse der geoökologischen Kartierung sind nicht nur methodischer Art, wenn auch die Ausweitung und Verbesserung der Erfassungsstandards für die physische Geographie besondere Bedeutung besitzt. Geoökologische Kartierungen inventarisieren auch in repräsentativer Weise Geoökosysteme bzw. Ökotoptypen einzeln nach Regionen und liefern damit einen landeskundlichen Beitrag zum Verständnis zum Gefüge und Haushalt der Landschaft. Es liegt damit ein regionales Ökotoptinventar vor. Beispiele sind der von S. BRÄKER (1988) vorgestellte Ökotoptkataster oder die in diesem Beitrag vorgestellten Ökotoptabellen (Tab. 3) für die Nienburger Geest.

## 2. Ansatz und Ziele einer geökologischen Raumanalyse mit Hilfe von geographischen Informationssystemen

Eine geökologische Raumanalyse erfaßt topologische Systemgefüge der Landschaft, schätzt wichtige vertikale und horizontale Energie-, Wasser-, Luft- und Stoffumsätze und analysiert laterale Wechselwirkungen zwischen den elementaren Geoökosystemen. Es wird dabei im Einzelfall nicht der vermessene Anspruch einer alles umfassenden Analyse erhoben. Eine Schwerpunktsetzung entsprechend den landschaftsökologisch bedeutsamen Prozeßbedingungen in der jeweils analysierten Landschaft ist legitim. Entscheidend bleibt vielmehr der dahinterstehende geökologische Ansatz, das heißt

- kompartimentsübergreifende Analyse,
- flächendeckende Analyse,
- gleichzeitige Erfassung mehrerer Prozesse und ihrer Verknüpfungen und
- nachvollziehbare Abgrenzung elementarer Geoökosysteme.

Geoökologische Datensätze und Methodenpakete sind sehr umfangreich. Ihre Verarbeitung verlangt deshalb — vor allem, wenn die Stufe der Modellierung erreicht werden soll —, den Einsatz moderner Techniken der Informationsverarbeitung. Die heutigen Möglichkeiten und Vorteile der Verarbeitung von Raumdaten mit Geographischen Informationssystemen (GIS) sind bekannt. Um diese Möglichkeiten aber auch in der Geoökologie und Landschaftsökologie breit zu nutzen, bedarf es jedoch neuer und verbesserter Konzepte, Methoden und Modelle für die geökologische Analyse und Prognose. Eine prozeßorientierte Landschaftsanalyse liefert hierzu wichtige Beiträge.

Eine geökologische Raumanalyse mit Hilfe von GIS läuft auf die Entwicklung eines geökologischen Informationssystems hinaus. Ein solches System hat folgende Ziele:

1. Differenzierte Abbildung der geökologischen Standortbedingungen,
2. flächendeckende Erfassung und Herausarbeitung energie-, wasser- und stoffhaushaltlicher Prozeßzusammenhänge,
3. Darstellung von Prozeßfeldern,
4. Abgrenzung elementarer Geoökosysteme, um Modellrechnungen extrapolierbar zu machen (siehe Kap. 4),
5. Bereitstellung geeigneter und durch Normierung aufeinander abgestimmter Basisdaten und abgeleiteter Daten
  - für die praxisorientierte Schätzung und Bewertung ökologischer Zustände (Funktionen und Gefährdungen),
  - für eine kompartimentübergreifende Zustands- und Wirkungsanalyse (Modellierung).

Am Geographischen Institut der Universität Hannover wurde seit 1990 ein Konzept für ein Geoökologisches Informationssystem entwickelt (R. DUTTMANN 1992; R. DUTTMANN und Th. MOSIMANN 1991). Eine Realisierung in Teilbereichen erfolgte zunächst mit technischer Unterstützung des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung. Dieses Geoökologische Informa-

tionssystem dient der Analyse und Modellierung von Einzelprozessen des Landschaftshaushaltes, der Klassifikation von Geoökosystemen und damit der Erstellung von digitalen geoökologischen Karten und der Bewertung der Funktionen des landschaftshaushaltlichen Leistungsvermögens. Im folgenden wird nach einer theoretischen Einführung zur Abgrenzung von Geoökosystemen auf der Basis einer prozeßorientierten Klassifikation das Geoökologische Informationssystem GOEKIS und die damit erarbeitete digitale Geoökologische Karte vorgestellt. Die möglichen praxisorientierten Auswertungen mit GOEKIS stellt ein anderer Beitrag dar (R. DUTTMANN und Th. MOSIMANN 1992).

### 3. Die prozeßorientierte Klassifikation von Geoökosystemen und Ökotoptypen

Die Erarbeitung einer geoökologischen Karte, die Eigenständigkeit im Rahmen der geowissenschaftlichen Kartenfamilie beanspruchen will, setzt eine Klassifikation der Geoökosysteme voraus. Eine solche Klassifikation erfüllt zudem wichtige normierende Funktionen für einen überregionalen Vergleich (siehe Kap. 4). Klassifikationsansätze in der Landschaftsökologie haben eine lange Geschichte, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Im wesentlichen stützen sich alle früheren Klassifikationsansätze auf statische Merkmale und ganz wenige haushaltliche Eigenschaften, wie Bodenfeuchteregime und einzelne Klimaparameter. Das mit der ersten Fassung der Geoökologischen Kartieranleitung (H. LESER und H. J. KLINK (Hrsg.)) (1988) vorgeschlagene Vorgehen geht durch Einbeziehung mehrerer haushaltlicher Kennwerte einen Schritt weiter. Auch dieses Vorgehen für die Ausscheidung von Ökotopten beruht aber noch auf einem zu statischen Ansatz, berücksichtigt Prozeßbeziehungen mangelhaft, normiert nicht genügend fein und bietet keine klare Hierarchie der Einheiten. Es erwies sich deshalb als zu wenig konsequent und der heute angestrebten funktionalen Betrachtung landschaftlicher Ökosysteme nicht angemessen. Die Entwicklung eines neuen prozeßorientierten Klassifikationssystems drängte sich auf (Th. MOSIMANN 1990). Die folgenden Abschnitte stellen es zusammengefaßt dar.

#### 3.1 Theoretische Grundlagen einer prozeßorientierten Klassifikation

Ökotope sind als Geoökosysteme betrachtete Grundbausteine der Landschaft mit einer innerhalb definierter Grenzen einheitlichen abiotischen und biotischen Struktur (Gestein, Substrat, Bodendecke, Humusform, Pflanzendecke, zugehöriger Zoozönose, Technostrukturen), einheitlichen geoökologischen Prozeßbedingungen sowie typischen Größenordnungen und Richtungen von Energie-, Wasser- und Stoffumsätzen. Ökotope weisen je nach Landschaftstyp und lokalen naturräumlichen Bedingungen eine Größe von wenigen Aren bis wenigen Quadratkilometern auf. Sie bilden in Abhängigkeit von strukturellen Rahmen-

bedingungen einer Landschaft und den zugehörigen Prozeßbeziehungen ein charakteristisches Gefüge. Das energie-, wasser- und stoffhaushaltliche Geschehen in der Landschaft ist das Ergebnis der Umsetzungsprozesse in den einzelnen Ökotope bzw. elementaren Geoökosystemen und ihrem Zusammenwirken durch laterale Wasser- und Stoffverlagerung.

Wie mit jeder Modellvorstellung lassen sich auch mit Geoökosystemen und den Ökotope als ihrer räumlichen Ausprägung nur Teile der ökologischen Realität abbilden. Eine geoökologische Analyse erfaßt die für Prozesse im landschaftshaushaltlichen Maßstab relevante Faktorausstattung eines Raumes, die Verteilung von Wasser, die klimaökologischen Bedingungen, stoffhaushaltliche Zustände und die in Wechselwirkung von Geoökosystemfaktoren und dem Biosystem resultierenden energie-, wasser- und stoffhaushaltlichen Prozesse. Das Ergebnis dieser Modellvorstellung der Landschaft ist die Geoökologische Karte, die das Geoökosystemmosaik mit den zugehörigen Prozeßzuständen und vertikalen und lateralen Prozeßbeziehungen darstellt.

Eine prozeßorientierte Klassifikation von Geoökosystemen geht zusammengefaßt von folgenden theoretischen Grundvorstellungen aus (siehe Th. MOSIMANN 1990):

1. Landschaftliche Ökosysteme sind in ihrer flächenhaften Differenzierung durch räumliche kontinuierliche und diskontinuierliche Prozeßmerkmale geprägt.

Kontinuierliche Prozeßmerkmale sind energie-, wasser- und stoffhaushaltliche Grundgrößen, die als Merkmal aller Ökotope auftreten und damit auf der Gesamtfläche die Geoökosystemfunktionen steuern. Es handelt sich um Prozeßzustände oder Flüsse von Energie, Wasser und Stoffen. Beispiel: Teilflüsse der Standortwasserbilanz, Bodenfeuchteregime, Strahlungsenergiefluß, Wärmemilieu, bodenchemische Zustandsgrößen usw.

Räumlich diskontinuierliche Prozeßmerkmale sind Vorgänge und Zustände, die nur unter bestimmten strukturellen und prozessualen Standortvoraussetzungen auftreten und/oder ökologisch wirksam werden. Sie schaffen oft besondere Standortbedingungen und sind unter Umständen geoökologisch dominierend. Die einzelnen Prozesse und Prozeßzustände treten immer nur auf Teilflächen in Erscheinung, und einige fehlen in einzelnen Landschaftstypen gänzlich. Beispiele: Vorkommen von Grund- und Stauwasser, Erosions- und Akkumulationsprozesse, Kaltluftsammlung, Schneebedeckung, Tätigkeit bestimmter Lebewesen.

