

3. Die wesentlichen Elemente geologischer und bodenkundlicher Grundlagenkarten

3.1 Vergleich Bodenkarte - Geologische Karte

Geowissenschaftliche thematische Karten sind kognitive Kunstwerke. Sie sind auf einer hohen Stufe der Abstraktion durch die Theorie der grafischen Semiologie (BERTIN 1974) erfass- und analysierbar. In diesem Standardwerk der Kartosemiotik werden die spezifischen Unterschiede zwischen Karten und anderen Zeichensystemen herausgestellt. Die Karte ist ein monosemiotisches System. Sie besteht aus eindeutig definierten Elementarzeichen, im Gegensatz zur Sprache, in der ein Zeichen mit mehreren Bedeutungen verbunden sein kann. Der erste Teil der Theorie der grafischen Semiologie (BERTIN 1974) befasst sich mit der Analyse der Inhalte (strukturelle Information). Dieser wird genutzt, um die wesentlichen Elemente der Geologischen Karte (HOFBAUER 1998) (Abb. 1) und der Bodenkarte (Abb. 2) darzustellen.

Die Komponenten der Invariante, d. h. der Begriffsinhalt einer zu transkribierenden Information, der alle ursprünglichen Beziehungen gemeinsam sind, werden in der Karte in die beiden Dimensionen der Ebene transkribiert. Die Inhaltsanalyse der Komponenten (visuelle Variablen) ergibt

eine bestimmte Anzahl an Komponenten,
eine bestimmte Länge der jeweiligen Komponente,
eine bestimmte Gliederungsstufe der jeweiligen Komponente.

Die Darstellung der Karte wird aus Elementen (Kartenfeld, Legende, Profile, etc.) aufgebaut. Ein Element umfasst die Komponenten der Invariante, deren Gliederungsstufe und Komponentenlänge. Zur Verdeutlichung und Vergleichbarkeit der beiden Abbildungen (Abb. 1, 2) sind folgende Begriffe wesentlich (BERTIN 1974):

Invariante:	Begriffsinhalt einer zu transkribierenden Information, der alle ursprünglichen Beziehungen gemeinsam sind.
Komponente:	Verwendeter Variationsbegriff der Variable, die transkribiert wird (visuelle Variable).
Länge der Komponenten:	Anzahl der Kategorien, die es erlaubt, eine Komponente zu identifizieren.
Gliederungsstufe der Komponenten:	Bereich allgemeiner Bedeutung und grundsätzlicher Analogie, die durch die grafische Transkription angestrebt wird.

Die Gemeinsamkeit dessen, was in der geologischen Grundkarte und Bodenkarte dargestellt wird, liegt in dem in die Ebene projizierten Teil des Erdkörpers. Geologische Grundkarten und Bodenkarten stellen das gleiche Ausschnittsvolumen der Erdoberfläche in einer Tiefe von 0 - 2 Metern dar. Abgedeckte Geologische Karten werden hier nicht betrachtet. Das zentrale Element der Darstellung ist die

Karte. Eine Gemeinsamkeit in der Darstellungsform betrifft die Farbebene. Sie nimmt eine mittlere Lage ein, in der die topografischen Elemente durchscheinen und Überzeichnungen durch zusätzliche Texturen, Symbole und Kürzel ermöglicht werden. Weitere untergeordnete Gemeinsamkeiten in der Darstellungsform sind in den zusätzlichen Komponenten der Invarianten zu finden. In beiden Kartentypen bedient man sich häufig der Profilschnittdarstellung, welche die Aussagekraft der Karten in bezug auf die Darstellung des dreidimensionalen Erdkörpers erhöht. Die Beigabe von Erläuterungen zur Karte macht die 'Feld- und Laborsprache' (HOFBAUER 1998) nachvollziehbar. Die Erläuterungen enthalten auch über das Fachgebiet hinausgehende ergänzende Informationen. Beide Kartentypen zeichnen sich durch die Möglichkeit der exakten Verortung der dargestellten Einheiten aus.

