

- tur und das Problem der Ostsiedlung. In: Zeitschrift für Geopolitik 10, 1933, S. 362-371, 437-442.
- Vom Absterben der Städte.* Zum Fragenkreis der Verstädterung. In: Zeitschrift für Geopolitik 10, 1933, S. 100-105.
- VOWINCKEL, K.: Vorbemerkung zu W. VOLZ: Die deutsche Wirtschaftsstruktur und das Problem der Ostsiedlung II. In: Zeitschrift für Geopolitik 10, 1933, S. 437.
- : Ein Wort zur Klarstellung. In: Zeitschrift für Geopolitik 10, 1933a, S. 45.
- WELTE, A.: Die Verstädterung Mittel- und Westeuropas von 1830-1930. In: Zeitschrift für Geopolitik 13, 1936, S. 216-226, 351-358.

DIE GROSSRÄUMIGE VERGESELLSCHAFTUNG VON BÖDEN RECHNERGESTÜTZTE ERFASSUNG PEDOGENETISCHER ZUSAMMENHÄNGE, DARGESTELLT AM BEISPIEL DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Mit 2 Abbildungen und 1 Tabelle

GERALD KUHNT

Summary: Large-scale association pattern of soils. Computer-supported pedogenetic correlations: the example of the Federal Republic of Germany

Due to the fact that the formation and development of soils are greatly influenced by a site- and time-related combination of fundamental factors like bed rock, climate, vegetation, topography etc. a detailed analysis of the distribution and association patterns of different soil types forms the basis for pedogenetic interpretations. For the soil cover of the Federal Republic of Germany it is shown that digital evaluations of soil maps, which include regionalization procedures, can be used for quantifying neighbourhood relationships between different kinds of soils. This results in a precise description of typical or less typical soil associations, sorted by the percentage of their occurrence. The amount of positive and negative auto-correlation, as displayed in matrix and graph form, yields better information on either the area and configuration of the various pedological units considered or their adjacent soils. Detailed interpretation leads to the conclusion that the methodology applied can be used for specifying interrelationships between soil distribution and pedogenesis within defined regions. The results obtained are considered the basis for a better understanding of soil formation and development under given conditions.

1. Einleitung

Der Boden als korrelativer Merkmalskomplex wird in seiner jeweiligen Erscheinungsform wesentlich durch die Verzahnung der für die Bodenbildung und -entwicklung relevanten Parameter Klima, Vegetation und weitere biotische Faktoren (einschl.

Mensch), Ausgangsmaterial sowie Relief, d.h. Topographie und Oberflächengestaltung bestimmt (vgl. CRUICKSHANK 1972). Damit ist der Boden, nach entsprechenden Methoden klassifiziert, als Integral über die genannten Faktoren zu verstehen, die alle eine mehr oder weniger ausgeprägte raum-zeitliche Variabilität besitzen. Diese Variabilität bestimmt maßgeblich die relative Bedeutung der genannten Faktoren in bezug auf pedogenetische Prozesse, was seinen Niederschlag in einer je spezifischen regionalen Differenzierung der Bodendecke findet. Daraus folgt, daß über die Analyse der Assoziationsmuster von Bodentypen Aussagen zur Bodenbildung und -entwicklung abgeleitet werden können.

Die bodengeographische Fachliteratur trägt dem Rechnung, indem sie sich besonders auf drei thematische Schwerpunkte konzentriert:

1. Aufdeckung von Zusammenhängen zwischen Bodenzonen und pedogenetischen Kombinationsmustern,
2. Darstellung und Interpretation regelhafter Bodenabfolgen in Toposequenzen oder Catenen,
3. Erfassung und regionale Differenzierung der anthropogenen Einflüsse auf die Bodenentwicklung.

Darüber hinaus werden gerade in neuerer Zeit Konzepte zur rechnergestützten Verarbeitung und graphischen Umsetzung der flächenhaft gewonnenen Bodendaten entwickelt und verfeinert (vgl. etwa HUGGETT 1982, ZÖLITZ 1983, LAMP & KNOOP 1984).

In Ergänzung hierzu kann eine mit Hilfe spezieller Regionalisierungsprozeduren durchgeführte Unter-

suchung großräumiger Bodenverbreitungen dazu beitragen, typische bzw. weniger typische Assoziationsmuster quantitativ zu erfassen, um so allgemeine Aussagen zur Pedogenese für den jeweiligen Untersuchungsraum näher zu definieren. Auf der Basis dieser Überlegungen wurden bereits eine ganze Reihe regionalisierender Analysen der Bodendecke der Bundesrepublik Deutschland bzw. der Europäischen Gemeinschaft mit Blick auf umweltbezogene Zielsetzungen durchgeführt. Die Arbeiten im einzelnen sind hier nicht Gegenstand der Betrachtungen; auf die entsprechende Literatur (KUHNT et al. 1986, BRÜMMER et al. 1987, FRÄNZLE et al. 1987, KUHNT & VETTER 1988) sei verwiesen. An dieser Stelle sollen vielmehr die Ergebnisse einer rechnergestützten Analyse der großräumigen Vergesellschaftung von Bodentypen in der Bundesrepublik Deutschland dargestellt und pedogenetisch interpretiert werden.

2. *Material und Methoden*

2.1 *Datenaufnahme*

Datenbasis der Untersuchungen zur großräumigen Vergesellschaftung von Böden ist die Bodenkarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1 Mio. (HOLLSTEIN 1963). Obwohl seit 1986 eine neue Bodenkarte, ebenfalls im Maßstab 1:1 Mio. vorliegt (ROESCHMANN 1986), wird hier auf die HOLLSTEIN-Karte zurückgegriffen, da diese – im Gegensatz zur stärker bodenassoziationsorientierten Karte ROESCHMANNs – die Leitbodentypen in den Vordergrund stellt, was für die hier in Rede stehende Fragestellung von gewissem Vorteil ist. Weitere bzw. andersartige Daten Grundlagen, etwa metrische Profilwerte oder größermaßstäbige Karten, scheiden in diesem Zusammenhang aus, da die Informationen flächendeckend, in identischem Maßstab und nach einheitlichen Kriterien klassifiziert vorliegen müssen; allein die Bodenkarte 1:1 Mio. vermag derzeit diese Anforderungen zu erfüllen.