Die kontinuierlichen Prozeßmerkmale überlagern in jedem Fall die diskontinuierlichen. Umgekehrt ist dies nicht der Fall.

2. Die in den Ökotope vorherrschende wasser- und damit auch stoffhaushaltliche Prozeßrichtung bestimmt die Umlagerung von Stoffen, Nachbarschaftswirkungen zwischen den Ökotope und damit die permanente Veränderung der Ökotope und die Gestaltung des Ökotopemosaiks. Aus der Prozeßrichtung ergibt sich die haushaltliche Stellung der elementaren Geoökosysteme im landschaftlichen Systemgefüge.
3. Wasser ist in den Geoökosystemen der bedeutendste die Standortbedin-

gungen differenzierende Prozeßfaktor und bei weitem der wichtigste Stofftransporteur. Da der Wasserkreislauf sowohl mit dem Energie- als auch dem Stoffhaushalt verknüpft ist, kommt ihm bei der Abbildung topologischer Systeme eine Kernfunktion zu.

4. Vorgänge in Geoökosystemen werden durch Struktureigenschaften und gleichzeitig ablaufende Prozesse gesteuert. Struktur, Funktionszustände und Umsätze sind elementare Eigenschaften der Geoökosysteme. Die Systeme können deshalb nur über Struktur- und Prozeßmerkmale gleichzeitig erfaßt werden.

Strukturmerkmale bzw. Strukturgrößen eines Geoökosystems sind die Ausstattungsmerkmale im weiteren Sinne, physikalische und physikochemische Eigenschaften (z. B. Gründigkeit, Vegetationstyp, Porengrößenverteilung, Sorptionskapazität usw.).

Prozeßmerkmale eines Geoökosystems sind Prozeßbedingungen (z. B. Bodenfeuchteregime, Temperatur, Azidität), Flüsse (Strahlung, Sickerwasser, Feststofftransport usw.), Umsätze (z. B. Nährstoffumsetzung, charakterisiert durch die biotische Aktivität) und die wasserhaushaltliche Prozeßrichtung.

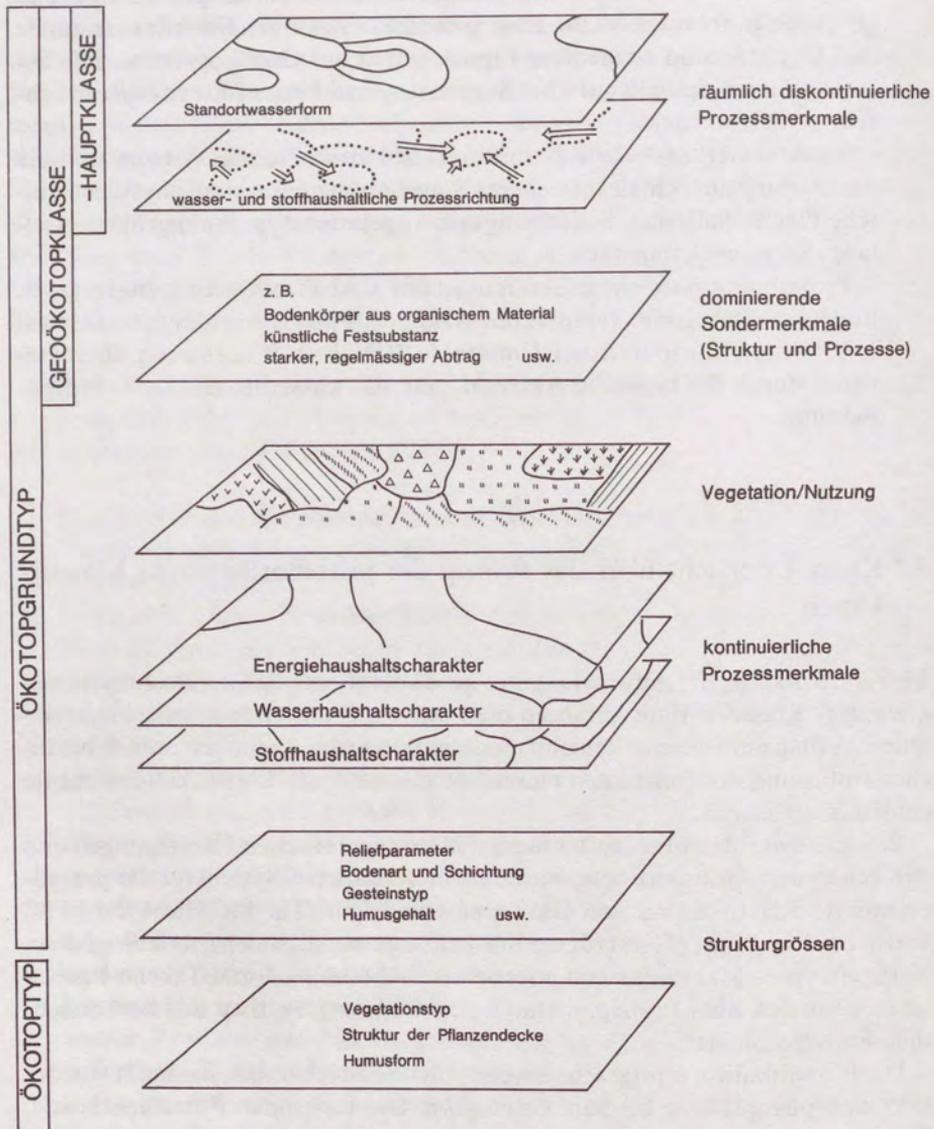
### 3.2 Kurze Übersicht über das Prinzip der prozeßorientierten Klassifikation

Ein modernes, für die Anwendung mit geoökologischen Informationssystemen geeignetes Klassifikationsverfahren muß universell anwendbar sein, hierarchischen Aufbau aufweisen, offen und modulhaft aufgebaut sein, mit unterschiedlicher Auflösung der Basisdaten einsetzbar sein und alle Klassifikationsschritte eindeutig definieren.

Basierend auf den oben zusammengefaßten theoretischen Überlegungen und den genannten Anforderungen wurde ein hierarchisches System für die prozeßorientierte Klassifikation von Ökotopten entwickelt (Th. MOSIMANN 1990) und in der Nienburger Geest für die Erarbeitung einer digitalen geoökologischen Karte ein erstes Mal umfassend angewendet. Abbildung 1 und Tabelle 1 geben einen Überblick über Prinzip, hierarchische Ordnung, Aufbau und berücksichtigte Einzelparameter.

Die Klassifikation erfolgt schrittweise von oben nach unten, das heißt von der Geoökotophauptklasse bis zum Ökotoptyp. Die verlangten Prozeßmerkmale, Prozeßzustände und Prozesse werden experimentell, durch Ableitung mit Hilfe von Schätzmodellen aus Strukturgrößen, durch Interpretation von Kartiererergebnissen oder durch Modellierung ermittelt. In Maßstäben zwischen 1:10 000 und 1:25 000 werden in der Regel Ökotoptgrundtypen dargestellt. Erst größere Maßstäbe lösen bis zum Ökotoptyp auf. Für eine vollständige Klassifikation werden rund 30 Einzelparameter benötigt.

Abb. 1: Hierarchischer Aufbau, Merkmalsebenen und berücksichtigte Hauptmerkmale in der prozeßorientierten Ökotoptklassifikation (Prinzip, hierarchische Ordnung)



Tab. 1: Verzeichnis der Geoökotophauptklassen und Geoökotopklassen

GEOÖKOTOPHAUPTKLASSEN			GEOÖKOTOPKLASSEN											
Wasser- und stoffhaushaltliche Prozessrichtung, vorherrschende Wasserform, Permeabilität			Wasserhaushaltsmerkmale				dominierender Einfluss des Schnees		Morphodynamik	Wasser- und stoffhaushaltlich besondere Verhältnisse im Bodenkörper				keine besonderen Klassenmerkmale
Hauptklasse	Bezeichnung	Kodierung	wo wu wt	gu	gz	vd	sj	sm	em	du	ks	oa ob ou ov	pf	
Senkrecht durchwaschene Ökotope nur Niederschlagswasserangebot	Percotope	SI												
Senkrecht durchwaschene Ökotope mit Wasserzufluss an der Oberfläche	Conpercotope	SZ												
Eingeschränkt oder kaum senkrecht durchwaschene Ökotope	Stagnotope	LN												
Eingeschränkt oder kaum senkrecht durchwaschene Ökotope mit lateralem Wasserabfluss (in der Bilanz)	Efluitope	LA												
Eingeschränkt oder kaum senkrecht durchwaschene Ökotope mit lateralem Wasserzufluss (in der Bilanz)	Afluitope	LZ												
Ökotope mit Grundwassereinfluss höher als 2 m unter Flur jedoch nie höher als 80 cm unter Flur	Umitope	GT												
Ökotope mit Grundwassereinfluss höher als 80 cm unter Flur jedoch nie oder nur kurzfristig im Winter höher als 40 cm unter Flur	Umentope	GM												
Ökotope mit Grundwassereinfluss höher als 40 cm unter Flur während der Vegetationsperiode (zeitweiser oder stetiger Luftmangel)	Perumentope	GH												
Ökotope mit periodischer oder episodischer Überflutung auch während der Vegetationszeit	Irigotope	GI												
Weltgehend undurchlässige natürliche Geoökotope ohne durchwurzelbaren Bodenkörper (Felsflächen ohne Grobküfte)	(Felsflächen)	FA												
Geotope mit permanenter Eis- oder Schneedecke	(Eis / Schneeflächen)	EF												
Ökosysteme der stehenden Gewässer	(Gewässer)	WS												
Fließgewässerökosysteme		WF												
Stark oberflächenversiegelte (~70%) Technosysteme, abflussintensiv	Technotope	TA												
Teilversiegelte Technosysteme (Versiegelung 20 - 70%)		TE												

