

**INFORMATIONSGÜTE KLEINMASSSTÄBIGER
BODENKARTEN -
PROBLEME UND ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN**

Von dem Fachbereich Geowissenschaften und Geographie
der Universität Hannover

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation von

Diplom-Geograph Georg Lösel
geboren am 17. November 1970 in Erfurt

2005

Referent: Prof Dr. Thomas Mosimann

Korreferent: Prof. Dr. Gerald Kuhnt

Tag der Promotion: 7. Dezember 2004

Vorbemerkung

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr. Thomas Mosimann vom Geographischen Institut Hannover, der die Arbeit als Erstprüfer freundlicherweise betreut hat, sowie an Herrn Professor Gerald Kuhnt, der das Ko-Referat übernimmt. Herrn Dr. Volker Hennings von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gilt als Initiator des gesamten Projektes besonderer Dank. Viele Hilfestellungen und eine wohlthuende Klarheit, die mir bei mancher Verirrung wieder den Blick geöffnet hat, haben die Arbeit wesentlich erleichtert.

Die Kolleginnen und Kollegen der bodenkundlichen Referate B4.24, B4.25 und B4.26 der BGR sowie einige Kollegen aus den bodenkundlichen Referaten des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLfB) haben mich in den zurückliegenden Jahren auf unterschiedlichste Weise begleitet und unterstützt und diese Zeit zu einer schönen Wegstrecke werden lassen. Dafür sei Dank.

Die Arbeit ist auf der Basis des Forschungsprojektes "Maßstabsübergreifende Optimierung pedoökologischer Grundlagenkarten für die Modellierung von Boden- und Landschaftshaushaltsfunktionen durch Aggregation und Disaggregation" bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (Projektkennung: 202531) entstanden. Ohne die gewährte finanzielle Unterstützung wäre das Vorhaben nicht möglich gewesen. Hierfür möchte ich mich bedanken.

Mein besonderer Dank geht an meine Familie. Sie hat in einigen Phasen auf meine Anwesenheit verzichten müssen und mir den Rücken freigehalten. Für das Korrekturlesen und gute Gespräche danke ich Ilka, Peter, Stephan, Inga und Regina. Viele Menschen haben mich in den letzten Jahren begleitet und auf ihre Weise unterstützt. Wer sich angesprochen fühlen möchte, kann es hiermit tun.

Diese Arbeit wurde mit \LaTeX erstellt. Durch die vielfältigen Vorarbeiten bekannter und unbekannter Helfer zu diesem Textsatzsystem konnte ich mich auf die Inhalte konzentrieren und gleichzeitig ein gutes Layout erstellen.

Meine Gedanken sind bei meinem Vater, dem die Begleitung dieser Arbeit sicher viel Freude gemacht hätte.

Hannover im April 2004

Georg Lösel

Kurzzusammenfassung

Die fehlende Flächendeckung von mittel- und großmaßstäbigen Bodeninformationen in Deutschland führt zu der Anwendung ungenauer und fehlerbehafteter Karten im kleinen Maßstab bei der Ableitung bundesweiter Aussagen. Ziel der vorliegenden Arbeit war 1. den Fehler dieser Karten zu benennen und Möglichkeiten der Fehlerreduzierung zu untersuchen sowie 2. Möglichkeiten des Transfers groß- und mittelmaßstäbiger Informationen in die Legende der kleinmaßstäbigen Karte zu untersuchen.

In zwei niedersächsischen Untersuchungsgebieten lagen Bodenkarten im Maßstab 1:5.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:200.000 und 1:1 Mio. vor, auf deren Basis bodenkundliche und landschaftsökologische Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt und der Erosionsgefährdung nach gleicher Methode (HENNING 1994) abgeleitet wurden. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf den kleinmaßstäbigen Karten, hier speziell die "Bodenübersichtskarte für Deutschland im Maßstab 1:1 Mio." (BÜK1000). Alle Ergebniskarten wurden mit den Ergebnissen der großmaßstäbigen Referenzgrundlage (1:5.000) verglichen. Die Fehler einer Aussage auf Basis der vorliegenden Karten liegen für alle Kennwerte, Gebiete und Maßstäbe in einer Größenordnung, die bei einer Modellierung zu deutlichen Fehleinschätzungen führen. Eine inhaltliche Aggregation großmaßstäbiger Profile nach verschiedenen Kriterien unter Beachtung der Grenzen der kleinmaßstäbigen Zielkarten zeigt eine Reduzierung des Fehlers bis zu max. 44%. Eine räumliche Aggregation, die zu einer Neugestaltung des Kartenbildes führt, zeigt keine Verbesserungen darüber hinaus. Das Aggregationskriterium spielt bei allen Vorgehensweisen eine untergeordnete Rolle. Der Fehler einer bundesweiten Bodenfunktionskarte des Maßstabs 1:1 Mio. ist zu ca. 2/3 durch die räumliche Variabilität der bodenkundlichen Verhältnisse bedingt und damit maßstabsimmanent.

Taxonomische, inhaltliche und räumliche Heterogenitätsmaße wurden angewendet und auf ihre Aussagekraft hin untersucht. Als Basis für die Ableitung dieser Maße wird der Maßstab 1:50.000 empfohlen. Für eine zukünftige Kartenlegende werden folgende Maße für die einzelne Legendeneinheit empfohlen:

- **Taxonomie** : Flächenanteil gleichen Hauptbodentyps (Vergleich zur Information im kleinen Maßstab); Flächenanteil dominierenden Hauptbodentyps und Anzahl der unterschiedlichen Hauptbodentypen
- **Kennwerte** : flächengewichteter Mittelwert und Variationskoeffizient der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes sowie des K-Faktor der ABAG
- **Räumliche Heterogenität** : Modifizierter Simpson Areal-Ebenheitsindex sowie flächengewichteter Mittelwert und Variationskoeffizient des Gestaltindex

Anhand von Beispielen wird gezeigt, welche neuen Auswertungsmöglichkeiten die Erweiterung von kleinmaßstäbigen Legendeneinheiten durch Heterogenitätsmaße mit sich bringen. Die Struktur und der Inhalt zukünftiger Legenden kleinmaßstäbiger Bodenkarten werden vorgestellt und erläutert. Die Anwendung von Heterogenitätsmaßen unterstützt den Vergleich von Karten gleicher und unterschiedlicher Maßstäbe im Zuge der Kartenerstellung oder -überarbeitung. Eine Übersicht aller Maße berechnet für 45 LBA der BÜK1000 zeigt deutliche Unterschiede der Heterogenitätsstrukturen innerhalb von Deutschland. Die Kenntnis der Verteilung wichtiger bodenkundlicher Parameter innerhalb jeder Legendeneinheit erweitert die Möglichkeiten zur Modellierung landschaftsökologischer Parameter.

Die Erweiterung von Legenden kleinmaßstäbiger Bodenkarten mit Heterogenitätsmaßen auf Basis mittelmaßstäbiger Karten stellt eine deutliche Informationserweiterung dar. Damit wird die Heterogenität zu einem weiteren Kriterium, das die Weiter- und Neuentwicklung kleinmaßstäbiger Karten sowie die Anwendung dieser Karten nachhaltig unterstützt und verbessert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Stand der Technik und Forschung	5
1.2.1	Bodenkarten in Deutschland	5
1.2.2	Heterogenität bodenkundlicher Daten	10
1.2.3	Skalenfragen	19
1.2.4	Fazit	22
1.3	Zielsetzung und Forschungsfragen	23
2	Untersuchte Bodenkarten	26
2.1	Aktualisierte Bodenschätzung (Bo5)	26
2.2	Bodenkarte im Maßstab 1:25.000 (BK25)	27
2.3	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 (BÜK50)	28
2.4	Bodenkundliche Standortkarte von Niedersachsen und Bremen im Maßstab 1:200.000 (BSK200)	30
2.5	Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000)	31
3	Darstellung der Situation durch verschiedene Bodenkarten	33
3.1	Untersuchungsgebiete	33
3.1.1	Naturräumliche Beschreibung des Blattes Vechta	34
3.1.2	Naturräumliche Beschreibung des Blattes Ebergötzen	34
3.2	Bodenkundliche Situation in Vechta und die Darstellung durch die Boden- karten	36
3.2.1	Bodenkarte Bo5	36
3.2.2	Bodenkarte BK25	36
3.2.3	Bodenkarte BÜK50	37
3.2.4	Bodenkarte BSK200	37
3.2.5	Bodenkarte BÜK1000	38
3.2.6	Abgeleitete Kennwerte auf Basis verschiedener Karten; Raum Vechta	40
3.3	Bodenkundliche Situation in Ebergötzen und die Darstellung durch die Boden- karten	40
3.3.1	Bodenkarte Bo5	40
3.3.2	Bodenkarte BK25	41
3.3.3	Bodenkarte BÜK50	41
3.3.4	Bodenkarte BSK200	42

3.3.5	Bodenkarte BÜK1000	43
3.3.6	Abgeleitete Kennwerte auf Basis verschiedener Karten; Raum Ebergötzen	44
3.4	Fazit der Darstellung in den unterschiedlichen Maßstäben	44
4	Methodisches Vorgehen	47
4.1	Verwendete Kennwerte	47
4.2	Inhaltliche Harmonisierung	50
4.3	Geometrische Harmonisierung	51
4.4	Gewähltes Fehlermaß	52
4.5	Vorgehensweise bei der regelhaften Aggregierung	52
4.6	Heterogenitätsmaße - Methodische Grundlagen	56
4.6.1	Kontrastmaße	56
4.6.2	Statistische Verteilungen	58
4.6.3	Geostatistische Ansätze	58
4.6.4	Diversitätsmaße	59
4.6.5	Gestaltindex	63
5	Informationsgüte kleinmaßstäbiger Bodenfunktionskarten	64
5.1	Informationsgüte von Bodenfunktionskarten auf der Basis bestehender Kartenwerke	64
5.1.1	Fehlermaße bestehender Bodenfunktionskarten im Raum Vechta	64
5.1.2	Fehlermaße bestehender Bodenfunktionskarten im Raum Ebergötzen	66
5.1.3	Fehlermaße bestehender Bodenkarten - Fazit	67
5.2	Veränderung der Kartengüte bei regelhafter Aggregierung bodenkundlicher Kartiereinheiten	69
5.2.1	Verbesserungspotential durch inhaltliche Aggregierung	69
5.2.2	Verbesserungspotential durch räumliche Aggregierung	73
5.2.3	Nach Legendeneinheiten differenzierte Auswertung	75
5.2.4	Regelbasierte Aggregierung - Fazit	76
5.3	Auswirkung verschiedener Regionalisierungen von Relief-, Klima- und Landnutzungsinformationen	79
6	Beschreibung der Heterogenität bodenkundlicher Grundlagenkarten	83
6.1	Grundlagen zu den Auswertungen in den beiden Testgebieten	83
6.2	Ausprägung verschiedener Heterogenitätsmaße auf Basis der Bo5 und BK25	85
6.2.1	Kontrastmaße	85
6.2.2	Statistische Kennwerte	86
6.2.3	Geostatistik	87
6.2.4	Diversitäts- und Gestaltmaße	91
6.3	Aussagekraft verschiedener Heterogenitätsmaße	94
6.3.1	Kontrastmaße	94
6.3.2	Statistische Kennwerte	95
6.3.3	Geostatistische und Diversitätsmaße	95
6.3.4	Fazit	96

6.4	Qualität der Datengrundlage zur Ableitung der Heterogenitätsmaße	97
6.5	Empfehlungen zur Erweiterung kleinmaßstäbiger Kartenlegenden	100
6.5.1	Taxonomische Informationen	100
6.5.2	Statistische Maße	101
6.5.3	Diversitätsmaße	102
7	Anwendung der vorgeschlagenen Heterogenitätsmaße	103
7.1	Vergleich von Karten	103
7.1.1	Karten gleicher Maßstäbe	103
7.1.2	Karten unterschiedlicher Maßstäbe	109
7.1.3	Vergleich von Karten - Fazit	110
7.2	Bundesweite Auswertung der Heterogenitätsmaße	112
7.2.1	Methodische und räumliche Heterogenität	112
7.2.2	Beschreibung der Daten	113
7.2.3	Ausprägung der Heterogenitätsmaße in verschiedenen Naturräumen . .	116
7.2.4	Diversitätsindex	117
7.2.5	Gestaltindex	117
7.2.6	Bundesweite Darstellung der Heterogenitätsmaße	120
7.2.7	Bundesweite Auswertung - Fazit	121
7.3	Integration von Verteilungsfunktionen in Kartenlegenden durch eine Monte-Carlo-Simulation	126
7.3.1	Methodik von Monte-Carlo-Simulationen	126
7.3.2	Methodik zur Berechnung der Sickerwasserrate	127
7.3.3	Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation	129
7.4	Beispiellegende zukünftiger Bodenkarten	132
7.4.1	Aktueller Stand	132
7.4.2	Nutzungsdifferenzierung	132
7.4.3	Zukünftige Informationen	133
8	Diskussion und Ausblick	136
9	Zusammenfassung	141
10	Summary	145
	Literaturverzeichnis	147
	Anhang	159
11	Anhang	160
A	Heterogenitätsmaße	161

B Geostatistik	165
B.1 Variogramme im Gebiet Vechta; Kennwert nFKWe	165
B.2 Variogramme im Gebiet Vechta; Kennwert K-Faktor	167
B.3 Variogramme im Gebiet Ebergötzen; Kennwert nFKWe	169
B.4 Variogramme im Gebiet Ebergötzen; Kennwert K-Faktor	170
C Karten	178

Tabellenverzeichnis

1.1	Übersicht zur Verfügbarkeit von Bodendaten in den Bundesländern	7
1.2	Einflussfaktoren auf die Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Betrachtungsdimension	20
1.3	Dimensionen von Bodeneinheiten	21
2.1	Einstufung der Flächenanteile von Böden	27
3.1	Anteile verschiedener Nutzungen in den beiden Untersuchungsgebieten	34
3.2	Verteilung der Hauptbodentypen in Vechta in verschiedenen Maßstäben	37
3.3	Böden der BÜK1000 auf Blatt Vechta	39
3.4	Verteilung der Hauptbodentypen in Ebergötzen in verschiedenen Maßstäben	41
3.5	Böden der BÜK1000 auf Blatt Ebergötzen	43
3.6	Zahl der unterschiedlichen Flächen (Polygone) und beschreibende Legendeninformationen in den beiden Untersuchungsgebieten Ebergötzen und Vechta	46
4.1	Regressionsgleichungen zur Ableitung der jährlichen Sickerwasserrate	47
4.2	Kriterien der regelhaften Aggregierung bodenkundlicher Kartiereinheiten	54
4.3	Werte für die Berechnung des Kontrastes nach (AMOS und WHITESIDE 1975)	57
4.4	Berechnung der verwendeten Diversitätsmaße	60
4.5	Werte der Diversitätsindizes für sechs Beispielflächen	61
4.6	Gestaltindizes sechs verschiedener Beispielflächen	63
5.1	Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung; Kennwert nFKWe; Blatt Vechta	70
5.2	Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung; Kennwert Swr; Blatt Vechta	70
5.3	Ergebnisse der inhaltliche Aggregierung; Kennwert K-Faktor; Blatt Ebergötzen	71
5.4	Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung; Kennwert EfW; Blatt Ebergötzen	72
5.5	Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung; Kennwert nFKWe; Blatt Ebergötzen	72
5.6	Ergebnisse der räumlichen Aggregierung; Kennwert nFKWe; Blatt Vechta	73
5.7	Ergebnisse der räumlichen Aggregierung; Kennwert Swr; Blatt Vechta	74
5.8	Ergebnisse der räumlichen Aggregierung; Kennwert EfW; Blatt Ebergötzen	74
5.9	Übersicht der Regionalisierungsvarianten	79
5.10	Ergebnisse der Regionalisierung nichtbodenkundlicher Parameter; Kennwert pot. Erosionsgefährdung; Blatt Ebergötzen	81
6.1	Untersuchte Leitbodenassoziationen in den Testgebieten	83
6.2	Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den Testgebieten auf Basis der Bo5	86

6.3	Geostatistische Kennwerte für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5	89
6.4	Diversitäts- und Gestaltindizes für die Leitbodenassoziationen in den Testgebieten auf Basis der BK25	92
6.5	Korrelation zwischen den Kontrastmaßen und dem Fehler der bestehenden Karten	94
6.6	Korrelation zwischen Maßen der klassischen Statistik und dem Fehler der bestehenden Karten	95
6.7	Korrelation zwischen dem Fehler der bestehenden Karten und den Variogrammkenndaten	96
6.8	T-Test von Werteverteilungen in den beiden Untersuchungsgebieten	96
6.9	Korrelationskoeffizient zwischen den Heterogenitätsmaßen, ausgewertet auf Basis unterschiedlicher Maßstäbe	98
7.1	Vergleich der Heterogenitätsmaße einer Legendeneinheit (Sandlöss) in der Darstellung der Bodenkarten BSK200 und BÜK200	105
7.2	Vergleich ausgewählter Heterogenitätswerte der Bodenkarten BSK 200 und BÜK 200	107
7.3	Kurzlegende der BSK200 und der BÜK200 in Vechta und Ebergötzen	108
7.4	Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Heterogenitätsmaße der BSK200 und BÜK1000 auf Blatt Vechta	109
7.5	Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Heterogenitätsmaße der BSK200 und BÜK1000 sowie der BÜK200 und BÜK1000-N3 auf Blatt Ebergötzen	110
7.6	Minimum und Maximum der Heterogenitätsmaße für 45 Leitbodenassoziationen der BÜK1000	114
7.7	Heterogenitätsmaße für 28 Leitbodenassoziationen der BÜK1000	115
7.8	Varianzanalyse zwischen den Maßen Mittelwert und Variationskoeffizient der nFKWe und K-Faktor sowie dem Index MSIEI	116
7.9	Informationsgehalt bestehender kleinmaßstäbiger Karten (BÜK1000)	132
7.10	Informationsgehalt kleinmaßstäbiger Karten, die sich zur Zeit in der Bearbeitung bei der BGR befinden (nutzungsdifferenzierte BÜK1000	133
7.11	Informationsgehalt zukünftiger kleinmaßstäbiger Karten; Darstellung statistischer Maße sowie Diversitätsindizes	134
7.12	Informationsgehalt zukünftiger kleinmaßstäbiger Karten; Flächenanteile klassifizierter bodenkundlicher und landschaftsökologischer Kennwerte	134
8.1	Konzept von vier verschiedenen bodenkundlichen Arbeitsebenen	140
A.1	Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5	161
A.2	Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der BÜK50	162
A.3	Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der BSK200	162

A.4	Korrelation zwischen den Heterogenitätsmaßen und dem Fehler der bestehenden Karten	163
A.5	Statistische Auswertung für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5	164
B.1	Heterogenitätsmaße für Legendeneinheiten der BSK200 und BÜK200 auf dem Blatt Vechta	171
B.2	Heterogenitätsmaße für Legendeneinheiten der BSK200 und BÜK200 auf dem Blatt Ebergötzen	172
B.3	Untersuchte Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 1 bis LBA 25	173
B.4	Untersuchte Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 26 bis LBA 50	174
B.5	Untersuchte Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 51 bis LBA 72	175
B.6	Heterogenitätsmaße für die Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 6 bis 30	176
B.7	Heterogenitätsmaße für die Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 31 bis 66	177

Abbildungsverzeichnis

1.1	Darstellung der Maßstabsproblematik	3
1.2	Anfragen an die BGR nach kleinmaßstäbigen Bodeninformationen	10
1.3	Modellvorstellungen zur Manifestierung räumlicher Heterogenität	11
1.4	Gliederung verschiedener Ansätze zur Beschreibung der Heterogenität in Bodenkartens	14
1.5	Skalenhierarchie, Konzept zur Einstufung von Modellen	21
3.1	Lage der Untersuchungsgebiete in Niedersachsen	33
3.2	Darstellung der bodenkundlichen Haupttypen in Vechta	38
3.3	Statistische Auswertung des Kennwerts nFKWe auf Blatt Vechta	40
3.4	Statistische Auswertung des Kennwerts Swr auf Blatt Vechta	40
3.5	Darstellung der bodenkundlichen Haupttypen in Ebergötzen durch Karten verschiedener Maßstäben	42
3.6	Auswertung des Kennwerts K-Faktor; Blatt Ebergötzen	44
3.7	Auswertung des Kennwerts pot. Erosionsgefährdung; Blatt Ebergötzen	44
4.1	Prinzip der Berechnung des Kennwertes: <i>jährliche Sickerwasserrate</i>	48
4.2	Schema der Datenbankstruktur im NIBIS	51
4.3	Geometrische Harmonisierung zur Erstellung einer einheitlichen Geometrie	52
4.4	Prinzip der Berechnung des Fehlermaßes WMQD	53
4.5	Prinzip der regelhaften Aggregation	55
4.6	Modellhaftes Variogramm	59
4.7	Modellhafte Darstellung von sechs Verteilungsmustern in Bodenkartens	60
4.8	Veränderung ausgewählter Diversitätsmaße bei der Änderung der Anzahl unterschiedlicher Bodentypen in kompakter Lage	61
4.9	Veränderung ausgewählter Diversitätsmaße bei der Änderung der Anzahl unterschiedlicher Bodentypen in gefleckter Lage	61
4.10	Vergleich von zwei ausgewählten Diversitätsindizes	62
5.1	Fehlermaße für den Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe); Blatt Vechta	64
5.2	Fehlermaße für den Kennwert mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr); Blatt Vechta	64
5.3	Fehlermaße für den Kennwert potentielle Erosionsgefährdung (EfW); Blatt Vechta	65
5.4	Fehlermaße für den Kennwert K-Faktor der ABAG; Blatt Ebergötzen	66

5.5 Fehlermaße der potentiellen Erosionsgefährdung (EfW); Blatt Ebergötzen	66
5.6 Fehlermaße für den Kennwert nFKWe; Blatt Ebergötzen	67
5.7 Einfluss der inhaltlichen Aggregierung auf die Kartenaussage; Blatt Vechta	71
5.8 Differenzierte Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung in Vechta; Kennwert nFKWe	75
5.9 Differenzierte Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung in Vechta; Kennwert Swr	75
5.10 Differenzierte Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung in Ebergötzen; Kennwert K-Faktor	76
5.11 Differenzierte Ergebnisse der inhaltlichen Aggregierung in Ebergötzen; Kennwert EfW	76
5.12 Bestmögliche Verbesserung von Bodenfunktionskarten durch inhaltliche und räum- liche Aggregierung	77
5.13 Ergebnisse der Regionalisierung nichtbodenkundlicher Parameter im Maßstab 1:1 Mio.; Kennwert Swr; Blatt Vechta	80
5.14 Relativer Anteil der Art der Regionalisierung von Boden-, Klima- und Reliefinfor- mationen am Gesamtfehler	82
6.1 Verbreitung der untersuchten Leitbodenassoziationen auf Blatt Vechta	84
6.2 Verbreitung der untersuchten Leitbodenassoziationen auf Blatt Ebergötzen	84
6.3 Auswertung der einzelnen LBA auf Basis von Daten der Bo5; Kennwert nFKWe .	87
6.4 Auswertung der einzelnen LBA auf Basis von Daten der Bo5; Kennwert K-Faktor	88
6.5 Variogramm einer Legendeneinheit mit räumlichen Abhängigkeiten	89
6.6 Variogramm einer Legendeneinheit ohne räumliche Abhängigkeiten	89
6.7 Verteilung der Punktwerte des K-Faktors in der LBA 28; Blatt Vechta	90
6.8 Variogramm einer Legendeneinheit mit räumlichem Trend	90
6.9 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im südlichen Bereich der LBA 28; Blatt Vechta	90
6.10 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im nördlichen Bereich der LBA 28; Blatt Vechta	90
6.11 Vergleich zweier Leitbodenassoziationen und dem Diversitätsmaß MSIEI	92
7.1 Vergleichsmöglichkeiten zwischen Karten verschiedener Maßstäbe und Bearbei- tungsstände	104
7.2 Vergleich der Heterogenität gleichartig bezeichneter Legendeneinheiten	104
7.3 Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BSK200, Blatt Vechta	105
7.4 Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BÜK200, Blatt Vechta	105
7.5 Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BSK200, Blatt Ebergötzen	106
7.6 Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BÜK200, Blatt Ebergötzen	106
7.7 Vergleich zwischen der BÜK1000 und der nutzungsdifferenzierten BÜK1000-N3 auf Blatt Vechta	109
7.8 Vergleich zwischen der BÜK1000 und der nutzungsdifferenzierten BÜK1000-N3 auf Blatt Ebergötzen	109

7.9	Lage der ausgewerteten Daten der Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 in Deutschland	112
7.10	Verteilung des Index MSEIE in 28 untersuchten LBA der BÜK1000	117
7.11	Vergleich der räumlichen Verteilung von Hauptbodentypen in zwei benachbarten Leitbodenassoziationen; Index MSIEI	118
7.12	Beispiel für einen niedrigen Gestaltindex; Ausschnitt der LBA29 im Bereich des Blattes 3334 und 3336 der TK50	119
7.13	Beispiel für einen hohen Gestaltindex; Ausschnitt der LBA60 im Bereich des Blattes 4712 der TK50	119
7.14	Verteilung des Kennwertes <i>Flächenanteil des dominanten Haupttyps der Vergleichsgrundlage BK50</i> in der Bundesrepublik	122
7.15	Verteilung des Kennwertes <i>Variationskoeffizient: nFKWe</i> in der Bundesrepublik .	123
7.16	Verteilung des Kennwertes <i>Variationskoeffizient: K-Faktor</i> in der Bundesrepublik	124
7.17	Verteilung des Kennwertes <i>modifizierter Simpson Ebenheitsindex</i> in der Bundesrepublik	125
7.18	Prinzipiskizze der Monte-Carlo-Simulation	126
7.19	Mittelwert und Standardabweichung der jährlichen Sickerwasserrate in Abhängigkeit von der Wiederholung der Simulation	127
7.20	Verteilung der Bodenparameter und Verdunstung in der LBA42	128
7.21	Verteilung der Niederschläge (Sommer- und Jahresniederschlag) in der LBA42 .	128
7.22	Lage der LBA 42 innerhalb von Deutschland	129
7.23	Verteilung der Sickerwasserratenklassen innerhalb der LBA 42	129
7.24	Beispielhafte Werteverteilungen in verschiedenen LBA	131
B.1	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 17 im Blatt Vechta . . .	165
B.2	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 28 (nördlicher Bereich) im Blatt Vechta	165
B.3	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 28 (südlicher Bereich) im Blatt Vechta	166
B.4	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 46 im Blatt Vechta . . .	166
B.5	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 6 im Blatt Vechta	166
B.6	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 7 im Blatt Vechta	166
B.7	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 17 im Blatt Vechta . . .	167
B.8	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 28 (nördlicher Bereich) im Blatt Vechta	167
B.9	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 28 (südlicher Bereich) im Blatt Vechta	167
B.10	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 46 im Blatt Vechta . . .	167
B.11	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 6 im Blatt Vechta . . .	168
B.12	Variogramm des Kennwertes K-Faktor im Bereich der LBA 7 im Blatt Vechta . . .	168
B.13	Variogramm des Kennwertes nFKWe im Bereich der LBA 42 (nordöstlicher Bereich) im Blatt Ebergötzen	169

B.14 Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 42 (südlicher Bereich) im Blatt Ebergötzen	169
B.15 Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 61 im Blatt Ebergötzen	169
B.16 Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 17 im Blatt Ebergötzen	169
B.17 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 42 (nordöstlicher Be- reich) im Blatt Ebergötzen	170
B.18 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 42 (südlicher Bereich) im Blatt Ebergötzen	170
B.19 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 61 im Blatt Ebergötzen	170
B.20 Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 17 im Blatt Ebergötzen	170
C.1 Bodenübersichtskarte BSK200, Blatt Vechta	179
C.2 Bodenübersichtskarte BÜK200, Blatt Vechta	180
C.3 Bodenübersichtskarte BSK200, Blatt Ebergötzen	181
C.4 Bodenübersichtskarte BÜK200, Blatt Ebergötzen	182

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Boden als Teil der belebten obersten Erdkruste ist Lebensraum für Pflanzen und Tiere, regelt und steuert als Filter, Puffer und Speicher verschiedene Prozesse, wird als Grundlage der Land- und Forstwirtschaft genutzt und bietet Fläche für Siedlung, Wirtschaft, Verkehr und Erholung.