Kernstück der Analyse ist die Aufdeckung der flächenhaften Assoziationen einzelner Merkmalsausprägungen (= Legendepunkte) der Bodengrundgesamtheit. Da diese der unmittelbaren visuellen und gedanklichen Erfassung nicht in dem notwendigen Maße zugänglich sind, kann deren Entschlüsselung nur mit Hilfe rechnergestützter Verfahren erfolgen. Dafür müssen die Informationen der Karte zunächst in eine EDV les- und verarbeitbare Form überführt

werden; von besonderer Bedeutung ist dabei die Wahl eines geeigneten Digitalisierungsverfahrens.

Bei der Umsetzung des analogen Kartenbildes in digitale Werte stellt eine Rasterung in Bruchteilen von Millimetern heute kaum noch ein technisches Problem dar (siehe etwa GILGEN 1981, FISCHER et al. 1985, ILG 1986), jedoch entspricht dann – gerade bei kleinmaßstäbigen Karten – die Rasterdichte meist nicht mehr der vorliegenden Informationsdichte. Im Zuge der Anwendung von Regionalisierungsstrategien allerdings muß die Aufrasterung der Fläche dem Informationsgehalt der Kartengrundlage klar äquivalent sein. Es spielt daher in diesem Zusammenhang nur eine untergeordnete Rolle, ob die Karteninhalte durch Planimetrieren, direktes Rastern, mittels Scanner oder anderer Verfahren aufgenommen werden; wichtig ist vor allem eine adäquate Transformation der Analogdaten in binäre Werte. Letzteres bedeutet hauptsächlich, daß der Forderung nach exakter geographischer Lokalisierbarkeit aller Informationen Rechnung zu tragen ist; denn nur unter Berücksichtigung dieser Voraussetzung sind Interpretationen der flächenhaften Beziehungsstrukturen zulässig.

Das Verfahren der Punktdigitalisierung in einem an den geographischen Koordinaten orientierten Raster erfüllt die oben genannten Bedingungen dann in bestmöglicher Weise, wenn durch Vorversuche die optimale Rasterweite bestimmt werden kann. Die Vorversuche wurden an einem durch visuelle Inspektion bestimmten hoch differenzierten Ausschnitt der Bodenkarte 1:1 Mio. durchgeführt, indem die vorhandenen Informationen in Rasterabständen von 0,03, 0,05, 0,10 und 0,15 Grad in digitale Werte überführt wurden. Eine anschließende Analyse einiger auf der Basis der unterschiedlichen Datenmengen durchgeführten Testberechnungen ergab, daß die Datenaufnahme im 5×5 mm ($\approx 0,05$ Grad) -Abstand für die hier in Rede stehenden Untersuchungen am besten geeignet ist. Während bei einem Rasterabstand von 0,15 Grad kleinräumig differenzierte Areale nicht mehr erfaßt wurden und bei einem 0,10 Grad-Raster eine einseitige Überbetonung größerer zusammenhängender Flächen zu beobachten war, zeigte das 0,03 Grad-Raster eine dem Informationsgehalt der Karte nicht mehr entsprechende Scheingenauigkeit, die sich bereits bei der Digitalisierung darin äußerte, daß Rasterpunkte oftmals exakt auf Grenzlinien zwischen zwei Flächen fielen.

Nachdem der für diese Untersuchungen optimale Rasterabstand bestimmt war, wurden die verschiedenen Informationen der einzelnen Kartenlegenden

fortlaufend durchnummeriert und als Binärdaten pro Rasterpunkt erhoben. Das Digitalisierungsprogramm ist so angelegt, daß den auf dem Digitalisierblett angesteuerten Punkten nach vorheriger Eichung automatisch die Binärdaten „geographische Länge“ und „geographische Breite“ zugeordnet werden; dadurch ist grundsätzlich gewährleistet, daß die Informationen der Karte an lagerichtig lokalisierten Punkten entnommen werden. Bei dem gewählten Rasterabstand wird die Bodenbedeckung der Bundesrepublik Deutschland an etwa 10 000 Punkten erfasst; jeder Punkt repräsentiert damit eine Fläche von ca. 25 km² in der Natur (vgl. FRÄNZLE et al. 1987).

Zur Vereinfachung der Datenverarbeitung sowie Ergebnisdarstellung und -interpretation wurden die insgesamt 48 Einheiten der Bodenkarte folgendermaßen zusammengefaßt:

- 1 Rendzinen (Rendzina, Terra fusca, Terra rossa, Pararendzina)
- 2 Tschernoseme (Tschernosem, degradierter Tschernosem)
- 3 Braunerden I (mit guter bis mittlerer Basenversorgung)

- 4 Braunerden II (mit geringer Basenversorgung)
- 5 Parabraunerden I (mit guter bis mittlerer Basenversorgung)
- 6 Parabraunerden II (mit geringer Basenversorgung)
- 7 Pseudogleye (unterschiedlicher Ausprägung)
- 8 Podsole (unterschiedlicher Lage und Ausprägung)
- 9 Wechselnde Typen (- Rendzina, Braunerde, Parabraunerde, Braunerde, Rendzina, Podsol, Braunerde, Rendzina, Podsol, Pseudogley)
- 10 Niederungsböden (mit unterschiedlichem Substrat)
- 11 Marschböden (Seemarsch, Brackmarsch)
- 12 Moore (Niedermoor, Hochmoor)
- 13 Sonstige (Latosol, Plastosol, Borowina, Abbauflächen, Hochgebirgsfels)