Klasse mit Hauptklasse identisch

### 3.3 Bemerkungen zu den hierarchischen Ebenen in der Klassifikation

#### Geoökotophauptklassen

Die Hauptklassenebene (siehe Tab. 1) unterscheidet nebst terrestrischen Ökosystemen mit voller Standortausstattung verschiedene elementare Systemtypen ohne Bewuchs und Technosysteme unterschiedlicher Versiegelung. Die Hauptklassen terrestrischer Geoökosysteme fassen Systeme mit gleicher Wasserform und vorherrschender Prozeßrichtung zusammen. Über die Prozeßrichtung wird die Stellung einer Einheit im haushaltlichen Prozeßgefüge der Landschaft auf höchster Ebene berücksichtigt. Wie Abbildung 2 zeigt, ist der auf



- differenziert die Wasserhaushaltsmerkmale und die wasserhaushaltliche Prozeßrichtung weiter und
- berücksichtigt dominierende Ökosystemmerkmale oder -prozesse, welche die Energie-, Wasser- und/oder Stoffhaushaltsbedingungen besonders stark beeinflussen. Welche Prozeßbedingungen und Prozesse darunter zu verstehen sind, geht aus Tabelle 1 hervor. Die Klassen lassen sich durch Einführung weiterer dominanter prozeßbestimmender Merkmale oder durch eine feinere Differenzierung der bereits vorgesehenen Merkmale je nach Landschaftstyp, wenn nötig, erweitern.

### Ökotoptypen

Ökotoptypen sind geökologische Bausteine der Landschaft mit innerhalb definierter Grenzen einheitlicher Struktur und einheitlichen Merkmalen der abiotischen Partialkomplexe und des Bewuchses bzw. der Nutzung, einheitlichen geökologischen Prozeßbedingungen sowie ähnlicher Größenordnung, Richtung und anthropogener Beeinflussung von Energie, Wasser- und Stoffumsätzen. Im Unterschied zu den Ökotoptypen wird auf der Ebene der Ökotoptypen die biotische Ausstattung nur in Form von Nutzungstypen bzw. Grundtypen der realen Vegetation berücksichtigt. Deshalb bilden Ökotoptypen besondere Wechselwirkungen zwischen einzelnen Biozönosen und abiotischen Geoökosystemkompartimenten nicht differenziert ab.

Die Differenzierung der Ökotoptypen basiert also auf

- dem Grundtyp der realen Vegetation,
- energiehaushaltlich-klimaökologischen Prozeßmerkmalen (Strahlungsenergie, Bodentemperatur, Kaltlufteinfluß),
- dem Wasserhaushaltscharakter (Speicherkapazität und Durchlässigkeit, Wasserflüsse mit Niederschlag und Sickerwasser, Bodenfeuchteregime) und
- dem Stoffhaushaltscharakter (pH-Wert, Kationenaustauschkapazität, Abtrag und Ablagerung von Feststoffen, anthropogener Input).

Die Prozeßbedingungen sollen also umfangreich berücksichtigt werden. Das Klassifizierungssystem bleibt jedoch offen.

Die für die Klassifikation zu berücksichtigenden Prozesse hängen in vielfacher Weise von den Strukturgrößen ab. Bei der praktischen Durchführung der Klassifikation werden deshalb auch viele Prozesse mit Hilfe von Schätzmodellen auf der Basis von Strukturparametern abgeleitet. Deshalb bringt das Einbeziehen der Strukturmerkmale aus dem Bereich Boden und Relief in die nach Prozessen ausgeschiedenen Ökotoptypen kaum eine weitere räumliche Differenzierung der Systeme und zugehörigen Flächeneinheiten. Daraus wird klar, daß die Strukturmerkmale methodisch nach wie vor wichtig sind. Der entscheidende Unterschied gegenüber früheren Klassifikationen liegt darin, daß sich die Auscheidung der Ökotoptypen an der Prozeßsituation und nicht mehr an der Ausstattung der landschaftsökologischen Partialkomplexe orientiert.

## Ökotoptyp

Durch das Einbeziehen von Vegetationstyp (evtl. Assoziation), Struktur des Kompartimentes und der Humusform werden Ökotoptypen in Ökotoptypen differenziert. Dies kann nur in Maßstäben größer 1:10 000 geschehen. Auf dieser Stufe scheidet die Klassifikation sogenannte elementare Geoökosysteme aus. Es werden auf dieser Stufe damit in höherem Maß auch Wechselwirkungen zwischen abiotischen Kompartimenten und dem Biosystem erfaßt und abgebildet. Die Merkmalsdifferenzierung von Vegetationstypen und Humusformen darf nur so weit gehen, daß die ausgeschiedenen Einheiten im Maßstab 1:5000 noch darstellbar sind. Bei größeren Maßstäben wird das dargestellte Konzept der prozeßorientierten Klassifikation verlassen.

### 4. Das Geoökologische Informationssystem GÖKIS als Grundlage für die Erstellung einer digitalen Geoökologischen Karte

#### 4.1 Bedeutung des GIS-Einsatzes in der prozeßorientierten Landschaftsanalyse

Die prozeßorientierte Landschaftsanalyse berücksichtigt eine Vielzahl an Regler-, Speicherinput- und -outputgrößen, die komplex miteinander zu verknüpfen sind. Sie erfordert einerseits eine umfassende raumbezogene Datenbasis und andererseits Arbeitstechniken, die ein rationelles Be- und Verarbeiten der verfügbaren Information gestatten. Aus diesen Gründen erscheinen raumbezogene geographische Informationssysteme in besonderer Weise für die Zwecke der prozeßorientierten Landschaftsanalyse geeignet. Unter geographischen Informationssystemen bzw. Geoinformationssystemen werden nach R. BILL und D. FRITSCH (1991, 4) Datenverarbeitungssysteme verstanden, mit denen „raumbezogene Daten digital erfaßt und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden“.

Für die prozeßorientierte Landschaftsanalyse, als deren Ergebnis die Geoökologische Karte anzusehen ist, sind folgende GIS-Eigenschaften von besonderem Wert:

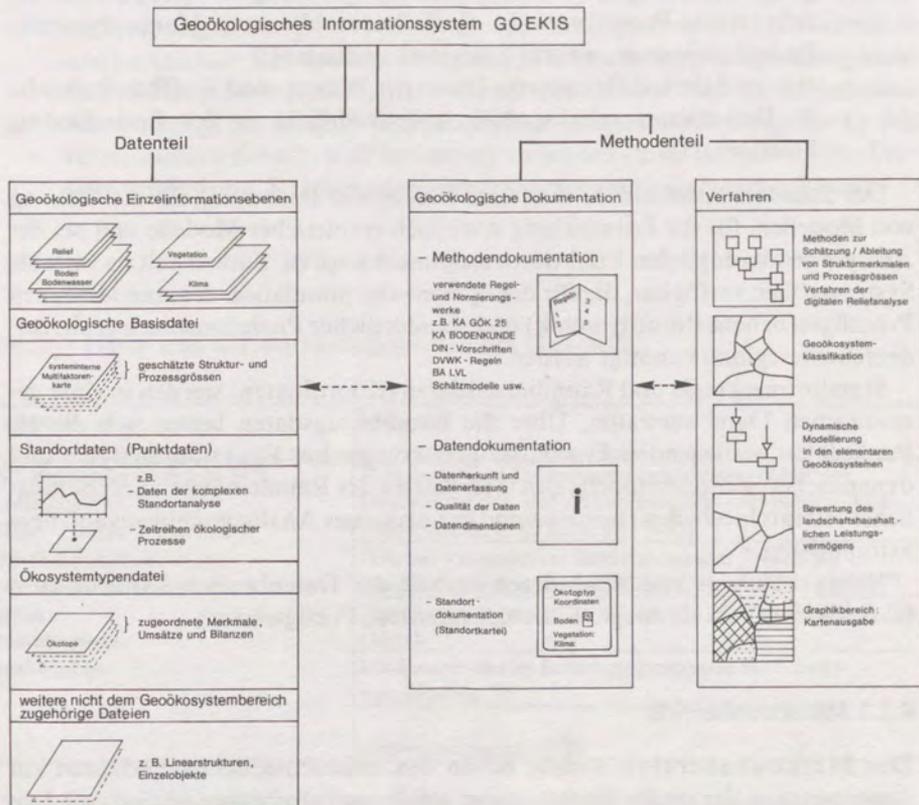
- die Möglichkeit der rationellen Ver- und Bearbeitung großer Datenmengen (z. B. bei der regelbasierten Ableitung wasser-, stoff-, und energiehaushaltlich relevanter Struktur- und Prozeßgrößen aus originären Basisdaten: Verknüpfung von Einzeldaten im Rahmen komplexerer Bewertungsmodelle landschaftshaushaltlicher Funktionen),
- die Möglichkeit der kontinuierlichen Datennachführung und somit die rasche Erfassung von Veränderungen von Ökosystem- bzw. Ökotoptypen in Raum und Zeit und
- die Möglichkeit der Implementierung neuer, dem jeweiligen Erkenntnis-

stand angepaßter Modelle zur Ableitung landschaftshaushaltlich relevanter Prozeßgrößen und der Bewertung von Teilfunktionen des Landschaftshaushaltes.