Aus diesen Funktionen resultieren zahlreiche Beanspruchungen. Die direkte Bearbeitung durch landwirtschaftliche Nutzung führt durch Düngemitteln oder Pflanzenschutzmittel (PSM) zu stofflichen Einträgen. Weitere Stoffe werden durch ubiquitäre Quellen (z.B. Niederschlag) eingetragen. Durch die Befahrung der Flächen mit Maschinen wird der Boden verdichtet und die Bodenstruktur verändert. Erosion führt zur Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb eines Hangs und bei Übertritt auf benachbarte Flächen zu Materialverlust und Eintrag unerwünschter Stoffe (PSM, Düngemittel) in angrenzende Vorfluter. Eine große Belastung ist der Flächenverlust im Zuge von Baumaßnahmen (z.B. Straßenbau). Alle genannten Belastungen haben Auswirkungen auf Fauna und Flora, auf die Menge und Qualität von Nahrungs- und Futtermitteln sowie auf das Grundwasser.

Zur Abschätzung der Gefährdungspotenziale und den Grenzen der Funktionen von Böden in der Folge der genannten Belastungen werden vielfältige Modelle eingesetzt (MÜLLER 1996). Die Qualität der darauf basierenden Aussagen ist wesentlich von der Qualität der eingesetzten Eingangsparameter abhängig. Die Qualität der bodenkundlichen Information steht dabei im Vordergrund. Bei der Bereitstellung dieser Informationen sind Bodenkarten ein wesentliches Werkzeug für Fragen des Boden- und Umweltschutzes. Sie liefern Information zur Verbreitung und den Eigenschaften der dargestellten Böden. Die Qualität und Aussagegüte vielfältiger Modelle und Ableitungen (Pedotransferfunktionen) sind damit direkt an die Qualität und Güte der Karte geknüpft.

Nutzer und Anwender einer Karte möchten idealerweise eine Information über einen eindeutigen Zustand an einem Punkt oder in einer Fläche ("**hier ist es so**"). Diese Informationen sind bei einfachen Zusammenhängen (z.B. Zugehörigkeit zu einem Bundesland oder die Nutzung einer Fläche) leicht verfügbar.

Bodenkarten haben die anspruchsvollere Aufgabe, Bedingungen der natürlichen Umwelt in den obersten zwei Metern der Erdoberfläche eines Gebietes wiederzugeben. Sie müssen damit einen dreidimensionalen Körper in zwei Dimensionen darstellen. Dieser Naturkörper ist allerdings inhaltlich und räumlich heterogen. Abhängig von dem gewählten Blickwinkel und Raumausschnitt kann nur in den wenigsten Fällen Gleichartigkeit oder Homogenität angenommen werden. Neben einer formalen Beschreibung des Bodens und seinen Eigenschaften muss die Karte also auch zwingend Informationen über die Vielfalt und Heterogenität der dargestell-

ten Inhalte transportieren.

Die meisten verfügbaren Bodenkarten stellen die bodenkundlichen Informationen diskret in Form von einheitlichen Flächen dar, die durch Flächenfarben oder Signaturen voneinander abgegrenzt sind. Über diese Kennzeichnung wird auf eine Legende verwiesen, in der die Eigenschaften der Fläche beschrieben werden. Dort werden die verschiedenen Informationen zur taxonomischen Einordnung und den Eigenschaften aufgeführt. Meist werden noch andere, die Bodenentwicklung bestimmende Eigenschaften wie Relief oder Nutzung mit angegeben. Die Information über die dritte Dimension wird in Form von Horizontdaten bereitgehalten.

Wesentliches Merkmal der zuvor beschriebenen Bodenkarten ist die Annahme der Homogenität der Flächen. Es wird damit angenommen, dass die Fläche gleichartig entstanden ist, die gleichen Merkmale und Eigenschaften hat und gleichartig auf äußere Einflüsse reagiert. Diese Annahme ist für die Kartierung notwendig, entspricht aber nicht der Realität. Durch die große Menge und hohe Komplexität der Eigenschaften eines Bodens (z.B. durch kleinräumig variierende Feuchte- oder Reliefbedingungen) ist es praktisch unmöglich, einheitliche Flächen auszuweisen. Untersuchungen zeigen gleiche Ausprägungen in allen(!) Bodeneigenschaften an zwei verschiedenen Punkten im maximalen Abstand von nur wenigen Metern (DEURER 2000). Es muss also davon ausgegangen werden, dass absolut gleiche Eigenschaften praktisch nur in der Punktdimension anzutreffen sind.

Ein wichtiges Werkzeug bei der Kartenerstellung ist eine gemeinsame Nomenklatur, die Regeln zur Klassifizierung und Abstrahierung der vielfältigen Bodeneigenschaften beinhaltet. In Deutschland ist diese gemeinsame Nomenklatur die Bodenkundliche Kartieranleitung in der 4. Auflage (AG-BODEN 1994).

Jede Karte erfordert eine Information über ihr Größenverhältnis zur Erdoberfläche, was durch die Angabe des Maßstabs gelöst wird. In der vorliegenden Arbeit werden die Maßstabsbezeichnungen *groß* und *klein* im kartographischen Sinn benutzt. Damit bezeichnet der Begriff *groß* eine Karte, die ein Gebiet in hoher Auflösung und Detailschärfe zeigt. Der Begriff *klein* bezeichnet eine Karte, die ein Gebiet im Überblick mit geringer Detailschärfe zeigt. Bei gleich bleibend großer Kartenfläche wird der dargestellte Ausschnitt der Realität mit kleinerem Maßstab größer. Bei gleich bleibendem Landschaftsausschnitt verkleinert sich die Karte, auf der die Objekte dargestellt werden (Abbildung 1.1).

Im Umkehrschluss müssen dadurch mehr Informationen auf dem gleichen Raum untergebracht werden. Dieser Schritt ist zwangsläufig mit einem Informationsverlust verbunden. Durch die Reduzierung der Kartenfläche ist es notwendig, Informationen zu aggregieren oder zu generalisieren. Unter Aggregation versteht man das Zusammenfassen von Informationen zur Schaffung von größeren Karteneinheiten. Eine Generalisierung zielt auf die Überarbeitung des Kartenbildes zur Verbesserung der Lesbarkeit ab (WILHELMY 1990). Die betrachteten *kleinmaßstäbigen Karten* zeigen also Informationen für große Gebiete, kommen aber bei der Informationsdichte und -detailliertheit aufgrund des Maßstabs sehr bald an prinzipielle Grenzen. Bei gedruckten, analogen Karten ergibt sich darüber hinaus eine Grenze der Darstellbarkeit von einzelnen Flächen. Bei einer zu großen Vielfalt auf engem Raum können die Inhalte vom Betrachter optisch nicht mehr differenziert werden. Im Allgemeinen geht man dabei von einer Mindestflächengröße von 4 mm^2 aus. Dieser Fläche entspricht im Maßstab 1:5000 in der Realität eine Fläche von 100 m^2 und im Maßstab 1:1 Mio. eine Fläche von 4 km^2 .

Im Maßstabsbereich ab 1:200.000 und kleiner führt die Aggregation verschiedener bodenkundlicher Informationen zu einem Informationsverlust. Werden diese integrierenden Daten für Modellierungen und Ableitungen benutzt, ist mit Fehlern bei den Ergebnissen zu rechnen. Informationen über die Art und Größenordnung dieser Fehler sind in der Karte nicht enthalten. Der Nutzer hat keine Kenntnis über die Vielfalt der Informationen, die jeweils zu einem Legendeneintrag geführt haben. Den vorliegenden Bodenkarten fehlen damit Angaben zur Repräsentativität der dargestellten Aussagen.

Kleinmaßstäbige Karten werden ungeachtet dieser Tatsache zur Ermittlung von flächendeckenden Aussagen herangezogen. Die Karten werden z.B. zur Ableitung des Kennwertes "mittlere jährliche Sickerwasserrate" für das gesamte Bundesgebiet verwendet. Weiterhin werden z.B. Applikationsempfehlungen von Düngemitteln unter dem Aspekt des Grundwasserschutzes auf den Informationen zur Bodenart und dem Humusgehalt einer bundesweiten Karte entwickelt (BERGRATH 2000). Die Anwendung der fehlerbehafteten Karten wird dadurch notwendig, da hochauflösende Karten nicht flächendeckend vorhanden sind. Weiterhin ist die Auswertung der vorliegenden Karten nur unter sehr hohem finanziellen und personellem Aufwand möglich. Die einzige verfügbare flächendeckende bodenkundliche Grundlage für die Bundesrepublik Deutschland liegt zurzeit im Maßstab 1:1 Mio. vor. Karten im Maßstab 1:200.000 werden erst 2008 flächendeckend vorliegen.

Damit ergibt sich folgende Situation bei der Bearbeitung großräumiger bodenkundlicher Fragestellungen:

Kleinmaßstäbige Bodenkarten stellen im gegenwärtigen Zustand eine ungenaue Datengrundlage dar, die viele notwendige Informationen nicht oder nur in unzureichendem Umfang enthalten. Die Karten werden aber trotz dieser gravierenden Nachteile für Auswertungen im Rahmen des Bodenschutzes angewendet, ohne dass die Ergebnisse entsprechend kritisch behandelt werden. Auf der Basis dieser Karten werden Informationen abgeleitet, die dann losgelöst von

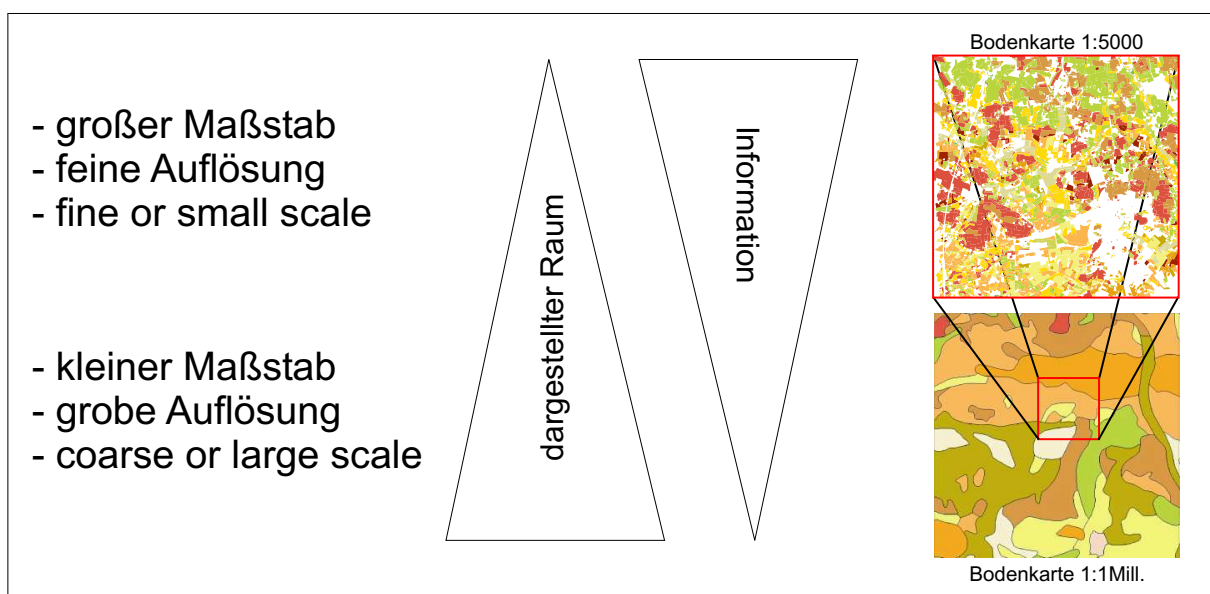


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Maßstabsproblematik; eigene Darstellung

der bodenkundlichen Kartengrundlage als "richtig" angesehen werden.

Dies führt zu zwei wichtigen Punkten, die im Zentrum der vorliegenden Arbeit stehen. Zum einen sollte konkrete Fehlermaße für bodenkundliche und landschaftsökologische Kennwerte erarbeitet werden, um die Größenordnung des Fehlers genauer benennen zu können. Andererseits wird Möglichkeiten gesucht, die Heterogenität innerhalb der Legendeneinheiten besser und praktikabler darzustellen. Die maßstabsbedingten Beschränkungen können dabei nicht aufgehoben werden. Es können aber weitere Informationen erarbeitet werden, die die Güte und Qualität der Karte beschreiben und verbessern.

1.2 Stand der Technik und Forschung

1.2.1 Bodenkarten in Deutschland

1.2.1.1 Inhalte

Alle verfügbaren Bodenkarten in der Bundesrepublik Deutschland verfolgen ein prinzipiell gleiches Konzept zur Darstellung von bodenkundlichen Informationen. In den Karten werden diskrete Einheiten dargestellt, deren Eigenschaften in einer beigefügten Legende sowie einem oder mehreren Profilen beschrieben werden. Die Beschreibung und Darstellung der Inhalte folgt je nach Zeitpunkt der Erstellung den Nomenklaturen Bodenkundlichen Kartieranleitung in der 3. oder 4. Auflage (AG-BODEN 1982; AG-BODEN 1994). Karten der DDR wurden nach den Vorschriften der TGL (Technische Güte und Lieferbedingungen) erarbeitet (TGL 1985). Die Beschreibung der Heterogenität der Flächeninhalte reicht von "keine Information" bis zur Nennung von Leit- und Begleitprofilen mit klassifizierten Flächenanteilen. Weitergehende Informationen über die Heterogenität innerhalb der Legendeneinheiten fehlen.

Seit einigen Jahren werden die Bodenkarten weiterentwickelt und stellen nun einen Baustein innerhalb von Bodeninformationssystemen (BIS) dar. Diese kombinieren bodenkundliche Grundlageninformationen mit Auswertungsmethoden zur Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen z.B. im Rahmen von Planungsprozessen. Alle verfügbaren Informationen werden in Datenbanken gespeichert und verwaltet, so dass gezielte Auswertungen durch eine inhaltliche und räumliche Differenzierung möglich ist. Ein bereits vielfach angewendetes System ist das vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) entwickelte Niedersächsische Bodeninformationssystem (NIBIS). Das NIBIS umfasst neben der Flächendatenbank mit den Geometrien und Karten in verschiedenen Maßstäben (1:5.000 bis 1:200.000) die Profildatenbank mit den bodenkundlichen Inhalten sowie eine Methodenbank, die zusammen eine automatisierte Bearbeitung und Erstellung von Auswertungskarten ermöglicht. Damit bietet das NIBIS die Möglichkeit, dem Benutzer von der einzelnen Parzelle bis zur gesamten Landesfläche Niedersachsens Daten bereitzustellen und diese unter verschiedensten Fragestellungen direkt auszuwerten und die Ergebnisse in grafischer und digitaler Form zu präsentieren. Ein wichtiger Teil des NIBIS ist das Methoden Management System (MeMaS), das eine ständige Weiterentwicklung und Pflege der Methoden ermöglicht (MÜLLER 1996; HEINEKE und KUES 1996; BOESS et al. 1999). Alle Bundesländer entwickeln ähnliche Fachinformationssysteme zur Verwaltung und Auswertung bodenkundlicher Informationen (MATHEWS 2003). Konzeptionell ist dabei das NIBIS oft ein Vorbild.

Auf Bundesebene ist das Fachinformationssystem Boden (FISBo BGR) (ADLER et al. 1998a) ein entsprechendes Werkzeug. Weitere Informationen zu den Bodenkarten und dem Fachinformationssystem FISBo BGR sind im folgenden Abschnitt zur Verfügbarkeit und dem Methodikkapitel zu finden.

Die konzeptionellen Grundlagen vieler Auswertungsmethoden basieren zum großen Teil auf der Methodendokumentation Bodenkunde (HENNING 1994), einer wichtigen Zusammenfassung von Methoden zur Auswertung bodenkundlicher Grundlagenkarten, die auf verschiedene Modellansätze und Autoren zurückgehen. In dieser Dokumentation werden die Methoden bewertet und ihre Anwendung standardisiert. Untersucht werden vor allem Auswertungsmetho-

den, die sich auf die natürlichen Leistungsfunktionen und -potentiale sowie die Gefährdungen und Empfindlichkeiten von Böden beziehen. Die Methodendokumentation ermöglicht dadurch eine einheitliche und nachvollziehbare Auswertung.

1.2.1.2 Verfügbarkeit

Jegliche Auswertung von Bodendaten im Rahmen von Schutzmaßnahmen oder Planungen setzt die Verfügbarkeit von entsprechenden Datengrundlagen voraus. Die Verfügbarkeit von bodenkundlichen Daten in der Bundesrepublik ist in hohem Maße variabel. Abhängig von der Maßstabsebene und dem Untersuchungsraum sind verschiedene Institutionen beteiligt. Darüber hinaus ist die Qualität, Flächendeckung und Art der Datenhaltung höchst unterschiedlich. Verschiedene Ansätze der Erhebung, Beschränkung auf einzelne Nutzungsarten oder die Bearbeitung nach Blattschnitten führen zu einer großen Vielfalt in räumlicher wie auch inhaltlicher Sicht.

Das Planungsbüro "Planungsgruppe Ökologie und Umwelt" hat im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) im Rahmen einer Zusammenfassung von Verfahren und Methoden zur Klassifizierung und Bewertung von Bodenfunktionen auch die Verfügbarkeit von bodenkundlichen Informationen untersucht und ausgewertet (PLANUNGSGRUPPE 2003)¹. An dieser Stelle soll eine zusammenfassende Darstellung die Situation aufzeigen:

- **Maßstab 1:5000/1:10.000.**

In der Maßstabsebene bis 1:10.000 dominieren Bodenkarten, die auf Basis der Bodenschätzungsdaten (vergl. Seite 26) oder darauf aufbauender Datensätze erarbeitet wurden. Diese Daten sind bundesweit flächendeckend für alle Acker- und Grünlandflächen erhoben worden. Sie liegen aber in einer Nomenklatur vor, die keine weitere direkte Auswertung in Methoden Anwendungen ermöglicht. Die konkrete Verfügbarkeit der Daten wird durch die unterschiedliche Art der Datenbereitstellung erschwert. Während in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg große Teile der Landesfläche digital und in moderne Nomenklatur übersetzt vorliegen und damit direkt auswertbar sind, können andere Bundesländer nur analoge Originaldaten zur Verfügung stellen.

Eine weitere Datenquelle in dieser Maßstabsebene sind die Forstlichen Standortkartierungen. Auch hier besteht das Problem der veralteten und nicht direkt anwendbaren Nomenklatur und der geringen Flächendeckung. Darüber hinaus wird die Verfügbarkeit der Daten durch verschiedene Besitzverhältnisse (Staatsforst/Privatforst) erschwert.

- **Maßstab 1:25.000/1:50.000**

Die Maßstäbe 1:25.000 und 1:50.000 sind die Standardmaßstäbe für Bodenkarten in den Bundesländern. Zu großen Teilen sind die Karten als Übersichtskarten angelegt, die auf der Basis von Auswertungen aller verfügbaren Datengrundlagen und einzelnen Nachkartierungen im Konsens "am grünen Tisch" entstanden. Unterschiede ergeben sich durch länderspezifische Festlegungen, welches Kartenwerk im Laufe der Zeit vervollständigt wird. Ein Großteil der Länder arbeitet an der BK50, einige wenige an der BK25. Während

¹Der gesamte Bericht inklusive Anhang ist unter <http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/umwelt-gesundheit/umwelt/boden/bodenschutz/fragen/bfb-labo.html> als PDF-Datei verfügbar (Stand Ende 2003)

konzeptionell diese beiden Maßstäbe eine hohe Bedeutung haben, ist die konkrete Verfügbarkeit höchst unterschiedlich. Niedersachsen kann z.B. beide Maßstäbe in aktueller Nomenklatur digital zur Verfügung stellen, andere Bundesländer haben wenige Prozent ihrer Landesfläche nur analog verfügbar.

- **Maßstab 1:100.000**

Der Maßstab 1:100.000 stellt vor allem in den neuen Bundesländern eine wichtige Datengrundlage dar. In diesem Maßstab wurde in der DDR die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) durchgeführt. Sie liegt flächendeckend für alle Ackerflächen der ehemaligen DDR vor. Da auch hier eine alte Nomenklatur benutzt wurde, die nicht mehr weitergeführt wird, sind die Daten allerdings erst nach einer Überarbeitung nutzbar.

- **Maßstab 1:200.000**

Im Maßstab 1:200.000 (und z.T. kleiner) liegen je nach Land unterschiedliche Kartenwerke vor. Die darin enthaltenen Informationen sind stark aggregiert und dienen eher zur übersichtsartigen Darstellung als zur konkreten Auswertung.

	BB	BE	HB	BW	BY	HE	HH	MV	NI	NW	RP	SL	SH	SN	ST	TH
Obere Planungsebene (1:100.000 bis 1:200.000)	●●●	kD	●●●	●●●	○○	○	●●●	○○○	●●●	○○○	●●	kA	●●●	●●●	●●●	●●
Mittlere Planungsebene (1:25.000 bis 1:50.000)	○○○	●●●	●●●	○○	○○	●●●	○○○	○○○ / kD	●●●	●●●	○○○	kA	○ / ○○○	●●●	○ / ●	○○○
Untere Planungsebene (1:5.000 bis 1:10.000)	kD	kD	kD	○○○	kD	○○○	○○○	○○○ / kD	●	○ / ○○○	○○○	kA	○○○	kD	kD	kD
Bodenschätzungsdaten	●● / ○○○	kD	●●● / kD	●●● / kD	●●● / ○○	●● / ○○○	●●● / ●	●● / kD	●●● / ●	●● / ○	●●● / ○○○	kA	●●● / ○○○	●●● / ○○○	●●	●●● / ○
Forstliche Standortkartierung (Staatsforst)	●● / ○○○	●●● / kD	kD	●●● / ○	●● / ○○	●●	●●●	●●●	●●●	●●● / ○○○	○ / kD	kA	kD	kA	●● / ○○○	●●
Forstliche Standortkartierung (Privatforst)	●● / kD	●●● / kD	kD	● / ○	● / kA	○○	●	●●●	kD / ○○○	●●● / ○○○	kD	kA	kD	kA	●● / ○○○	●●

Tabelle 1.1: Übersicht zur Verfügbarkeit von Bodendaten in den Bundesländern; Stand Ende 2003; verändert nach (PLANUNGSGRUPPE 2003); **Zeichenerklärung:** ●●●: vollständig (100%); ●● sehr gut (80-100%); ● gut (60-80%); ○: mittel (40-60%); ○○ mäßig (20-40%); ○○○ schlecht (0-20%); kD: keine Daten; kA: keine Angaben; Schrägstrich "/" trennt zwischen analogen und digitalen Daten; kein Schrägstrich: kein Unterschied zwischen analog und digital; **Länderkürzel:** BB: Brandenburg; BE: Berlin; HB: Bremen; BW: Baden-Württemberg; BY: Bayern; HE: Hessen; HH: Hamburg; MV: Mecklenburg-Vorpommern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein-Westfalen; RP: Rheinland-Pfalz; SL: Saarland; SH: Schleswig-Holstein; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt; TH: Thüringen

Groß- und mittelmaßstäbige Bodenkarten (bis 1:200.000) werden auf Ebene der Bundesländer durch die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) erfasst, bearbeitet und zur Verfügung gestellt. Neben den beschriebenen inhaltlichen Unterschieden ergeben sich bei der konkreten Datenbeschaffung weitere Schwierigkeiten. Die inhaltlichen Schwerpunkte innerhalb der Geologischen Dienste, die Zugehörigkeit zu verschiedenen Ministerien (Umwelt oder Wirtschaft)

oder privatwirtschaftliche Strukturen bilden hier unterschiedliche Voraussetzungen für die bodenkundliche Arbeit. Die Beschaffung der Daten ist auf jeden Fall mit hohen Kosten verbunden. Trotz der Bemühungen einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Kartierung und der Aufbereitung der Daten kommt es auch zwischen den Ländern zu größeren Unterschieden in Bezug z.B. auf Legendeninhalte. Tabelle 1.1 zeigt die konkrete Verfügbarkeit bodenkundlicher Grundlageninformationen gegliedert nach Maßstab und Bundesländern.

Bodenkarten kleinerer Maßstäbe (1:200.000 bis 1:2 Mio.) werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover bereitgestellt. Als nachgeordnete Fachbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit ist sie die zentrale Einrichtung zur Beratung der Bundesregierung in allen geowissenschaftlichen Fragestellungen. Teil dieser Beratung ist die Bereitstellung von Grundlageninformationen zu Fragen der Bodennutzung und des Bodenschutzes. Folgende Karten werden von der BGR erarbeitet und herausgegeben:

- **Maßstab 1:200.000**

Die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK200) wird zurzeit in Zusammenarbeit mit den Bundesländern erarbeitet. Die große Bedeutung dieser Karte ist die einheitliche Vorgehensweise bei der Erarbeitung und die gemeinsame Generallegende. Die BÜK200 stellt das kommende Standardwerk für überregionale Fragen des Bodenschutzes dar. Karteninhalt, Kartengestaltung, Legendenaufbau sowie Datenbankinhalt und -struktur sind bundeseinheitlich standardisiert (HARTWICH et al. 1995c; HARTWICH 1999). Die Verfügbarkeit (Stand Aug. 2003) liegt bei etwa 24% (13 von 55 Blättern) im Bezug auf den Grenzentwurf der Karte, weitere 20% sind in der Bearbeitung. Die zugrunde liegende Flächendatenbank hat in 10% der Fläche komplett gefüllte Datensätze, weitere 10% sind in Teilen vorhanden. Der Abschluss des Kartenwerkes ist für das Jahr 2008 geplant.

- **Maßstab 1:1.000.000**

Die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000) (HARTWICH et al. 1995a) ist aktuell das einzige flächendeckende bodenkundliche Kartenwerk für Deutschland. Sie wurde nach der Wiedervereinigung auf der Basis der vorhandenen kleinmaßstäbigen Bodenkarten der DDR (HAASE und SCHMIDT 1985) und der Bundesrepublik (ROESCHMANN 1986) entwickelt. Die verwendeten Nomenklaturen wurden angeglichen und damit ein einheitliches Prinzip zur Beschreibung der Bodeneinheiten entwickelt und angewendet. Als elementarer Bestandteil des Fachinformationssystems Bodenkunde der BGR (FISBo BGR, vergl. (ECKELMANN und ADLER 1993; ADLER et al. 1998b)) ist sie einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen. Derzeit liegt eine Differenzierung aller Legendeneinheiten in die drei Nutzungstypen Acker, Grünland und Wald mit einer entsprechenden Überarbeitung der Profile als Konzeptkarte vor.