Tab. 1: Nachbarschaftsmatrix der Hauptbodentypen der Bundesrepublik Deutschland

Neighbourhood matrix of the main soil types in the Federal Republic of Germany

	1 Rendzinen	2 Tschernoseme	3 Braunerden I ^x	4 Braunerden II ^x	5 Parabraunerden I ^x	6 Parabraunerden II ^x	7 Pseudogleye	8 Podsole	9 Wechselnde Typen	10 Niederungsböden	11 Marschböden	12 Moore	13 Sonstige	Relative Häufigkeit
1 Rendzinen	53.0	1.2	2.5	6.3	10.5	10.4	8.5	3.3	1.5	1.9	0.1	0.5	0.2	7.8
2 Tschernoseme	14.1	31.2	0.7	10.5	19.2	1.2	2.4	0.6	1.2	17.1		1.3	0.4	0.7
3 Braunerden I ^x	5.2	0.1	38.7	17.6	14.6	7.1	4.0	3.3	2.4	4.5	0.1	1.7	0.5	3.8
4 Braunerden II ^x	2.3	0.3	3.2	67.6	4.6	4.9	3.2	6.7	2.0	4.3		0.9		21.3
5 Parabraunerden I ^x	5.2	0.8	3.5	6.2	54.7	9.8	4.0	3.8	1.5	7.6	0.1	2.5	0.4	16.0
6 Parabraunerden II ^x	6.7	0.1	2.2	8.5	12.8	41.3	3.1	11.5	1.2	5.0	1.2	6.3	0.2	12.2
7 Pseudogleye	11.2	0.3	2.6	11.3	10.9	6.4	38.2	11.5	3.8	2.7		0.9	0.2	5.9
8 Podsole	1.7	0.1	0.9	9.5	4.1	9.4	4.6	52.7	0.3	6.0	1.9	8.9		14.9
9 Wechselnde Typen	4.2	0.3	3.4	15.9	8.6	5.2	8.1	1.8	42.2	5.6		1.0	3.8	2.7
10 Niederungsböden	2.2	1.7	2.6	13.7	18.0	9.0	2.3	13.1	2.3	29.8	0.2	4.3	0.7	6.7
11 Marschböden	0.3		0.1		0.4	6.6		12.0		0.6	68.5	11.4		2.3
12 Moore	0.7	0.2	1.2	3.6	7.4	14.4	1.0	24.9	0.5	5.5	4.9	35.4	0.2	5.3
13 Sonstige	4.4	0.7	4.4		14.4	5.3	3.2		23.4	10.8		2.8	30.3	0.4

^x I : gute bis mittlere Basenversorgung

II : mittlere bis geringe Basenversorgung

2.2 Informationsverarbeitung

Die regionalstatische Auswertung der aufgenommenen Daten wird dadurch bestimmt, daß das vorliegende Material ein redundantes Datenaggregat auf Nominalskalenniveau darstellt. Das von RENK (1977) und FRÄNZLE (1978) für die Ermittlung von Bodenassoziationen beschriebene und erprobte Verfahren der Nachbarschaftsanalyse ist daher hier das geeignete Instrument, um die dem Grunddatensatz inhärenten Beziehungsstrukturen aufzudecken. Das speziell für die hier in Rede stehende Untersuchung adaptierte und weiterentwickelte Computerprogramm zur Analyse der Nachbarschaftsbeziehungen der Böden der Bundesrepublik Deutschland beantwortet die Fragen:

- In wieviel Prozent der Fälle ist der Nachbar gleichen Typs (positive räumliche Autokorrelation)?
- In wieviel Prozent der Fälle ist der Nachbar anderen Typs (negative räumliche Autokorrelation)?
- Wie stellt sich die prozentuale Verteilung der fremdnachbarlichen Beziehungsstrukturen dar?

Die Funktion des Repräsentanzalgorithmus stellt sich wie folgt dar: Jeder der ca. 10 000 die Bodenkarte als digitales Abbild darstellenden Punkte wird im Zuge der Berechnungen einmal als Mittelpunkt gesetzt und mit den acht ihn umgebenden Punkten verglichen. Dabei registriert der Computer, wieviele Punkte die gleiche Merkmalsausprägung wie der Mittelpunkt aufweisen und wieviele Punkte mit dem Mittelpunkt diesbezüglich nicht identisch sind. Bei den nicht identischen Punkten wird außerdem festgehalten, welche abweichenden Merkmalsausprägungen diese aufweisen. Aus den knapp 80 000 Vergleichen ergeben sich nach Eliminierung der Null-Vergleiche (Punkte außerhalb des Bundesgebietes) differenzierte Informationen über die räumliche Vergesellschaftung der einzelnen Bodentypen. Diese sind relativ unabhängig von der häufigkeitsstatistischen Repräsentanz der jeweiligen Objekte. So würde etwa ein im Bundesgebiet selten, jedoch in einem einzigen, geschlossenen Areal vorkommender Boden eine hohe positive räumliche Autokorrelation zeigen, während ein insgesamt weit aber kleinflächig verbreiteter Boden eine hohe negative Autokorrelation aufweist. Die ermittelten Vernetzungsstrukturen lassen sich, in Prozentwerten ausgedrückt, in einer asymmetrischen Konnektivitätsmatrix darstellen, welche die durch rein visuelle Inspektion der Karte kaum feststellbaren und sicher nicht quantifizierbaren räumlichen Zusammenhänge widerspiegelt. Von besonderer Relevanz ist dabei die Tatsa-

che, daß unabhängig von der Bedeutung in der häufigkeitsstatistischen Hierarchie präzise Aussagen über die Flächenkonfigurationen sowie die internen und externen Verzahnungen der jeweiligen Merkmalsausprägungen möglich sind.

Die in der Bodennachbarschaftsmatrix (Tab. 1) aufscheinenden Prozentwerte sind aus unmittelbar einsichtigen Gründen vom gewählten Punktabstand abhängig: Eine Verdichtung des Rasters führt zu einer Zunahme der positiven Autokorrelation mit entsprechenden Änderungen der fremdnachbarlichen Beziehungsstrukturen. Da dies jedoch durchgängig für alle erfaßten Einheiten gilt, und zudem der optimale Rasterabstand in zielsetzungsbezogener Weise durch Vorversuche bestimmt wird (vgl. 2.1), ist eine gegenüberstellende Bewertung und Interpretation aufscheinender Zusammenhänge grundsätzlich zulässig.

Die bereits erwähnte Asymmetrie der Matrix ergibt sich aus den unterschiedlichen Flächenanteilen der Böden. Dies bedeutet beispielsweise, daß die mit 2,3% relativer Häufigkeit im Bundesgebiet vorhandenen Marschböden zu 12% mit Podsolen assoziiert sind, während die Podsole (relative Häufigkeit 14,9%) nur in 1,9% aller Fälle Marschböden als nächste Nachbarn besitzen. Lediglich die Leerstellen der Matrix (keine Nachbarschaftsbeziehungen) müssen verständlicherweise symmetrisch zur Hauptdiagonalen aufscheinen.