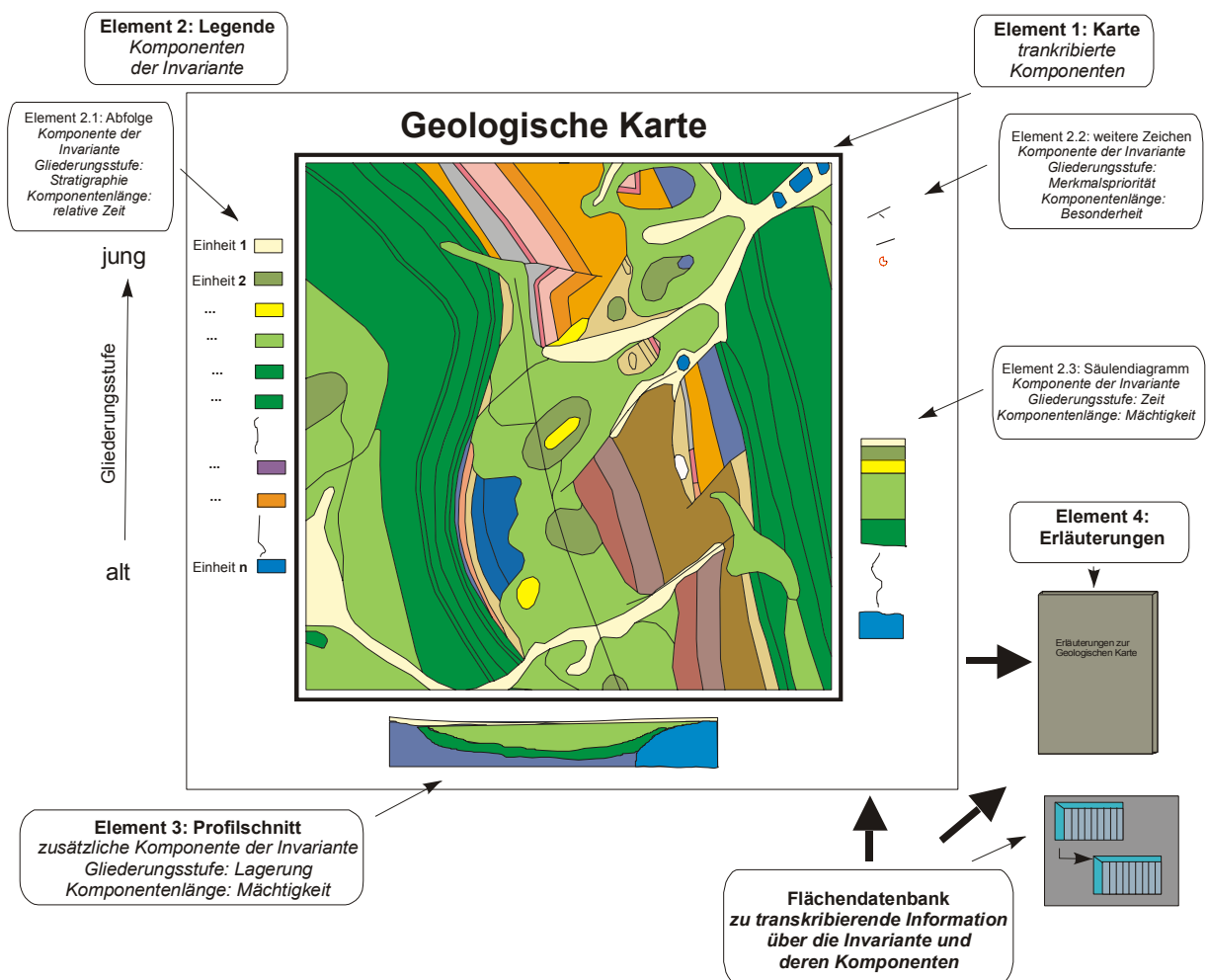


Abb. 1: Die wesentlichen Elemente der Geologischen Karte (zusammengestellt nach HOFBAUER 1998: 57 und BERTIN 1974)

Hier beginnen sich aber wesentliche Unterschiede herauszukristallisieren. Die geologische Karte besitzt neben der räumlichen auch eine zeitliche Dimension, die in der Gliederungsstufe ihren Ausdruck findet und in der Mächtigkeitstafel (Element 2.3) als Ordnungsprinzip bzw. Gliederungsstufe wiederzufinden ist. Die zeitliche Dimension ist als Gliederungsstufe für die Einheiten der Bodenkarte nicht tauglich. Als Gliederungsstufe tritt die chorische Dimension hervor. Die zeitliche Dimension paust sich allerdings in den Bodenkarten der Festgesteinsgebiete durch, da hier Böden in ihrem landschaftlichen

Kontext durch geologisch-morphologische Kriterien gruppiert dargestellt werden. Die Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 25 000 kann hier als Beispiel dienen. Als Beispiel für die substratgenetische Grobgliederung in der Legende bei der das chorische Ordnungsprinzip hervortritt kann die Boden-geologische Karte des Landes Brandenburg 1 : 50 000 genannt werden. Die Stellung in der Boden-systematik und der Hydromorphiegrad bestimmen die Anordnung innerhalb der Choren.