- **Maßstab 1:2.000.000**

Die Bodenübersichtskarte 1:2.000.000 (BÜK2000) ist eine generalisierte Karte auf Basis der BÜK1000. Der kleinere Maßstab erforderte eine inhaltliche Reduzierung von 72 auf

64 Legendeneinheiten. Die BÜK2000 bildet den Übergang zu den europäischen Bodenkarten.

1.2.1.3 Anwendung

Bodenkarten und die darin enthaltenen Informationen stellen die zentrale Quelle für Auswertungen und Modellierungen für Fragen des Bodenschutzes dar. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen haben den Boden als ein Schutzgut definiert, das bei Eingriffen und Veränderungen in den Naturraum beachtet werden muss. Verschiedenste Anforderungen aus der Land- und Forstwirtschaft (ARTMANN und BOCKISCH 2003) fordern sehr gute bodenkundliche Grundlagen. Im Rahmen von Planungsaufgaben bei Raumordnung und Landesplanung (KLEINSCHMIDT 1994) (ERDMANN und MÜLLER 2000), Bauleitplanung (FELDWISCH et al. 2003) sowie Naturschutz- und Landschaftsplanung (MEYER und VOLK 2001) sind die Ausführenden gesetzlich verpflichtet, den Boden als schutzwürdiges Gut einzubeziehen. Den bundesweiten gesetzlichen Rahmen dazu bilden in Deutschland das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) (BGBL 1998) und die daraus resultierende Bundesbodenschutzverordnung (BGBL 1999). Darin sind, neben den Bodenfunktionen, Vorgaben und Richtlinien zum Schutz derselben formuliert.

Auf europäischer Ebene sind die Klärschlammrichtlinie (KOMMISSION 1986) und die Wasserrahmenrichtlinie (KOMMISSION 2000) verbindliche Vorgaben, die auf bodenkundliche Informationen angewiesen sind. Der Bodenschutz ist auch in verschiedenen Landesgesetzen verankert.

Weitere Anforderungen an Daten stellen die Bereiche Wissenschaft und Bildung an Universitäten und Schulen (KOPP und JOCHHEIM 2002). Die Forschung in den verschiedenen Bereichen der Geowissenschaften stellt hohe Anforderungen an eine flächendeckende Bereitstellung bodenkundlicher Grundlagendaten in hoher Qualität. In den Arbeiten des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Schwerpunktprogramms "Regionalisierung in der Hydrologie" (KLEEBERG 1992b) wird mehrfach der hohe Bedarf an Eingangsdaten für eine angemessene Parametrisierung und Modellierung formuliert.

Abbildung 1.2 zeigt das Spektrum der Anfragen an die bodenkundlichen Referate der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Darin sind alle Anfragen (n=300) der Jahre 1988 bis 2001 thematisch ausgewertet worden. Etwa die Hälfte aller Anfragen bezogen sich auf Aspekte des Bodenwasserhaushalts (Sickerwasserrate) und des Bodenschutzes (Verweildauer von Pflanzenschutzmitteln im Boden, Erosionsschutz).

Die BGR verwendet die Bodenübersichtskarte für Deutschland im Maßstab 1:1 Mio. als Grundlage für abgeleitete Karten und für Aussagen zu landschaftsökologischen Kennwerten wie mittlere jährliche Sickerwasserrate (ADLER et al. 2000) oder für allgemeine Darstellungen der bodenkundlichen Situation in ganz Deutschland (LIEDTKE et al. 2003).

1.2.2 Heterogenität bodenkundlicher Daten

Inhaltliche und räumliche Heterogenität beeinflussen alle landschaftsökologischen und geowissenschaftlichen Fragestellungen. Homogenen Areale gibt es streng genommen in der Natur nicht. Wie verschiedene Ansätze diese Aufgabe der Arealbildung "trotzdem" angehen, sollen nachfolgend in erster Linie anhand von bodenkundlichen Arbeiten diskutiert werden. Als Überblick zu weiteren Bereichen in der Landschaftsökologie sei auf die entsprechenden Passagen in (LESER 1991) verwiesen.

1.2.2.1 Ausprägung von Heterogenität

Die aktuelle bodenkundliche Situation in einem Gebiet ist die Funktion eines Prozesses, der durch mehrere Randbedingungen gesteuert wird. (JENNY 1963) formuliert die Gleichung:

$$\text{Boden} = f(\text{Klima, Organismen, Relief, Ausgangsmaterial, Zeit})$$

erscheint auf den ersten Blick trivial, ist aber in der Lösung höchst komplex. Die bodenbildenden Faktoren stehen in vielfältiger Wechselwirkung und ihre räumlichen und zeitlichen Auswirkungen finden sich auf verschiedenen Maßstabs- und Skalenniveaus. Verschiedene Autoren haben versucht, diese Bezüge aufzuklären (VREECKEN 1984; SCHLICHTING 1987). Eine allgemein gültige Lösung ist aber nicht realistisch, da von komplexen Rückkopplungen ausgegangen wird (RICHARDSON und EDMOND 1987) oder sogar chaotische Strukturen angenommen werden (PHILLIPS 1993). Als Konsequenz daraus ergibt sich die zwingende Annahme einer immer vorhandenen Variabilität des Bodens.

Die Umsetzung dieser Tatsache in eine Karte erfordert eine Modellbildung über die Art, wie sich die Variabilität im Raum manifestiert (BURROUGH 1993). Daraus ergibt sich gleichzeitig die Notwendigkeit, diese Heterogenitätsstruktur auch in geeigneter Form in der Karte darzustellen oder in der Legende zu beschreiben (Abb. 1.3). Die meisten bodenkundlichen Karten gehen von einer diskreten Änderung aller Eigenschaften des Bodens an einer mehr oder weniger scharfen Linie aus, wobei sich die Eigenschaften innerhalb der Legendeneinheit nur geringfügig ändern (linkes Diagramm in Abbildung 1.3). Ein Beispiel ist die Nutzung einer Fläche,

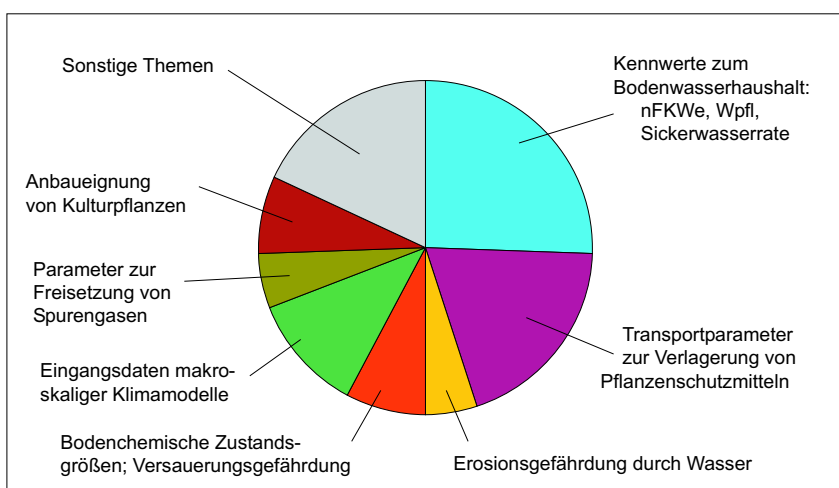


Abbildung 1.2: Auswertung von Anfragen an die bodenkundliche Referate der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) nach kleinmaßstäbigen Bodeninformationen; Zeitraum 1990-2000; eigene Darstellung

die innerhalb der Fläche nicht variiert, sich an einer Schlaggrenze aber ändert. Realistischerweise muss davon ausgegangen werden, dass sich der Großteil naturräumlicher Bedingungen kontinuierlich im Raum verändern (mittleres Diagramm). Hier ist die Mächtigkeit des obersten Horizontes eines Bodenprofils im Verlauf eines flach geneigten Hanges ein Beispiel. Im oberen Bereich durch Erosion gekappt, wird er zur Hangmitte zunehmend mächtiger und erreicht die maximale Mächtigkeit durch aufgetragenes Material am Unterhang. Als dritte Möglichkeit ändern einzelne Eigenschaften ihre Werte über die Distanz unregelmäßig bis chaotisch (rechtes Diagramm). Die Versickerung ist hier ein Beispiel. Auf kurzer Entfernung von wenigen Zentimetern wechseln sich enge, schlecht leitende Poren mit groben Poren oder sogar Rissen ab, in denen der Hauptteil des versickernden Wassers transportiert wird. Eine regelmäßige Abfolge ist dabei nicht zu erkennen. Ein weiteres Beispiel sind Nährstoffgehalte im Boden, bei denen bis zur Hälfte der Gesamtvarianz bereits innerhalb einer Distanz von einem Quadratmeter auftritt (BECKETT und WEBSTER 1971). Alle Arten der Heterogenität können von großräumigen Trends überlagert sein und treten auf verschiedenen Skalen auf. Ändert sich z.B. die Mächtigkeit eines Bodenhorizontes nur geringfügig im Verlauf einer Strecke von ca. 50 Metern, kann die Versickerung von Wasser durch unterschiedliche Porengrößen im Abstand von wenigen Zentimetern stark unterschiedlich sein.

1.2.2.2 Erfassung von Heterogenität

Am Anfang der Untersuchung der Variabilität bodenkundlicher Eigenschaften steht die Probennahme im Gelände. Die gewonnenen Daten lassen sich zunächst mit Methoden der beschreibenden Statistik erfassen (SACHS 1999; BAHRENBURG et al. 1990; BAHRENBURG et al. 1992). Damit können Aussagen zu Umfang und Art von Werteverteilungen entsprechender Eigenschaften gemacht werden. Um die räumlichen Aspekte der Heterogenität zu erfassen, wird häufig auf Methoden der Geostatistik zurückgegriffen. Geostatistische Methoden haben inzwischen breite Anwendung gefunden, so dass auf weitere Erläuterungen an dieser Stelle verzichtet wird. Grundlegende Literatur ist bei (MATHERON 1963) und (DEUTSCH und JOURNEL 1998) zu finden. Lehrbücher und weiterführende Literatur findet sich bei (AKIN und SIEMES 1988), (ISAAKS und SRIVASTAVA 1989) oder (WEBSTER und OLIVER 2000). Die häufigsten Anwendungen aus dem Feld der Geostatistik

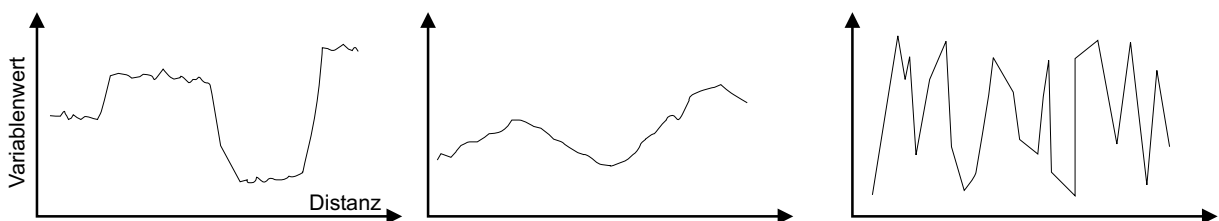


Abbildung 1.3: Modellvorstellungen zur Manifestierung räumlicher Heterogenität; links: quasi-diskrete Änderung im Raum, mit geringfügiger Variation innerhalb der Einheit; Mitte: kontinuierliche Änderung im Raum; rechts: chaotische Änderung; Abbildung verändert nach (BURROUGH 1993)

sind die Ableitung von Semivariogrammen (oft wird nur von Variogramm gesprochen) zur Beschreibung der räumlichen Abhängigkeiten und - basierend darauf - die Interpolation zwischen den Untersuchungspunkten mit Hilfe des Kriging. Das Variogramm liefert eine Information über das Ausmaß und den Charakter der räumlichen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Untersuchungspunkten. Ausgehend von einem experimentellen Variogramm findet eine Modellanpassung statt. Mit einem angepassten Variogramm kann eine Interpolation durchgeführt werden, die die räumlichen Abhängigkeiten durch eine unterschiedliche Gewichtung berücksichtigt. Ein großer Vorteil dieses Vorgehens ist die Möglichkeit, zusätzlich zu dem Interpolationsergebnis ein Residuum zu bestimmen, welches Auskunft über die "Verlässlichkeit" des Interpolationsergebnisses liefert.

Arbeiten zur Anwendung von Variogrammen und dem Kriging sind inzwischen in fast unübersehbarer Zahl vorhanden. Praktisch alle geowissenschaftlichen Disziplinen wenden diese Werkzeuge an. Im bodenkundlichen Bereich stellen die Arbeiten der Working Group *Pedometrics* der International Soil Science Society (ISSS) eine ihrerseits reichhaltige Auswahl dar. Diese Gruppe befasst sich mit statistischen Methoden zur Erfassung der Bodenvariabilität, ihre Berücksichtigung in Modellen des Wasser- und Stoffhaushalts sowie Fragen zum Maßstabswechsel und Transfer von Informationen über mehrere Skalen (Verfahren des Upscaling und Downscaling). Neben vielfältigen Arbeiten zu verschiedenen Ansätzen des Kriging wie z.B. der Vergleich verschiedener Interpolationsmethoden (VOLTZ 1990), Anwendung von Krigingmethoden und Vergleich der Ergebnisse (BREGT et al. 1987; KNOTTERS und BRUS 1995) werden Untersuchungen zur Erklärung der bodenkundlichen Variabilität mit fraktalen Ansätzen (BURROUGH 1983; EGHBALL et al. 1999) diskutiert. Weitere Ansätze zur Beschreibung der Heterogenität bodenkundlicher Eigenschaften sind Methoden der Fuzzy-Logic (MCBRATNEY und DE GRUIJTER 1992; DE GRUIJTER et al. 1997) und Wavelet-Theorien (LARK und WEBSTER 1999).

Einen Einstieg in das weite Thema der Beschreibung der Heterogenität bodenkundlicher Kennwerte und Eigenschaften bieten die Überblicke zum Stand der Methoden im Bereich Pedometrics (BURROUGH 1993; BURROUGH et al. 1994; WEBSTER 1994; GOOVAERTS 1999; HEUVELINK und WEBSTER 2001). Eine sehr häufig benutzte Plattform zum Publizieren von Artikeln aus der Pedometrics-Gruppe ist das Journal "Geoderma". Außerhalb dieser Gruppe finden sich weitere Arbeiten zum Thema. Beispiele sind ein Vergleich konventioneller Beschreibungen und der Einsatz von Kriging und Variogrammanalysen (LAMP und KNOOP 1984). (SINOWSKI 1995) bietet einen guten Überblick über die Heterogenität der Bodeneigenschaften in einem abgegrenzten Untersuchungsgebiet und weist einen Bezug zwischen dem Ausmaß der Heterogenität und verschiedenen Einflussfaktoren, wie geologisches Ausgangsmaterial oder Nutzung nach. Eine weitere Arbeit über die Beschreibung der Bodenvariabilität im großen Maßstab wurde von (OTTE 1988) vorgestellt.

Die bisher genannten Arbeiten stellen nur einen Ausschnitt aus einer weit größeren Anzahl von Arbeiten zur Beschreibung der Heterogenität dar. Es fehlten jedoch lange Zeit Untersuchungen, die die vorgestellten Ansätze flächendeckend in einem größeren Gebiet angewendet

haben oder die eine konkrete Umsetzung in die Arbeit verschiedener bodenkundlicher Dienste als Ziel hatten. Erste Ansätze zu einer Umsetzung in Handlungsanweisungen für flächendeckende Kartierungen finden sich bei (DOMBURG 1994). Die Arbeit steht im Zusammenhang mit dem National Sampling Map Unit Program der Niederlande, für das zusätzliche Kartierungen hoher Erhebungsichte in ausgewählten Legendeneinheiten der Bodenkarte 1:50.000 stattfanden. Eine weitere großräumig angelegte Arbeit ist von (FINKE 2000), der die Aktualisierung der Karte des Grundwasserstandes in den Niederlanden in der Art der Kartierung methodisch unterschiedlich angeht (Raster/zufällig) und eine Kosten-Nutzen-Relation aufstellt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lässt sich in Anlehnung an den letzten Bericht des 'State of the Art in Pedometrics' (HEUVELINK und WEBSTER 2001) eine Auswahl verschiedener Fragestellungen aus dem Bereich der Beschreibung und Erfassung der Heterogenität bodenkundlicher Daten benennen. Als theoretisch beherrschbar bzw. gelöst gelten:

- Kartierkonzepte unter Einbeziehung aller Vorinformationen,
- Statistisch begründete Grenzfindungstechniken,
- Design räumlicher Bohr- oder Beprobungsschemata,
- Bemessung des idealen Stichprobenumfangs,
- Interpretation geostatistischer Maßzahlen, Anpassung theoretischer Variogrammodelle ('Fitting'),
- Wahl des optimalen Interpolationsverfahrens bzw. relativ bestgeeigneten Krigingverfahrens.

Demgegenüber sind weite Bereiche noch nicht ausreichend erkundet und erfordern weitergehende Untersuchungen und Anwendungen. Als Defizite oder Zukunftsaufgaben werden angesehen:

- regelbasierte Aggregierungs- oder Upscaling-Techniken,
- konkrete Umsetzungen zur Darstellung der Heterogenität in den Karten,
- Theorie regelbasierter Vorhersage der Bodenverbreitung.

1.2.2.3 Darstellung von Heterogenität

Für die vorliegende Arbeit ist es wichtig, neben der reinen Erfassung von Heterogenität auch deren Darstellung zu betrachten. Ein erster sehr einfacher Schritt zur Beschreibung der Heterogenität ist deren Vermeidung durch Ausweisung von möglichst homogenen Legendeneinheiten. Frühe konzeptionelle Arbeiten sind durch den Geologischen Dienst in Großbritannien erarbeitet worden. Die Arbeiten von (BIE und BECKETT 1971a) und (BIE und BECKETT 1971b) sind zwei Teile einer Untersuchung zur Reinheit von Legendeneinheiten sowie zu einem Vergleich zwischen der Art der Kartierung bzw. der erreichbaren Reinheit von Kartenlegenden und den dafür aufzuwendenden Kosten. Eine ähnliche Arbeit im mittleren Maßstab (bis

1:70.000) ist in einer Artikelserie von Peter Burrough zusammen mit verschiedenen Co-Autoren (BURROUGH et al. 1971; BURROUGH und BECKETT 1971a; BURROUGH und BECKETT 1971b) dargestellt worden. Hier wurden, verteilt in verschiedenen bodenkundlichen Raumeinheiten, u.a. verschiedene Kartierungsmethoden (frei oder gerastert) untersucht sowie ein Maß zur Bemessung der Genauigkeit vorgestellt, bei der die *relative Variation* als Verhältnis zwischen der Variation innerhalb einer Legendeneinheit und der Gesamtvariation aller Legendeneinheiten berechnet wird.

Bei der Festlegung von Legendeneinheiten in einer Bodenkarte wird die Vielfalt von Bodeneigenschaften meist abstrahiert und integriert. Hier ist die Zuhilfenahme einer Nomenklatur unausweichlich. Deutsche Karten wurden und werden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung erarbeitet. Diese liegt in der 4. Auflage vor (AG-BODEN 1994). Viele Karten sind durch den Zeitpunkt der Kartierung aber noch nach älteren Auflagen (AG-BODEN 1982) erarbeitet worden. International gebräuchliche Nomenklaturen sind von der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 1974; ISSS-ISRIC-FAO 1998) oder vom US Soil Survey Staff (USDA 1975) erarbeitet worden. Mit Hilfe der darin formulierten Regeln zur Abgrenzung von Bodeneinheiten, z.B. nach taxonomischen Aspekten, kann der Kartierer die bodenkundliche Situation beschreiben. Das Problem, Art und Charakteristik der Heterogenität innerhalb der Legendeneinheit darzustellen, bleibt aber bestehen.

Es muss zwischen zwei Ansätzen der Beschreibung von bodenkundlichen Eigenschaften unterschieden werden. Taxonomische Eigenschaften wie z.B. der Bodentyp sind **diskret** verteilt. Diskrete Areale wie Kartiereinheiten sind das Produkt einer Klassifikation und aggregieren eine Reihe von Informationen zu einer einzelnen Einheit. Praktisch alle Kennwerte des Bodens (Profiltiefe, Eigenschaften der Wasserbindung, ..) sind dagegen **kontinuierlich** im Raum verteilt. Ihr Wert verändert sich kontinuierlich im Raum und nimmt dabei jeweils andere Werte an (gleichmäßig steigend oder fallend, periodisch, chaotisch). Diese Trennung in räumliche Diskreta und Kontinua beeinflusst auch die Beschreibung der jeweiligen Eigenschaften (Abb. 1.4).

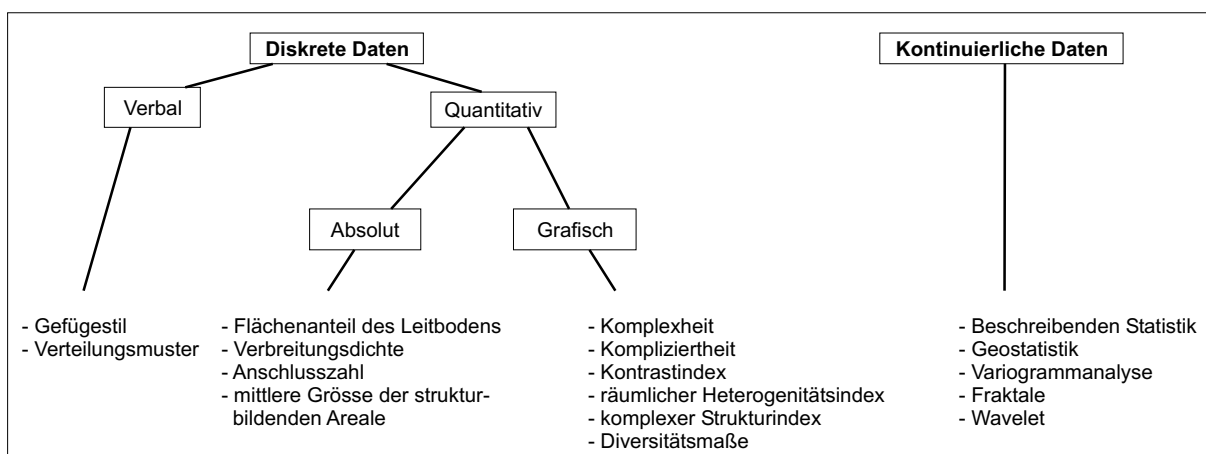


Abbildung 1.4: Gliederung verschiedener Ansätze zur Beschreibung der Heterogenität in Bodenkarten

Darstellung diskreter Heterogenität

In der Arbeit von (HENNING 1991) werden eine Reihe von Ansätzen zur Beschreibung der Arealstruktur innerhalb einer Bodengesellschaft oder Legendeneinheit vorgestellt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Aussagen zu Zahl oder Lagebeziehungen verschiedener diskreter Bodeneinheiten und einfacher Indizes auf deren Basis. Bei der Beschreibung der Situation z.B. innerhalb eines Blattes kann zunächst einfach eine Aufstellung des Inventars erfolgen, dass eine Information über Zahl und Flächenanteile der verschiedenen Areale gibt. Ergebnis wären dann Informationen zum *Flächenanteil bzw. Deckungsgrad* des Leittyps bzw. weiterer Begleitböden. Dies kann ungeachtet der Darstellbarkeit der betroffenen Flächen geschehen. (BROWN und HUDDLESTON 1991) erweitern dieses einfache Maß durch die zusätzliche Angabe von prozentualen Anteilen und Vertrauensintervallen (*"3-8 Prozent der Fläche sind mit dem Typ xy belegt"*) in den Beschreibungen der einzelnen Legendeneinheiten. Damit erweitern sie diese Art der Beschreibung von Heterogenität über die Grenzen eines einzelnen Blattes hinaus.

Ein erster Schritt hin zu einer Vergleichbarkeit von Flächen stellen beschreibende Maße wie Gefügestil (z.B. *"Catenagefüge"*) oder Verteilungsmuster (z.B. *"konzentrisch"*) (LIEBEROTH 1982) und eine verbale Kennzeichnung des Heterogenitätstypen (z.B. *"mäßig heterogen durch Störareale"*) (SCHMIDT und HAASE 1980) dar. Der nächste Schritt ist die Beschreibung der Arealstruktur durch quantitative Kennwerte, die einen Vergleich ermöglichen. (REENTS 1984) unterscheidet beschreibende, absolute und relative Maßzahlen voneinander. Pedotope innerhalb der Legendeneinheit können Möglichkeit mit einfachen absoluten Maßzahlen wie Dominanz (= *absoluter Flächenanteil des Bodentyps*), Abundanz (= *absolute Zahl der Tope je Bodentyp*), Zerteilungsgrad (= *Dominanz : Abundanz*) oder mit relativen Maßzahlen wie Deckungsgrad (= *relativer Flächenanteil des Bodentyps an der Gesamtfläche*), Frequenz (= *relativer Anteil der Tope des Bodentyps an der Gesamtzahl aller Tope*) und D/F-Quotient (= *Deckungsgrad : Frequenz*) beschrieben werden (SCHAFFER 1970). Eine ähnliche Aussage machen die Maße Verbreitungsdichte (= *Zahl der Typen je einheitlicher Bezugsfläche*) oder Anschlusszahl (= *Zahl der Grenzen je einheitlicher Bezugsfläche*).

Komplexe Maße, die verschiedene Informationen bündeln sind z.B. die *Heterogenitätsstufe*, ermittelt durch Verknüpfung mehrerer Kriterien mit konkreten Schwellenwerten, der *räumliche Heterogenitätsindex* aus Zahl der Leit- und Begleitbodentypen oder der *komplexe Strukturindex* aus der Zahl der elementaren Areale und Zahl der typologischen Einheiten (ALTMANN und HAASE 1984). (AMOS und WHITESIDE 1975) entwickelten den *gewichteten Kontrast-Index* nach Übereinstimmungsgrad zwischen den Bodentypen, gewichtet nach Flächenanteilen.

Ausgehend von Ertragsdaten wird in einer weiteren Arbeit die Heterogenität des Bodens untersucht und die Parameter Substrat, Feuchteregime, Nährstoffverhältnisse und das Relief als bestimmend festgestellt (SCHMIDT und HAASE 1980). Mit Hilfe von verbal formulierten *Heterogenitätstypen*, die die verschiedenen Bedingungen erfassen, werden Empfehlungen zur Bewirtschaftung und Melioration der entsprechenden Bereiche gegeben. Ein weite-

rer Schritt ist die Definition einzelner Heterogenitätstypen auf Basis des Kontrastes (inhaltlich und räumlich) innerhalb einer Flächeneinheit (ALTMANN und HAASE 1984). Beide vorgenannten Arbeiten sind in kleineren Untersuchungsgebieten durchgeführt worden. Ein konkreter Ansatz die Arbeit von (HAASE und SCHMIDT 1985), in der 5 Heterogenitätsstufen formuliert werden. Die Anwendung dieser Stufen war auf die Bodenkarte der DDR im Maßstab 1:750.000 ausgerichtet. Weitere Arbeiten sind theoretische Überlegungen zur Erstellung von Bodenkarten und Erfassung der Heterogenität (ROESCHMANN 1972; KNEIB 1979; REENTS 1982; OELKERS und ECKELMANN 1983).