3. Interpretation

Betrachtet man zunächst die in der Hauptdiagonalen der Nachbarschaftsmatrix auftretenden Prozentwerte der positiven räumlichen Autokorrelation („Eigenvergesellschaftungen“ der Bodentypengruppen) und setzt man diese in Beziehung zu den relativen Flächenanteilen, so ergeben sich bereits einige interessante Feststellungen (vgl. Abb. 1). Zunächst unterstreicht die Abbildung den bereits dargelegten Sachverhalt, daß die Nachbarschaftsbeziehungen von den häufigkeitsstatistisch definierten Gesamtvorkommen der einzelnen Bodentypen unabhängig sind (vgl. 2.2); so nehmen etwa Pseudogleye, Niederrungsböden und Rendzinen völlig unterschiedliche Positionen in der Hierarchie der Autokorrelation ein, obwohl sie vergleichbare Flächenanteile besitzen.

Die höchste positive Autokorrelation (fast 70%) und damit größtenteils geschlossen zusammenhängende Areale zeigen die Marschböden sowie die sauren Braunerden. Von diesen durch einen deut-

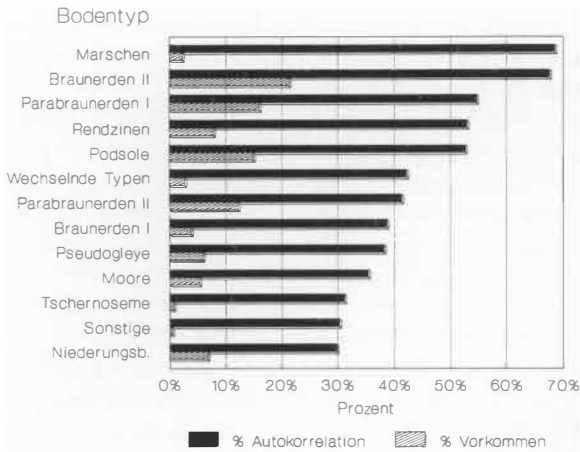


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung und positive Autokorrelation der Hauptbodentypen der Bundesrepublik Deutschland
Frequency distribution and positive auto-correlation of the main soil types in the Federal Republic of Germany

lich erkennbaren Schnitt (10–15%) getrennt folgen Parabraunerden guter bis mittlerer Basenversorgung, Rendzinen und Podsole; nach einer weiteren Zäsur (10%) erscheinen die restlichen Böden mit einer kontinuierlichen Abnahme der positiven Autokorrelation.

Die Position der Niederungsböden am Ende der Rangskala erklärt sich dadurch, daß diese meist schmale linienhafte Strukturen aufweisen, was im Verhältnis zur Gesamtfläche in einer geringen Eigenvergesellschaftung resultiert. Die unter „Sonstige“ zusammengefaßten Böden dürfen allein wegen der hier zugrundegelegten Rahmenbedingungen keine hohe positive Autokorrelation aufweisen, denn wären diese Böden in größeren Arealen vorhanden, wäre eine Zusammenfassung unter dem genannten Oberbegriff nicht erfolgt.

Nachdem eine erste Ordnung der Bodentypgruppen anhand der Hauptdiagonalen der Nachbarschaftsmatrix durchgeführt ist, sollen nun die pedogenetisch besonders interessanten Anteile negativer Autokorrelation („Fremdnachbarbeziehungen“) in die Interpretation einbezogen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die wichtigsten Assoziationsmuster der einzelnen Böden in der Abbildung 2 als Kreisdiagramme wiedergegeben.

Die *Marschböden*, mit 2,3% Flächenanteil für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt eher von untergeordneter Bedeutung, zeigen, verglichen mit allen anderen Bodentypen, die höchste positive räumliche Autokorrelation (68,5%). Die nächsten Fremdnachbarn sind zu 12,0% Podsole sowie die

Moore mit 11,4%; weitere Beziehungsstrukturen treten deutlich zurück. Hier erfahren Tatsachen, die dem Kenner der norddeutschen Flachküstenlandschaft unmittelbar einsichtig sind, ihre auch quantitative Bestätigung: die Verbreitung der Marschböden in geschlossenen, relativ homogenen Arealen, deren Angrenzen an die östlich anschließenden, meist auf grobkörnigen pleistozänen Sedimenten entwickelten Podsole sowie die Vergesellschaftung mit Mooregebieten, deren Bildung auf die mit dem nacheiszeitlichen Meeresspiegelanstieg verbundene Hebung des Grundwasserspiegels zurückzuführen ist. Die Vergesellschaftungen mit z.T. podsolierten Parabraunerden geringer Basenversorgung (6,6%) sind vor allem dort anzutreffen, wo See- und Flußmarschen direkt an Altmoränenkomplexe aus sandig-lehmigem Substrat anschließen.

Eine ähnlich hohe positive Autokorrelation wie die Marschböden zeigen die *Braunerden mittlerer bis geringer Basenversorgung* (67,6%), jedoch beträgt deren Flächenanteil fast das Zehnfache. Die unter dem Begriff „Braunerden II“ zusammengefaßten Bodensubtypen bilden damit große zusammenhängende Flächen, die weite Teile des Rheinischen Schiefergebirges, des Hessischen Berglandes sowie des Schwarzwaldes einnehmen. Bezüglich der Verbreitung bedeutende, allerdings weniger zusammenhängende Areale finden sich darüber hinaus im Bayerischen Grundgebirge sowie westlich der Fränkischen Alb.

Bereits die räumliche Verteilung des Vorkommens der sauren, oft flachgründigen Braunerden deutet auf einen engen Zusammenhang mit der geologischen Situation hin, und ein Blick auf die Geologische Karte bestätigt diese Feststellung. Als Ausgangsmaterial für die Bodenbildung dient vor allem grobkörniges, quarzitisches Festgestein, wie es in Form von devonischen Sandsteinen oder Grauwacken im Rheinischen Schiefergebirge oder als Buntsandsteindecke im Bereich Hessens häufig und weitflächig vorkommt. Auch im Kristallin des Schwarzwaldes und Bayerischen Grundgebirges sind gute Voraussetzungen für die Bildung nährstoffarmer Braunerden gegeben.

Betrachtet man die wegen der hohen positiven Autokorrelation der Braunerden II entsprechend schwach ausgeprägten Fremdnachbarstrukturen, so zeigen sich die räumlichen Beziehungen zu den Podsolen (mit 6,7% häufigster Fremdnachbar) am ausgeprägtesten; die Assoziationen mit basenarmen Parabraunerden (4,9%) sind ebenfalls erwähnenswert. Hier finden zwei, je nach Substrat, Klima und Vegetation unterschiedliche Prozesse ihre direkte räumliche Explikation. Während Braunerden auf

sandigem Gestein unter Nadelvegetation zu Versauerung und nachfolgender Podsolierung neigen, führt eine Verlehmung mit anschließender Tonverlagerung zur Bildung von Parabraunerden; gute Voraussetzungen hierfür sind auf etwas feinkörnigerem Gestein unter Laubwald – etwa in den klimabegünstigten Bereichen der Mittelgebirge – gegeben.