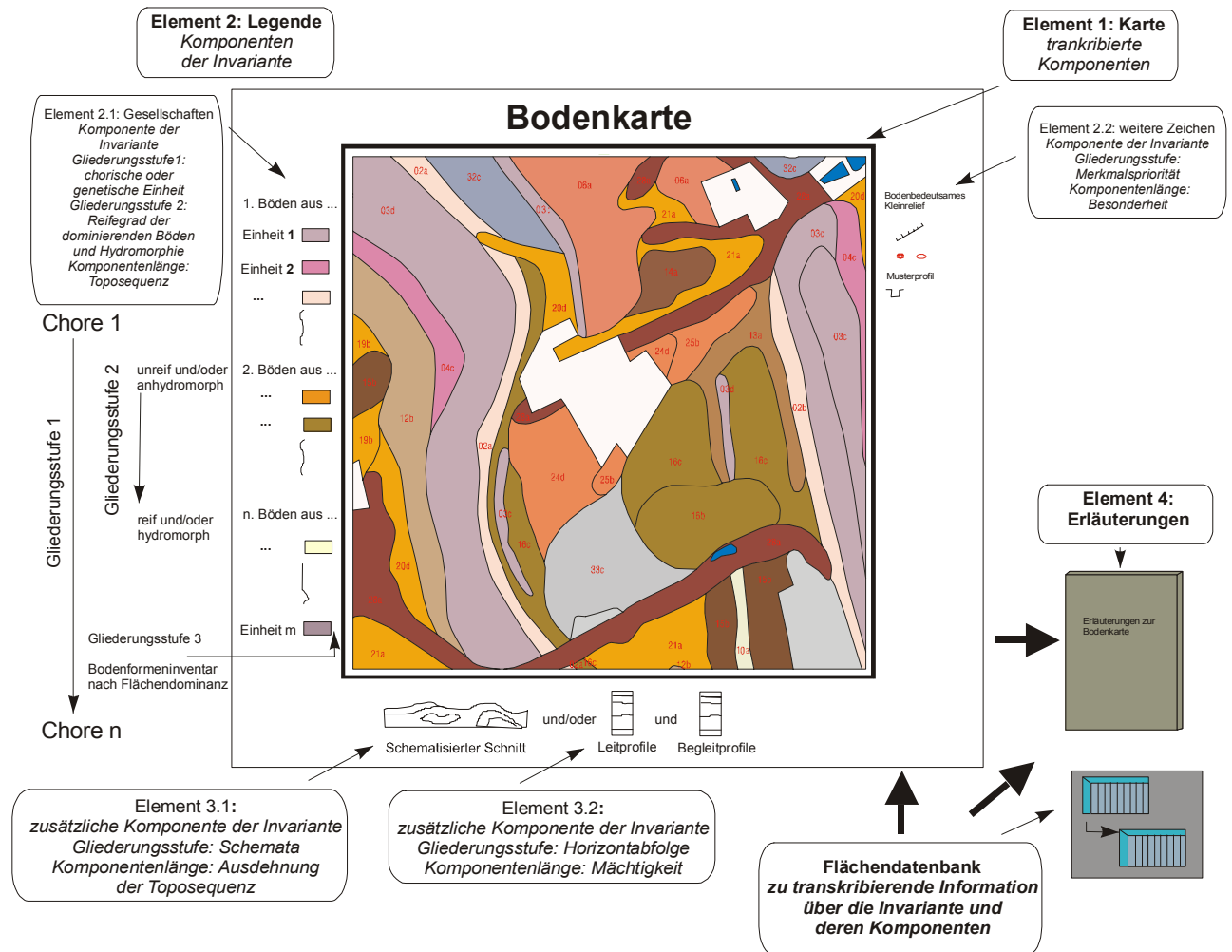


Abb. 2: Die wesentlichen Elemente der Bodenkarte

Abgesehen vom Erkenntniszuwachs (es liegen mehr Beobachtungen und neue Modellvorstellungen vor), die bei der Neuauflage einer geologischen Karte das Kartenbild gravierend ändern können, existieren zwischen den Einheiten in der Geologischen Karte klar definierte Grenzen. In Abhängigkeit von der Modellvorstellung des Geologen ergeben sich jedoch unterschiedliche grafische Darstellungen dieser Grenzen (Abb. 3). Ein Beispiel für ein völlig neues Kartenbild, ist bei WAGENBRETH (1958: 23) zu finden. Die Lagerung von Grauwacken, die in der 1. Auflage als auf- und abtauchende Faltenachsen lesbar war, ist in der 2. Auflage als durch Verwerfungen versetzte Grauwacken-Körper dargestellt. Hier wird auch gleich auf ein wesentliches Element im Kartenbild der Geologischen Karte verwiesen, das tektonische Inventar. Dieses wird in der Bodenkarte nicht geführt. Die auf tektonische und halokinetische Prozesse rückführbaren Strukturen beeinflussen aber natürlich auch das Bild der Bodenkarte.

Auch wenn beide Kartentypen den gleichen Ausschnitt der Erdoberfläche beschreiben, entsteht der wesentliche Unterschied durch die Bedeutung der Schichten dieser Decke, bezogen auf den jeweiligen Kartentyp. Die oberste Schicht wird in der Bodenkunde als Oberboden benannt. Dort bündeln sich die Eigenschaften, die dem Boden seine Bedeutung für die Nahrungsmittelproduktion, das Bodenmanagement und die Degradierungskontrolle geben (FAO 1998).