Darstellung kontinuierlicher Heterogenität

Sollen kontinuierliche Eigenschaften der Böden innerhalb der Legendeneinheit beschrieben werden, kommen Methoden der klassischen Statistik zur Beschreibung von Werteverteilungen (Mittelwert, Standardabweichung, ...) und auch geostatistische Methoden zur Anwendung. Bedingung für eine solche Information ist eine entsprechende Datengrundlage, die die Kartierungsergebnisse noch nicht durch eine Klassifikation abstrahiert hat. (BROWN und HUDDLESTON 1991) fordern beim Entwurf von Kartenlegenden die Angabe von statistischen Wertespanssen (z.B. Mittelwerte oder Konfidenzintervalle), formulieren aber auch die Defizite einer solchen Vorgehensweise. Die Erweiterung von Legenden um solche Maße erfordert eine entsprechende Erläuterung, die die Anwendung für den Benutzer eventuell erschwert. Weiterhin wird in einigen Arbeiten die Forderung nach einer Qualitätsbewertung der bodenkundlichen Daten und damit das Maß des Vertrauens in die Daten formuliert (MARSMAN und DE GRUIJTER 1984; MARSMAN und DE GRUIJTER 1986).

Einen völlig anderen Ansatz der Beschreibung der Heterogenität verfolgen einige Autoren. Sie verlassen die klassische Methode der Darstellung in Form von diskreten Flächen und propagieren die Darstellung bodenkundlicher Parameter in Form von kontinuierlichen Rasterkarten. Dies bedeutet ein Abwenden von der klassischen Bodenkarte mit ihrer integrierenden Art, hin zu einem Satz von Karten, in denen jede einzelne Eigenschaft separat abgebildet wird. Als Beispiele seien hier die Ansätze von (DE GRUIJTER et al. 1997) oder (BÖHNER et al. 2002) genannt. Die Autoren stellen dabei vor allem die bessere Abbildung der Wirklichkeit und die gute Möglichkeit der Anwendung der Daten in Modellen als Vorteile dieser Darstellung in den Vordergrund. Dieser Ansatz verändert die Darstellungsmöglichkeiten der Heterogenität, weil die unterschiedlichen Ausprägungen eine höhere Lagegenauigkeit erhalten.

Wird die Ebene der einzelnen Rasterzellen erreicht, so ist auch hier das Problem der angenommenen aber nicht realistischen Homogenität vorhanden. Je nach Größe der Rasterzellen werden auch in dieser Art der Darstellung vergleichsweise große Bereiche erfasst. Bis zu Rasterweiten von ca. 25m lassen sich viele bodenkundliche Eigenschaften noch ausreichend genau darstellen. Spätestens oberhalb einer Rasterweite von 100m (dann nimmt jede Rasterzelle eine Fläche von einem Hektar ein!) ist eine Größe erreicht, die eine angemessene flächenscharfe Darstellung bodenkundlicher Kennwerte verhindert, da jede Rasterzelle in sich eine zu große Heterogenität aufweist. Methodisch muss kritisch angemerkt werden, dass auch

diese Rasterkarten nicht auf konkreten Untersuchungen in dem Darstellungsraster erarbeitet wurden, sondern auf der Basis von Modellen und Interpolationen entstanden sind. Damit steigt die Gefahr, dass die Karten eine "Wahrheit" vorspiegeln, die sie aus prinzipiellen Gründen nicht haben. Im kleinen Maßstab sind solche Karten flächendeckend nicht umsetzbar, da die erforderliche Datengrundlage nicht vorhanden ist.

Darstellung räumlicher Heterogenität

Eine Möglichkeit zur Beschreibung räumlicher Heterogenität bieten Diversitätsmaße. Diese Maße beschreiben die Vielfalt und Verteilung der vorkommenden Bodentypen (oder anderer diskreter Merkmale) mit Hilfe von einfachen Maßzahlen. Diese bieten den Vorteil, dass ihre Ableitung auf Basis einer einheitlichen Formel stattfindet und dadurch nachvollziehbar und vergleichbar wird. Bei der Bemessung der Diversität müssen zwei Phänomene beachtet werden. Der Begriff "Vielfalt" kann sich zum einen auf die Spannweite der vorkommenden Merkmale beziehen ((MAGURRAN 1988) spricht hierbei von *richness*), wie auch auf deren Verteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes (*eveness*). Andere Autoren unterteilen diese beiden Arten der Diversität mit den Begriffen der **inhaltlichen** Vielfalt gegenüber der **räumlichen** (ALTMANN und HAASE 1984).

Die inhaltliche Vielfalt bezieht sich auf die Zahl und Ausprägung der vorhandenen Bodentypen oder Pedotope. Ein Areal mit vielen verschiedenen Bodentypen auf engem Raum wie z.B. einer Hangcatena in engen Tälern ist heterogener als große Bereiche mit gleichmäßiger Ausprägung (z.B. Lössböden). Daneben ist die räumliche Heterogenität ein Merkmal über die Art und Weise der Verteilung der vorkommenden Böden. Die lehrbuchhafte Hangcatena weist alle Böden in einer Abfolge quer zum Hang aus. Zieht sich ein kleiner Vorfluter mit feuchteren Bereichen in einen Hang hinein, kommt es durch die linienhafte Ausprägung zu einer engen Verzahnung mit den umgebenden Bereichen und bei relativ geringer Fläche findet man große Umfänge der einzelnen Bodentypen. In Jungmoränengebieten findet man wieder einen häufigen Wechsel zwischen tiefergelegenen Söllen mit feuchteren Bereichen eingebettet in höher gelegene trockenere Riedel.

Die ersten Ansätze zur Messung und Bewertung von Diversität finden sich im Bereich der Ökologie, wobei die Artenvielfalt von Ökosystemen untersucht wurde (Biodiversität) (PIELOU 1975; MAGURRAN 1988). In der Arbeit von Magurran werden verschiedene Maßzahlen mit ihren Vor- und Nachteilen und praktische Beispiele mit Berechnungen vorgestellt und diskutiert.

Diversität und ihre Berechnung im Bereich der Bodenkunde findet sich bereits in Ansätzen in der Arbeit von (ALTMANN und HAASE 1984), wobei hier groß- bis mittelmaßstäbige Karten untersucht wurden und auch kein Vergleich zwischen verschiedenen Skalen durchgeführt wurde. Der Begriff der Bodendiversität wird vor allem seit den 90er Jahren gebraucht. In verschiedenen Arbeiten hat (IBANEZ et al. 1995b) auf das Phänomen aufmerksam gemacht und den Begriff *pedodiversity* eingeführt. Weiterhin wurden Untersuchungen im kleinen Maßstab durchgeführt (IBANEZ et al. 1998). (BREGT 1993) hat ebenfalls verschiedene Indizes anhand von Beispieldateien untersucht. Sein Ziel war die Bewertung von thematischen Karten (*choropleth maps*)

in ihrer Komplexität und Lesbarkeit. Untersucht wurden Rasterkarten und die Ergebnisse zeigten, dass die sechs untersuchten Indizes (Aggregation Index, Compactness Index, Boundary Contrast Index, Fragmentation Index und Boundary Index) eine hohe Redundanz aufwiesen. Der *Fragmentation Index* wurde als der beste aufgrund seiner einfachen Berechnung angesehen. Er basiert auf einer Formel, die ursprünglich von (MONMONIER 1974) entwickelt wurde und einen Quotienten aus der Zahl der Polygone und der Zahl der verschiedenen Karteninhalte bildet.

Bei Bodenkarten als zweidimensionale Darstellung sind es in erster Linie räumliche Indizes, die häufig zur Anwendung kommen. Die beliebtesten und häufig eingesetzten Indizes sind von (SHANNON und WEAVER 1949) und (SIMPSON 1949) entwickelt worden. Technische Umsetzungen und die Diskussion über die Bewertung der Ergebnisse finden sich bei (MCGARIGAL und MARKS 1994) und (FUCHS 2002). Beide Arbeiten haben sich der technischen Umsetzung verschiedener Indizes gewidmet. (MCGARIGAL und MARKS 1994) nähern sich der Frage aus dem Bereich der Ökologie und der Bewertung von Ökosystemen, während (FUCHS 2002) die Analyse von großmaßstäbigen Bodenkarten zur Vorbereitung einer Generalisierung in den Mittelpunkt stellt. Beide Arbeiten enthalten ausführliche Diskussionen zu den einzelnen Werten und deren Bewertung sowie eine technische Umsetzung zur Berechnung in einem GIS.

Darstellung im kleinen Maßstab

Der Großteil der bisher vorgestellten Arbeiten haben ihren Raumbezug im großen bis mittleren Maßstabbereich. Aufgrund der starken Aggregation von Informationen für kleinmaßstäbige Karten gibt es nur sehr bedingt die Möglichkeit, auch für diese Karten Qualitätsangaben über die Repräsentativität der Legendeneinheiten zu geben. Einzelne Autoren haben allerdings Konzepte für diesen Maßstabbereich erarbeitet (ALTMANN und HAASE 1984), sowie erste Ansätze mit Hilfe von Diversitätsmaßen auf europäischer Ebene und der Weltbodenkarte gemacht (IBANEZ et al. 1995a; IBANEZ et al. 1998).

Die Forderung nach der Implementierung von Angaben zur Heterogenität der bodenkundlichen Information in eine Legende der zu entwickelnden europäischen Bodenkarte stellen (DUDAL et al. 1995) auf. In dieser Machbarkeitsstudie für eine europäische Bodenkarte im Maßstab 1:250.000 formulieren die Autoren Stufen der Kennzeichnung von Heterogenität bodenkundlicher Daten innerhalb der Legendeneinheiten. Genannt werden mit zunehmendem Aufwand und Kosten:

- Keine Darstellung der Heterogenität,
- Qualitative Beschreibung durch Expertenwissen der Variabilitätsspanne für jede Bodeneigenschaft innerhalb jeder Einheit,
- Unterteilung jeder Legendeneinheit in Teilbereiche basierend auf großmaßstäbigen Karten, Teilbereiche werden nach ihrem Flächenanteil geordnet, Eigenschaften werden für jeden Teilbereich angegeben,

- Parameter zur Beschreibung des Typs und der Art der Verteilung der Bodeneigenschaften innerhalb der Legendeneinheit,
- Beschreibung der räumlichen Struktur der Bodeneigenschaften z.B. durch Variogramme,
- Zusätzlich zu dem vorgenannten werden Kovarianzen zwischen verschiedenen Bodeneigenschaften dargestellt.
- Zusätzlich zu den beiden vorgenannten werden Kreuzvariogramme zwischen verschiedenen Bodeneigenschaften angegeben.

1.2.3 Skalenfragen

Der Rahmen der Arbeit wird noch aus einer anderen Blickrichtung geprägt. Alle beschriebenen Ansätze sind zunächst nur in den Grenzen der jeweiligen Situation anwendbar. Bei kleinmaßstäbigen Bodenkarten sind aber weitere Aspekte und Besonderheiten zu beachten. Die kleinmaßstäbige Darstellung von bodenkundlichen Informationen basiert zum großen Teil auf Untersuchungen und Befunden, die in anderen Maßstäben begonnen wurden. Fragen des Erhebungsmaßstabs im Gegensatz zum Darstellungsmaßstab sind zu beachten. In der Einleitung ist auf die wichtige Rolle des Maßstabs für die Untersuchung bereits eingegangen worden. Neben dem Begriff des kartographischen Maßstabs steht der Begriff der Dimensionen oder Skala (scale). Bei jeder Fragestellung muss entschieden werden, ob man sehr viele Details an einem abgegrenzten Ort oder einen großen Raum mit entsprechend geringerer Differenzierung betrachten möchte. Neben den unterschiedlichen Informationen, die dadurch erlangt werden können, sind die Methoden unterschiedlich, die in den verschiedenen Maßstäben angewendet werden können. Eine Dimension ist dadurch gekennzeichnet, dass in ihr gleiche inhaltliche Aussagen möglich sind, gleiche methodische Ziele verfolgt werden und ein bestimmtes Methodenniveau eingehalten wird (NEEF 1963; LESER 1991). Aussagen aus einer Dimension sind nicht oder nur eingeschränkt in anderen Dimensionen gültig (KLEEBERG 1992a). So verändern sich bei einer Änderung der betrachteten Dimension z.B. auch die Steuergrößen eines Prozesses. In der Mikroskala sind es z.B. die Vegetationsbedeckung und die Bodeneigenschaften, die das eigentliche Entstehen von Erosion beeinflussen. Ändert man den Maßstab und betrachtet einen gesamten Hang oder ein kleines Tal, so treten durch die Rolle des abfließenden Wasser Hangneigung und die Position der Hänge zueinander prozessbestimmend in den Vordergrund (HELMING und FRIELINGHAUS 1999). Ein anderes Beispiel ist der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Dimension (vergl. Tabelle 1.2).

(DUTTMANN 1999) gibt einen Überblick der verschiedenen Dimensionen/Skalen, der hier auszugswise wiedergegeben werden soll:

- **Topische Dimension (microscale)**

Die topische Dimension stellt die kleinste Einheit dar, in der Bodeneigenschaften als einheitlich betrachtet werden können. Das einzelne Profil und damit keine Flächen- sondern eine Punktinformation stehen im Mittelpunkt. Quantitative Aussagen zum Prozessgesche-

hen werden mit Modellen erarbeitet, die auf physikalischen Grundgesetzen beruhen. Feste Grenzen gibt es nicht. (BECKER 1995) gibt als Größenordnung Flächengrößen von 1 bis 100 m² an.

- **Chorische Dimension (mesoscale)**

Die chorische Dimension umfasst Prozesseinheiten, die aus einer Anzahl unterschiedlich ausgestatteter und miteinander in Verbindung stehender Elementarflächen (Tope) aufgebaut sind. Räumliche Beispiele sind Kleineinzugsgebiete von Bächen bis hin zu ganzen Flusseinzugsgebieten. Größenordnungen bewegen sich zwischen 0,1 bis 1 km² im unteren Bereich und bis zu 1.000 km² im oberen Bereich. Bodenkundlich wird die chorische Dimension durch Bodenformengesellschaften bis hin zu Leitbodengesellschaften beschrieben. Zur Erfassung des Prozessgeschehens werden neben empirischen Schätzverfahren auch Modelle eingesetzt, denen eine vereinfachte Prozessbeschreibung zu Grunde liegt.

- **Regionische Dimension (macroscale)**

Der Übergang zwischen der chorischen und der regionischen Dimension ist unscharf. Untersuchungsgegenstand sind Großräume oder Großlandschaften in Größenordnungen von 1.000 bis 10.000 km². Leitbodenassoziationen und Bodenlandschaften sind bodenkundliche Repräsentanten der regionischen Dimension. Methodisch werden in erster Linie einfache Schätzverfahren angewendet.

Auch die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG-BODEN 1994) enthält Vorgaben über die Ausweisung von Kartiereinheiten in verschiedenen Maßstäben. Tabelle 1.3 fasst verschiedene Dimensionen in der Bodenkunde und die entsprechenden Skalen aus der Landschaftsökologie zusammen.

Zwei bedeutende Arbeiten zu diesem Thema aus der Pedometrics-Gruppe bilden einmal die Zusammenfassung des Workshop "Soil and Water Quality at Different Scales" (FINKE et al. 1998), der 1996 gemeinsam von 3 Arbeitsgruppen der ISSS in Wageningen organisiert wurde und in dem vor allem die Beiträge von (BOUMA et al. 1998), (WAGENET 1998) und (MCBRATNEY 1998) zu nennen sind.

(BOUMA et al. 1998) diskutieren das grundlegende Problem der Daten und Anforderungen auf verschiedenen Skalen. Jede Untersuchung hat verschiedene Phasen von der Problemstel-

Dimension	Einflussfaktoren
Aggregat	Porengröße, organische Oberflächen
Feld	Niederschlag, Textur, Humusgehalt
Einzugsgebiet	Textur, angebaute Pflanzen
Region	Geomorphologie, Landnutzung
Kontinent	Klima, Biomtyp

Tabelle 1.2: Einflussfaktoren auf die Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Betrachtungsdimension; verändert nach (WAGENET 1998)

Bezeichnung	Abgrenzungskriterien	Entscheidung zum Ausweis einer Kartiereinheit	Dimension und typische Flächen
Bodenform ; Pedotop, Standort, differiert nur in Varietäten oder Subvarietäten,	kleinste Einheit mit einheitlichen Bedingungen	Differenzen in der Varietät (z.B. versch. Grundwasserstände innerhalb einer Aue)	Mikroskala; <100 m ²
Bodenformengesellschaft Bodentyp mit versch. Subtypen;	Bereiche mit gleichen Bildungsfaktoren	Änderungen (Wechsel im Relief oder Substrat) führen zu Variation der Subtypen	Mesoskala- γ ; 1 - 25 km ²
Leitbodengesellschaft	vorherrschende Leitböden mit regelhaft vergesellschafteten Bodenformen	Änderungen (Wechsel im Relief oder Substrat) führen zu Veränderung im Leittyp	Mesoskala- β ; 10 bis 10 ³ km
Leitbodenassoziation ; Zusammenfassung verschiedener Leitbodengesellschaften	Darstellung der Böden mit gleichen dominierenden Bildungsfaktoren	deutliche Änderungen in der Morphologie und Horizontierung	Mesoskala- β ; 10 bis 10 ³ km
Bodenlandschaften ; Verknüpfung des Leitbodens mit dem Landschaftscharakter	regionale Landschaften mit ähnlicher Geologie und Morphologie	veränderter Landschaftscharakter, Dominanz morphologischer und klimatischer Verhältnisse auf die Bodenbildung	Mesoskala- α ; 10 ³ - 10 ⁶ km ²
Bodengroßlandschaften ; Zusammenfassung verschiedener Bodenlandschaften	gemeinsame geologisch-paläogeographische Entwicklung	Wechsel in der geologisch-paläogeographische Ausprägung	Makroskala; >10 ⁴ km ²
Bodenregionen ; überregionale Bodeneinheiten, sehr allgemeine Gliederung	geologische Großeinheiten, Relief und Klima spielen ebenfalls große Rolle	deutlicher Wechsel in der Geologie, Grenzen der Darstellbarkeit erreicht	Makroskala; >10 ⁴ km ²

Tabelle 1.3: Dimensionen von Bodeneinheiten; verändert nach (AG-BODEN 1994, S.272ff.) und (BECKER 1995)

lung, Eingrenzung der betroffenen Skalen, Modellbildung, Datenaufbereitung, Modellanwendung, Qualitätsüberprüfung bis hin zur Präsentation der Ergebnisse. Um diese "research chain" zu verdeutlichen, werden anhand des Hierarchiemodells von (HOOSBEEK und BRYANT 1992) mehrere Beispiele dargestellt (vergl. Abbildung 1.5). Dieses Modell erweitert die übereinander liegenden Skalen um zwei weitere Ebenen innerhalb jeder Skala, die im Zuge einer Untersuchung berücksichtigt werden müssen. Dies sind die Art der Daten (qualitativ oder quantitativ) sowie die Art des Modells (empirisch oder deterministisch). (WAGENET 1998) konkretisiert die räumliche Skalenproblematik und erweitert sie auf zeitliche Skalen, nennt mögliche Fehler bei

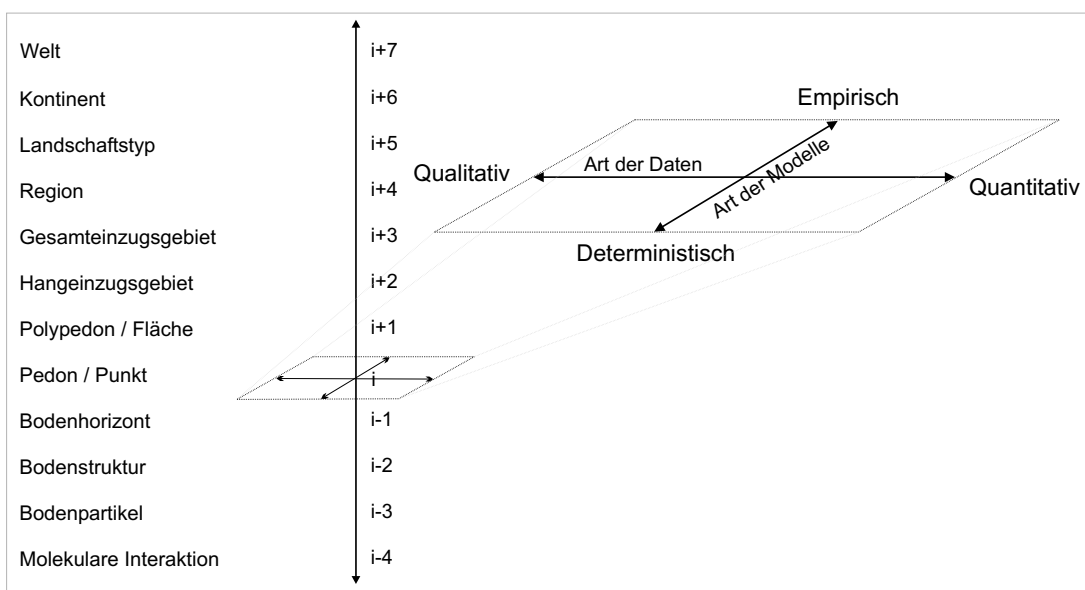


Abbildung 1.5: Skalenhierarchie, Art der Daten und Modelle; Konzept zur Einstufung von Modellen; verändert nach (HOOSBEEK und BRYANT 1992)

der "Skalentransformation" (z.B. Interaktionen zwischen den transformierten Parametern) und formuliert weitere Forschungsschritte. (MCBRATNEY 1998) stellt verschiedenen Ansätze des Upscaling und Downscaling vor und diskutiert Methoden zur Aggregation (Variogramm, Fraktale, wavelets, Transferfunktionen) und Disaggregation.

Anwendungsbezogener erarbeiten (BIERKENS et al. 2000) eine wichtige Zusammenstellung von Werkzeugen zum Upscaling und Downscaling von Daten und Methoden. Die Arbeit vereint und klassifiziert verschiedene Methoden zum Skalentransfer vom großen zum kleinen Maßstab (Upscaling) und vom kleinen zum großen Maßstab (Downscaling). An dieser Stelle wird nur der Schritt des Upscaling betrachtet. Die verschiedensten Maßstäbe der erhobenen Daten (observation scale), der angewendeten Modelle (model scale) und der Ebene der Entscheidungen (policy scale) erfordern Konzepte zur Übertragung der Informationen. (BIERKENS et al. 2000) stellen mehrstufige Entscheidungsbäume zur Verfügung, die den Anwender in Abhängigkeit der individuellen Anforderungen und Bedürfnisse zu der entsprechenden Methode führen.

1.2.4 Fazit

Es zeigt sich, dass trotz der vielfältigen methodischen Untersuchungen ein aktueller Ansatz zur Bewertung kleinmaßstäbiger Bodenkarten fehlt. Der Großteil der Ansätze wird im großen oder mittleren Maßstab durchgeführt. Den kleinmaßstäbigen Ansätzen von (HAASE und SCHMIDT 1985) oder (IBANEZ et al. 1998) fehlt der Bezug auf mittlere und große Maßstäbe. Weiterhin sind die vorhandenen Datengrundlagen und die Ansprüche, die an die Karte gestellt werden, zu beachten. Der Ansatz von (HAASE und SCHMIDT 1985) zur Beschreibung der Heterogenität von Legendeneinheiten für eine Bodenkarte im Maßstab 1:750.000 versucht dies in Form von differenzierten Textbeschreibungen. Ein solcher Weg kann in modernen Bodeninformationssystemen (BIS) nur eingeschränkt umgesetzt werden. Auch der vielfache Wunsch nach Daten und Parametern zur Unterstützung der Modellierung landschaftsökologischer Kennwerte, lässt sich mit diesem Ansatz nicht erfüllen.

Die fehlende Flächendeckung in hoher Auflösung auf der einen und die vorhandene Flächendeckung unzureichender Daten im kleinen Maßstab auf der anderen Seite sind die Pole, zwischen denen eine inhaltliche und methodische Lücke besteht. Die Arbeit versucht deshalb ausgehend von den kleinmaßstäbigen Karten, diese flächendeckende Information aufzuwerten, da der umgekehrte Weg (hoch auflösende Daten flächendeckend bereitzustellen) zwar methodisch klar ist, aber an finanziellen und administrativen Realitäten scheitert. Mögliche Wege zu dieser Aufwertung werden zum Teil von (DUDAL et al. 1995) oder (IBANEZ et al. 1998) aufgezeigt, allerdings ohne eine konkrete weitergehende Anwendung im größeren Umfang durchzuführen. Die vorliegende Arbeit möchte dazu beitragen, die vorhandenen Lücken zu schließen und weitere Erkenntnisse zur Heterogenität kleinmaßstäbiger Bodenkarten und deren Darstellbarkeit leisten.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Die skizzierte Situation macht deutlich, welches Problem für Anwender von Bodenkarten besteht. Sind flächendeckende Aussagen für größere Gebiete erwünscht, sieht sich der Anwender einer Vielzahl von Anbietern von Karten unterschiedlicher Maßstäbe und unterschiedlicher Qualität gegenüber. Eine Flächendeckung für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ist in den Maßstäben bis einschließlich 1:200.000 aktuell nicht realisierbar. Für die Maßstäbe bis 1:100.000 wird sich dieser Zustand auch auf längere Sicht nicht ändern. In den Maßstäben kleiner als 1:200.000 liegen flächendeckend Karten vor, die allerdings aufgrund der Erstellung und des Maßstabes vielen Anforderungen nicht oder nur unzureichend genügen. Fehlermaße in den Karten, die die Datenlücken zumindest provisorisch füllen könnten, fehlen. Zwei Punkte stehen im Mittelpunkt des Interesses:

Die Arbeit erarbeitet konkrete Fehlermaße von landschaftsökologischen Aussagen, die auf der Basis von Bodenkarten entstanden sind. Es werden die Gründe und Abhängigkeiten dieser Fehler sowie die Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung untersucht.

Der zweite Schwerpunkt liegt in der Suche nach Möglichkeiten, die Heterogenität kleinmaßstäbiger bodenkundlicher Legendeneinheiten durch Erweiterung der Kartenlegende mit entsprechenden Maßen zu beschreiben.

Bewertung der bestehenden Karten

Im ersten Schritt werden alle Karten in der aktuell vorliegenden Form beschrieben und auf ihren Aussagefehler und damit ihre Güte als Grundlage landschaftsökologischer Kennwerte untersucht.

- Wie groß ist der Fehler einer Aussage, die auf Basis der kleinmaßstäbigen Karte erarbeitet wurde, gegenüber einer Aussage auf Basis hochauflösender Daten?
- Welches Ausmaß hat die Heterogenität der Inhalte auf den Aussagewert der Karte?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Fehler einer Aussage und dem Inhalt einer Legendeneinheit?

Bewertung alternativer Ansätze zur Kartenerstellung

In einem weiteren Schritt soll geklärt werden, welchen Einfluss verschiedene Randbedingungen auf den Fehler haben. Die vorliegende Fassung der Karte ist ein Produkt auf Basis von Expertenwissen und den Randbedingungen bei der Erstellung der Karte (Zielmaßstab, gewünschte Informationsdichte, Ansprüche der Kartennutzer). Damit ist sie aber auch nur *eine* Version von mehreren potentiell möglichen. Deshalb werden alternative Ansätze zur Kartenerstellung untersucht. Hier kommen regelbasierte Aggregationen zum Einsatz.

- Sind alternative Ansätze der regelhaften Aggregation großmaßstäbiger Bodeninformationen in der Lage, den Fehler der Karte zu reduzieren?
- Welcher Teil des Fehlers ist maßstabsimmanent und damit unabhängig von der Methode der Kartenerstellung?

- Wie groß sind die Anteile verschiedener Parameter auf den Fehler eine Aussage von abgeleiteten landschaftsökologischen Kennwerten?