Eine Analyse des Vorkommens und der räumlichen Beziehungsmuster der *nährstoffreichen Braunerden I*, die eine erheblich geringere Verbreitung und vergleichsweise schwache Autokorrelation zeigen, stützt die eben herangezogene Argumentation. Als häufigste Fremdnachbarn erscheinen die sauren Braunerden (17,6%) sowie die nährstoffreichen

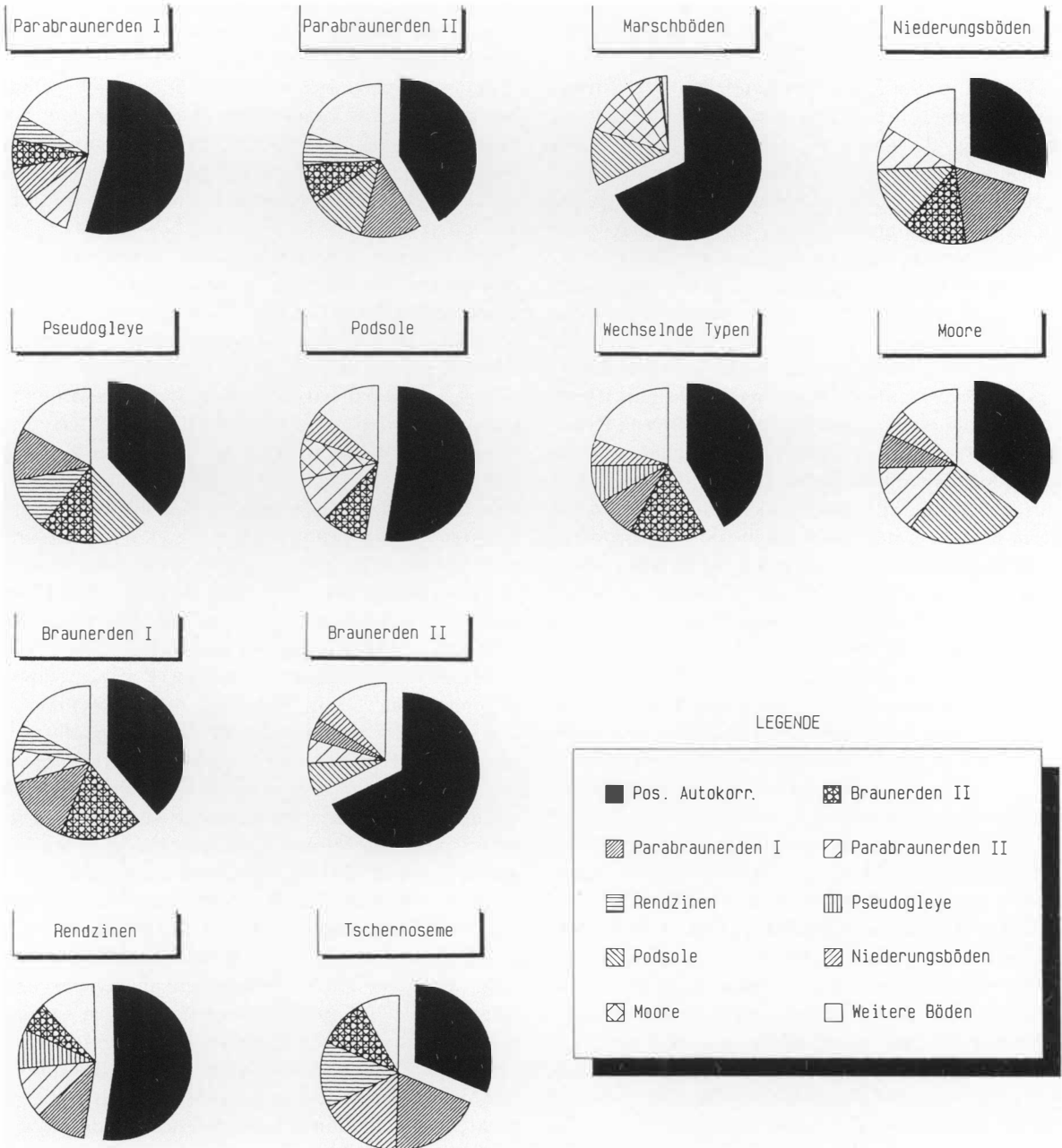


Abb. 2: Assoziationsmuster der Böden in der Bundesrepublik Deutschland
 Association patterns of soils in the Federal Republic of Germany

Parabraunerden (14,6%); weitere Assoziationen treten quantitativ deutlich zurück. Hier sind wiederum die möglichen Entwicklungsphasen der ‚klassischen‘ Braunerde mit A-B-C-Profil erkennbar; sowohl die Versauerung und Degradation zur nährstoffarmen Braunerde wie die Weiterentwicklung zur nährstoffreichen Parabraunerde. Pedogenetisch interessant ist auch die Vergesellschaftung mit den Rendzinen (5,2%), aus deren A-C-Profil sich durch weitere Horizontdifferenzierung im Zuge der Bodenentwicklung das Braunerdeprofil bildet.