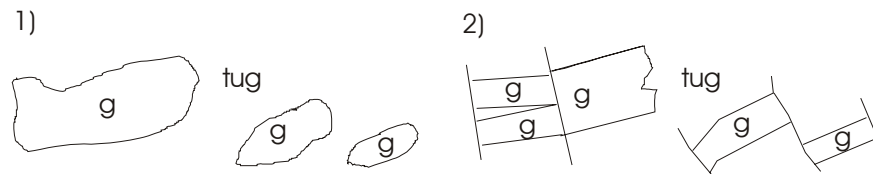


Abb. 3: Ein Beispiel für die Änderung des Bildes in der geologischen Karte durch neue Modellvorstellungen (Harztektonik). WAGENBRETH (1958: 23): Beides ist in dem stark gefalteten Gebiet theoretisch möglich. 1) Ovale Grauwackenausbisse, auf- und abtauchende Faltenachsen oder Auskeilen 2) Querverwerfungen; g - Grauwacke, tug - Tonschiefer.

Der Begriff "Oberboden" ist dem englischen "topsoil" äquivalent, wird auch als Mutterboden bezeichnet und folgendermaßen definiert: Boden aus verschiedenartigem Gemisch von Sand, Schluff, Ton und organischem Material; betrachtet als die nährstoffreiche obere Schicht des Bodens, die das Pflanzenwachstum trägt. (Soil Glossary 1997). **topsoil** - The layer of soil moved in cultivation. Frequently designated as the Ap layer or Ap horizon. Presumably fertile soil material used to topdress roadbanks, gardens, and lawns. **surface soil** - The uppermost part of the soil, ordinarily moved in tillage, or its equivalent in uncultivated soils and ranging in depth from 7 to 25 cm. Frequently designated as the plow layer, the surface layer, the Ap layer, or the Ap horizon.

In der Darstellung durch die Geologische Karte verschwindet diese Schicht meistens, denn sie maskiert die markanten geologischen Eigenschaften. Die deutschen geologischen Grundkarten zeigen in der Regel das Gestein, welches zwischen 0,2 - 2 m Tiefe ansteht (WAGENBRETH 1958, Arbeitsgruppe 1981).