Beschreibung der Heterogenität in den Legendeneinheiten

Die Fülle an Ansätzen zur Beschreibung der Heterogenität von Legendeneinheiten zeigt viele potentielle Möglichkeiten der Beschreibung von Heterogenität in Kartenlegenden auf. In der konkreten Umsetzung der verfügbaren Karten gehen die Ansätze aber nicht über den dritten Punkt der Aufzählung von (DUDAL et al. 1995) hinaus. Einzelne Bodenkarten haben in der Kartenlegende Informationen über den Leit- und verschiedene Begleitböden mit Informationen zu den jeweiligen Teilbereichen. Angaben zu den räumlichen Anteilen gehen über eine klassifizierte Information nicht hinaus. Ist diese Situation bei großmaßstäbigen Karten noch in Grenzen zu tolerieren, da aufgrund der Flächengröße und den Anforderungen von einer Homogenität ausgegangen werden kann, ist sie im Bereich der kleinmaßstäbigen Karten sicher unbefriedigend. Aus diesem Grund wird der zweite Teil der Arbeit sich mit den Möglichkeiten der Beschreibung der Heterogenität beschäftigen. Dabei sollen Ansätze, wie sie (DUDAL et al. 1995) beschreiben, getestet werden. Folgende Fragen stellen sich in diesem Zusammenhang:

- Welche vorliegenden Methoden zur Beschreibung der inhaltlichen und räumlichen Heterogenität bodenkundlicher Legendeneinheiten lassen sich im kleinen Maßstab anwenden?
- Welche Maße zeigen eine hohe Korrelation zum Fehler der Karte und können damit als Indikator für den Fehler dienen?
- Welche grundlegenden Daten müssen für eine Ermittlung dieser Maße zur Verfügung stehen?

Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung kleinmaßstäbiger Bodenkarten

Im letzten Teil soll gezeigt werden, welche neuen Möglichkeiten durch die Legendenerweiterung durch entsprechende Maßzahlen bestehen. Darüber hinaus soll auch diskutiert werden, welche Grenzen zu beachten sind und welche Auswertungen mit kleinmaßstäbigen Karten nicht möglich sind.

- Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich durch Maßzahlen zur Beschreibung der Heterogenität in der Legendenbeschreibung kleinmaßstäbiger Bodenkarten?
- Wo sind die Grenzen der Anwendung kleinmaßstäbigen Karten?

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Verbesserung kleinmaßstäbiger Bodenkarten. Inhalt und Anwendung dieser Karten werden hinterfragt. Der neue Ansatz besteht in der Anwendung von bestehender Methoden im kleinen Maßstab. Eine methodische und inhaltliche Lücke zwischen der Verfügbarkeit und Datenqualität kleinmaßstäbiger Bodenkarten soll geschlossen oder zumindest verkleinert werden. Der große Bedarf an qualitativ hochwertigen flächendeckenden Daten ist ein weiterer wichtiger Beweggrund für die Arbeit.

(MONMONIER 1996) bezeichnet in dem populärwissenschaftlichen Buch "How to lie with maps" Karten als "white lies" Jede Karte stellt aus seiner Sicht nur einen Ausschnitt der Wahrheit dar

und ist damit zwangsläufig eine "Notlüge". Die vorliegende Arbeit möchte die Kenntnis über die Grenzlinie zwischen einer solchen Notlüge, die die Karte auch weiterhin sein wird und einer richtigen Lüge, die keinen Bezug zur Wahrheit hat, schärfen und präzisieren.

2 Untersuchte Bodenkarten

Die Untersuchung dieser Arbeit basiert auf fünf verschiedenen bodenkundlichen Grundlagen. Dies sind die digitalen bodenkundlichen Flächeninformationen der Maßstäbe 1:5.000 (Bo5), 1:25.000 (BK25), 1:50.000 (BÜK50), 1:200.000 (BSK200) und 1:1.000.000 (BÜK1000). Allen Karten gemeinsam ist folgende Struktur: Neben den Flächen der einzelnen Bodeneinheiten und dem Grenzverlauf zwischen den Bodeneinheiten liegt eine Legende und eine Datenbank vor, in denen die wichtigsten bodenkundlichen Inhalte beschrieben sind. Aufbau und Struktur der Inhaltsdaten sind unterschiedlich und werden im folgenden erläutert. Vier Maßstäbe (1:5.000 bis 1:200.000) sind im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) integriert. Die Daten des kleinsten Maßstabs 1:1 Mio. sind dem FISBo BGR entnommen.

2.1 Aktualisierte Bodenschätzung (Bo5)

Die Reichsbodenschätzung (RBS) wurde in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts begonnen und ist eine Bodenkartierung, die für einen speziellen Zweck durchgeführt wurde. Ihr Ziel war die Bewertung des landwirtschaftlich genutzten Bodens für eine gerechte Besteuerung und planvolle Gestaltung der Bodennutzung. Dementsprechend wurden nur die für diesen Zweck notwendigen Informationen erhoben. Alle Acker- und Grünlandflächen im damaligen Bereich Deutschlands wurden untersucht und basierend auf der Bodenart, der geologischen Entstehung und der Zustandsstufe mit einer Wertzahl belegt (SCHEFFER et al. 1992, S.462). Dabei wurden in einem Raster von ca. 50 Metern Bohrstockuntersuchungen durchgeführt. Gleichzeitig wurde in einem deutlich größeren Abstand Bodenprofile aufgegraben und beprobt. Diese "bestimmenden Grablöcher" dienten als Referenz für die Bohrungen und jede Bohrung wurde einem der Profile zugeordnet. Inhaltlich wurden nur einzelne Parameter wie Bodenart, Entstehung und hydrologische Bedingungen aufgenommen. Darüber hinausgehende Aspekte wie pH-Werte, Lagerungsdichte o.ä., die heutzutage für eine Bodenbeurteilung im Rahmen des Boden- und Umweltschutzes notwendig sind, fanden keine Berücksichtigung.

Trotz dieser Einschränkungen stellt die Reichsbodenschätzung die wichtigste Informationsquelle dar, da sie für alle landwirtschaftlich genutzten Areale aufgrund des großen Aufnahmemaßstabs (1:5.000) Flächendaten in hoher Auflösung liefert und für alle Flächen eine Information zur Bodenart, Humusgehalt, hydraulischen Merkmalen, Mächtigkeit der Schicht u.a. bis in 1 m Tiefe liefert.

Der Wert der RBS liegt in der einheitlichen Vorgehensweise und damit auch Vergleichbarkeit sowie in der hohen Flächendeckung für das Bundesgebiet. Nachteile sind die veraltete Methodik der Bodenaufnahme, die eine Nachbearbeitung zwingend voraussetzt und die fehlende oder mangelhafte bodenkundliche Ausbildung der oft nur angelernten Kartierer, die zu Fehleinschätzungen führen konnte.

Diese breite Datenbasis der RBS wurde zwischenzeitlich in Niedersachsen und vielen anderen Bundesländern in moderne bodenkundliche Nomenklatur übersetzt und bildet heute eine vielfach genutzte Datengrundlage. Ausgehend von den digitalisierten Feldbüchern wurden die Klassenzeichen automatisiert übersetzt und unklare Profile manuell überarbeitet. Weiterhin findet bei einer Änderung von Rahmenbedingungen wie Nutzungsänderung oder Be- bzw. Entwässerung der Flächen eine Nachschätzung statt. Die Daten wurden routinemäßig im Zuge der bodenkundlichen Landesaufnahme bearbeitet und die Übersetzungsergebnisse systematisch korrigiert. Aus diesem Grund ist der Begriff "aktualisierte Bodenschätzungsdaten" angebracht. Eine ausführliche Darstellung der Arbeiten und ihrer Auswertungsmöglichkeiten findet sich bei (SELLGE et al. 1993).

In den beiden Untersuchungsgebieten der Arbeit wurde ein weiterer Aufwand getrieben. Alle Flächen wurden von einem erfahrenen Kartierer durchgesehen und im Rahmen der Erarbeitung der BK25 wurden zahlreiche zusätzliche Bohrungen und Grabungen durchgeführt. Durch ihre Rolle als Testgebiete sind die beiden Untersuchungsgebiete sehr gut erkundet. Die bodenkundliche Grundlage im Maßstab 1:5.000 kann also als optimale Datengrundlage angesehen werden. Informationen zur Heterogenität innerhalb der einzelnen Flächen sind nicht vorhanden. Da in diesem Maßstab die unterschiedlichen Flächen zum größten Teil nur die Größe von einzelnen Schlägen haben, kann für diese Fragestellung eine wirkliche Homogenität angenommen werden. Die Karten haben insofern noch eine besondere Bedeutung, da die Abgrenzungen der Flächen stark an den Grundstücksgrenzen orientiert sind. Im Kartenbild werden also nicht natürliche Grenzen von Bodeneinheiten dargestellt, sondern historische oder rezente Grundstücksgrenzen.

2.2 Bodenkarte im Maßstab 1:25.000 (BK25)

Die Bodenkarte von Niedersachsen im Maßstab 1:25.000 (BK25) war lange Zeit das Standardwerk der bodenkundlichen Landesaufnahme. Für ihre Herstellung wurden alle bodenkundlich bedeutsamen Unterlagen wie die RBS, geologische und historische Angaben ausgewertet.

Kürzel	Flächenanteil [%]	Beschreibung
f1	< 10	selten
f2	> 10 - 30	gelegentlich
f3	> 30 - 50	verbreitet
f4	> 50 - 70	überwiegend
f5	> 70 - 90	vorherrschend
f6	> 90	fast ausschließlich

Tabelle 2.1:

Einstufung der Flächenanteile von Böden

Auf der Basis dieser Eingangsinformationen erfolgte die Geländeaufnahme mit Ansprache der wichtigsten Bodeneigenschaften nach (AG-BODEN 1994) mittels Handbohrungen bis zwei Meter unter Geländeoberfläche. Die Geländebefunde wurden durch bodenchemische und bodenphysikalische Laboranalysen nach DIN 19680-84 abgesichert. Die BK25 hat neben der Geometrieinformation für jede Fläche ein Leit- und bis zu 5 Begleitprofile. Hier wird also bereits auf einer relativ großen Maßstabsebene die Heterogenität durch die Angabe von Leit- und Be-

gleitböden und deren klassifizierten Flächenanteilen beschrieben. Die Beschreibung der Flächenanteile wird hierbei in einer klassifizierten Form durchgeführt (vergl. Tabelle 2.1). Weitere Maße oder Informationen zur Heterogenität fehlen. Durch die Angabe von Spannweiten bei den Flächenanteilen und der individuellen Entscheidung des Kartierers bei der Zusammenstellung der Legende, lässt die Angabe des Kürzel nicht immer eine eindeutige Aussage über die genauen Flächenanteile zu. Die BK25 liegt nicht flächendeckend in Niedersachsen vor. Mitte der 90er Jahre lag die Flächendeckung bei ca. 40%. Dieser Wert wird auch mittelfristig nicht erhöht, da die BÜK50 und später die BK50 als zentrales Kartenwerk im mittleren Maßstab weiterentwickelt wird.

2.3 Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 (BÜK50)

Die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 (BÜK50) ist die zentrale mittelmaßstäbige Karte des NLFb. Sie liegt flächendeckend in Niedersachsen vor und bildet die Grundlage für verschiedene Auswertungskarten. Eine Besonderheit der Karte besteht darin, dass sie ohne neue Kartierungen im Konsens "am grünen Tisch" entstanden ist.

Anfang 1990 lagen nur für etwa ein Drittel der Fläche von Niedersachsen großmaßstäbige Bodenkarten vor. Wünschenswert war die Erstellung einer flächendeckenden mittelmaßstäbigen Bodenkarte. Sie sollte mit Hilfe der vorhandenen Bodeninformationen aus den größeren Maßstäben 1:5.000 (DGK 5 B und Ergebnisse aus Projektkartierungen) und 1:25.000 (vorhandene Blätter der BK25) sowie den kleineren Maßstäben 1:200.000 (landesweite Übersicht in Form der BSK 200) erarbeitet werden. Um die Aussage der Karte zu verbessern, wurden neben den bodenkundlichen Informationen auch andere Informationen wie historische Nutzung oder Reliefinformationen ausgewertet. Die BÜK50 ist damit das Verbindungsglied zwischen den benachbarten Maßstäben und gleichzeitig ein darauf basierendes Produkt. Bei der Erstellung wurden erstmals im größeren Umfang die Daten und methodischen Möglichkeiten des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS) genutzt. Die BÜK50 hat keine Informationen über die Heterogenität der Legendeneinheiten, jede Fläche wird durch ein Profil aus einer für das gesamte Landesgebiet gültigen Generallegende einheitlich beschrieben.

Bei den erwähnten Zusatzinformationen handelt es sich um verschiedene Grundlagenkarten, die Informationen zur bodenkundlichen Situation beisteuern. Zunächst sind dabei die **Geologischen Karten 1:25.000** zu nennen. Ihnen kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie flächendeckend - wenn auch in unterschiedlicher Qualität - zur Verfügung standen. Aus der Geologischen Karte wurde das Ausgangsmaterial der Bodenbildung entnommen. Die Flächenbeschreibungen zeigen den Aufbau der obersten zwei Meter. Die geologischen Karten 1:25.000 lagen in drei Standards vor:

- Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000 (GK 25 - Grundkarte),
- Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten 1:25.000 und

- Geologische Übersichtsaufnahme 1:25.000 (GÜK25)

Letztere wurden überwiegend in den sechziger und siebziger Jahren im Rahmen einer Übersichtskartierung mit vermindertem Bohraufwand (3 - 5 Handbohrungen je km²) erstellt. Die GK 25 ist dagegen das Ergebnis einer intensiven, meist mehrjährigen Kartierung. Bei Lockergesteinen werden hierbei im allgemeinen 15 bis 35 Handbohrungen je km² durchgeführt.

Weiterhin wurden Karten der **historischen Landnutzung** ausgewertet. Erstmals wurde in einer Kartenserie auch die Verbreitung ehemaliger Feuchtgebiete bei der bodenkundlichen Beschreibung des aktuellen Zustandes berücksichtigt (KLAUSING und OSTMANN 1993). Um Aussagen dazu machen zu können, wurden alte topographische Karten aus der Zeit des 18. bis beginnenden 20. Jahrhunderts ausgewertet, da diese Karten in etwa den Zustand vor und am Anfang der großen Kultivierungsmaßnahmen des 20. Jahrhunderts wiedergeben. Die Aufnahmemastäbe variieren zwischen 1:4.000 und 1:25.000. Aus den Angaben in diesen Karten zur damaligen Bodennutzung können Hinweise auf die Bodenentwicklung gewonnen sowie die Verbreitung von Feuchtgebieten, Mooren u.a. rekonstruiert werden.

Die **Forstliche Standortskartierung** hat zum Ziel, alle für das Wachstum von Wäldern wichtigen natürlichen Bedingungen zu erfassen. Sie werden von der Landesforstverwaltung für die Waldbauplanung entsprechend den Vorgaben der Forstlichen Standortaufnahme (STANDORTKARTIERUNG 1980) hergestellt. Die bodenkundliche Aufnahme der Waldstandorte unterliegt einem streng reglementierten Verfahren, das ein enges Netz von Handbohrungen und Profilgruben vorschreibt. Der Bodenaufbau wird im Gelände anhand von Schürfgruben aufgenommen und in einem Bohrprotokoll festgehalten. Den einzelnen Standortseinheiten wird eine Schlüsselziffer (Standortstyp) zugeordnet, über die Angaben zum Wasser- und Nährstoffhaushalt und zum Ausgangssubstrat abgefragt werden können. Das Ergebnis ist eine Standortstypenkarte, der aber keine Bodentypen zu entnehmen sind (KUES und STEININGER 1994). Aufgrund der Verschlüsselung im Geländeökologischen Schätzrahmen ist eine direkte Übernahme der Forstinformationen in Bodenkarten nicht möglich, da die verwendete Kodierung nicht unmittelbar einem Bodentyp zugeordnet werden kann. Daher wurde auf Basis empirischer Untersuchungen ein Übersetzungsschlüssel entwickelt, der zu jeder Flächenschlüsselnummer den zu erwartenden Bodentyp oder das Bodentypenspektrum angibt. Zwischenzeitlich ist auf der Grundlage von statistischen Analysen von über 3000 forstlichen Profilbeschreibungen ein Regelwerk entwickelt worden, mit dessen Hilfe der Forstliche Standortstyp in einen normierten Bodentyp übersetzt werden kann.

Die **Karten der Tiefumbruchflächen** kennzeichnen Bereiche, in denen durch Kulturmaßnahmen die Böden tiefgründig verändert wurden. Im NLFb wurden alle Unterlagen über Tiefumbruchflächen und anderer Tiefkulturmaßnahmen, soweit sie zugänglich waren, zusammengetragen, in neue Karten übertragen und z.T. digital erfasst. In der Regel konnten die Tiefumbruchflächen aus Unterlagen der Landwirtschaftskammern entnommen werden. Teile ließen sich aus den Unterlagen der Bodenschätzung erschließen. Diese Unterlagen sind nach Erfahrung des NLFb jedoch bei weitem nicht vollständig, da viele Umbrüche, die ohne öffentliche

Förderung durchgeführt wurden, nicht aktenkundig sind.

Als weitere wichtige Grundlage wurde die **Topographische Karte 1:25.000 (TK25)** ausgewertet. Aus ihr lassen sich Angaben zur aktuellen Nutzung und zum Relief entnehmen. Vereinzelt wurde auch das System zur Automatischen Relief-Analyse (SARA) eingesetzt, ein Programm zur automatischen Auswertung von digitalen Geländemodellen (KÖTHER und LEHMEIER 1993). Da verschiedene Bodenbildungen einen engen Bezug zum Relief haben, lassen sich dadurch Aussagen über das Auftreten von Bodentypen in verschiedenen Reliefsituationen (z.B. Kuppe, Hang, Tal) treffen.

Mittelfristig wird die Kartenserie BÜK50 durch eine "Bodenkarte 1:50.000 (BK50)" abgelöst, die sukzessive aus den Maßstäben 1:5.000 bis 1:25.000 abgeleitet sein wird. Dieses Kartenwerk wird sich stärker an der bereits in der BK25 verwirklichten Struktur orientieren. Dies bedeutet, die ausgewiesenen Bodenareale werden je nach "Reinheit der Flächen" mit einem oder mehreren Bodenprofilen beschrieben. Es werden dann empirisch bzw. statistisch ermittelte Flächenanteile zu den einzelnen in einem Areal vertretenen Bodentypen angegeben, um späteren Auswertungen eine erhöhte Aussagegenauigkeit zu ermöglichen.

2.4 Bodenkundliche Standortkarte von Niedersachsen und Bremen im Maßstab 1:200.000 (BSK200)

In der Maßstabsebene 1:200.000 wurde auf digital vorliegende Daten der Bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen und Bremen 1:200.000 (BSK200) zurückgegriffen. Um in möglichst kurzer Zeit für ganz Niedersachsen bodenkundliche Planungsunterlagen zur Verfügung zu haben, erarbeitete Anfang der 80er Jahre das NLF im Rahmen des Projektes "Naturraumpotentialkarten von Niedersachsen" (DANIELS 1980) ein kleinmaßstäbiges bodenkundliches Kartenwerk, die "Bodenkundliche Standortkarte von Niedersachsen und Bremen 1:200.000" (BSK200). Das Kartenwerk gliedert und wertet die Böden unter besonderer Berücksichtigung standortkundlicher Kriterien, wobei dem Klimaeinfluss und dem Relief besondere Bedeutung zukamen (LÜDERS et al. 1974; BOESS und MÜLLER 1989).

Das Kartenwerk liefert eine grobe Unterteilung nach Klima-Landschaftsregionen mit einer Dreiteilung des Flachlandes, übergehend vom maritimen Klimabereich im Westen hin zum subkontinentalen Klimabereich im Osten. Das Bergland ist in zwei Höhenstufen gegliedert, Talauen und Moore sind als gesonderte Gruppe ausgewiesen (BENZLER und LÜDERS 1979). Die weitere Unterteilung erfolgte nach geomorphologischen Einheiten, die wiederum in Standorteinheiten aufgegliedert wurden. Um die in der BSK200 enthaltenen Informationen besser verfügbar zu machen und gleichzeitig die in den letzten Jahren gewonnenen neuen Erkenntnisse einzu beziehen, wurde im Rahmen der Arbeiten zum Aufbau des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS) das vorhandene Kartenwerk überarbeitet und in eine digitale Form gebracht. Um eine schnelle und vielseitige rechnergestützte Auswertung zu ermöglichen, musste die bisherige Form der Legendengestaltung aufgegeben werden. Es wurde eine für das gesamt-

te Kartenwerk gültige neue Generallegende entworfen. Damit die wesentlich erweiterten Möglichkeiten der Flächeninhaltsbeschreibung digitaler Dateien voll ausgeschöpft werden konnten, musste der Datenschlüssel Bodenkunde (OELKERS 1984), der für die Erfassung punktueller Erhebungen ausgelegt ist, für die inhaltliche Beschreibung von Bodenarealen erweitert werden (ECKELMANN und OELKERS 1984). Diese Erweiterung ließ eine wesentlich umfangreichere Beschreibung der Flächen zu, als das in der Legende einer analogen Karte möglich war (BOESS und MÜLLER 1989). Die Heterogenität wird ähnlich wie bei der BK25 durch die Angabe von Kürzeln über den ungefähren Flächenanteil der Leit- und Begleitböden beschrieben. Die BSK200 ist eine Informationsgrundlage, welche in die zur Zeit in der Entwicklung befindlichen Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK200) für das gesamte Bundesgebiet eingeht. Details zu dieser Karte sind schon im Stand der Forschung dargestellt worden. Der Abschluss der Bearbeitung der BÜK200 für ganz Deutschland ist für das Jahr 2008 geplant.

2.5 Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000)

Zentrales Produkt der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im bodenkundlichen Bereich ist die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (HARTWICH et al. 1995b). Die BÜK1000 ist die erste gesamtdeutsche Übersichtskarte und basiert auf entsprechenden kleinmaßstäbigen Kartenwerken der alten und neuen Bundesländer (ROESCHMANN 1986; HAASE und SCHMIDT 1985). Sie wurde digital erstellt und bildet die Grundlage für überregionale Fragestellungen. Aufgrund ihres Maßstabes ist sie für Auswertungen auf Bundesebene und der europäischen Ebene geeignet. 72 bodenkundliche Leitbodenassoziationen (LBA) werden in der Karte ausgewiesen und in der Legende beschrieben. Neben einer textlichen Beschreibung der bodenkundlichen Situation, der geologischen Ausgangssituation und der Verbreitung der charakteristischen Bodentypen, ist jeder LBA ein charakteristisches Profil zugeordnet, auf dessen Basis Auswertungen möglich sind. Die BÜK1000 stellt einen wesentlichen Bestandteil des Fachinformationssystems Boden der BGR (FISBo BGR) dar. Durch Anwendung verschiedener Methoden lassen sich die Leitprofile der BÜK1000 zur Ableitung thematischer Karten für Fragen des überregionalen Bodenschutzes auswerten. Die BÜK1000 wird ständig weiterentwickelt und ist zum jetzigen Zeitpunkt als Konzeptkarte in einer nutzungsdifferenzierten Version verfügbar. Diese Version ist mit Nutzungsdaten verschnitten, die auf dem CORINE Landcover (EU 1991; HEYMANN 1994) basieren. Nach einer notwendigen Generalisierung der Daten wurde jede LBA nach drei Nutzungen *Acker*, *Grünland* und *Wald* unterteilt und den neu gebildeten Flächen jeweils ein neues Profil zugeordnet. In den folgenden Untersuchungen dieser Arbeit ist die nichtnutzungsdifferenzierte Karte mit einem Profil je Legendeneinheit verwendet worden.

Angabe zur Heterogenität innerhalb der Legendeneinheit finden sich nur in der Textlegende. Hier wird durch eine morphographische oder topographische Angabe die Lage verschiedener

Nebenbodentypen konkretisiert. Interessanterweise enthält die aktuelle Karte keinen Hinweis zum Charakter der Karte als Übersichtskarte und den damit einhergehenden Einschränkungen bei der Anwendung. Der bundesdeutsche Vorgänger der Karte (ROESCHMANN 1986) enthielt einen Passus in der Textlegende, der den Einsatzzweck der Karte als Grundlage für Modellierungen hinterfragt.

3 Darstellung der Situation durch verschiedene Bodenkarten

3.1 Untersuchungsgebiete

Die beiden Untersuchungsgebiete Ebergötzen und Vechta liegen in Niedersachsen und sind in ihrer Ausdehnung identisch mit den Blättern der Topographischen Karte im Maßstab 1:25.000 (TK25) von Niedersachsen Nr. 3215 Blatt Vechta (LGN 1997) und Nr. 4426 Blatt Ebergötzen (LGN 1996). Das Blatt Vechta liegt am Übergang zwischen den Bodenregionen "Geestplatten und Endmoränen" und "Talsandniederungen und Urstromtäler" der Bodenregion Geest, das Blatt Ebergötzen in dem Bereich "Höhenzüge" der Bodenregion Bergland (vergl. Abb. 3.1). Diese beiden Gebiete waren bereits in früheren Untersuchungen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb) als Testgebiete genutzt worden und es konnte auf die entsprechend gute Datenlage zurückgegriffen werden. An dieser Stelle wird ein kurzer Überblick über die naturräumliche Lage, die geologische Ausgangssituation, das Relief und die Nutzung gegeben. Ausführliche Informationen zur bodenkundlichen Situation und deren Darstellung in den fünf verschiedenen Maßstäben werden in einem gesonderten Abschnitt gegeben, da der Informationsgehalt der einzelnen Karten wesentlicher Teil des gesamten Themas ist.

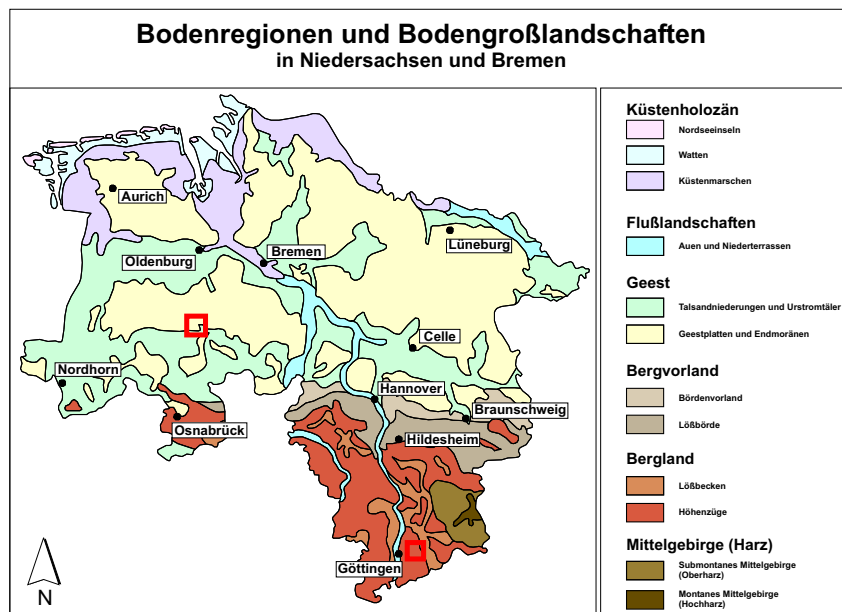


Abbildung 3.1:

Lage der Untersuchungsgebiete in Niedersachsen, Karte der Bodenlandschaften und Bodenregionen; Quelle: NIBIS

3.1.1 Naturräumliche Beschreibung des Blattes Vechta

Geologie

Das Blatt Vechta ist durch eine Zweiteilung in West-Ost-Richtung gekennzeichnet. Im Norden des Blattes liegt die hohe Geest, die durch die Grundmoräne der Drentheeiszeit gebildet wird (Geschiebelehm) und teilweise von Sandlöss überlagert ist. Den südlichen und südwestlichen Teil bilden die Ausläufer des Quakenbrücker Beckens, die hier von weichselzeitlichen fluviatilen Ablagerungen überlagert sind. Südlich der Stadt Vechta im Südosten des Blattes ragt ein Ausläufer der Dammer Berge, eine drenthezeitliche Endmoräne, in das Blattgebiet hinein. Zwei größere inselhafte Bereiche unterbrechen diese Einteilung. Im Westen liegt eine weichselzeitliche Düne und nördlich vom Stadtgebiet Vechta eine periglaziäre Bildung der Weichselzeit. Weiterhin wird das Blatt durch einzelne Tiefenlinien unterteilt und durchbrochen, die von Norden kommend die Grundmoräne einschneiden und als Niedermoore ausgewiesen sind. Alle Bereiche im Süden des Blattes sind von weiteren kleinen inselhaften Flächen (ähnlich Einsprengseln in eine feinkörnige Matrix) durchsetzt, die äolischer, fluviatiler oder anthropogener Bildung sind.