Die Gruppe der *Rendzinen* (Rendzina, Terra fusca, Pararendzina auf Kalkschotter) ihrerseits zeigt nur eine mäßige flächenhafte Verbreitung (7,8%), dies jedoch in relativ geschlossenen Arealen, wie der Anteil von 53% positiver Autokorrelation zeigt. Da die Rendzina hauptsächlich auf Carbonat- und Gipsgestein entwickelt ist, beschränkt sich ihr Vorkommen meist auf die aus triassischem und jurassischem Kalkstein oder Dolomit aufgebauten Bereiche der Mittelgebirge (Schwäbische und Fränkische Alb) sowie die der Evaporite, vornehmlich des Keupers (Südwestdeutschland) oder Zechsteins (Südharz). Große zusammenhängende Areale von Rendzina und Terra fusca finden sich vor allem auf der Malm-Schichtstufe der Schwäbischen Alb sowie dem Muschelkalk südöstlich von Odenwald und Spessart; hierin ist die vergleichsweise hohe positive Autokorrelation begründet. Auf der Fränkischen Alb sind die Rendzinen ebenfalls recht weit verbreitet, allerdings dort in weniger zusammenhängenden Arealen und häufig mit Parabraunerde assoziiert; auch diese insgesamt typischen Vergesellschaftungen sind aus der Nachbarschaftsanalyse klar ersichtlich. Die mit 8,5% noch deutlich ausgeprägten Fremdnachbarbeziehungen zwischen Rendzinen und Pseudogleyen lassen sich vor allem mit Blick auf die geologisch-geomorphologischen Grundstrukturen des Süddeutschen Schichtstufenlandes, wo die Rendzinen ihre größte Verbreitung aufweisen, erklären: Zwischen der triassischen Muschelkalkstufe und den Malmkalken des Jura liegen die petrographisch zum Teil stark differenzierten Keuperschichten, wo auf tonig-mergeligem, wenig wasserdurchlässigem Substrat Pseudogleye als Leitböden in Assoziation mit lehmigen Braunerden und Pelosolen entwickelt sind. Auf den eher sandigen Keuperschichten (Stubensandstein, Schilfsandstein etc.) sind dagegen meist Braunerden und Podsole ausgeprägt. Betrachtet man die Fremdnachbarn der *Pseudogleye*, so werden diese Zusammenhänge in eindrucksvoller Weise bestätigt, denn in bezug auf die negative Autokorrelation bilden hier Podsole, Braunerden und Rendzinen mit fast identi-

schen Anteilen die drei nächsten Fremdnachbarn. Hinsichtlich der Pseudogleye fallen die im Bereich des Süddeutschen Schichtstufenlandes vorherrschenden pedologischen Verhältnisse insgesamt gesehen besonders ins Gewicht, denn hier finden diese Böden ihre wesentliche Verbreitung. Zwar sind deren Vorkommen über das gesamte Bundesgebiet verteilt zu finden, jedoch bilden sie oft nur kleine, eingestreute Areale, was in einer relativ geringen positiven Autokorrelation (38,2%) zum Ausdruck kommt. In der Vergesellschaftung von Pseudogleyen und Parabraunerden zeigt sich, daß die Tonanreicherungs-horizonte der Parabraunerden unter entsprechenden morphologischen und klimatischen Bedingungen als Staukörper für perkolierendes Wasser dienen, was zur Entstehung der typischen Profilvermerkmale des Pseudogleys führt.

Die *Podsole* finden ihre häufigste Verbreitung im Norddeutschen Flachland sowie in den kristallinen Mittelgebirgsbereichen im Südosten der Bundesrepublik. Da das Ausgangsmaterial der Bodenbildung in den genannten Regionen sehr unterschiedlich ist, besitzen die in der Podsol-Gruppe zusammengefaßten Böden abweichende Eigenschaften und Merkmale: Während sie im Norden fast ausschließlich auf pleistozänem und holozänem Sand entwickelt, oft durch eine mächtige Ortsteinschicht charakterisiert und, in grundwassernaher Lage, als Gley-podsol ausgeprägt sind, kommen sie im Süden meist mit wechselndem Ausbildungsgrad auf sauren Magmatiten und Sedimentgesteinen vor. Wegen dieser deutlichen Zweiteilung ist die Interpretation der Nachbarschaftsstrukturen bei den Podsohlen etwas problematisch. Die im Vergleich zum Gesamtdatenfeld mit 52,7% noch recht hohe Eigenvergesellschaftung dieser Bodentypengruppe ist wesentlich durch das weitflächige Vorkommen im schleswig-holsteinischen Geestbereich, in den niedersächsischen Heidegebieten und im Münsterland bedingt. Assoziationen mit den vornehmlich auf Altmoränenkomplexen entwickelten Parabraunerden mittlerer bis geringer Basenversorgung sowie Hoch- und Niedermooren sind hier typisch; diese erscheinen daher in der Rangfolge negativer Autokorrelationen an zweiter und dritter Stelle. Im Bereich Bayerns dagegen ist eine enge Verzahnung von Podsohlen und sauren Braunerden zu erkennen, deren pedogenetische Interpretation oben bereits gegeben wurde. Die aufgezeigten Konstellationen führen dazu, daß Braunerden, Parabraunerden und Moore mit sehr ähnlichen Anteilen negativer Autokorrelation (9,5–8,9%) als nächste Nachbarn der Podsole identifiziert werden. Kontinuierliche pedologische Abfolgen auf Raum- oder

Zeitachsen, wie sie etwa bei den Marschböden oder Braunerden aus der Gesamtanalyse direkt abgeleitet werden können, sind in diesem Falle jedoch nur unter Berücksichtigung der genannten Faktoren konstruierbar. Daher kann, und dies sei deutlich vermerkt, die Nachbarschaftsanalyse dazu beitragen, einen quantifizierbaren Überblick in bezug auf die Assoziationsmuster zu gewinnen; ein Abgleich der Ergebnisse mit der tatsächlichen Datengrundlage ist allerdings grundsätzlich erforderlich.

Die Gruppe der *nährstoffreichen Parabraunerden* (I) zeigt mit 16% den zweithöchsten Flächenanteil an der Bodendecke der Bundesrepublik Deutschland, wobei die recht hohe positive Autokorrelation indiziert, daß diese Böden oft weite zusammenhängende Areale bedecken. Am häufigsten assoziiert sind sie mit weiteren, nämlich den *basenarmen Parabraunerden* (II). Diese zeigen zwar geringere Verbreitung und Eigenvergesellschaftung, kommen aber wiederum zu 12,8% neben den Parabraunerden guter Basenversorgung vor. Damit sind die genannten Böden insgesamt gesehen im Bundesgebiet am weitesten (Flächenanteil >28%) und in den größten geschlossenen Arealen verbreitet.

Die pedogenetische Interpretation der Vergesellschaftungen von Parabraunerden unterschiedlicher Ausprägung mit weiteren Bodentypengruppen, insbesondere Podsolen, Braunerden und Rendzinen, wurde oben bereits gegeben; wegen der insgesamt großen Verbreitung der genannten Böden finden diese Assoziationsmuster einen sehr direkten Niederschlag in den jeweiligen Anteilen negativer Autokorrelation der Parabraunerden. Die mit 7,6% recht häufige Vergesellschaftung der nährstoffreichen Parabraunerden mit Niederungsböden beruht darauf, daß auf Flußterrassen (etwa des Rheins), die aus fluvial abgelagertem, oftmals lehmigem Material bestehen, besonders gute Voraussetzungen für die Entwicklung von Böden mit Tonanreicherungs-horizont gegeben sind.