3.2 Das Wesen der Bodenkarte

Nähert man sich dem Wesen der Bodenkarte, so erscheint als wesentlicher Aspekt für die Darstellung die eng räumliche Variabilität des Bodens. Mit der Entstehung der modernen Bodenkunde findet die russische Bodentypenlehre Eingang in die europäische Bodenkunde; GLINKA (1914): "Die Typen der Bodenbildung". Die Bodenkundler stellen, unabhängig welcher Grundprägung in der Ausbildung sie entstammen, die Variabilität der Bodens in den Vordergrund und das damit verbundene Problem der Abgrenzung der Bodenareale. Zwei Aussagen verdeutlichen diese Problematik (HORNIG 1991):

1. Die Bodenkarte gibt näherungsweise den Aufbau der Bodendecke wieder.
2. Böden gehen oft allmählich ineinander über. Ihre Abgrenzung erfolgt entsprechend einer gerade geltenden Systematik.

EHWALD (1979) spricht von quasihomogenen Einheiten, die voneinander aufgrund von Merkmalskomplexen deutlich unterschieden werden können, aber durch Übergangsgürtel miteinander verbunden sind (Abb. 4).

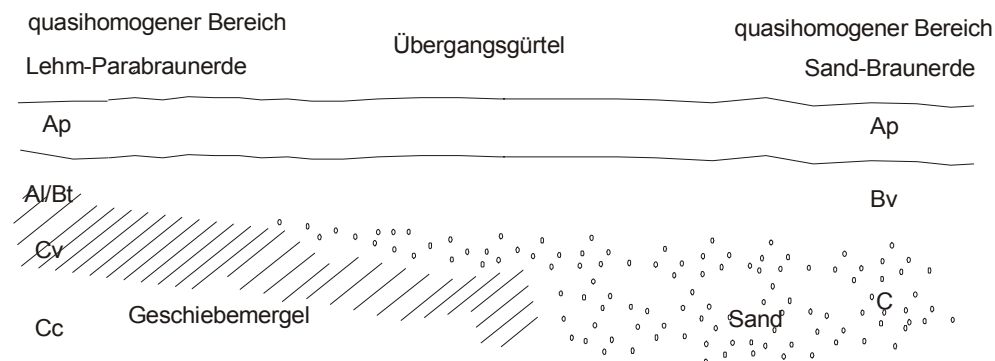


Abb. 4: Quasihomogene Bereiche und Übergangsgürtel in der Bodendecke (EHWALD 1979: 15)

Ap - gepflügter terrestrischer Oberbodenhorizont; Al - lessivierter (tonverarmter) terrestrischer Oberbodenhorizont; Bt - tonangereicherter terrestrischer Unterbodenhorizont; Bv - verwitterter, verbraunter terrestrischer Unterbodenhorizont; Cv - verlehmteter terrestrischer Untergrundhorizont; Cc - karbonatischer terrestrischer Untergrundhorizont

Bezogen auf die gültige Systematik bildet die Bodenform die Kombination von substrat- und bodensystematischer Einheit. In Deutschland ist sie festgelegt in: "Die Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands" (AK Bodensystematik 1998). Die Bodenform vereinigt bodenkundlich relevante lithogene und pedogene Merkmale eines Bodens und dient der umfassenden Kennzeichnung und Beurteilung der Böden und deren Eigenschaften (Arbeitsgruppe Boden 1994).

Begriffe für Flächeneinheiten in Bodenkarten sind: Kartiereinheit (K), Standortregionaltyp (SRT), Blattlegendeneinheit (BL), Generallegendeneinheit (GL). Die Anwendung dieser Begriffe wird zum Verständnis nachfolgender Vergleiche zwischen Geologischer Karte und Bodenkarte in der Skizze (Abb. 5) dargestellt.

In der Kartiereinheit sind die Bodeneinheiten, z. B. Bodenformen, zusammengefasst. In der Regel sind Kartiereinheiten beschriebene Einzelflächen. Eine oder mehrere Kartiereinheiten werden zu Standortregionaltypen oder Blattlegendeneinheiten zusammengefasst. Der Grad der Zusammenfassung ist dabei von der inhaltlichen Generalisierung abhängig. Generallegendeneinheiten sind das Äquivalent der blattschnittfreien Blattlegendeneinheiten.