Relief

Die Reliefsituation in Vechta ist gleichmäßiger als in Ebergötzen. Maximale Werte um 55 m ü.NN sind im äußersten Norden anzutreffen, die Minimalwerte in den Ausläufern des Urstromtales mit ca. 28 m ü.NN. Das Blatt ist durch die von Norden nach Süden leicht abfallende Geestkante gekennzeichnet, die durch flache, in Fallrichtung verlaufende Täler gegliedert ist.

Nutzung

Das Blatt Vechta ist auf ca. 75% der Fläche landwirtschaftlich genutzt, aufgeteilt in etwa 60% Acker und 15% Grünland. Knapp 10% sind Waldflächen und knapp 5% sind Siedlungen und Verkehrsanlagen (Tabelle 3.1).

Gebiet	Acker	Grünland	Wald/Forst	Siedlung	Sonstiges
Vechta	60,6	14,9	8,8	4,9	10,8
Ebergötzen	40,1	11,7	42,9	1,6	3,7

Tabelle 3.1: Anteile verschiedener Nutzungen in den beiden Untersuchungsgebieten; Datengrundlage: ATKIS; Angabe in %

3.1.2 Naturräumliche Beschreibung des Blattes Ebergötzen

Geologie

Das Blatt Ebergötzen liegt am Rande des nördlichen Untereichsfeldes im heutigen Landkreis Göttingen. Es liegt östlich der Stadt Göttingen, von der es durch den Höhenrücken des Göttinger Waldes getrennt ist. Naturräumlich wird das Untersuchungsgebiet dem niedersächsischen Berg- und Hügelland zugeordnet. Die vorherrschenden Oberflächenformen - vor allem Schicht- und Bruchstufen, Schichtkämme sowie im Vergleich zu Mittelgebirgen breitere Täler und Becken - sind das Ergebnis der saxonischen Bruchschollentektonik und sali-

nardynamischer Prozesse, deren Strukturformen in geologischen Zeitabschnitten durch Erosion und kaltzeitliche Abtragung herauspräpariert wurden (SEEDORF und MEYER 1992). Demgegenüber stehen pleistozäne Akkumulationsprozesse wie die Anwehung von Löss oder die Bildung von Schotterkörpern, die das heutige Bild des niedersächsischen Berg- und Hügellandes ebenfalls prägen. Das Kartenblatt ist aus geologischer Sicht in zwei größere Teilbereiche unterteilt. Im westlichen Bereich liegt der Ausläufer des Göttinger Waldes, der aus Muschelkalk und oberem Buntsandstein gebildet wird. Der östliche Bereich hat als geologischen Untergrund den mittleren Buntsandstein (Volpriehausenfolge), der teilweise von Lösslehm überdeckt wird. In den Talniederungen ist Auelehm anzutreffen. Eine geologische Besonderheit liegt ganz im Osten des Gebietes, hier ist in Folge von Salzlaugung im Zechstein eine Subrosionssenke entstanden, die rezent vom Seeburger See ausgefüllt wird.

Das Untersuchungsgebiet wird durch den Übergang zwischen den Gesteinen des Buntsandsteins und des Unteren Muschelkalks des Göttinger Waldes geprägt. Die Gesteine werden von Westen nach Osten älter, an den Muschelkalk schließt sich nach Osten zunächst der Obere Buntsandstein (*so*) und später der Mittlere Buntsandstein (*sm*) an. Die Grenze des Mittleren Buntsandstein zum Unteren Buntsandstein (*su*) ist auf dem Blatt 4426 nicht mehr sichtbar. Die quartären Deckschichten dominieren den östlichen Teil der Karte, wobei der Flächenanteil dieser Sedimente von Süden nach Norden zunimmt. Ursachen für die Dominanz pleistozäner und holozäner Lockersedimente im Untereichsfeld sind zum einen die nach Osten abnehmende Reliefenergie, zum anderen die Tektonik. Durch Subrosion von Zechsteinsalzen entstandene Hohlformen wurden innerhalb der letzten Eiszeit durch Löss überlagert (HERRMANN 1957), der nach (BORK 1982) bis zu mehreren Metern mächtig sein kann. Weitergehende Informationen zur geologischen Situation des Blattes Ebergötzen finden sich bei (ELBRACHT 2000).

Relief

Die Reliefsituation im Untersuchungsgebiet ist durch die Trennung in die Ausläufer des zentralen Beckens im Untereichsfeld und der Erhebung des Göttinger Waldes gegliedert. Die tiefsten Bereiche des Blattes liegen im Bereich des Seeburger Sees (ca. 160 m ü.NN), die als Schichtkämme geformten Höhen des Göttinger Waldes haben mit ca. 430 m ü.NN die maximale Höhe im Blattgebiet. Ausgehend vom Schichtkamm fällt das Relief nach Westen hin relativ flach ab, wobei dieser Bereich von einzelnen Tälern eingeschnitten wird. Nach Osten hin fällt die Schichtstufe steil ab und geht am Fuß flacher in das Becken über. Im Süden des Blattes sind ebenfalls leichte Erhebungen. Das gesamte Gebiet ist von einzelnen Vorflutern gegliedert.

Nutzung

Das Blatt Ebergötzen ist auch bei der Nutzung durch die bereits erwähnte Zweiteilung geprägt. Die Bereiche des Muschelkalkes sind forstwirtschaftlich genutzt, die anderen tiefergelegenen Bereiche werden ackerbaulich genutzt. Die beiden Nutzungen Acker und Wald sind mit Anteilen zu je 40% etwa gleichbedeutend. Einzelne Ortschaften unterbrechen diese Zweiteilung (vergl. Tabelle 3.1).

3.2 Bodenkundliche Situation in Vechta und die Darstellung durch die Bodenkarten

3.2.1 Bodenkarte Bo5

Die bodenkundliche Information im Maßstab 1:5.000 (Bo5) liegt aufgrund der Methode der Erhebung nur für die Acker- und Grünlandflächen vor. Diese Fläche macht ca. 75% der Blattfläche aus. Die größten Flächenanteile (> 10%) haben Pseudogleye, Plaggenesche, Pseudogley-Plaggenesche, Gleye und Podsole. Zwischen 1 und 7,5% liegen die Anteile von Podsol-Gleyen, Niedermooren, Gley-Eschen, reinen Podsolen, Pseudogley-Podsolen und Tiefenumbruchsböden über Niedermoor. Damit zeigt sich die typische Bodengesellschaft der Geest, geprägt durch sandige und grundwasserbeeinflusste Böden. Die Böden zeichnen nur schwach die in Abschnitt 3.1.1 geschilderte geologische Grobgliederung nach. Der nördliche Bereich zeigt höhere Anteile an Pseudogleyen und Böden mit Pseudovergleyung im Subtyp (lehmmige Grundmoräne). Die Podsol-Gleye sind eher in den sandig-fluviatilen Bereichen zu finden und die Gleye und Niedermoore zeichnen schwach den Verlauf der Tiefenlinien nach. Die Plaggenesche zeigen keine direkte topographische und substratabhängige Verteilung auf und sind gleichmäßiger verteilt. Insgesamt zeigt sich eine hohe räumliche Heterogenität.

Verengt man die Flächeninformation auf die bodenkundlichen Haupttypen, so bleiben Plaggenesche, Gleye, Niedermoore, Podsole, Pseudogleye und Umbruchsböden als die prägenden Böden des Blattes Vechta übrig. Die Plaggenesche sind über das ganze Blatt verteilt, zwei etwas stärker zusammenhängende Zentren (nördlich der Stadt Vechta sowie ein sichelförmiges Gebiet im Westen des Blattes) sind schwach zu erkennen. Die Gleyeböden sind diffus verteilt und bilden teilweise die linienhaften Bereiche der Niederungen nach. Hier sind auch die Moore (Niedermoor) anzutreffen wie auch vereinzelt im äußersten Südosten (Vechtaer Moor, Hochmoor). Podsole treten verstärkt im südlichen Teil des Blattes auf, dort aber eher diffus und nicht kompakt. Die Pseudogleye sind verstärkt im nördlichen Teil anzutreffen. Umbruchsböden treten vereinzelt ohne Bezug zum Substrat auf.

3.2.2 Bodenkarte BK25

Die vorherrschenden bodenkundlichen Haupttypen sind die gleichen wie bei der Bo5, die Verteilung und vor allem die Anteile sehen etwas anders aus. Die einzelnen Flächen sind erwartungsgemäß größer und klarer voneinander abgegrenzt. Die Gleye sind über das gesamte Blatt verteilt, mit Schwerpunkten in den Tiefenlinien der Vorfluter und in einem größeren Bereich im Süden des Blattes. Der Pseudogley wird wie auch bei der Bo5 vor allem im Norden und Nordosten ausgewiesen. Die Podsolverbreitung hat ebenfalls im Süden den Schwerpunkt, zeigt aber deutlich weniger Anteile. Die Niedermoore sind eindeutig den Tiefenlinien im Norden zugeordnet und die Plaggenesche sind ebenfalls über das ganze Blatt verteilt mit den beiden schon bekannten Schwerpunkten. Einen weiteren großen Teil machen die Tiefenumbruchsbö-

den aus. Die Karte der BK25 hat auch noch große Bereiche, die ohne Informationen sind. Dies betrifft vor allem die Siedlungsgebiete.

	Bo5	BK25	BÜK50	BSK200	BÜK1000
Gley	28,1	21,2	9,3	16,6	0,0
Pseudogley	16,3	17,8	4,1	9,4	0,0
Podsol	9,6	16,0	35,4	14,9	19,5
Braunerde	0,0	0,9	10,5	33,3	41,4
Parabraunerde	0,0	0,4	11,2	19,1	18,5
Plaggenesch	23,1	34,4	19,3	0,0	0,0
Umbruchsböden	6,2	2,9	4,3	0,0	0,0
Niedermoor	6,2	6,1	5,9	6,7	13,8
keine Information	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 3.2:

Verteilung der Hauptbodentypen in Vechta in 5 Karten verschiedener Maßstäbe (Angabe in % Flächenanteil)

3.2.3 Bodenkarte BÜK50

Die BÜK50 trifft einerseits ähnliche Aussagen wie die beiden größeren Maßstäbe, andererseits werden von der Karte auch völlig neue Bodentypen "eingeführt". Statt der bisherigen sechs Haupttypen im Blattgebiet werden jetzt zusätzlich zwei weitere ausgewiesen. Die Anteile und Lage der Moore, der Plaggenesche und der Tiefenumbruchsböden sind im wesentlichen identisch mit den größeren Maßstäben, maßstabsbedingt kommt es zu einer Konzentrierung und stärkeren Kompaktheit der einzelnen Flächen. Der Anteil der Podsole ist stark erhöht, die BÜK50 zeigt ein Verdopplung des Anteils, während die Gleye ihren Anteil ebenso halbieren wie der Pseudogley, der nur noch ein Viertel der vorigen Fläche einnimmt. Die Verschiebung der Anteile der beiden letztgenannten geht nur zum Teil zugunsten des Podsoles, neu werden Braunerden und Parabraunerden ausgewiesen, diese vornehmlich in den Bereichen, die in der BK25 als Pseudogley ausgewiesen werden. Die Angabe "Pseudogley" findet sich allerdings weiterhin im Subtyp der Parabraunerden. Das heißt, die BÜK50 wichtet die Pseudovergleyung, die in der BK25 noch prägend bewertet wurde, weniger stark. Die Anzeige von den Braunerden ist dagegen nicht nachvollziehbar. In den von der BÜK50 mit Braunerde belegten Flächen findet sich eine Vielfalt verschiedener Böden, die allerdings keinen Bezug zu Braunerde haben. Eine Möglichkeit könnte sein, dass die BÜK50 die Plaggenesche nun als Braunerden darstellt.

3.2.4 Bodenkarte BSK200

Die BSK 200 verändert die vorherigen Schritte nochmals. Während die Moore weiterhin klar erkennbar sind, fallen anthropogene Böden wie die Umbruchsböden und die Plaggenesche

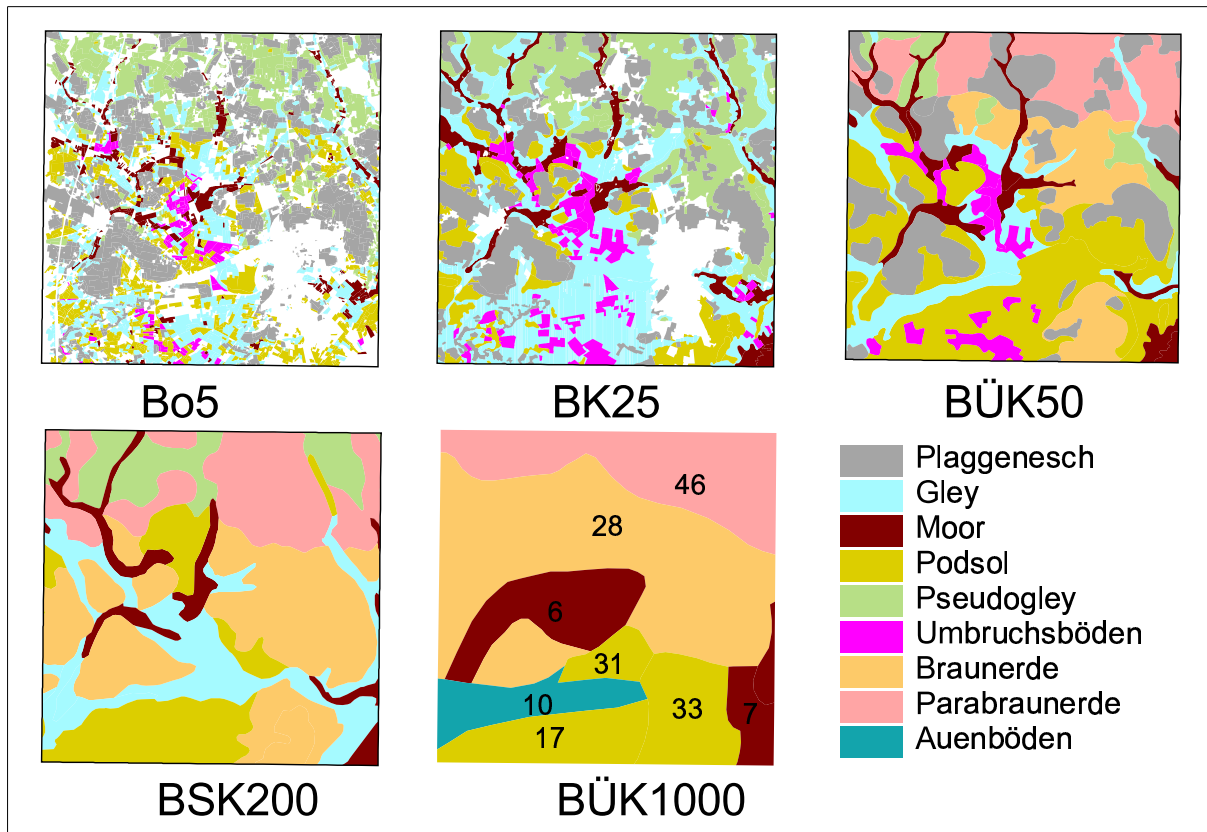


Abbildung 3.2:

Darstellung der bodenkundlichen Haupttypen in Vechta durch Karten in fünf verschiedenen Kartenmaßstäben; die Zahlen in der Karte der BÜK1000 sind in Tabelle 3.3 auf Seite 39 erläutert

ganz aus der Karte heraus und werden nicht mehr ausgewiesen. Die Gleye konzentrieren sich auf die Tiefenlinien und der nördliche Bereich des Blattes wird zwischen Pseudogley und Parabraunerde aufgeteilt. Bei den Flächenanteilen zeigen sich große Verschiebungen. Die Braunerden nehmen 1/3 der Blattfläche ein, die Parabraunerden bereits 20%. Moore halten ihren Anteil von ca. 7%, Gleye bei etwa 17% und die Pseudogleye bei unter 10%. Große Teile der Plaggenesche werden in der BSK200 als Braunerden angesprochen. Der sichelförmige Bereich der Plaggenesche im Westen des Blattes ist noch erkennbar, wird jetzt aber als Braunerde ausgewiesen. Im Maßstab der BSK200 ist eine Differenzierung des Gebietes durch einzelne Tiefenlinien noch erkennbar.

3.2.5 Bodenkarte BÜK1000

Die BÜK1000 zeigt nur noch in groben Zügen die Verteilung, wie sie von der Bo5 angegeben wird. Die grobe Verteilung, die durch die naturräumliche Gliederung gegeben ist, besteht weiterhin. Die Bereiche der Grundmoräne mit Parabraunerden und Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Saale-Geschiebelehm (LBA28) und aus Sandlöss (LBA46) im Norden stehen den Podsolen, Gley-Podsolen und Braunerden-Podsolen aus fluvialen Sedimenten (LBA10) oder sandigen Substraten (LBA17) sowie den Moorflächen im Süden gegenüber.

Im äußersten Südwesten wird ein Hochmoor ausgewiesen und nimmt jetzt deutlich größere Anteile ein als in den anderen Karten. Neu ist der relativ große Anteil eines Niedermoors im mittleren Kartenausschnitt sowie der Auenbereich im Südosten, der in den größeren Maßstäben als Gley ausgewiesen wurde. Eine Gliederung des Blattes durch Tiefenlinien ist maßstabsbedingt nicht mehr möglich. Interessant ist die immer noch deutliche Erkennbarkeit der "Insel" im Westen des Blattes, die bereits im größten Maßstab erkennbar ist. Die konkreten Böden der BÜK1000 innerhalb des Blattes Vechta und ihre (gekürzten) Legendenbeschreibungen sind in Tabelle 3.3 zusammengestellt.

LBA	Beschreibung
6	durch Grundwasser vernässte Niedermoorböden , aus zersetzten, topogenen Torfen; örtlich mit mineralischen Zwischenschichten (Tiefpfügen, Mischkultur) oder mit künstlicher Mineralbodendecke (Deckkultur); oft künstlich entwässert; vergesellschaftet mit Moorgley, Anmoorgley und Gley
7	durch Regenwasser vernässte, saure Hochmoorböden aus ombrogenen Torfen, über Niedermoortorf, Mudde oder Mineralboden (oft Podsol); meistens künstlich entwässert, großflächig durch Tiefpfügen mit dem Sanduntergrund vermischt (Sandmischkultur), z.T. vollständig abgetorft
10	sandige, z.T. kalkhaltige Grundwasserböden breiterer Flusstäler und Niederungen; in höheren Lagen Auenböden, in tieferen Lagen Gleye; oft mit künstlich abgesenktem Grundwasser; in nassen Lagen Anmoorgley und Niedermoor
17	tiefgründige, trockene, saure Sandböden, oft mit podsoliertem Oberboden (Podsol mit Orterde und Braunerde-Podsol); oft flachgründig, in der Regel mit Grundwassereinfluss im tieferen Unterboden, in tieferen Lagen Grundwasserböden (Podsol-Gley) und Niedermoor; in Ortsnähe Plaggensch
28	schwach lehmige, im Unterboden zeitweilig staunasse, braune Sandböden mit oft dichtem, wasserstauendem lehmigem Unterboden aus Geschiebedecksand über Saale-Geschiebelehm (unterschiedlich podsolierte Pseudogley-Braunerde und Pseudogley-Fahlerde), stellenweise Podsol aus Sand, in Ortsnähe z.T. Plaggensch; in Tälern Gleye und Niedermoor
31	mittel- bis tiefgründige, trockene, oft saure Sandböden, z.T. mit podsoliertem Oberboden, aus nährstoffarmen, eiszeitlichen Sanden und aus Flugsand (Orterde-Podsol im Wechsel mit Braunerde-Podsol), in Tälern Grundwasserböden (Gleye, Podsol-Gley), örtlich Niedermoor; in Ortsnähe z.T. Plaggensch
33	mittelgründige, trockene, oft saure Sandböden mit podsoliertem Oberboden aus nährstoffarmen, z.T. eiszeitlichen Fluss- und Flugsanden ; selten mit Staunässe über lehmigem Unterboden (u.a. Podsol-Pseudogley); in tieferen Lagen und in Tälern Gley-Podsol und Grundwasserböden (Podsol-Gley, Gley)
46	tief- bis mittelgründige, braune, feinsandige Schluffböden aus Sandlöss über Sand oder Lehm ((Bänder)-Parabraunerde, Fahlerde und Braunerde), häufig mit Staunäseeinfluss bei lehmigem, dichtem Untergrund (Pseudogley-Parabraunerde); in Ortsnähe z.T. Plaggensch

Tabelle 3.3:Böden der BÜK1000 auf Blatt Vechta; Nummer und gekürzte Kartenlegende

3.2.6 Abgeleitete Kennwerte auf Basis verschiedener Karten; Raum Vechta

Neben der taxonomischen Betrachtung ist natürlich auch die Kennwertverteilung in den einzelnen Maßstäben interessant. Die flächengewichteten Auswertungen der Kennwerte *nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)* und *jährliche Sickerwasserrate (Swr)* sind in den Abbildungen 3.3 und 3.4 zusammengestellt. Dargestellt ist der Mittelwert, die Standardabweichung sowie Minimum und Maximum.

Sehr deutlich sieht man bei beiden Kennwerten die Abnahme der Spannweite ausgehend von der genauesten Informationen (Bo5) hin zur BÜK1000. Der Mittelwert liegt bei beiden Kennwerten und fast allen Maßstäben in der gleichen Größenordnung zwischen 100 und 150 mm (nFKWe) bzw. 200 und 250 mm (Swr). Nur die BÜK1000 hat bei der nFKWe einen deutlich höheren Mittelwert. Bei der Auswertung der nFKWe zeigen sich bei den größeren Maßstäben trotz der großen Spannweite geringere Standardabweichungen als bei den Übersichtskarten. Bei der Swr ist die Situation über alle Maßstäbe relativ ähnlich, nur die BÜK1000 zeigt eine fast einheitliche Ausprägung des Wertes über das gesamte Blatt. Interessant ist bei beiden Kennwerten die recht hohe Ähnlichkeit zwischen den Verteilungen der Bo5 und der BÜK50.

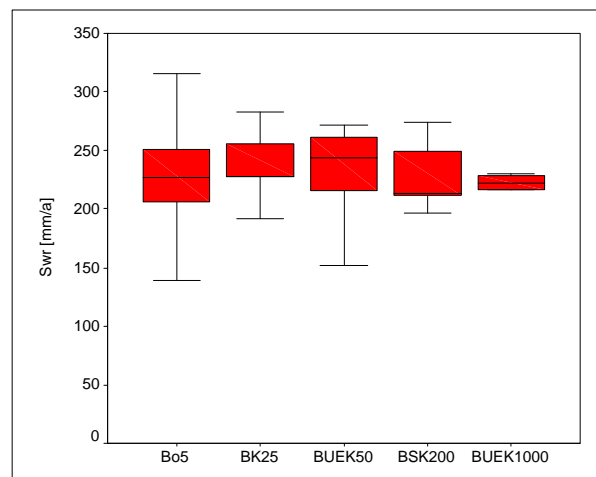
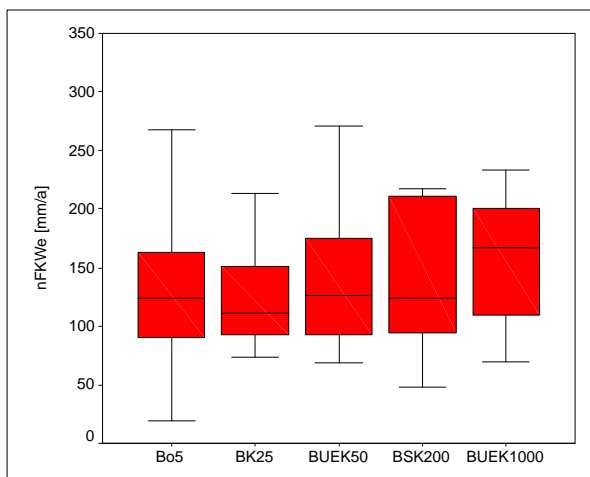


Abbildung 3.3: Statistische Auswertung des Kennwerts nFKWe in fünf Maßstäben auf Blatt Vechta

Abbildung 3.4: Statistische Auswertung des Kennwerts Swr für fünf Maßstäben auf Blatt Vechta

3.3 Bodenkundliche Situation in Ebergötzen und die Darstellung durch die Bodenkarten

3.3.1 Bodenkarte Bo5

In Ebergötzen ist in der größten und genauesten Auflösung die Datensituation lückenhaft. Durch die Ausrichtung der ursprünglichen Kartierung auf Acker- und Grünlandflächen kommt es in dem walddreichen Gebiet des Blattes Ebergötzen zu großen Leerflächen, vor allem in der westlichen Hälfte des Blattes. Diese konnten nicht geschlossen werden. Die Beschränkung auf

die aufbereitete Bodenschätzung innerhalb dieser Arbeit hatte methodische Gründe, um eine einheitliche Datengrundlage zu haben.

Insgesamt zeigt die Bo5 in Ebergötzen eine große Spannweite von Böden, wobei die Parabraunerden, Pseudogleye und Braunerden dominieren. Die Karte zeigt auch in groben Zügen die geologische Struktur des Gebiets wieder. Der östliche, tiefere Teil ist durch die Lössüberdeckung vor allem durch Parabraunerden und Braunerden geprägt. Die Tiefenlinien sind mit Kolluvien oder Braunerden belegt und am Fuß des Göttinger Waldes ist der Übergang mit tonigerem Material des oberen Buntsandsteins an den Pelosolen zu erkennen. Am westlichen Rand sind noch einige kartierte Bereiche mit Rendzinen ausgewiesen. Die Flächenanteile der wichtigsten Böden in allen Maßstäben sind in Tabelle 3.4 zusammengefasst. Der Vergleich der Flächenangaben im Maßstab 1:5.000 mit den anderen Maßstäben ist nur eingeschränkt möglich, da mehr als die Hälfte der Fläche keine Daten enthält.