Die *Tschernoseme*, im Lichte häufigkeitsstatistischer Überlegungen für die Gesamtfläche der Bundesrepublik fast unbedeutend, zeigen hinsichtlich des Verhältnisses zwischen positiver und negativer räumlicher Autokorrelation das erwartete Bild. Der prozentuale Anteil an Eigenvergesellschaftung ist äußerst gering; nur „Sonstige“ und „Niederungsböden“ weisen einen noch niedrigeren Wert auf, was oben bereits eingehend begründet wurde. In bezug auf die negative räumliche Autokorrelation fallen bei den Tschernosemen die engen Nachbarschaftsbeziehungen zu den Parabraunerden guter bis mittlerer Basenversorgung (19,2%) sowie den

Niederungsböden (17,1%) auf. Eine detaillierte Betrachtung der Bodensituation macht nun deutlich, daß die Nachbarschaftsstrukturen auch hier genetische Zusammenhänge konsequent widerspiegeln. Tschernoseme (Schwarzerden) sind im kontinentalen Klima des frühen Holozäns entstandene Reliktböden, die im gemäßigt humiden Klima relativ rasch degradieren und sich oft zu nährstoffreichen Parabraunerden weiterentwickeln. Daraus ergibt sich, daß „reine“, d.h. wenig weiterentwickelte Tschernoseme nur noch vereinzelt und kleinflächig vorkommen, und diese dann nicht selten mit ihren „Umwandlungsprodukten“, den Parabraunerden guter bis mittlerer Basenversorgung vergesellschaftet sind. Die engen Beziehungsstrukturen der Schwarzerden zu den Niederungsböden sind ebenfalls problemlos begründbar: Als Ausgangsmaterial für die Bildung von Tschernosemen kommt fast ausschließlich der Löß in Frage. Nun ist dieses äolische Lockergestein gerade in weiten Bereichen Süddeutschlands nicht mehr am Bildungsort vorhanden, sondern fluvial um- und als Schwemmlöß in den breiten Flußniederungen – etwa des Rheins – abgelagert; eine entsprechende Vergesellschaftung erklärt sich damit von selbst. Die im unteren Rheintalgraben zwischen Ludwigshafen und Mainz verbreiteten Vorkommen von Tschernosemen und degradierten Tschernosemen auf Löß sind dort eng mit Pararendzinen assoziiert. Dies ist als Grund dafür zu sehen, daß die Rendzinen durch die Nachbarschaftsanalyse als häufiger Fremdnachbar der Tschernoseme identifiziert werden. Aus methodischer Sicht ist in diesem Zusammenhang interessant, daß dieser relativ kleine Bereich einer derartigen Vergesellschaftung seinen direkten Niederschlag im Ergebnis der Datenauswertung findet.

Moore besitzen im Bundesgebiet einen Flächenanteil von gut 5% und sind schwerpunktmäßig in Niedersachsen und Schleswig-Holstein zu finden. Vor allem die Bildung der in den flacheren Bereichen der Norddeutschen Tiefebene weit verbreiteten Niedermoore ist vornehmlich auf den nacheiszeitlichen Meeresspiegelanstieg mit gleichzeitiger Hebung des Grundwasserniveaus zurückzuführen. Sie sind damit insgesamt eher kleinflächig in den Senken zwischen Moränenkomplexen sowie auf tiefliegenden Sanderbereichen anzutreffen; eine geringe positive Autokorrelation, die Nähe zu den Podsolen sowie häufige Vergesellschaftungen mit Parabraunerden unterschiedlicher Basenversorgung (je nach Zusammensetzung des Moränenmaterials) sind zu erwarten und werden wiederum durch die Nachbarschaftsanalyse bestätigt. Unter bestimmten Voraussetzungen

kam es seit dem späten Subboreal zur Bildung von Hochmooren, die ebenfalls räumlich eng begrenzt und oftmals mit den oben genannten Böden vergesellschaftet sind. Darüber hinaus finden auch die in den breiteren Flußtälern Süddeutschlands häufig vorkommenden Moore durch die Autokorrelation mit Tal- und Niederungsböden (5,5%) ihren adäquaten Ausdruck im Ergebnis der Datenverarbeitung.

Eine pedologische Interpretation der Nachbarschaftsbeziehungen der Kartiereinheit ‚Wechselnde Typen‘ ist wenig sinnvoll, allerdings sei darauf hingewiesen, daß die zwei häufigsten Fremdnachbarn Braunerde II und Parabraunerde I die weiteste Verbreitung im Bundesgebiet aufweisen. Betrachtet man diese Kombinationen aus dem Blickwinkel wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen, so scheint es durchaus verständlich, daß kleinräumige Assoziationen und Übergangsbildungen vornehmlich mit solchen Böden assoziiert sind, deren Grenzlinien im Verhältnis zum Gesamtdatensatz besonders lang sind.

4. *Schlußbetrachtungen*

Die Ausführungen mögen gezeigt haben, daß die rechnergestützte Auswertung der großräumigen Assoziationsmuster von Böden sehr detaillierte und grundsätzlich pedogenetisch begründbare Informationen über die Struktur der Bodengrundgesamtheit einer definierten Region geben kann. Diese Feststellung wird unter anderem auch dadurch untermauert, daß sich die von MÜCKENHAUSEN (1977, 47f) dargestellten pedogenetischen Beziehungsstrukturen in ihren Grundzügen im Ergebnis der Nachbarschaftsanalyse widerspiegeln. Der wesentliche Vorteil derartiger Untersuchungen liegt damit nicht nur in der Aufdeckung pedogenetischer Zusammenhänge, sondern auch in deren gezielter Quantifizierung und Verifikation für einen gewählten Untersuchungsraum. Da die vorhandenen großräumigen Assoziationsmuster als direktes Explikat kleinräumiger Vergesellschaftungen verstanden werden dürfen, können die Ergebnisse zusätzlich Kriterien im Zusammenhang mit konzeptionellen Überlegungen zur Bodenaufnahme, -darstellung und -bewertung liefern.