#### 4.2 Zur Konzeption des Geoökologischen Informationssystems GOEKIS

Die Grundstruktur des Geoökologischen Informationssystems (GOEKIS) orientiert sich an den Konzepten der AG BIS (1989) und früheren Arbeiten von K.-H. OELKERS und R. VINKEN (1988) und H.-J. HEINEKE (1987). So unterscheidet auch das Geoökologische Informationssystem einen Datenteil- und einen Methodenbereich (Abb. 3).

Abb. 3: Struktur des Geoökologischen Informationssystems GOEKIS



#### 4.2.1 Datenbankbereich

In der Datenbank sind Daten mit Flächenbezug, Daten mit Standort- bzw. Punktbezug und Liniendaten abgelegt.

Die Flächendatenbank enthält:

- Geometriedateien mit den digitalisierten Grenzlinien der Informationsebenen Boden/Bodenwasser, Vegetation, Topographie, Morphographie und Klima. Zusätzlich wird hier eine Geometriedatei mit den aus der Verschneidung der Einzelinformationsebenen resultierenden Flächengrenzen (Grenzen der geökologischen „Basiskarte“) geführt.
- Merkmalsdateien (Sachdaten) mit den Einzelattributen der flächenhaft erfaßten Informationsebenen und den Einzelattributen der aus der Flächenverschneidung und der anschließenden Merkmalsverknüpfung hervorgehenden „Geoökologischen Basisdatei“ (= Merkmalsdatei der geökologischen „Basiskarte“).

Die Standortdatenbank umfaßt:

- punktuell gewonnene Daten (z. B. Daten der komplexen Standortanalyse, Leitprofilaten und Daten anderer Meßstationen innerhalb des jeweiligen Untersuchungsraums oder gebietsnaher Meßstationen).

Beispiele für punktuell gewonnene Daten sind:

- bodenphysikalische und bodenchemische Analysedaten (z. B. Korngrößenverteilung, Porenvolumina, Austauschkapazitäten, pH-Werte),
- zeitvariable Prozeßwerte (z. B. Zelluloseabbaurate, Humusdynamik, Bodentemperatur, weitere Standortklimadaten),
- zeit- und tiefendifferenzierte Daten des Wasser- und Stoffhaushaltes (z. B. Bodenwassergehalte, Nährstoffvariabilität in der Bodenlösung, Stoffumsatz).

Der Standortdatenbank kommt eine wesentliche Bedeutung für die Eichung von Modellen, für die Entwicklung statistisch-empirischer Modelle und bei der Analyse geökologischer Funktionszusammenhänge zu. Zudem hält sie variable Systemgrößen verfügbar, die für die dynamische Simulation des standörtlichen Prozeßgeschehens (Stoffdynamik) und standörtlicher Prozeßzustände (z. B. Bodenfeuchteregime) benötigt werden.

Standortmerkmale und Raumbezugsdaten (Koordinaten) werden in einer gemeinsamen Datei verwaltet. Über die Raumbezugsdaten lassen sich die als Punktdaten vorliegenden Ergebnisse geökologischer Funktionsanalysen und dynamischer Standortmodelle den Geometrien der Raumeinheiten unterschiedlicher Hierarchieebenen zuordnen und in Form eines Analogieschlusses auf diese extrapolieren.

Neben Flächen- und Punktdaten enthält der Datenbereich Liniendaten (z. B. Flüsse, Verkehrswege, Flurstücksgrenzen, Fließgewässer).

#### 4.2.2 Methodenbereich

Der Methodenbereich umfaßt neben den unterschiedlichen Verfahren zur Inwertsetzung der in den Datendateien geführten Informationen auch die Do-

kumentation der verwendeten Methoden und Regeln zur Datenerhebung, -verknüpfung und -bewertung sowie die Dokumentation der Datenqualität. Die Konzeption für ein Geoökologisches Informationssystem sieht auf Methodenebene die Anwendung folgender Verfahren vor:

- Verfahren zur Ableitung bzw. Schätzung landschaftshaushaltlich relevanter Struktur- und Prozeßgrößen. Dazu zählen:
  - nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität, Luftkapazität,
  - Durchlässigkeit,
  - Kationenaustauschkapazität und S-Wert,
  - Ziel-pH-Wert nach VDLUFA,
  - Besonnungsstufen usw.
- Regelbasierte Verfahren zur prozeßorientierten Klassifikation landschaftlicher Ökosysteme (siehe Kap. 2).
- Verfahren zur Bewertung des landschaftshaushaltlichen Leistungsvermögens nach R. MARKS u. a. (Hrsg.) (1989):
  - Filter-, Puffer- und Transformatorfunktion,
  - Erosionsschutzfunktion,
  - Grundwasserneubildungsfunktion,
  - Abflußregulationsfunktion,
  - Ökotoptbildungs- und Naturschutzfunktion usw.
- Verfahren der digitalen Reliefanalyse (s. J. BAUER 1987; D. BARSCH und R. DIKAU 1989). Der Einsatz des digitalen Reliefmodells dient der Verfügbarmachung wichtiger prozeßsteuernder Reliefparameter (z. B. vertikale und horizontale Krümmung, Hanglänge, Hangneigung, Hangneigungsrichtung, Einzugsgebietsgröße), die in die entsprechenden Dateien der Informationsebene „Topographie/Morphographie“ eingelagert und später in den verschiedenen Schätz- und Bewertungsmodellen (z. B. Bewertung der Erosionsgefährdung, Kaltluftgefährdung) weiterverarbeitet werden können.

Tab. 2: Hard- und Softwarekomponenten des GEOKIS

Hardware	Software
DEC Vaxstation 3100 / 38 SPX 16 MB Memory 1 GByte Festplattenspeicher 8 Bit-Farbrasterbildschirm	Datenbank- und Datenverarbeitungssystem DASP (= Dokumentations- und Abfrageprogramm für Schicht- und Probandaten), s. K. KÜHNE (1983) *)
Exabyte zur Datenübertragung Digitizer Farbrasterplotter Nadeldrucker	Graphisch Interaktives Rasterorientiertes System zur Plankartenkonstruktion (GIROS), s. H. PREUSS (1988) *) Digitalisierprogramm DIGIT vgl. H. BOMBIEN & R. LIES (1991) *) Maskenorientiertes Erfassungsprogramm für Schichtverzeichnisse *)
	Statistikprogramm SPSS
*) = Softwareentwicklung des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung	

- Verfahren zur Aufbereitung, Editierung und Präsentation des Datenmaterials (vor allem kartographische Bearbeitung und Kartenausgabe),
- Verfahren zur Datenerfassung und zum Datentransfer (z. B. Übernahme von Fernerkundungsdaten, Dataloggerdaten, digitalen topographischen Daten usw.).

Die beim Aufbau des Geoökologischen Informationssystems verwendeten Hard- und Softwarekomponenten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

## 5. Die digitale Geoökologische Karte als Ergebnis einer prozeßorientierten Landschaftsanalyse

### 5.1 Stellung der Geoökologischen Karte in der geoökologischen Raum-analyse

Braucht der Praktiker in Planung und Umweltschutz eine geoökologische Karte? Diese Frage wurde in den letzten Jahren mehrfach und zum Teil auf Mißverständnissen beruhend diskutiert. Der Anwender in der Praxis benötigt die in einer geoökologischen Karte enthaltenen Informationen, wie die Informationen aus der Bodenkarte, Vegetationstypenkarte, geomorphologischen Karte usw., jedoch in der Regel nicht die komplexe Karte selbst.

In der Praxis wird vielmehr separativ auf ökologische Einzelinformationen (Zustände, Prozesse, Funktionen, Gefährdungen) zurückgegriffen und problemorientiert ausgewertet. Der steigende Datenbedarf und zunehmend komplexe Bewertungsmodelle erfordern dabei den Einsatz von GIS. Ein geoökologisches Informationssystem stellt solche Informationen, zum Beispiel über die Bewertungen des landschaftshaushaltlichen Leistungsvermögens, für die Planungspraxis bereit. In einer digitalen geoökologischen Karte ebenfalls enthaltene Informationen werden dabei mitverarbeitet.

Wozu dient also eine geoökologische Karte?

1. Sie ist eine Grundlagenkarte der geowissenschaftlichen Kartenfamilie. Sie stellt — in der hier präsentierten Form — das Mosaik der elementaren Geoökosysteme der Landschaft, wasser-, energie- und stoffhaushaltlicher Prozeßbedingungen und das geoökologische „Milieu“ dar.
2. Sie visualisiert das Ergebnis einer mit Hilfe eines geoökologischen Informationssystems und zugleich intelligenter Interpretation vorgenommenen Landschaftsanalyse und trägt somit auch Forderungen aus der Planung (G. SCHMITZ 1988) Rechnung.
3. Sie hilft einem Gutachter (also nicht dem Endabnehmer in der Praxis!), das Prozeßgefüge einer Landschaft zu verstehen, zum Beispiel im Zusammenhang mit der Beurteilung von Risiken durch Schadstofftransporte, Renaturierungsfragen, Nachbarschaftswirkungen von Bodeneingriffen usw.
4. Sie ermöglicht einen überregionalen Vergleich der Geoökosystembedingungen in verschiedenen Landschaftstypen.