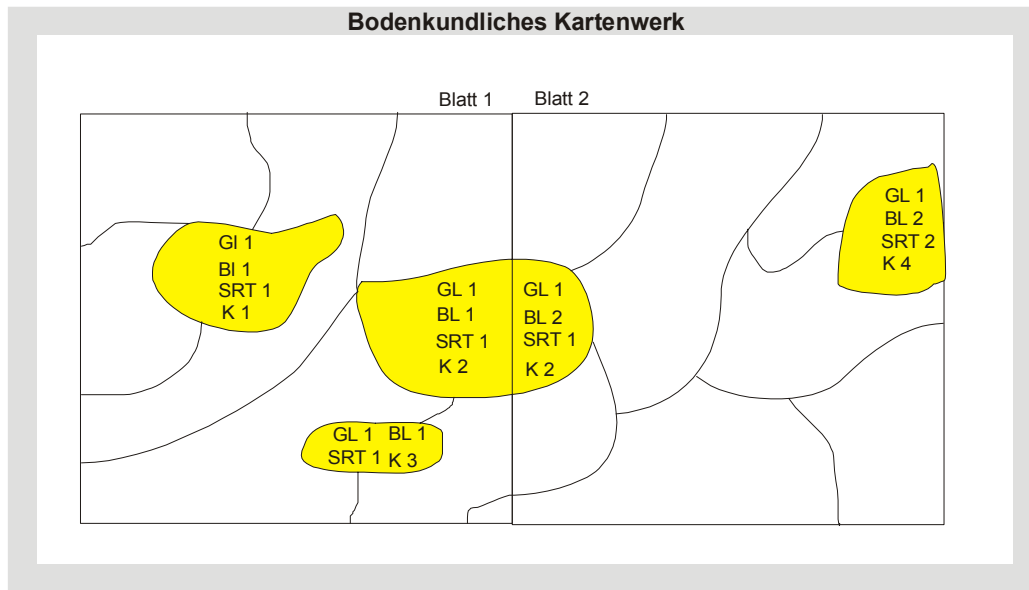


Abb. 5: Begriffsbestimmung für Flächeneinheiten in Bodenkarten
 K 1, 2, 3, 4 - Kartiereinheiten; SRT 1, 2 - Standortregionaltypen; BL 1, 2 - Blattlegendeneinheiten;
 GL 1 - Generallegendeneinheit

Die Kartieranleitung (AG Boden 1994) schreibt für die Bildung des Substrattyps, als ein Bestandteil der Bodenform, ein Zweischichtmodell bis 12 dm unter Flur vor. Zieht man dann das taxonomische Niveau in Betracht - Subniveau, Varietät - entsteht auf einer Fläche, die in der Geologischen Karte als homogen im maximal Zweischichtmodell beschrieben wird, ein großes Inventar an Bodenformen. Zur Illustration dienen die gewonnenen Flächen-Heterogenitäten für die Einheiten der Geologische Karte und der Bodenkarte Salzgitter Bad (C3928) im Maßstab 1 : 25 000 (Tab. 1). Auf der geologischen Karte sind mehr Flächen eingezeichnet, die durch eine relativ geringe Anzahl an Legendeneinheiten repräsentiert sind. Das kann man auch durch den Vergleich der Heterogenitäts-Indizes bezogen auf die Einheiten der jeweiligen Karte ausdrücken, ohne dabei die Inhalte betrachten zu müssen.

Heterogenitätszahlen	Geologische Karte	Bodenkarte
Anzahl der Flächen	753	689
Anzahl der Einheiten	59	114
Shannons Heterogenitäts-Index (SHDI)	2,77	3,91
Shannons Ebenheits-Index (SHEI)	0,68	0,83
Simpsons Heterogenitäts-Index (SIDI)	0,86	0,97

Tab.1: Flächenbezogene Heterogenitätszahlen für die Geologische Karte von Preußen und benachbarten Gebieten, Salzgitter und der Bodenkarte von Niedersachsen, Grundlagenkarte, Salzgitter-Bad.

Die Definitionen dieser Indizes und die verbale Beschreibung ihrer Bedeutung sind im Kapitel 9 enthalten. Die Berechnung der Heterogenitätsindizes erfolgte mit der Proportion der Flächengrößen. Das absolute Maß der Unbestimmtheit liegt bei der Bodenkarte deutlich höher und nähert sich der maximalen Entropie H_{\max} stärker, als das absolute Maß der Unbestimmtheit für die Geologische Karte. Die Wahrscheinlichkeit, bei der zufälligen Auswahl zweier Flächen in der Karte solche nicht gleichen Inhalts zu erhalten, beträgt bei der Bodenkarte 97% und bei der Geologischen Karte 86%.