Literatur

- BRÜMMER, G., FRÄNZLE, O., KUHN, G., KUKOWSKI, H., VETTER, L.: Fortschreibung der OECD-Prüfrichtlinie ‚Adsorption/Desorption‘ im Hinblick auf die Übernahme in Anhang V der EG-Richtlinie 79/831: Auswahl repräsentativer Böden im EG-Bereich und Abstufung der Testkonzeption nach Aussagekraft und Kosten. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Forschungsbericht 106 02 045, Kiel 1987.
- CRUICKSHANK, J. G.: Soil Geography. Newton Abbot 1972.
- FISCHER, F., EHINGER, G., TIETJENS, R.: Thematische Kartographie – flächendeckend für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West). In: SCHILCHER, M. (Hrsg.): CAD-Kartographie – Anwendungen in der Praxis. Karlsruhe 1985, 223–237.
- FRÄNZLE, O.: The Structure of Soil Associations and Cenozoic Morphogeny in Southeast Africa. In: NAGL, H. (Hrsg.): Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung – Festschrift zum 60. Geburtstag von JULIUS FINK, Wien 1978, 159–176.
- FRÄNZLE, O., KUHN, D., KUHN, G., ZÖLITZ, R.: Auswahl der Hauptforschungsräume für das Ökosystemforschungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Forschungsbericht 101 04 043/02 I, Kiel 1987.
- GILGEN, H. J.: Bezugnahme von MSS-Daten auf bestehende digitale Datenbasen. Züricher Geogr. Schr. 5. ETH Zürich 1981.
- HOLLSTEIN, W., Bearb.: Bodenkarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1 000 000; herausgegeben von der Bundesanstalt für Bodenforschung. Hannover 1963.
- HUGGETT, R. J.: Models and Spatial Patterns of Soils. In: BRIDGES, E. M. & DAVIDSON, D. A. (Eds.): Principles and Applications of Soil Geography. London, New York 1982, 132–170.
- ILG, M.: Digital Processing of Map Data in Raster Format. Züricher Geogr. Schr. 26, ETH Zürich 1986.
- KUHN, G., FRÄNZLE, O., VETTER, L.: Regional repräsentative Auswahl von Böden für die Umweltprobenbank der Bundesrepublik Deutschland. In: Kieler Geogr. Schriften 64, 1986, 79–108.
- KUHN, G., VETTER, L.: Rechnergestützte Auswertung geowissenschaftlicher Karten als Grundlage der Umweltp lanung. In: Kartographische Nachrichten 5/88, 1988, 190–198.
- LAMP, J., KNOOP, F.: Erfassung der regionalen Merkmalsvarianz von Böden. In: Mitt. Dt. Bodenk. Gesell. 40, 1984, 191–198.
- MÜCKENHAUSEN, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. 2. Aufl., Frankfurt a. M. 1977.

RENK, W.: Die räumliche Struktur und Genese der Bodendecke im Bereich der Großen Randstufe Transvaals und Swazilands. Dissertation, Kiel 1977.
ROESCHMANN, G., Bearb.: Bodenkarte der Bundesre-

publik Deutschland 1:1 000 000. Hannover 1986.
ZÖLITZ, R.: Beispiele zur Anwendung der Variogrammanalyse auf flächenhaft erhobene Bodendaten. In: Mitt. Dt. Bodenk. Gesell. 36, 1983, 97-102.

PARAMETER UND INDIZES ZUR BEWERTUNG DES NATURRAUMPOTENTIALS BEISPIELE AUS NORDHESSEN

Mit 6 Abbildungen und 3 Tabellen

GERHARD STÄBLEIN

Summary: Parameters and indices for evaluation of natural environment and resources of an area. Examples from northern Hesse (Central Europe)

Landscape and natural environment are basic paradigms in geographical approaches. In the actual applied aspects of environmental management it is important to develop practical evaluation methods of the "natural potential" in an area and the impact of different land uses. A system of potentials for different land uses is discussed. The negative impact of a landscape can be calculated in a first step by a land use balance. The diversification of natural phenomena in a landscape section can be determined by a complex index giving a qualitative value as to possible leisure time activities. The geocological potential and the stability of the natural landscape system's balance can be judged by determining several properties of the natural divisions, e.g. the soil conditions in an areal section determined by filter quality, erosion disposition, permeability to water - The different methodological approaches are presented here by landscape sections of northern Hesse (Central Europe) as examples.

1. Die Landschaftsbewertung für Umweltplanung

Die öffentliche und interdisziplinäre Diskussion um Landschaftsschutz hat die Aufgabe der Landschaftsbewertung für die Praxis gestellt (FRÄNZLE 1987). Es geht vielfach darum, als Entscheidungsvoraussetzung für umweltsicherndes, ökologisches Planen die Naturraumpotentiale für konkret abgrenzbare Landschaften, Landschaftsausschnitte und Landschaftsteile zu bestimmen. Die durch gesetzliche Rahmen geforderte Umweltverträglich-

keitsprüfung (UVP) vor jeder Nutzungsänderung und jedem Eingriff in die bestehenden landschaftlichen Zustände wird in den nächsten Jahren die berufspraktischen Aufgaben von Geographen maßgeblich bestimmen. Vor diesem Hintergrund der anwendungspraktischen Entwicklung sollen im folgenden an regionalen Fallstudien aus Nordhessen Verfahren der Landschaftsbewertung als Möglichkeiten zur Erfassung von Naturraumpotentialen diskutiert werden.

2. Naturraumpotential und Leistungsvermögen für unterschiedliche Nutzungen

Die Bewertung einer Landschaft wird subjektiv und objektiv nach ganz unterschiedlichen Kriterien erfolgen können. Die Erinnerung und Erlebnisse, die sich an einen Standort oder Raum für einzelne oder Gruppen knüpfen, bzw. wechselnde Bedingungen und Bedürfnisse zeigen alltäglich erfahrbare Bewertungsstrukturen des Lebensraumes. Von allgemeinerer Bedeutung ist die Frage nach den Möglichkeiten und nach dem Leistungsvermögen der Flächennutzung für einen Landschaftsraum. Dies kann in unterschiedlichen Dimensionen vom topologischen, chorologischen, regionalen bis zum zonalen und geosphärischen Maßstab erfolgen; von der Suche nach einem geeigneten Standort bis zur Frage nach der Tragfähigkeit der Erde.

Als eine Grundebene der Fragestellung nach dem Naturraumpotential erweisen sich die „Naturkom-