5. Sie macht über die zugehörige Ökotoptypentabelle die wichtigste geoökologische Information analog zugänglich.

## 5.2 Flächen elementarer geoökologischer Datenkombinationen

Die Grundlage für die Erstellung der digitalen Geoökologischen Karte bilden die aus der Flächenverschneidung der einzelnen Informationsebenen resultierenden, durch den gesamten geoökologischen Merkmalsatz definierten und sich in mindestens einem Merkmal von anderen Arealen unterscheidenden Teilflächen (= kleinste gemeinsame Geometrien). Aufgrund der fehlenden inhaltlichen Vernetzung der Einzeldaten untereinander bilden die kleinsten gemeinsamen Geometrien und die mit ihnen verknüpften Attribute noch keine Ökotope bzw. Geosysteme im Sinne von Th. MOSIMANN (1990, 6) ab. Zudem lassen sich die kleinsten Teilflächen und die sie kennzeichnenden Detailinformationen aufgrund einer nicht überschaubaren Vielfalt möglicher geoökologischer Merkmalskombinationen in Einblattkartenwerken auch nicht mehr darstellen. Das Produkt der „Verschneidung“ ist vielmehr eine aus zahlreichen Einzeldaten bestehende „Karte“ elementarer geoökologischer Datenkombinationen (vgl. Abb. 4), die nur systemintern existiert. Auf dieser setzt das Verfahren zur prozeßorientierten Klassifikation von Geoökosystemen (Th. MOSIMANN, 1990) an. Dieses trägt den bereits von E. NEEF (1967, 24) formulierten Forderungen nach „Ordnungsprinzipien“ Rechnung, „die es erlauben, der so vielfältig differenzierten geographischen Substanz ihre Form zu verleihen“.

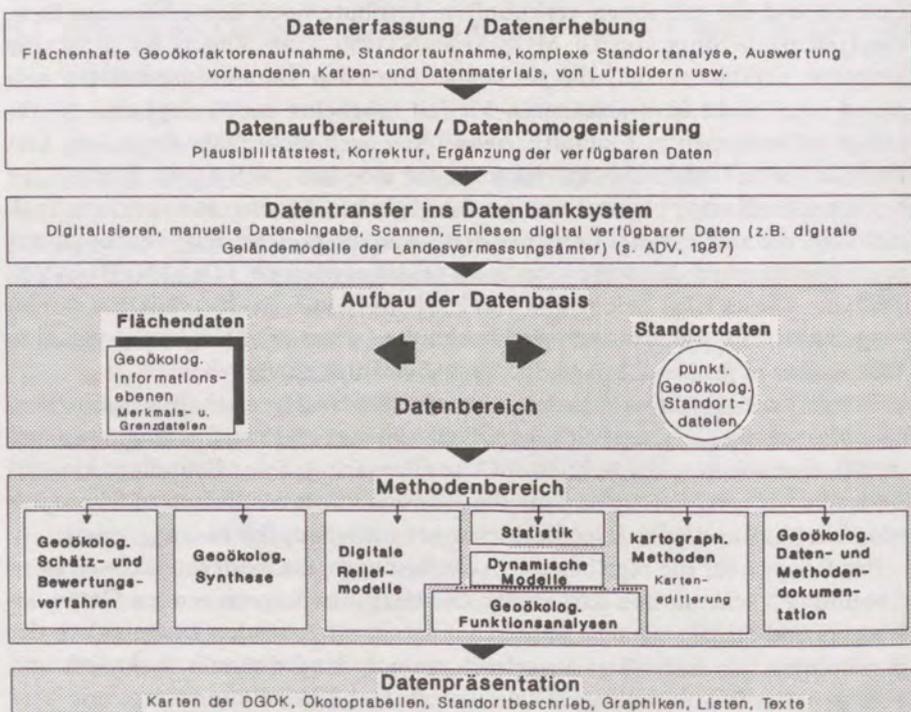
Durch Verknüpfung der in der „virtuellen Basiskarte“ enthaltenen Einzelinformationen mit geeigneten Schätzmodellen lassen sich Prozeßbedingungen und -zustände ableiten und anschließend klassifizieren. Auf der Grundlage klassifizierter Prozeßgrößen werden dann die kleinsten Flächeneinheiten zu Ökotoptypen, Ökotopgrundtypen, Geoökotopklassen und -hauptklassen aggregiert.

Ein Beispiel für die regelbasierte Ausscheidung der Geoökotopklassen ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt. Die hierfür heranzuziehenden Daten des Wasser- und Stoffhaushaltes werden aus den entsprechenden Datenfeldern der geoökologischen Basisdatei ausgelesen, zum Teil miteinander verknüpft und über programmierte Abfragen klassifiziert. Das Klassifikationsergebnis wird anschließend in das Ergebnisdatenfeld (GKLAS) der geoökologischen Basisdatei geschrieben. Bei der Ausscheidung von Raumeinheiten niedriger Hierarchieebene (Ökotopgrundtyp, Ökotoptyp) läuft das Verfahren entsprechend. Zuvor erfolgt die Ableitung und Klassifikation der hierfür benötigten Kennwerte des Wasser-, Stoff- und Energiehaushaltes mittels programmierter Schätzverfahren aus originären Rohdaten. Kleinste Teilflächen mit innerhalb definierter Grenzen gleichem oder ähnlichem Prozeßgeschehen und gleicher oder ähnlicher Struktur ihrer Partialkomplexe lassen sich so zu größeren Flächeneinheiten zusammenfassen und in der DGÖK als Prozeßeinheiten unterschiedlicher Betrachtungsebenen abbilden. Für die hier präsentierte DGÖK „Hagen“ wurden die zirka 3500 Flächen elementarer geoökologischer Datenkombinationen zu-

nächst zu 200 Ökotoptgrundtypen und Ökotoptypen aggregiert, die sich wiederum 25 Geoökotopklassen und 8 Geoökotophauptklassen zuordnen lassen.

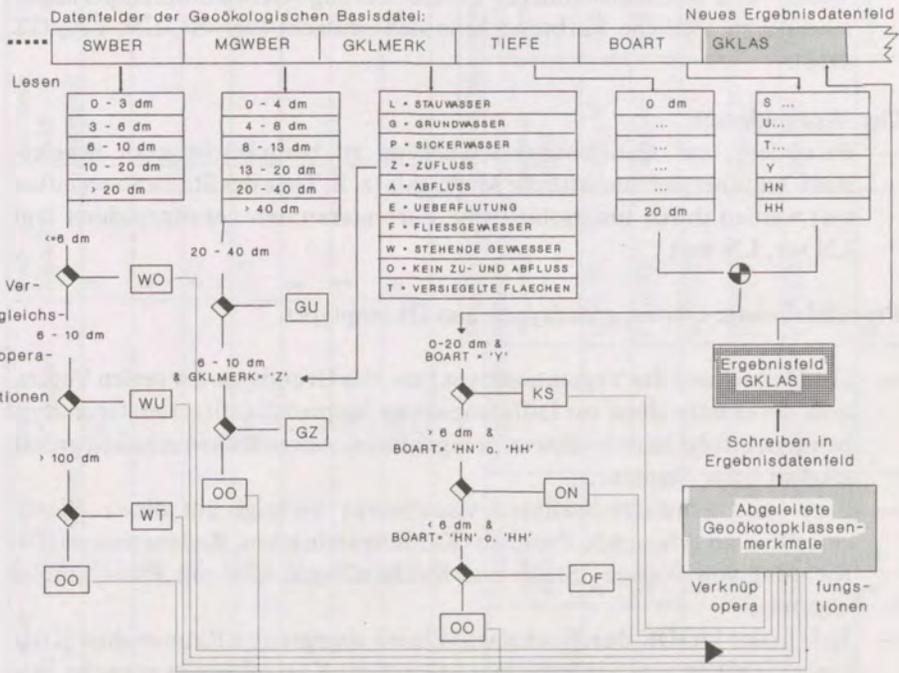
Raumeinheiten, deren Flächengrößen 30 m<sup>2</sup> unterschreiten, unterlagen der Generalisierung, so daß letztlich in der DGÖK10 Hagen/Neustadt a. Rbge. 150 klassifizierte Ökotoptypen dargestellt sind.

Abb. 4: Aufbau der Datenbasis und Grobstruktur des Geoökologischen Informationssystems



Die Abbildung zeigt den Arbeitsgang der prozeßorientierten Landschaftsanalyse unter Einsatz eines geographischen Informationssystems. Die bei der geoökologischen Kartierung erfaßten raumbezogenen Informationen werden im Flächendatenbankteil, punktbezogene Informationen (Standortanalysedaten, Meßreihendaten) im Standort-(Punkt-)datenbankteil des GEOKIS abgelegt. Der Methodenbereich enthält Verfahren zur Verfügbarmachung geoökologisch relevanter Struktur- und Prozeßgrößen aus originären Felddatenaufnahmen, zur Klassifikation von Geoökosystemen und zur Bewertung von Teilfunktionen des Landschaftshaushaltes.

Abb. 5: Schema zur merkmalsorientierten Ableitung der Geoökotopklassen



Bei den Klassifikationsverfahren handelt es sich um Abfragesysteme, die auf die den kleinsten gemeinsamen Geometrien zugeordneten Datensätze der „Geoökologischen Basisdatei“ zugreifen. Das Klassifikationsergebnis wird in das Ergebnisdatenfeld „GKLAS“ geschrieben. Dessen Informationen werden im Verlauf des weiteren Klassifikationsverfahrens mit den Geoökotophauptklassenmerkmalen und den Kennwerten von Wasser-, Stoff- und Energiehaushalt verknüpft. Daraus ergibt sich die Gesamtkennzeichnung des entsprechenden Ökotopgrundtyps bzw. des Ökotyps.