Ein Beispiel für innere Heterogenität von Kartiereinheiten (Abb. 6) findet sich in der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung MMK (SCHMIDT & DIEMANN 1974). Sie basiert auf dem Modell des Pedotopgefüges, welches für ein charakteristisches Bodenformenmosaik steht. Die in Arbeitskarten, im Maßstab 1 : 25 000 abgegrenzten und im Maßstab 1 : 100 000 in Ergebniskarten ausgewiesenen Kartiereinheiten (zusammengefasst in Standortregionaltypen), beinhalten bis zu 13 Bodenformen (bei Mindestflächengrößen von 30 - 100 ha).

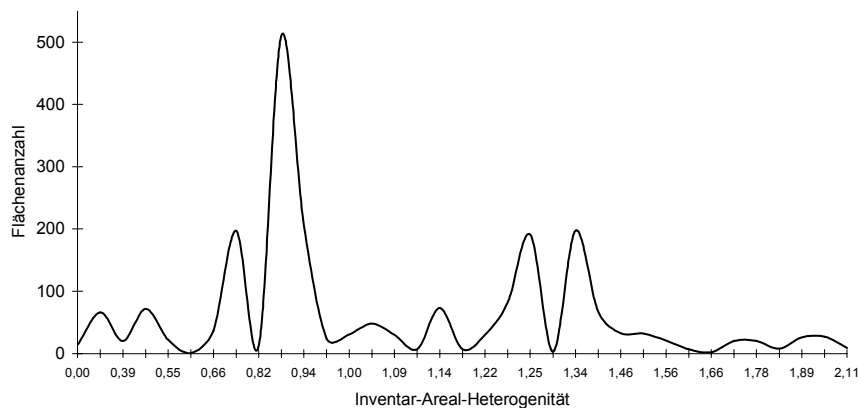


Abb. 6: Verlauf der Inventar-Areal-Heterogenität (Shannon-Index) für Standortregionaltypen der MMK im Ausschnitt CC3926, Blatt Braunschweig, nur Sachsen-Anhalt.

Die Berechnung der Inventar-Areal-Heterogenitäten der Standortregionaltypen erfolgte mit den Flächenanteilen des Inventars an Bodenformen. Der Verlauf im Diagramm gibt keine Aussage zur Ähnlichkeit des Inventars, sondern erfasst die Standortregionaltypen durch ihre Flächenanteilskombinationen. Die Inventar-Areal-Heterogenität steigt mit der Anzahl an Bodenformen und einer zunehmenden Gleichverteilung dieser in der Fläche. Dabei ergeben sich für die Standortregionaltypen Inventar-Areal-Heterogenitätszahlen im Intervall von **0,00 - 2,11**. Der betrachtete MMK-Ausschnitt repräsentiert Standortregionaltypen, die bis zu zehn Bodenformen in ihrer inhaltlichen Beschreibung führen. Die maximal mögliche Entropie H_{\max} , das Maß für die größte Unbestimmtheit an Inventar in einer Kartiereinheit, liegt hier bei **2,3** ($\ln 10$) und wird durch einige Standortregionaltypen angenähert erreicht. Die meisten Kartiereinheiten werden jedoch durch Standortregionaltypen beschrieben, die 4 - 6 Bodenformen in ihrem Inventar führen. Das Maximum im Diagrammverlauf stellt eine charakteristische Verteilung an Flächenanteilen dar, die folgenden Aufbau hat: Leitbodenform, assoziierte Begleitbodenform, 2-3 untergeordnete Begleitbodenformen.

Kartiereinheiten Geologischer Karten erreichen eine maximale Entropie H_{\max} von 0,69 ($\ln 2$), nämlich dort, wo geringmächtige jüngere Schichten über älteren lagern. Solche Legendeneinheiten werden der jeweils jüngsten Einheit zugeordnet.

GANSSEN & HÄDRICH (1965) zeigen in einem Gebiet des Mittleren Buntsandsteins in Form von Karten, wie vielfältig Bodeneinheiten in einem geologisch einfachen Gebiet ausgebildet sein können. Sie weisen aber auch auf die umgekehrte Möglichkeit, dass auf unterschiedlichen Ausgangsgesteinen die

gleiche Bodeneinheit auftritt, falls die übrigen Umweltfaktoren gleich bleiben. Das gilt für die bodentypologische Kennzeichnung, aber vom Standpunkt der aktuellen Aufnahmemethodik und umfassenden Kennzeichnung des Inventars durch die Kombination substratsystematischer und bodensystematischer Einheiten, sollte zumindest der Grad der Kompliziertheit der Geologischen Karte von der Bodenkarte erreicht werden.