	Bo5	BK25	BÜK50	BSK200	BÜK1000
Braunerde	7,7	40,0	22,3	37,6	60,4
Parabraunerde	16,6	26,0	21,2	21,9	22,5
Podsol	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
Rendzina	2,6	12,3	28,0	34,4	13,9
Pelosol	2,3	7,0	5,2	1,5	0,0
Kolluvium	7,7	10,7	2,9	0,0	0,0
Ranker	1,3	0,0	18,3	0,0	0,0
Pseudogley	6,5	0,5	0,3	0,0	0,0
ohne Information	55,3	3,4	1,8	4,5	0,0

Tabelle 3.4:

Verteilung der Hauptbodentypen in Ebergötzen in 5 Karten verschiedener Maßstäbe (Angabe in % Flächenanteil)

3.3.2 Bodenkarte BK25

Die BK25 ist die Karte mit dem größten Maßstab, die mit Ausnahme des Seeburger Sees eine komplette Flächendeckung aufweist. Die Bodenkarte zeichnet deutlich die geologische Struktur nach. Braunerden sind auf dem Kamm und am Fuß des Göttinger Waldes zu finden, Rendzinen und Pelosole im Übergang vom Muschelkalk zum oberen Buntsandstein. Der östliche Teil des Blattes ist von Parabraunerden belegt, deren Gebiet von Tiefenlinien mit Kolluvien durchzogen ist. Tiefenlinien durchziehen fast das gesamte Blatt, so dass auch kleinere Vorfluter mit differenzierten Bodentypen (vor allem Kolluvien) ausgewiesen sind. Weitere Bereiche sind als Gleye oder Moore ausgewiesen.

3.3.3 Bodenkarte BÜK50

Die BÜK50 verwischt schon in Ansätzen die beschriebene Situation. Der gesamte westliche Bereich des Göttinger Waldes wird als Rendzina angegeben und große Teile des übrigen

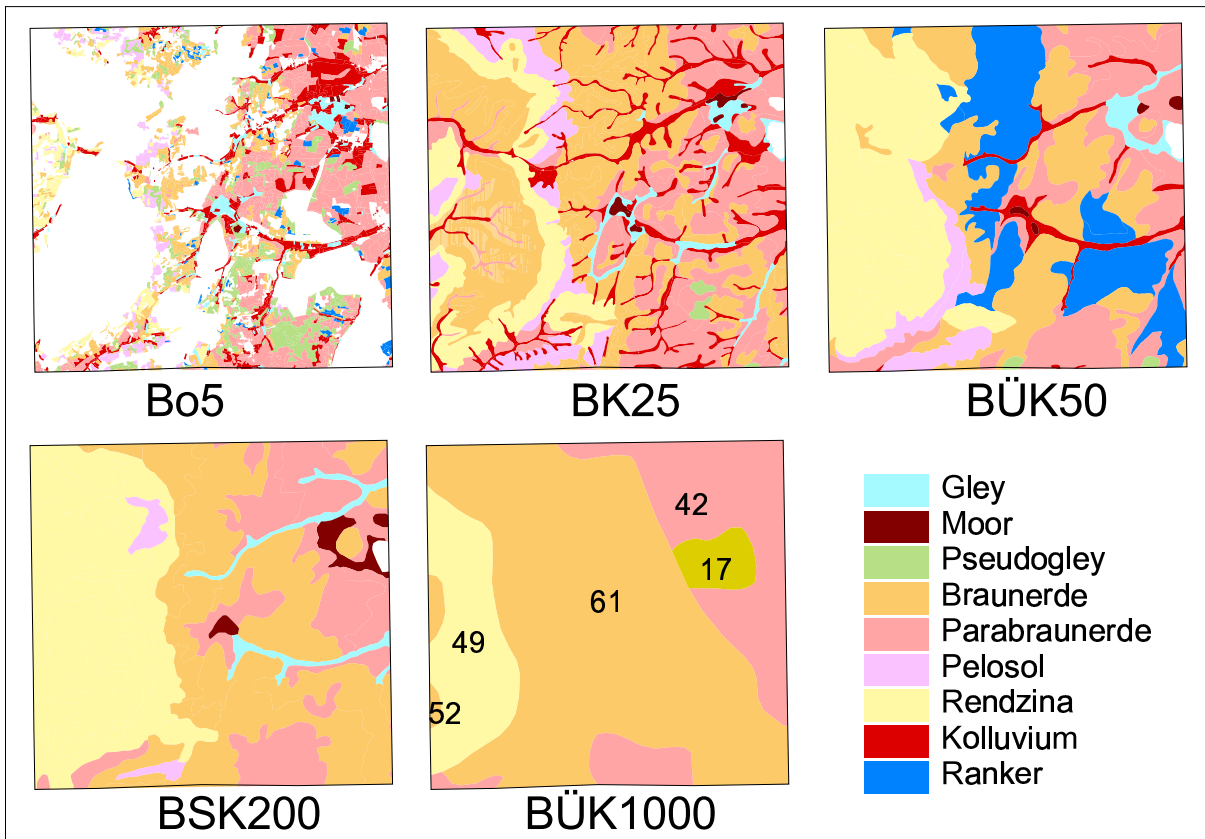


Abbildung 3.5: Darstellung der bodenkundlichen Haupttypen in Ebergötzen durch Karten in fünf verschiedenen Maßstäben; die Zahlen in der Karte der BÜK1000 sind in Tabelle 3.5 auf Seite 43 erläutert

Blattes werden als Ranker bezeichnet, ein Typ der bisher nicht ausgewiesen wurde. Diese Ausweisung stammt noch aus einer Phase der Kartierung, bei der Sandsteine fast automatisch als Ranker ausgewiesen wurden¹. Aktuelle Kartierungen erfassen diese Bereiche als Regosole und Braunerden. Der tonigere Übergang am Hangfuß im oberen Buntsandstein ist nur noch schwach zu erkennen. Eine Differenzierung durch die Tiefenlinien ist ebenfalls noch vorhanden, beschränkt sich aber auf die größten Vorfluter vor allem im östlichen Bereich des Blattes. Im Bereich des Seeburger Sees findet sich noch ein größerer Bereich Gleye.

3.3.4 Bodenkarte BSK200

In der Darstellung der BSK200 ist das tonige Material des oberen Buntsandsteins nur noch fragmentarisch vertreten, auch hier wird der gesamte Göttinger Wald als Rendzina angezeigt, einzelne Tiefenlinien im Osten des Blattes sind noch ausdifferenziert. Innerhalb der Tiefenlinien werden Gleye ausgewiesen, Kolluvien sind nicht mehr vertreten. Im Bereich des Seeburger Sees werden größere Bereiche als Niedermoor ausgewiesen. Weiterhin ist noch eine leichte Reliefabhängigkeit der Verteilung der Böden zu erkennen. Tiefer liegende Bereiche (z.B. in der Blattmitte) sind mit Parabraunerden belegt, die darumliegenden "Höhen" mit Braunerden. In

¹mündliche Mitteilung von Dr. Ernst Gehrt (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung)

der BSK200 wird (wie auch in den größeren Maßstäben) das starke Relief des Blattes immer noch deutlich. Die einzelnen Bodentypen sind stärker ineinander verschränkt als zum Beispiel im Bereich Vechta. Differenzierte Bodenbildungen infolge von Riedeln und Senken im Verlauf einer Kammlage werden deutlich.

3.3.5 Bodenkarte BÜK1000

Die BÜK1000 generalisiert das gesamte Blatt Ebergötzen zu vier Haupttypen. Parabraunerden aus Löss (LBA 42) sind im Osten und Süden des Blattes zu finden, der zentrale Bereich ist Braunerden aus verwittertem Sandstein (LBA 62) bedeckt und der Kamm des Göttinger Waldes wird als Rendzina aus Kalkstein (LBA 49) ausgewiesen. Inselhaft liegt noch zwischen der Parabraunerde und der Braunerde ein Areal Podsol aus sandigen, fluviatilen Ablagerungen (LBA 17), ein Haupttyp, den keine andere Karte im gesamten Blatt ausweist. Im äußersten Westen ragt noch ein Stück der LBA 52 (Braunerden aus Hangschutt) in das Blatt hinein. Die Geologie wird damit in groben Zügen nachgezeichnet. Die Differenzierungen im Übergang zwischen Muschelkalk und Buntsandstein werden aufgrund des Maßstabs nicht mehr wiedergegeben. In Tabelle 3.5 sind alle im Blatt Ebergötzen vorkommenden Leitbodenassoziationen kurz beschrieben.

LBA	Beschreibung
17	tiefgründige, trockene, saure Sandböden, oft mit podsoliertem Oberboden (Podsol mit Orterde und Braunerde-Podsol); oft flachgründig, in der Regel mit Grundwassereinfluss im tieferen Unterboden, in tieferen Lagen Grundwasserböden (Podsol-Gley) und Niedermoor; in Ortsnähe Plaggenges
42	mittel- bis tiefgründige, braune Schluffböden mit tonreicherem Unterboden aus Löss oder umgelagertem Lösslehm (Parabraunerde), nicht selten mit Staunässeinfluss (Pseudogley-Parabraunerde bzw. Fahlerde, z.T. Pseudogley); in Tälern Kolluvien, Auenböden und Gleye
49	flachgründige, lehmige bis tonige Kalkverwitterungsböden auf Kuppen und an steileren Hängen aus vorwiegend lössvermishtem Hangschutt über oft klüftigen Kalk-, Mergel-, Dolomit-Gesteinen (Rendzina und Braunerde-Rendzina), in Senken und Mergelgebieten örtlich staunasse Böden (z.B. Pseudogley-Pararendzina), in Tälern Kolluvium und Grundwasserböden (Gleye)
52	mittelgründige, tonige bis schluffige oberflächlich entkalkte, braune Böden (Braunerde) aus oft steinigem, z.T. lössvermishtem Umlagerungsprodukten von kalkhaltigem Schotter , in Kuppen- und Hanglagen z.T. Rendzina; in Tälern Gleye
61	flach- bis mittelgründige, lehmig-sandige bis schluffig-lehmige, braune Böden (Braunerden, oft podsolig) aus z.T. umgelagertem, oft lössvermishtem Verwitterungsmaterial verschiedenkörniger basenarmer und z.T. quarzitischer Sandsteine und Konglomerate ; z.T. Podsol-Braunerde, Fahlerde, und Podsol; an Steilhängen z.T. Ranker; örtlich Braunerde und Rendzina aus Kalkgestein, in Tälern Gleye

Tabelle 3.5: Böden der BÜK1000 auf Blatt Ebergötzen; Nummer und gekürzte Kartenlegende

3.3.6 Abgeleitete Kennwerte auf Basis verschiedener Karten; Raum Ebergötzen

Auch in Ebergötzen soll kurz die Situation bei den Kennwerten beschrieben werden, die Abbildungen 3.6 und 3.7 fassen die beiden relevanten Merkmale *K-Faktor* und *potentielle Erosionsgefährdung (EfW)* zusammen. Dargestellt ist der Mittelwert, die Standardabweichung sowie Minimum und Maximum. Wie in Vechta zeigt die Bo5 die größte Spannweite an Kennwerten auf (Ausnahme ist nur die BÜK1000 beim Kennwert EfW). Beim K-Faktor liegen die Mittelwerte und Standardabweichungen relativ unabhängig vom Maßstab eng beieinander.

Bei dem Kennwert potentielle Erosionsgefährdung sieht man eine deutliche Trennung in drei Gruppen. Die beiden größten Maßstäbe Bo5 und BK25 zeigen ähnliche Spannweiten und Mittelwerte. Die breitere Standardabweichung bei der BK25 gegenüber der Bo5 hat ihre Grundlage in der größeren Flächendeckung, wodurch mehr Flächen vor allem in den steilen, bewaldeten Bereichen (kalkige und tonige Substrate mit stark unterschiedlichen Werten beim K-Faktor) mit in die Auswertung einfließen. Die zweite Gruppe bilden die BÜK50 und BSK200 mit geringen Mittelwerten und Standardabweichungen. Die BÜK1000 setzt sich von allen anderen Maßstäben deutlich ab. Der Mittelwert und die Spannweite sind deutlich höher. Hier führen große Hangneigungen zusammen mit einer nicht regionalspezifischen Profilauswahl zu dieser großen Abweichung.

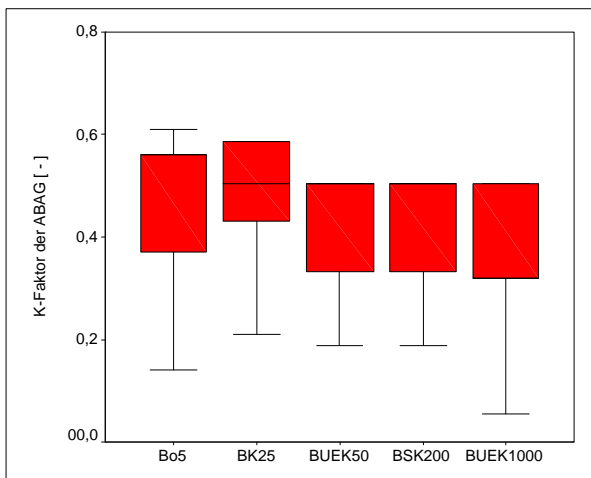


Abbildung 3.6: Statistische Auswertung des Kennwerts K-Faktor für fünf Maßstäbe auf Blatt Ebergötzen

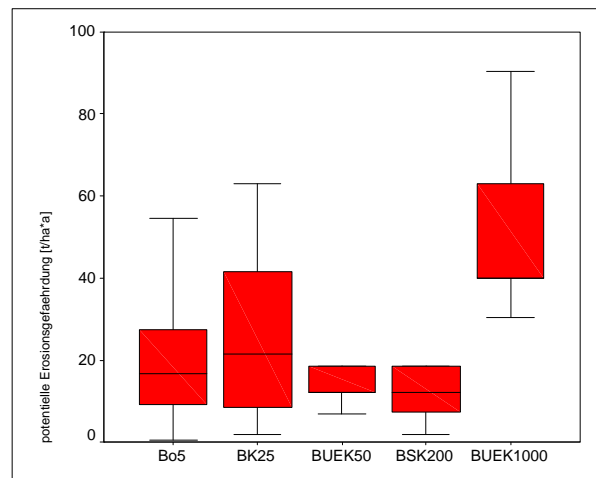


Abbildung 3.7: Statistische Auswertung des Kennwerts pot. Erosionsgefährdung für fünf Maßstäbe auf Blatt Ebergötzen

3.4 Fazit der Darstellung in den unterschiedlichen Maßstäben

Eine Übersicht mit Kerninformationen zu den verwendeten Karten (Maßstab, Zahl der Geometrien, Art der Inhaltsbeschreibung) ist in Tabelle 3.6 zusammengefasst.

Inhaltlich lässt sich die Situation folgendermassen zusammenfassen: Die fünf verschiedenen Maßstäbe zeigen deutliche Unterschiede in der Darstellung der typologischen Situation in den beiden Gebieten. Die Darstellung zeigt deutlich die verschiedenen Schwerpunkte und Einflüsse bei der Kartengestaltung in Abhängigkeit vom Maßstab. Im großen Maßstab (Bo5) ist es möglich, viele verschiedene Varietäten und regionale Details darzustellen. Die räumlich eingeschränkte Sichtweise ermöglicht eine differenzierte Legendengestaltung. Die mittleren Maßstäbe (BK25 und BÜK50) zeigen zum einen noch ausreichend genau die bodenkundliche Vielfalt des Gebietes, zum anderen werden aber bereits großräumige Strukturen erkennbar. Auch regionale Besonderheiten sind noch darstellbar. In den kleinen Maßstäben (BSK200 und BÜK1000) sind überregionale Einflüsse stark deutlich. Die Inhalte der Legende sind nicht allein in dem beschränkten Blattgebiet gewonnen worden, sondern sind auf der Grundlage und Auswertung größerer Bereiche entstanden. Dadurch werden regionale Besonderheiten nicht mehr angemessen dargestellt. Die Legendenauswahl führt zum Teil zu Aussagen, die zu dem konkreten Blatt nur noch einen geringen Bezug haben. Weitere spezifische Aspekte der beiden Blätter Vechta und Ebergötzen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit zunehmend kleinerem Maßstab werden regionale Besonderheiten vernachlässigt.
- Plaggenesche und Tiefenumbruchsböden (Vechta) und Pelosole (Ebergötzen) werden trotz relativ großer Flächenteile und kompakter Lage oberhalb von 1:50.000 nicht mehr dargestellt.
- Im Laufe der Maßstabswechsel kommt es zu einer deutlichen Verschiebung bei den Flächenanteilen der einzelnen Bodentypen.
- Im Raum Vechta ist eine erhebliche Verschiebung der Profilbeschreibungen festzustellen. Während in den Profilbeschreibungen der Bodenschätzung keinerlei Aussagen zu Parabraunerden gemacht werden (auch nicht in den Subtypen) und nur wenige Prozent der Fläche als Braunerden auskartiert wurden, werden diesen beiden Bodentypen in den Maßstäben 1:200.000 und 1:1.000.000 erhebliche Flächenanteile zugewiesen (zwischen 20 bis 40%). Hier spielen vermutlich Einflüsse der benachbarten Flächen außerhalb des Blattgebietes und die dortigen Gegebenheiten zur Definition von Legendeneinheiten eine Rolle.
- Lagetreue der einzelnen, in allen Maßstäben gleichmäßig bewerteten Bodentypen ist in sehr weiten Grenzen gegeben. Das bedeutet, dass auch in den kleinen Maßstäben keine völlig falschen Aussagen zu den Bodentypen gemacht werden. Man findet also in den Bereichen, die im kleinen Maßstab z.B. als grundwasserbeeinflusst ausgewiesen werden (Auenböden, Gleye) in der großmaßstäbigen Darstellung keine Rendzinen im Kuppenbereich einer Anhöhe.

	Digitale bodenkundliche Basisdatei DGK 5 Bo bzw. Bo 5	Bodenkarte von Niedersachsen (BK 25)	Bodenübersichtskarte von Niedersachsen (BÜK 50)	Bodenkundliche Standortkarte von Niedersachsen (BSK 200)	Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland (BÜK 1000)
Maßstab	1 : 5.000	1 : 25.000	1 : 50.000	1 : 200.000	1 : 1.000.000
Flächenbeschreibung der Legenden-einheiten	1 Profil je Klassenfläche der Bodenschätzung	Leit- und Begleitböden	nur Leitboden	Leit- und Begleitböden	nur Leitboden
Zahl der Polygone (Ebergötzen)	3921	477	82	58	8
Zahl der Legenden-einheiten (Ebergötzen)	3921 Bodenschätzungsprofile	48	26	14	5
Zahl der Polygone (Vechta)	4496	436	85	40	10
Zahl der Legenden-einheiten (Vechta)	4496 Bodenschätzungsprofile	37	28	9	7

Tabelle 3.6:

Zahl der unterschiedlichen Flächen (Polygone) und beschreibende Legendeninformationen in den beiden Untersuchungsgebieten Ebergötzen und Vechta

4 Methodisches Vorgehen

Für beide Untersuchungsgebiete 'Vechta' und 'Ebergötzen' wurden alle digitalen bodenkundlichen Flächeninformationen der Maßstäbe 1:5.000 (Bo5), 1:25.000 (BK25), 1:50.000 (BÜK50), 1:200.000 (BSK200) und 1:1.000.000 (BÜK1000) unter Einsatz eines Geographischen Informationssystems (GIS) überlagert und die Verschneidungsergebnisse in einer hierarchisch strukturierten Datenbank abgelegt, die die räumlichen Relationen der bodenkundlichen Areale über alle betrachteten Maßstabsebenen abbildet.

4.1 Verwendete Kennwerte

Unter Anwendung der Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS wurden für die Referenzprofile der Legendeneinheiten aller Bodenkarten die **mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr)** nach (RENGER und WESSOLEK 1990) sowie die **potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser (EfW)** nach (SCHWERTMANN et al. 1990) berechnet. Die **mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr)** berechnet sich aus bodenkundlichen, klimatischen und Nutzungsparametern. Die Ableitung geschieht auf Basis von empirisch ermittelten Regressionsgleichungen (Tabelle 4.1). In Abbildung 4.1 sind die verschiedenen Schritte der

Nutzung	Regressionsgleichung	R
Ackerland	$GWN_j = 0,92(N_w) + 0,61(N_s) - 153(\log W_{pf}) - 0,12(E_{tpot}) + 109$	0,84
Grünland	$GWN_j = 0,9(N_w) + 0,52(N_s) - 286(\log W_{pf}) - 0,10(E_{tpot}) + 330$	0,95
Nadelwald	$GWN_j = 0,71(N_w) + 0,67(N_s) - 166(\log W_{pf}) - 0,19(E_{tpot}) + 127$	0,94

Tabelle 4.1: Regressionsgleichungen zur Ableitung der jährlichen Sickerwasserrate, aus (HENNING 1994, S.182)

Ermittlung des Kennwertes dargestellt. Ausgehend von den bodenkundlichen Bedingungen wird über die Speicherfähigkeit des Bodens (n_{FK}) und die Profiltiefe (W_e) die Menge Wasser bestimmt, die ein Boden im aufgesättigtem Zustand speichern kann. Zusammen mit der Menge Wasser, die aus dem Untergrund nachgeliefert werden kann (K_A), ergibt sich die Menge pflanzenverfügbares Wasser (W_{pf}). Je nach klimatischen Bedingungen (Verdunstung und Niederschlag) und der Nutzung der entsprechenden Fläche ergibt sich die Menge Wasser, die im Mittel pro Jahr aus dem Boden ins Grundwasser gelangt und damit zu dessen Neubildung beiträgt. Eine ausführliche Dokumentation zu der Umsetzung ist bei (HENNING 1994, S.57) zu finden.

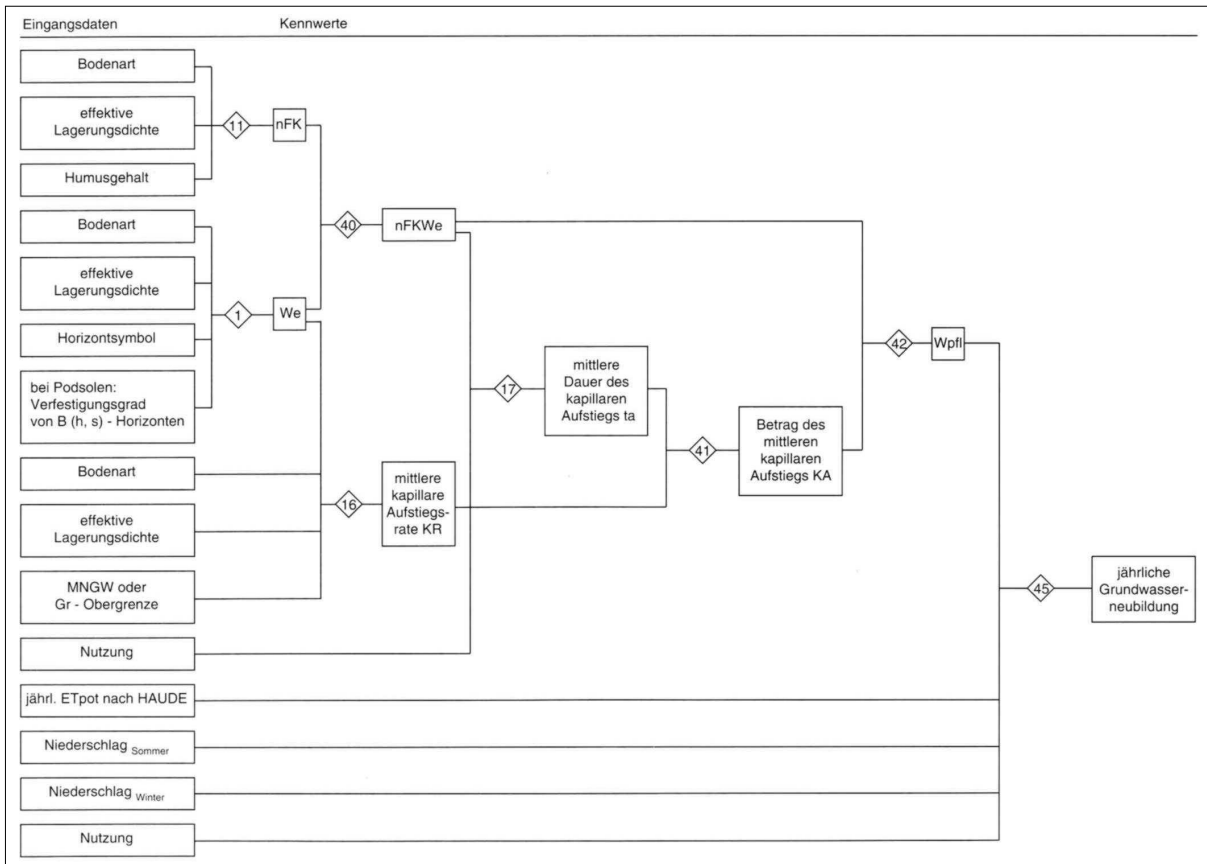


Abbildung 4.1: Prinzip der Berechnung des Kennwertes jährliche Sickerwasserrate; Abbildung aus (HENNING 1994); in der Abbildung wird die Sickerwasserrate als Grundwasserneubildung bezeichnet

Der Kennwert **potentielle Erosionsgefährdung** basiert auf der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG). Diese geht auf (SCHWERTMANN et al. 1990) zurück und stellt eine Adaption der Universal Soil Loss Equation (USLE) von (WISCHMEIER und SMITH 1987) für die Situation in Bayern dar. Eine Vielzahl von Publikationen haben diese Grundlage erweitert, korrigiert und verbessert. Obwohl die ABAG durch ihre weite Verbreitung und Anwendung weithin bekannt ist, sollen an dieser Stelle kurz die Grundlagen dieses Verfahrens erläutert werden.

Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung ist eine empirische Formel zur Berechnung des langjährigen, mittleren, flächenhaften Bodenabtrags von Ackerflächen in Tonnen je Hektar und Jahr durch Wasser $[\frac{t}{ha*a}]$.

Sie lautet:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

mit:

- A = mittlerer, jährlicher Bodenabtrag $[\frac{t}{ha*a}]$
- R = Regen- und Oberflächenabflussfaktor $[\frac{kJ}{m^2 \frac{mm}{h}}]$
- K = Bodenerodierbarkeitsfaktor []
- L = Hanglängenfaktor []

S	=	Hangneigungsfaktor []
C	=	Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor []
P	=	Erosionsschutzfaktor []

So einfach die eigentliche Verknüpfung der Faktoren ist, so differenziert ist deren Herleitung. Der R-Faktor ist regionsspezifisch und ist ein Maß für die Erosivität der Niederschläge. Hierbei gehen die Häufigkeit und die Intensität erosiv wirksamer Ereignisse in die Berechnung ein. Der K-Faktor wird von den Bodeneigenschaften beeinflusst und macht eine Aussage über die Erodibilität des Bodens. Zentrale Parameter sind die Bodenart, der Gehalt an Skelett und Humus und die Aggregatstabilität. Der L-Faktor ist von der Hanglänge abhängig, der S-Faktor von der Hangneigung. Der C-Faktor ist ein Wert für die Bewirtschaftung und die angebauten Kulturen auf der entsprechenden Fläche. Durch den P-Faktor fließen Erosionsschutzmaßnahmen in die Berechnung ein. Die Ermittlung der einzelnen Faktoren ist ausführlich bei (SCHWERTMANN et al. 1990) beschrieben.

Die Ableitung der potentiellen Erosionsgefährdung beachtet nur den K-Faktor, die Hangneigung (S-Faktor) und den Regenfaktor (R-Faktor). Hanglänge, Nutzung und Schutzmaßnahmen werden nicht betrachtet. Die konkrete Umsetzung der Formel wurde aus der Methodendokumentation Bodenkunde (HENNING 1994, S.200ff.) entnommen. Der K-Faktor wird aus der Bodenart, dem Skelettgehalt und dem Humusgehalt ermittelt. Der S-Faktor ergibt sich aus der Hangneigung eines Digitalen Geländemodells im 12,5-m-Raster und der R-Faktor liegt in der NIBIS-Datenbank auf Basis der niedersächsischen Wetterstationen vor. Für Auswertungen im Blatt Vechta wurde die Station Diepholz ausgewählt, für Ebergötzen die Station Göttingen.