### 5.3 Die digitale GÖK des Gebietes Hagen/Neustadt a. Rbge.

#### 5.3.1 Darstellungsprinzip

Ergebnis der prozeßorientierten Landschaftsanalyse sind klassifizierte Ökosystemtypen, die sich innerhalb einer geoökologischen Karte flächenhaft abbilden lassen. Ein Beispiel dafür ist die für einen zirka 20 km<sup>2</sup> großen Ausschnitt des norddeutschen Altmoränengebietes erstellte prozeßorientierte DGÖK Hagen/Neustadt a. Rbge.

Diese ist wie folgt aufgebaut:

### Geoökotophauptklassen

- Raumeinheiten mit gleicher Bodenwasserform und gleicher bzw. ähnlicher wasser- und stoffhaushaltlicher Prozeßrichtung (Geoökotophauptklassen) sind durch ähnliche Farbtöne kenntlich gemacht (vgl. SI, LN, LA, GT, GM).

### Geoökotopklassen

- Besondere, auf Geoökotopklassenebene zu berücksichtigende wasser-, stoff- und energiehaushaltliche Merkmale (z. B. Tiefe des Stauwassereinflusses) werden durch unterschiedliche Farbintensitäten gekennzeichnet (vgl. LN wo, LN wn).

### Prozeßdefinierte Ökotopgrundtypen und Ökotoptypen

- Die Darstellung des Vegetationstyps bzw. des Grundtyps der realen Vegetation, der entscheidend zur Differenzierung des prozeßdefinierten Grundtyps beiträgt, erfolgt mittels schwarzer Signaturen. Ackerflächen erhalten grundsätzlich keine Signatur.
- Farb- und Schwarzschräffuren visualisieren wichtige auf dieser Hierarchieebene zu erfassende Prozesse (Kaltluftproduktion, Bodenerosion). Die Richtung von Wasser-, Stoff- und Kaltluftflüssen wird mit Pfeilsymbolen angezeigt.
- Jede in der DGÖK durch schwarze Linien abgegrenzte Raumeinheit (Ökotoptyp) enthält eine Schlüsselzahl, die auf die Kartenlegende verweist. Aus dieser läßt sich die Ökotopkennzahl entnehmen, über die der Bezug zum Ökotopkatalog hergestellt wird.

Tabelle 3 zeigt einen Ausschnitt aus dem Ökotopkatalog. Dieser enthält neben wichtigen Detailinformationen zur Ökofaktorenausstattung (z. B. Bodenarten, Bodenartenschichtung, Humusgehalte, Vegetationstyp etc.) zahlreiche integrale Größen des Wasser-, Stoff- und Energiehaushaltes (z. B. Bodenfeuchteregimtyp, Sickerwassermengen, Nährstoffverfügbarkeit).

### 5.3.2 (Allgemeines) zur naturräumlichen Ausstattung der Repräsentativlandschaft

Naturräumlich wird die Nienburger Geest der Hannoverschen Moorgeest zugeordnet. Sie wird im Westen vom Wesertal, im Norden von der Allerniederung und im Osten vom Leinetal begrenzt. Den südlichen Rand markiert die Steinhuder-Meer-Senke. Die beiliegende geoökologische Karte (Abb. 6) zeigt einen Ausschnitt aus dem nördlichen Teilgebiet der Nienburger Geest, der Linsburg-Husumer Geest.

Klimatisch stellt dieser Raum einen Übergangsbereich vom ozeanisch geprägten Küstenklima des nordwestlichen Niedersachsens zum kontinentaleren Klima Ost- und Südostniedersachsens dar. Das Witterungsgeschehen wird durch vorherrschende zyklonale Großwetterlagen mit westlicher Strömungskomponente beherrscht, die mit häufigen Niederschlägen verbunden sind.

Tab. 3: Ökotypenkatalog für sieben als Beispiele ausgewählte Ökotope (siehe Zahlen auf Abb. 6)

Nr	Ökotop- klasse	Ausgewählte Strukturgrößen									
		Bodenart u. Schichtung	Skelett- gehalt	eff. Lagerungs- dichte	mittlerer Grund- wasserstand	Stauwasser- einfluß	Physiolo- gische Gründigkeit	Durch- lässigkeit	Feld- kapazität	Nutzbare Feld- kapazität	Luft- kapazität
1	SI oo	Su3/Su4/ Su4/mSfs	$\frac{2}{3}$	3	> 40 dm	-	5	$\frac{3}{1}$	2	3	4
2	SI gu	Su3/Su4/ Su4/mSfs	$\frac{2}{3}$	3	20-40 dm	-	5	$\frac{3}{1}$	2	3	4
3	LN wo gu er	Su4/Su2/ mS, Ls3	$\frac{1/2}{3}$	$\frac{3}{4}$	20-40 dm	3-6dm	3-4	3/4	2-3	4	4
4	LN wo gu	Su4/Su2/ mS, Ls3	$\frac{1/2}{3}$	$\frac{3}{4}$	20-40 dm	3-6dm	3-4	3/4	2-3	4	4
5	LN wo	Su3/Su3/ SI4 + Ls4	3	$\frac{3/3}{4}$	> 40	3-6	3-4	$\frac{3}{4}$	2	4	3
6	GM oo	SI3, Su3/ SI2, Ts4	$\frac{2/3}{2}$	$\frac{3}{4}$	4-8 dm	-	4	$\frac{3/2}{4}$	3	4	3
7	GM oo	SI3, Su3/SI2 /SI2, Ts4	$\frac{2/3}{2}$	$\frac{3}{4}$	4-8 dm	-	4	$\frac{3/2}{4}$	3	4	3

Nr	Ökotop- klasse	Ausgewählte Strukturgrößen						Prozeßgrößen/-merkmale Wasserhaushalt		
		Hang- neigung	Grundtyp Nutzung/ Vegetation	Vegetations- typ	Bestands- kennzahl (Vegetation) fn. KA GÖK 25)	Humus- gehalt Ah/AP	Humusform	Bodenfeuchte- regimetyt	Sicker- wasser (mm)	Niederschlag (mm)
1	SI oo	1,2	Acker 1200	1210	-	3	-	F5-6 T3	180-240	600-700
2	SI gu	1-2	Acker 1200	1210	-	3	-	F5-6 T3	180-240	600-700
3	LN wo gu er	1	Acker 1200	1210	-	3 (4)	-	F7 T6-7	100-180	600-700
4	LN wo gu	1	Grünland 0800	Fettweide 0822	-	4	-	F7 T6-7	100-180	600-700
5	LN wo	1	bodensaurer Mischwald 0120	Querc. robori petraeae + (Ki) 0121	19688, 23	3	mor	F7 T6-7	100-180	600-700
6	GM oo	1	Acker 1200	1210	-	3 (4)	-	8	<100	600-700
7	GM oo	1	Grünland 0800	Fettweide 0822	-	4,5	-	8	<100	600-700

Tab. 3/2. Teil:

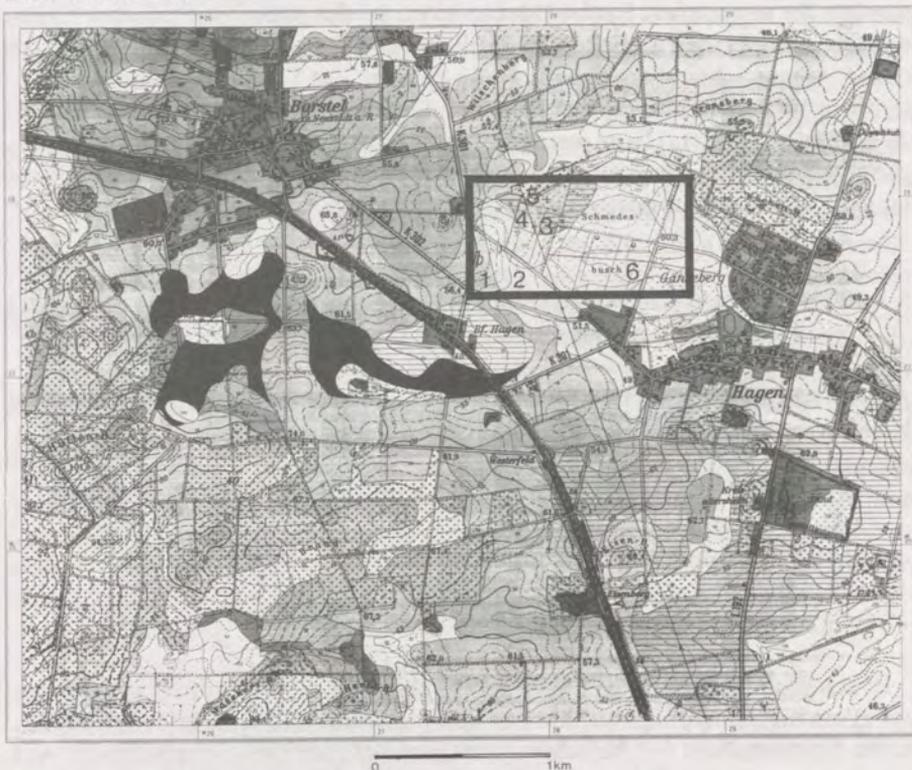
Nr	Ökotoptop-klasse	Prozeßgrößen /-merkmale Stoffhaushalt					Klassifizierte Prozeßkennwerte			Klassifizierter Ökotoptyp
		pH-Wert	pot. KAK	Boden-temperatur (Apr-Okt) °C	Kaltluft-gefährdung	Beson-nungsstufe	Wasser-haushalt	Stoff-haushalt	Wärme-/Energie-haushalt	
1	SI oo	<u>5,0-6,2</u> 4,2-5,0	3	13-15	1	3	F5-6 T3 3322	S8	D161	SI oo F5-6 T3 3323 1210 S8 D161 413
2	SI gu	<u>5,0-6,2</u> 4,2-5,0	3	13-15	1	3	F5-6 T3 3322	S8	D161	SI oo gu F5-6 T3 3323 1210 S8 D161 413
3	LN wo gu er	<u>5,0-6,2</u> 4,2-5,0	4	13-15	3-4	3	F7 T6-7 3422	S12	D163	LN wo gu er F7 T6-7 3422 1210 S12 D163 462
4	LN wo gu	4,2-5,0	4	13-15	3	3	F7 T6-7 3422	S11	D163	LN wo gu F7 T6-7 3422 0820 S12 D163 462
5	LN wo	3,8-4,2	4	11-13	1	3	F7 T6-7 3422	A 8	D141	LN wo F7 T6-7 3421 0120 A8 D141 483
6	GM oo	<u>5,0-6,2</u> 4,2-5,0	4	13-15	3-4	3	8 3321	S18	D163	GM oo 8 3321 1210 S18 S18 D163 384
7	GM oo	4,2-5,0	4	13-15	3-4	3	8 3321	S17	D163	GM oo 8 3321 0820 S17 D163 384