Das Maß der Reinheit, ein Maß zur Identifizierung der Legendeneinheiten der Karte im Gelände, verdeutlicht noch einmal einen wesentlichen Unterschied zwischen Geologischer Karte und Bodenkarte. Es trägt der eng räumlichen Variabilität der Bodendecke Rechnung. Die Homogenität der Legendeneinheiten wird durch Fremddareale reduziert. Im Kapitel 2 des Soil Survey Manuals (Arbeitsgruppe 1997) werden diese Areale als Einschlüsse bezeichnet. Begriffsbestimmung Inklusion; Fremddareal (Soil Survey Manual 1997, Chapter 2, Inclusions within map units): In all soil surveys, virtually every delineation of a map unit includes areas of soil components or miscellaneous areas that are not identified in the name of the map unit. Many areas of these components are too small to be delineated separately. The location of some components cannot be identified by practical field methods. Some mapping inclusions are deliberately placed in delineations identified as another map unit to avoid excessive detail of the map or the legend.

Die Reinheit von Bodenkarten wird mit 65 - 70% angegeben und nach folgender Formel (1) abgeschätzt (FINKE et al. 1998):

$$Purity = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * Purity_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

A_i - Flächengröße der Legendeneinheit, i - Zähler, n - Anzahl der Legendeneinheiten

Der Maßstab zur Darstellung des Bodens in einer Karte ist durch die Beziehung zwischen dem komplexen Bodenmuster und der zu erwartenden Bewirtschaftung des Bodens, im erweiterten Sinne durch die Nutzeranforderung, bestimmt (Soil Survey Manual 1997; Tab. 2). Die in verschiedenen Maßstäben hergestellten Bodenkarten sind im Hinblick auf die Kartenentstehung interessant. Da keine vollständige flächendeckende Kartierung in Form von Grundlagenkarten existiert, der Deckungsgrad in den einzelnen Ländern beträgt durchschnittlich 25%, die Anforderung nach bodenkundlichen Kartenwerken jedoch wächst, entstanden im zunehmenden Maße Boden(übersichts)karten durch deduktives Kartieren. Eines dieser Kartenwerke ist die Bodenübersichtskarte von Niedersachsen im Maßstab 1 : 50 000 (BENZLER et al. 1997), integriert in einem digitalen Informationssystem.

Intensitätsstufe der Darstellung	Aufschlussdichte	Kartenmaßstab	MLA Cornell-Ansatz	Anwendungsfelder
Sehr hoch 'intensiv'	> 4 pro ha	1 : 2 500	0,025 ha	Lagegenaue Planung, Engineering
Hoch 'intensiv'	25 - 125 pro km ²	1 : 10 000	0,4 ha	Intensive Projektplanung und Engineering
Mäßig hoch 'detailliert'	4-20 pro km ²	1 : 25 000	2,5 ha	Detaillierte Projektplanung
Mittel 'semidetailliert'	1-5 pro km ²	1 : 50 000	10 ha	Semidetaillierte Planung, Landkreisebene
Gering 'semidetailliert'	¼-1 pro km ²	1 : 100 000	40 ha	Feasibility-Studien, Regionales Landinventar
Sehr gering 'angenähert'	<1 pro km ²	1 : 250 000	250 ha	Regional-überregionale Planung
explorativ	-	1 : 1 000 000 1 : 5 000 000	40 km ² 1 000 km ²	Übersichten

Tab. 2: Intensitätsstufen der Bodendarstellung und maßstabsgebundene Anwendungsfelder für Bodenkarten (nach ROSSITER 1998: 33), MLA - Minimale darstellbare Flächengröße.

Die Lesbarkeit - im Sinne darstellbarer Mindestflächengröße - von Bodenkarten ist äußerst wichtig. Potenzielle Nutzer werden Bodenkarten nicht nutzen, wenn diese nicht dem Anwendungs- bzw. Planungszweck genügen.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Bodenkarten sind vom Kartenmaßstab und damit von Inhalt und Aussagegenauigkeit abhängig. Anwendungsbereiche für Bodenkarten gibt es in der Grundlagenforschung, der angewandten Bodenkunde und den benachbarten Fachgebieten (AG Boden 1994).