Landschaftsprägende Elemente sind die im Südwesten des dargestellten Gebietsausschnittes gelegenen, kuppigen Rücken des Haupthöhenzuges der Rehburger Stauchendmoräne, das daran anschließende, nach Nordosten abfallende schwach wellige Relief und die ausgedehnte Niederung im Bereich der Ortschaft Hagen.

Den Untergrund bilden bis zu 100 m mächtige, quartäre Lockersedimente. Abgesehen von einzelnen jüngeren Sedimenten (z. B. Sandlöß, Dünen sand) treten an der Oberfläche saalezeitliche (drenthestadiale) Ablagerungen auf. Den flächenmäßig bedeutendsten Anteil nehmen dabei fein- bis mittelsandige Schmelzwassersande ein. Die Drenthe-Grundmoräne, die die Schmelzwasser-

Abb. 6: Digitale Geoökologische Karte des Gebietes „Hagen“ (Neustadt a. Rbge.)

0606K 10 NEUSTADT AM RIBGE



Originalmaßstab 1:10 000. Die Karte ist mit Farbrasterplotter erstellt. 160 Ökotypen sind mit 12 Farben und mit ca. 35 Linear- und Punktsignaturen dargestellt. Der zur Karte gehörende Ökotypkatalog enthält für alle Ökotypen detaillierte Informationen zu Struktur- und Prozeßbedingungen. Für die sieben als Beispiel ausgewählten und in der Abbildung mit Zahlen gekennzeichneten Ökotypen sind diese Informationen auf Tab. 3 dargestellt.

sande ehemals großflächig bedeckte, ist weitestgehend erodiert und nur noch lückenhaft erhalten. Schmelzwassersande und Geschiebelehme werden nahezu ausnahmslos von einem 50—80 cm mächtigen, schluffigen, zum Teil lehmigen Geschiebesand überlagert, dessen Bildung unter den periglaziären Bedingungen des Weichselglazials erfolgte (G. ROESCHMANN 1971). Ebenfalls weichselzeitlichen Alters sind die im Süden und Südosten Hagens stellenweise auftretenden Sandlößdecken. Jüngeren Datums sind die im Bereich des Küchenberges und der Eckberge vorkommenden Dünen, die erst seit dem 18. Jahrhundert durch Kiefernauflorstungen festgelegt worden sind. In der grundwassernahen Niederung bei Hagen entwickelten sich Niedermoore.

Die natürliche Vegetation ist infolge menschlicher Eingriffe heute nicht mehr vorhanden. Auf den silikatreicheren, feuchten und frischen Standorten mit Geschiebelehm wuchsen ehemals Eichen-Hainbuchenwälder, während auf trockeneren, aber ebenfalls vergleichsweise nährstoffreicheren Standorten Traubeneichen-Buchenwälder stockten. Die trockensten und nährstoffärmsten Sandstandorte wurden von Stieleichen-Birkenwäldern eingenommen. Unter dem Einfluß oberflächennah anstehenden Grundwassers entwickelten sich Birken- und Erlenbruchwälder. Durch Rodung, Vieheintrieb und Holznutzung wurden die natürlichen Laubwälder zerstört. In den grundwasserfernen Lagen der Geest entstanden als Sekundärgesellschaften ausgedehnte Heideflächen, die dem Plaggenstich und der Schafhaltung dienen. Ein Teil dieser Flächen wurde seit dem 19. Jahrhundert mit Kiefern und Fichten aufgeforstet, ein anderer dem Ackerbau zugeführt. Heute werden zirka 60 Prozent des Gebietes ackerbaulich genutzt. In den grundwassernahen Niederungsbereichen und auf Standorten mit langanhaltender Staunässe dominiert Wirtschaftsgrünland.

### 5.3.3 Charakteristische Ökotoptopgefüge der Nienburger Geest (Interpretation der geoökologischen Karte)

An der Ausprägung des Ökotoptopgefüges im untersuchten Gebietsausschnitt der Nienburger Geest sind folgende Geoökosystemmerkmale ursächlich beteiligt:

- Bodenart, Bodenartenschichtung und bodenphysikalische Eigenschaften,
- Lage im Georelief,
- Reliefform und Neigung,
- Grundwassereinfluß,
- Nutzung und Nutzungsform.

In den grundwasserfernen Lagen des dargestellten Gebietes um Hagen führen vor allem die Schichtungsverhältnisse des Substrates und seine bodenphysikalischen Eigenschaften zur Ausbildung unterschiedlicher Geoökotoptopklassen. Auf den gut durchlässigen, sandigen Substraten (zumeist Geschiebedecksande über glazifluviatilen Sanden) treten Sickerwassersysteme (SI) auf, die überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden. Forstliche Nutzung erstreckt sich auf die höher gelegenen Geestabschnitte, wie zum Beispiel auf die kuppigen Endmoränenrücken des Grinderwaldes (im Südwesten) und auf die trockenen und nähr-

stoffarmen Dünenvorkommen im Bereich des Küchenberges (nördlich von Hagen). Die typische Vegetation hier besteht aus Kiefern- und Kiefern-mischforsten. Einen Übergang zwischen Sicker- und Stauwassersystemen bildet die Geoökotopklasse SI wt (Stauwassermerkmale tiefer als 1 m). Ihr flächenhaftes Auftreten ist hier häufig an solche Areale gebunden, die geogen oder pedogen (z. B. Bt-Horizonte der Parabraunerden) bedingte, tonreichere Einlagerungen im tieferen Unterboden aufweisen.

In unregelmäßiger Anordnung im oberflächennahen Untergrund auftretende Geschiebelehmreste und Beckenablagerungen führen zur Ausprägung von Stauwassersystemen. Je nach der Tiefenlage und Dichte des Staukörpers kommt es zur Differenzierung der Geoökotopklassen LN wu (Stauwassereinfluß zwischen 6 und 10 dm) und LN wo (Stauwassereinfluß zwischen 0 und 6 dm). Im Zusammenwirken mit der Hangneigung lassen sich kleinflächige Areale beobachten, die durch lateralen (unterirdischen Abfluß) gekennzeichnet sind (LA wu, LA wo).

Zuflußbereiche (LZ wo, LZ wu) sind zumeist als dünne Übergangssäume ausgebildet, die in der geoökologischen Karte nicht darstellbar sind.

Mit Annäherung an den Niederungsbereich Hagens (s. Schmedesbusch) gelangen die Böden zunehmend unter den Einfluß des Grundwassers, so daß sich von den höheren zu den tiefsten Geestabschnitten im Bereich des Hagener Baches alle Übergänge zwischen Sicker- und Stauwassersystemen mit Grundwassereinfluß im tiefen Untergrund (LN wo gu, LN wu gu, SI gu) bis hin zu den Grundwassersystemen (GT, GM) beobachten lassen. Während das Ökotopgefügemuster der höher gelegenen Geestabschnitte ein typisches Plattengefüge widerspiegelt, offenbart der Niederungsbereich in Bezug auf seine wasserhaushaltlichen Bedingungen ein typisches Senkengefüge, das durch die unterschiedlichen Nutzungseinflüsse, die ihrerseits zur Ausbildung jeweils unterschiedlicher Ökotopgrundtypen oder Ökotoptypen führen, überdeckt wird.

In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Substrates, seinen Schichtungsverhältnissen und seinen bodenphysikalischen Eigenschaften kommen hier neben „reinen“ Grundwassersystemen (GT oo, GM oo) auch solche vor, die durch den kombinierten Einfluß von Grund- und Staunässe (GT wu, GT wo, GM wo) oder durch das Vorhandensein einer mehr oder weniger mächtigen Torfauf-lage (GM oa, GM ob, GT oa, GT ob) gekennzeichnet sind. Infolge lang anhaltender Vernässung werden die Grundwassersysteme mit geringem Grundwasserflurabstand (GM oo, GM oa, GM ob) oder mit Stauwassereinfluß im Oberboden (GT wo, GM wo) überwiegend als Grünland genutzt.

## 6. Bedeutung der klassifizierten Raumeinheiten in der Modellierung landschaftshaushaltlicher Zustände, Funktionen und Prozesse

Berechnung von ökologischen Einzelgrößen und die praxisorientierte Ableitung von Funktionen des landschaftshaushaltlichen Leistungsvermögens geschieht mit Hilfe von GÖKIS auf der Basis der kleinsten gemeinsamen Geometrien

(„Geoökologische Basiskarte“). Durch die Verschneidung der für eine einzelne Ableitung jeweils benötigten Einzelinformationsebenen entsteht dieses geometrische Raummuster. Dies ist das in geographischen Informationssystemen heute übliche Vorgehen. Da die einzelnen Flächen der kleinsten gemeinsamen Geometrien Ergebnis aller möglichen Parameterkombinationen sind, ergibt sich bei umfangreichen Merkmalsdateien immer ein sehr fein aufgelöstes und chaotisch erscheinendes Bild. Für eine maßstabsadäquate Aussage müssen deshalb die Berechnungsergebnisse in geeigneter Form klassifiziert und für eine spätere Kartenausgabe unter Umständen zuvor am Bildschirm manuell generalisiert werden.

Mit einer prozeßorientierten Ökotoptgliederung steht eine „Geometrie“ ganz anderer Qualität zur Verfügung:

1. Die Raumeinheiten sind nach normierten Kriterien für Ausstattung, Funktion und Grenzziehung ausgedehnt.
2. Die Einheiten sind Ergebnis einer Interpretation und enthalten deshalb zusätzlich über den elementaren geoökologischen Datensatz hinausgehende Informationen (z. B. zu den lateralen Prozeßbeziehungen).
3. Die Einheiten sind mit den in anderen Räumen nach gleicher Klassifikation bestimmten Flächen vergleichbar.
4. Die Einheiten bilden Geoökosysteme mit definierten Struktur- und Prozeßmerkmalen ab.

Entsprechend diesen Eigenschaften übernimmt eine Ausscheidung elementarer Geoökosysteme in der Beschreibung und Modellierung landschaftshaushaltlicher Zustände, Funktionen und Prozesse folgende Funktionen:

1. Mit Hilfe der Ausscheidung von Geoökosystemen lassen sich nachvollziehbare und übertragbare Extrapolationsgrenzen für die Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes bestimmen. Dies gilt bereits für die heute durchaus realisierbare Anwendung eindimensionaler Wasserhaushaltsmodelle (R. DUTTMANN und Th. MOSIMANN 1992).
2. Eine prozeßorientierte Raumgliederung liefert eine Hilfe für die Überprüfung der mit Einzelmodellen des Wasser- und Stoffhaushaltes ermittelten Grenzen von Prozeßfeldern.
3. Die elementaren Systeme für die Durchführung von geoökologischen Feldexperimenten können einheitlich abgegrenzt werden.
4. Experimentelle Befunde, durch die Modellberechnungen auch in Zukunft ergänzt werden müssen, können über eine Klassifikation von Geoökosystemen besser extrapoliert werden.
5. An klassifizierte Geoökosysteme gekoppelte Modellierungsergebnisse lassen sich über größere Räume hinweg vergleichen.

Eine prozeßorientierte Klassifikation von Geoökosystemen hat also vor allem für die Geoökosystemmodellierung in zweierlei Hinsicht Bedeutung:

- Sie liefert einen Beitrag zur Systemabgrenzung.
- Sie ermöglicht eine besser gesicherte Extrapolation der Ergebnisse.

Wasser- und stoffhaushaltliche Zustände und Prozesse können damit räumlich differenzierter abgebildet und besser miteinander verknüpft werden als bei einer isolierten Berechnung einzelner Prozeßfelder.

### Danksagung

Das Forschungsprojekt „GÖK Neustadt a. Rbge.“ wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Der Aufbau des Geoökologischen Informationssystems wurde durch technische Unterstützung des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, besonders durch die Herren Dres. K. H. OELKERS und H. PREUSS, ermöglicht.

Verschiedene Modellberechnungen erfolgten mit Hilfe von digitalen Höhen- und Bodenwertdaten des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes — Landesvermessung. Herr J. OTTO verdient große Anerkennung für seinen Einsatz als Hilfskraft im Rahmen des Projektes. Allen gebührt ein herzlicher Dank.

## Literatur

- AG BODENINFORMATIONSSYSTEM DER SONDERARBEITSGRUPPE „INFORMATIONSGRUNDLAGEN BODENSCHUTZ“ DER UMWELTMINISTER-KONFERENZ 1989: Vorschlag für die Einrichtung eines länderübergreifenden Bodeninformationssystems. = EXPERT, hrsg. vom Niedersächsischen Umweltminister: Länderübergreifendes Bodeninformationssystem, Hannover.
- BARSCHE, C. und R. DIKAU 1989: Entwicklung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK). In: GIS 2 (3), S. 12—18.
- BAUER, J. 1987: Digitales Reliefmodell (DRM) — Anwendungsbeschreibung für IBM-Umgebungen. — Unveröff. Manuskript, Institut f. Physische Geographie und Landschaftsökologie der TU Braunschweig.
- BILL, R. und D. FRITSCH (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme — Hardware, Software und Daten. Bd. 1, 414 S., Karlsruhe.
- BOMBIEN, H. und R. LIES 1991: Die Verknüpfung konventionell kartographischer und digitaler Arbeitsweisen bei der Bearbeitung geowissenschaftlicher Karten. In: Geol. Jb. Rh. A (125), S. 7—19, Hannover.
- BRÄKER, S. 1988: Ein Geoökotopkataster der nördlichen Frankenalb. In: Tübinger Geographische Studien, H. 100, S. 207—240.
- DIERSCHKE, H. 1959: Die naturräumliche Gliederung der Verdener Geest. Landschaftsökologische Untersuchungen im nordwestdeutschen Altmoränengebiet. = Forschungen z. dt. Landeskunde, 177, 113 S., Bad Godesberg.
- DUTTMANN, R. 1992: Prozeßorientierte Landschaftsanalyse mit einem geökologischen Informationssystem. Experimentelle Untersuchungen und Aufbau des geökologischen Informationssystems GOEKIS im Repräsentativgebiet „Hagen“ (Nienburger Geest). = Diss. Univ. Hannover.
- DUTTMANN, R. und Th. MOSIMANN 1991: Abschlußbericht DFG-Projekt GÖK 25 „Neustadt a. Rbge.“ — unveröff., Geographisches Institut d. Universität Hannover, Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie, 104 S., Hannover.
- DUTTMANN, R. und Th. MOSIMANN 1992: Die ökologische Bewertung von Teilfunktionen des Landschaftshaushaltes. Anwendungen und Perspektiven eines geökologischen Informationssystems in der Praxis. (In Vorbereitung).
- HEINEKE, H.-J. 1987: Das Bodeninformationssystem Niedersachsen. In: Mitt. dt. bodenkdl. Ges. (55) II, S. 757—753.
- HOLZ, H.-W. 1966: Zur Geologie und Hydrogeologie der Schneereiner Berge nordwestlich von Hannover. In: Z. dt. geol. Ges. (115), S. 524—540, Hannover.
- JORDAN, H. 1980: Geologische Karte von Niedersachsen 1:25 000. Erläuterungen zu Blatt Nr. 3422 Neustadt am Rübenberge. = Nieders. Landesamt für Bodenforschung, 88 S., Hannover.
- KÜHNE, K. 1983: DASP — Ein System zur Verwaltung und Auswertung geowissenschaftlicher Daten. In: Geol. Jb., Rh. A (70), S. 41—59.
- LESER, H. und H.-J. KLINK (Hrsg.) 1988: Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000. = Forschungen z. dt. Landeskunde. 228, 349 S., Trier.

- MARKS, R., M. J. MÜLLER, H. LESER und H.-J. KLINK (Hrsg.) 1989: Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. = Forschungen z. dt. Landeskunde, 229, 222 S., Trier.
- MOSIMANN, Th. 1990: Ökotope als elementare Prozeßeinheiten der Landschaft — Konzept zur prozeßorientierten Klassifikation von Geoökosystemen. = Geosynthesis Bd. 1, Veröffentlichungen der Abteilung Physische Geographie und Landschaftsökologie. Geographisches Institut der Universität Hannover, 55 S., Hannover.
- MOSIMANN, Th. 1991: Prozeß-Korrelations-System des elementaren Geoökosystems. In: LESER, H. (1991): Landschaftsökologie, UTB 521, S. 252—270, Stuttgart.
- NEEF, E. 1957: Entwicklung und Stand der landschaftsökologischen Forschung in der DDR. In: Wiss. Abh. d. Geogr. Gesellsch. der DDR., Bd. 5, S. 22—34.
- OELKERS, K.-H. und R. VINKEN 1988: Neue Wege bei der Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für den Bodenschutz im Rahmen eines bodenkundlichen Dienstes. In: ROSENKRANZ, D. u. a. (Hrsg.): Bodenschutz — Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. BoS 1. Lfg. XI/88, S. 1—21, Berlin.
- PREUSS, H. 1988: GIROS-PK — Graphisch Interaktives Raster-Orientiertes System für die Planungskarten-Konstruktion (Version 2.1). Beschreibung für Anwender. = Nieders. Landesamt für Bodenforschung, 38 S., Hannover.
- ROESCHMANN, G. 1971: Die Böden der nordwestdeutschen Geestlandschaft. In: Mitt. dt. bodenk. Ges. (13), S. 151—231.
- SCHMITZ, G. 1988: Anforderungen an die Landschaftsrahmenplanung aus der Sicht der Regionalplanung. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL). Sitzungs- und Forschungsberichte. Bd. 180, S. 155—178, Hannover.
- SEEDORF, H.-H. und H.-H. MEYER 1992: Landeskunde Niedersachsen. Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes — Bd. 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung, 517 S., Neumünster.