Neben den abgeleiteten landschaftsökologischen Kennwerten werden die wichtigsten bodenkundlichen Parameter, die für ihre Ableitung notwendig sind, ebenfalls in die Auswertung mit einbezogen. Diese Parameter sind die **nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)** als bodenkundlicher Kennwert des Bodenwasserhaushalts und der **K-Faktor der ABAG** als bodenbezogener Kennwert der Erosionsgefährdung.

Die Auswertung des Kennwertes Sickerwasserrate wurde im Bereich des Blattes Vechta intensiv bearbeitet. Die sandigen Substrate, die relativ flache Morphologie und die intensive landwirtschaftliche Nutzung sind relevante Rahmenbedingungen für eine Schwerpunktsetzung auf den Bodenwasserhaushalt. Demgegenüber stehen im Bereich des Blattes Ebergötzen aufgrund des stärkeren Reliefs und der höheren Anteile von Lössgebieten Fragen des Erosionsschutzes im Mittelpunkt. Die Untersuchung der Sickerwasserrate gestaltete sich in Ebergötzen zusätzlich schwierig, da die verwendete Methode nur bis zu einer Hangneigung von 3,5% gültig ist.

Die Auswertungen auf Basis der Bodendaten im Maßstab 1:5.000 sowie der Relief-, Klima- und Nutzungsdaten der jeweils höchstmöglichen räumlichen Auflösung fungieren als Referenzdatensätze für die Bewertung aller folgenden Aggregierungs- und Regionalisierungsvarianten auf den oberen Maßstabsebenen. Die Reliefdaten lagen für beide Gebiet im 12,5-m-Raster vor, Klimadaten lagen im NIBIS für viele niedersächsischen Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vor. Nutzungsinformationen wurden auf Basis des "Amtliches Topographisch-

Kartographisches Informationssystem (ATKIS)“ erhoben.

Die bodenkundlichen Informationen innerhalb der Geometrien der Bo5 sind nicht homogen, da auf der Ebene des einzelnen Profils oder einzelner Aggregate mit weiterer Heterogenität zu rechnen ist. Für die Fragestellungen, die im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden, spielt diese Heterogenität aber keine Rolle. Deshalb werden die Geometrien der Bo5 als genaueste Datengrundlage als homogen betrachtet. Die Heterogenität innerhalb der Bo5-Flächen wird für die hier untersuchten Fragestellungen ignoriert.

4.2 Inhaltliche Harmonisierung

Um die Bearbeitung aller fünf Datenebenen einheitlich durchführen zu können, wurden die Bodenkarten harmonisiert. Bei der Datenbankstruktur bot sich die Übernahme der vorhandenen Strukturen der BK25 und BÜK50 an. Diese beiden Karten lagen in einer Version vor, die eine direkte Bearbeitung und Auswertung der gewünschten Kenngrößen, nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe), pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl) und Sickerwasserrate (SWR) erlaubten. Diese Situation ergab sich aus der Integration der Karten in das NIBIS. Hierbei konnte auf das im NLFB bestehende Methodenmanagementsystem (MeMaS) zurückgegriffen werden. Das Ergebnis waren Tabellen, die durch die Angabe der entsprechenden Flächen-ID eine direkte Verknüpfung mit den Geometrien im GIS erlaubten. Als GIS-Software wurden die Produkte ArView3.2 und Arc/Info8.2 von der Firma ESRI benutzt, da das NIBIS auf Verwendung dieser Software hin abgestimmt ist.

Alle Daten wurden auf die Struktur angepasst, wie sie in Abbildung 4.2 dargestellt ist. Hierzu war es notwendig, die zum Teil in einer Tabelle zusammengefassten Daten in fünf verschiedene Tabellen aufzuteilen. Dabei war vor allem die Existenz und korrekte Bezeichnung der jeweiligen Datenfelder in den Tabellen wichtig. Abbildung 4.2 zeigt die Datenbankstruktur des NIBIS, die als Muster für alle Maßstäbe verwendet wurde.

Ausgehend von der geometrischen Fläche innerhalb des GIS (ARC/INFO-Cover) wird ein eindeutiger Eintrag (1:1) zu einer Fläche (BK25_FLAECHEN) hergestellt. Diese wird mehrdeutig (1:n) mit einem Legendeneintrag (BK25_LEGENDE) verknüpft, da verschiedene Flächen durch die gleiche Legendeneinheit beschrieben werden können. Die Legendeneinheit wiederum ist durch eine m:n Verknüpfung mit den Profilen verbunden (BK_PROFIL). Eine Legendeneinheit kann durch mehrere Profile beschrieben werden, so wie ein Profil in der Beschreibung verschiedener Legendeneinheiten auftauchen kann. Die fehlende Zahl in der Bezeichnung BK_PROFIL zeigt an, dass ein Profil sowohl innerhalb der BK25 wie auch der BÜK50 zur Beschreibung der Legendeneinheit herangezogen werden kann. Das Profil wird dann wiederum durch eine n:1 Verknüpfung mit seinen Horizonten (BK_HORIZONT) verknüpft. Diese sind fest an ein Profil gebunden, die Trennung in Profil- und Horizontdaten ermöglicht aber eine differenzierte Sortierung wie z.B. "alle obersten Horizonte im Landkreis xy". Der Bereich BK_BL_Gliederung wird

ren, die eine eindeutige Zuordnung der Kennwerte aus den verschiedenen Maßstabsebenen an die entsprechenden Geometrien erlaubte. Damit bilden die Polygone des Maßstabs 1:5.000 die gemeinsame räumliche Bezugseinheit. Die Zuordnung wurde manuell mit Hilfe eines GIS durchgeführt.

4.4 Gewähltes Fehlermaß

Als Fehlermaß zur Bewertung der Aussageunschärfe der einzelnen Maßstäbe und der dazugehörigen Karten wird die **Wurzel der mittleren quadrierten Differenz (WMQD)** verwendet. Die "quadrierte Differenz" wird einzeln für jedes Areal der Grundgeometrie zwischen den Werten der Bo5 und dem Vergleichsmaßstab ermittelt. Die flächengewichtete Mittelwertbildung und Ermittlung der Wurzel wurde dann für das gesamte Blatt oder die Bereiche der jeweiligen Legendeneinheiten berechnet. Abbildung 4.4 zeigt das Prinzip der Berechnung. Das gewählte Maß ähnelt in der Berechnung der Standardabweichung, mit dem Unterschied, dass die Differenz zwischen zwei verschiedenen Karten ermittelt wird und nicht zwischen den Werten und dem Mittelwert einer Grundgesamtheit. Damit lässt sich der Kontrast und der "Abstand" der Karten zueinander gut beschrieben. Extremwerte werden durch die Quadrierung stärker berücksichtigt als bei der mittleren Abweichung.

4.5 Vorgehensweise bei der regelhaften Aggregation

Bei der bisherigen Bearbeitung von kleinmaßstäbigen Bodenkarten wird in der Regel der Grenzentscheid auf der Basis von verschiedenen vorliegenden Informationen (Geologie, aktuelle

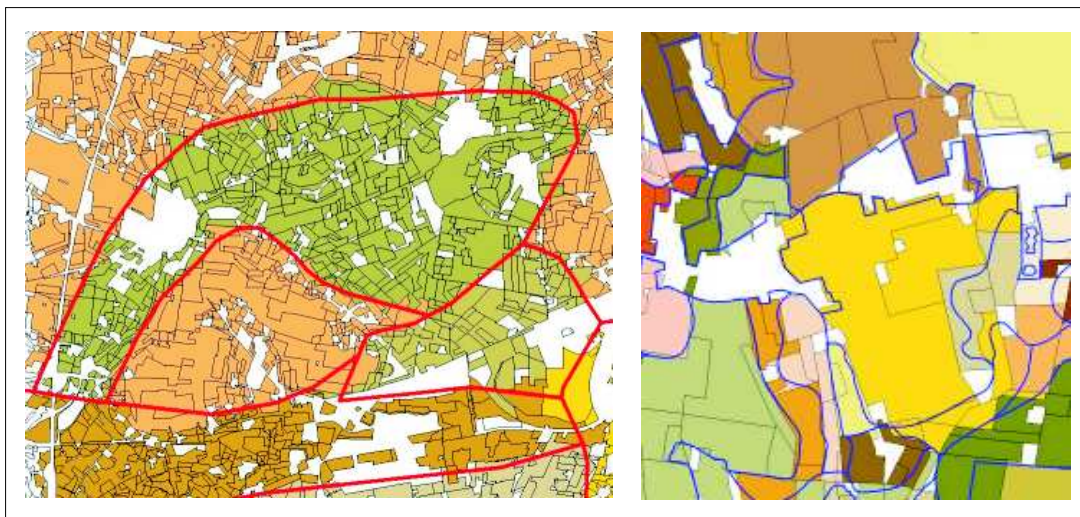


Abbildung 4.3: Zwei Beispiele der geometrischen Harmonisierung zur Herstellung einer einheitlichen Grundgeometrie. Linkes Bild: Ausschnitt Blatt Vechta mit überlagerter BÜK1000; Rechtes Bild: Ausschnitt Blatt Vechta mit überlagerter BK25. Kein einheitlicher Maßstab!

und historische Nutzung, vorliegende Bodenkarten, Relief) ausgewertet. Auf dieser Basis wird dann durch Expertenwissen ein Profil ausgewählt, das als typisch für diesen Bereich angesehen wird. Dabei ist es nur selten der Fall, dass es sich um ein konkret erbohrtes Profil in diesem Landschaftsraum handelt. Zum Teil handelt es sich bei dem gewählten Profil sogar um ein synthetisches Profil, das aus einer Zahl von vorhandenen Profilen "gemittelt" wird.

Bei der Aggregation großmaßstäbiger Bodeninformationen in dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die regelbasierte Auswahl von Bodeninformationen und damit ein Transfer großmaßstäbiger Informationen in eine kleinere Maßstabsebene einen Einfluss auf die Aussagegüte der kleinmaßstäbigen Karte hat. In der vorliegenden Arbeit werden bei der Flächenbelegung durch die Aggregation konkret vorhandene Profile ausgewählt. Grundlage der regelhaften Aggregation ist die Auswahl der Flächen nach verschiedenen Eigenschaften und die Zusammenfassung der Flächen zu einer größeren. In der Gliederung von (BIERKENS et al. 2000) ist die angewendete Methodik im Bereich Upscaling auf der Stufe § 2.3. *finding representative parameters or input variables* angesiedelt.

Die **inhaltliche Aggregation** großmaßstäbiger Profilinformationen wird in dieser Arbeit so durchgeführt, daß die Grenzen der Karte des nächst kleineren Maßstabs nicht verändert wird. In die Auswahl kommen also nur Profile, die im Bereich der jeweiligen Legendeneinheit liegen (Abbildung 4.5). Bei der **räumlichen Aggregation** kommt es bei zu einer Veränderung des Grenzentwurfs, sie wird unabhängig von den vorgegebenen kleinmaßstäbigen Strukturen durchgeführt. Das Attribut der neu geschaffenen Fläche wird von der größten einbezogenen Teilfläche übernommen.

Die Kriterien bei der Auswahl der Profile im Zuge der Aggregation sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt. Sie sind unterteilt in geologische und morphologische Kriterien, taxonomische Kriterien und abgeleitete Kennwerten. Vor der Auswertung wurden die Daten überarbeitet und verschiedene Vereinfachungen vorgenommen. So wurden bei dem Kriterium "Übereinstimmung im bodenkundlichen Haupttyp und Substrattyp" evtl. vorhandene Tiefenstufen des Wechsels ignoriert und nur die Kombination aus Bodentyp und Substrattyp (Bodenform) als Auswahlkriterium gewählt. Weiterhin wurde für das Kriterium "Übereinstimmung im ähnlichen

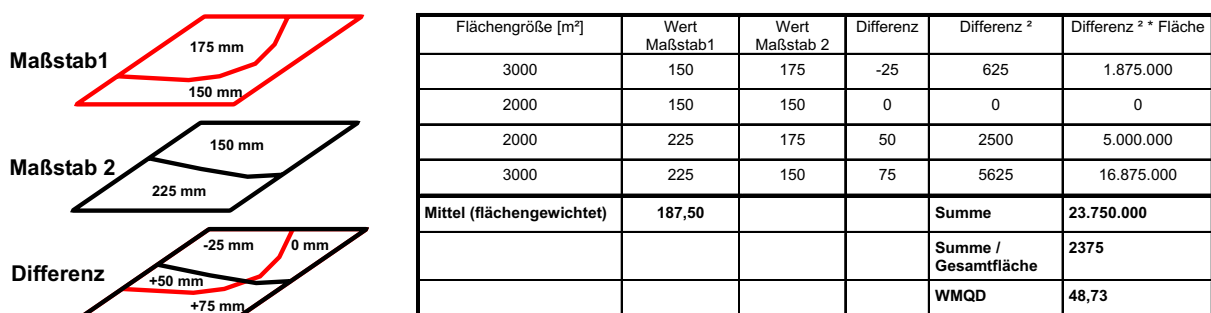


Abbildung 4.4: Prinzip der Berechnung des Fehlermaßes Wurzel der mittleren quadrierten Differenz (WMQD)

Substrattyp“ einzelne Profile zusammengefasst. Diese Zusammenfassung war in erster Linie eine Reduzierung des Substrattyps auf das oberste Substrat. Beispielsweise wurden verschiedene Kombinationen aus "Sandlöss über anderen Substraten" zu "Sandlöss" zusammengefasst ("Los/Lg" und "Los/Sp" und "Los=Sp" wurden zu "Los" neu gruppiert).

Jährliche Sickerwasserrate	Potenzielle Erosionsgefährdung
(a) nach bodenbildenden Faktoren unter Betonung von geologischen und morphologischen Informationen	
A9 Übereinstimmung im Substrattyp A10 Übereinstimmung im ähnlichen Substrattyp A12 Übereinstimmung in der Neigungsstufe	
(b) nach Einheiten der Boden- oder Substratsystematik	
A1 Übereinstimmung nur im bodenkundlichen Haupttyp A2 Übereinstimmung im bodenkundlichen Haupt- und Subtyp A3 Übereinstimmung in Haupt-, Subtyp und Tiefenkennziffer des diagnostischen Horizonts A4 Übereinstimmung im bodenkundlichen Haupttyp und Substrattyp	
(c) nach den Kennwerten der ausgewählten Bodenfunktionen	
A5 Übereinstimmung im Kennwert Sickerwasserrate A6 Übereinstimmung im Kennwert nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) A7 Übereinstimmung im Kennwert pflanzenverfügbares Bodenwasser (W _{pf})	A8 Übereinstimmung im Kennwert potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser A11 Übereinstimmung im K-Faktor

Tabelle 4.2: Kriterien der regelhaften Aggregation bodenkundlicher Kartiereinheiten

Die konkreten technischen Schritte der inhaltlichen Aggregation wurden basierend auf der gemeinsamen Datenbank (vergl. Seite 50) mit Hilfe von nacheinander ausgeführten Abfragen unter dem Datenbankprogramm Microsoft Access durchgeführt. Die Schritte waren dabei:

- Schritt 1: Auswahl aller Flächen innerhalb der nächst kleineren Maßstabsebene und Gruppierung nach dem jeweiligen Aggregierungskriterium
- Schritt 2: Auswahl der Gruppe mit dem größten Flächenanteil
- Schritt 3: Auswahl der größten Teilfläche innerhalb der zuvor gewählten Gruppe
- Schritt 4: Übertragung des Attributes der ausgewählten Fläche in die Geometrie der Ausgangsfläche des nächst kleineren Maßstabs

Diese Vorgehensweise wurde für die gesamte Fläche durchgeführt und auf Basis der neuen Flächeninhaltsbeschreibungen wurden dann die Kennwerte berechnet. Die Berechnung des

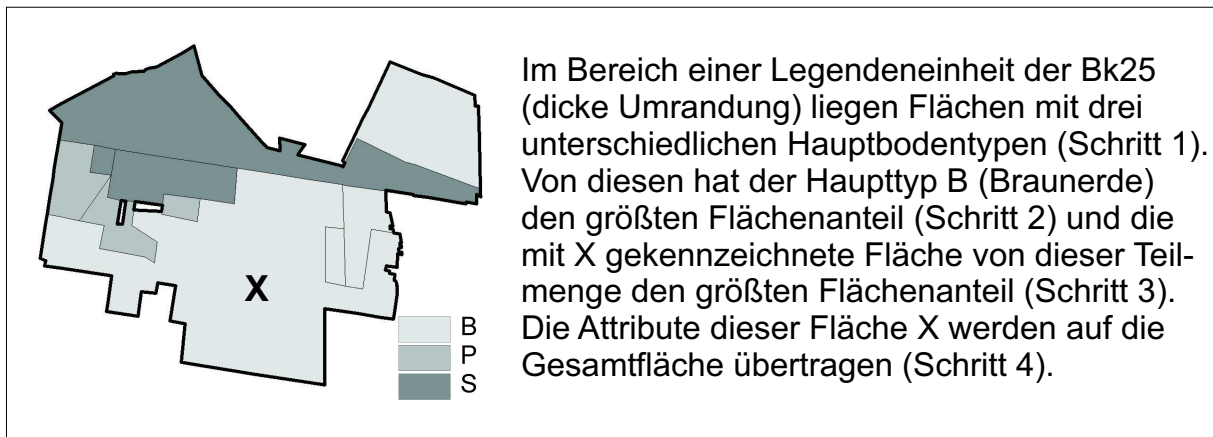


Abbildung 4.5: Prinzip der regelhaften Aggregation: Erläuterungen im Text

Fehlermaßes WMQD führt zu einer Aussage über den Fehler der neu abgeleiteten Karte. Nach Berechnung aller Fehlermaße für die Karten auf Basis verschiedener Auswahlkriterien wurde über das gesamte Blatt gemittelt das Kriterium mit dem geringsten Fehlermaß ausgewählt und auf der Basis dessen Ergebniskarte der nächste Schritt mit dem nun nächst kleineren Maßstab durchgeführt. Da sich die Aggregationsvarianten nicht sehr stark unterschieden (vergl. Seite 69ff.), wurden zum Teil nicht die absolut geringsten Fehlermaße als Entscheidungskriterium für die Neubelegung der Flächen genommen, sondern auch anwendungsorientierte Überlegungen einbezogen. So wurden in einigen Fällen substrat- oder taxonomiebezogene Kriterien ausgewählt, da diese direkt in der Karte zur Verfügung stehen und andere Kriterien wie z.B. Kennwerte erst hätten abgeleitet werden müssen.

Die räumliche Aggregation wurde auf ähnliche Weise durchgeführt. Basierend auf der Grundgeometrie werden alle Flächen, die das entsprechende Gruppierungskriterium erfüllen und (!) aneinandergrenzen mit Hilfe des GIS ArcView 3.2 durch den Befehl DISSOLVE zu einer neuen Geometrie zusammengefasst. Das Attribut der neuen Fläche wurde wiederum wie bei der inhaltlichen Aggregation von der größten Teilfläche, die in die neue Geometrie einfließt, übernommen. Berechnung und Auswahl des Kriteriums mit dem geringsten Fehlermaß sind dann wieder analog zur inhaltlichen Aggregation.

Die durchgeführte Methode der regelhaften Aggregation stellt mit der Auswahl der jeweils größten Fläche als einziges Kriterium einen vergleichsweise einfachen Ansatz dar. Andere Auswahlverfahren, die weitere Flächeneigenschaften wie z.B. Komplexität, Verbreitung oder maximale Einzelfläche berücksichtigen sind denkbar und auch von (FUCHS 2002) dokumentiert. Diese aufwendigeren Auswahlverfahren wurden nicht benutzt, da eine Auswertung von vier Maßstäben in zwei Gebieten, für zwei abgeleitete Kennwerte und zwei bodenkundliche Kennwerte in solcher methodischer Vielfalt den Arbeitsumfang gesprengt hätten. Ziel war es, möglichst viele Aggregationskriterien in angemessener Zeit zu untersuchen, was eine halbautomatische Berechnung und Auswertung mit entsprechend einfacher Auswahlmethode erforderlich machte.

Erste modellhafte Untersuchungen von (HENNING 1998) ließen darüber hinaus vermuten,

dass ein größerer Teil des Fehlers auf Grund des Maßstabs zustande kommt und nur nachrangig das Aggregierungsverfahren eine Rolle spielt. Es war also anzunehmen, dass dem erhöhten Aufwand kein entsprechender Erkenntnisgewinn gegenüber steht.

4.6 Heterogenitätsmaße - Methodische Grundlagen

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Eignung verschiedener Heterogenitätsmaße auf den Einsatz in kleinmaßstäbigen Karten untersucht werden. Bei den vorliegenden kleinmaßstäbigen Bodenkarten beschränken sich die Angaben zur Heterogenität bisher auf verbale Beschreibungen der vorkommenden Bodentypen (BÜK1000) und die klassifizierte Angabe über Flächenanteile von Leit- und Begleitböden (BSK200). Auch in der neuen Version der BÜK200 werden keine weiteren Angaben zur Heterogenität gemacht. Daraus ergibt sich die Aufgabe, den Fehler weitergehend in der Kartenlegende zu beschreiben und damit dem Nutzer eine neue Information zur Verfügung zu stellen.

Der neue Ansatz besteht zum einen im Bezug zum kleinen Maßstab. Daten anderer, größerer Maßstäbe werden ausgewertet und zur Beschreibung der kleinmaßstäbigen Legendeneinheit herangezogen. Daraus ergibt sich auch der weitere neue Ansatzpunkt: Der Vergleich von Daten verschiedener Maßstäbe ermöglicht einen Vergleich zwischen diesen und Aussagen zur Qualität der Informationen. Damit lassen sich Heterogenitätsmaße ermitteln, die eine besonders hohe Aussagekraft über den zu erwartenden Fehler haben. Weiterhin kann eine Empfehlung entwickelt werden, welche Daten aus welchem Maßstab für die Ableitung der Heterogenitätsmaße notwendig sind. Die verschiedenen Ansätze umfassen Indizes, die taxonomische, inhaltliche und räumliche Heterogenität erfassen. Wichtige Auswahlkriterien waren dabei eine möglichst hohe Aussagekraft, eine einfache und nachvollziehbare Ableitung sowie nach Möglichkeit die Verwendung der Maße in weiteren Auswertungen.

4.6.1 Kontrastmaße

Eine Reihe von Kontrastmaßen wurde ausgewählt, um den Legendeninhalt der bestehenden Karte durch vergleichende Informationen aus anderen Maßstäben zu erweitern. Durch diese Kontrastinformation wird die Übereinstimmung der kleinmaßstäbigen Legendeneinheit mit den großmaßstäbigen Informationen dokumentiert. Im Gegensatz zu den Arbeiten von (ALTMANN und HAASE 1984) und (SCHMIDT und HAASE 1980) wird der Begriff *"Kontrast"* anders verwendet. Die vorgenannten Autoren bezeichnen die Heterogenität einer Legendeneinheit mit Hilfe des Kontrastes aller darin vorkommenden Bodentypen. Der Kontrast steigt mit zunehmender Zahl unterschiedlicher Bodentypen innerhalb einer Legendeneinheit. In der vorliegenden Arbeit wird der Kontrast zwischen der Information der kleinmaßstäbigen Karte und der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage bewertet. Dadurch hat das Maß eher den Charakter eines Güte- oder Repräsentanzmaßes. Die erarbeitete Information gibt Aufschluss über den Informationsgehalt der kleinmaßstäbigen Karte.

Der Kontrast wird für typologische Eigenschaften und klassifizierte Kennwerte ermittelt. Einfache Maße des Kontrastes zwischen der kleinmaßstäbigen Karte und der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage sind:

1. Flächenanteil gleichen Haupttyps [%]
2. Flächenanteil gleichen Haupt- und Subtyps [%]
3. Übereinstimmung in der nFKWe-Klasse [% Fläche]
4. Übereinstimmung in der K-Faktor-Klasse [% Fläche]

Diese Maße machen eine Aussage über die Repräsentativität der Information der kleinmaßstäbigen Karte. Die Klassengrenzen der nFKWe wurden der Bodenkundlichen Kartieranleitung in der 4. Auflage (AG-BODEN 1994, S.302) entnommen, der K-Faktor wurde in 5 Klassen mit den Grenzen 0/0,2/0,4/0,6/0,8 unterteilt. Der Nutzer weiß damit, in wie weit die vorliegende Information für die kleinmaßstäbige Legendeneinheit als Ganzes gültig ist.

Weiterhin wurde der Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975) benutzt. Auch damit wird entgegen der ursprünglichen Anwendung nicht der Kontrast innerhalb einer Legendeneinheit beschrieben, sondern der Kontrast zwischen bodenkundlichen Informationen unterschiedlicher Maßstäbe. Das Maß des Kontrastes wird durch eine Zahl wiedergegeben, die aufsteigend von 0 (=kein Kontrast) größere Werte mit größerem Kontrast annimmt. Eine flächengewichtete

Kontrastindex taxonomisch		Kontrastindex Kennwerte	
Übereinstimmung in:	Wert	Übereinstimmung in:	Wert
Haupt- und Nebenbodentyp	0	der Klasse	0
Hauptbodentyp	1	der Klasse \pm 1 Klasse	1
Nebenbodentyp	2	der Klasse \pm 2 Klassen	2
keiner Eigenschaft	3		

Tabelle 4.3: Werte für die Berechnung des Kontrastes nach (AMOS und WHITESIDE 1975)

Auswertung und Multiplikation mit 100 ergibt dann einen Index, der eine abgestufte Information zum Grad des Kontrastes macht. Je höher die Zahl ist, desto größer ist der Kontrast. Die mögliche Maximalhöhe ergibt sich aus der Zahl der unterschiedlichen Kontraststufen. In der vorliegenden Untersuchung kann der taxonomische Kontrast Werte zwischen 0 und 300 annehmen, der Kontrast bei den Kennwertklassen kann zwischen 0 und 200 liegen (vergl. Tab. 4.3).

Über diese vergleichenden Kontrastmaße hinaus wurden einfache Maße zur Darstellung der taxonomischen Vielfalt innerhalb der Legendeneinheit untersucht. Dies sind der **prozentuale Flächenanteil des räumlich dominanten Haupttyps** der Vergleichsgrundlage und die **Anzahl der verschiedenen Hauptbodentypen**. Diese beiden Informationen geben einen Einblick über die inhaltliche Vielfalt der Legendeneinheit. Durch den Vergleich mit den oben erläuterten Kontrastmaßen lassen sich verschiedene Situationen darstellen. Bei großer Homogenität wird es

eine hohe Übereinstimmung zwischen dem Legendeninhalt der kleinmaßstäbigen Karte und den großmaßstäbigen Vergleichsinformationen geben, die dann auch den dominanten Haupttyp darstellt. Auf der anderen Seite kann es zu Situationen kommen, daß durch eine großräumige Verschiebung der Legendenbeschreibung die kleinmaßstäbige Profilinformation nur zu geringen Teilen mit der großmaßstäbigen Grundlage übereinstimmt und in dieser Region ein anderer Bodentyp vorherrschend ist. Diese Situation könnte dann zu einer Neugestaltung der Geometrien oder Überprüfung der Profilbelegung führen.

4.6.2 Statistische Verteilungen

Neben den taxonomischen Informationen sollte eine zukünftige Karte Spannweiten und Verteilungen von wichtigen Kennwerten enthalten. Die statistischen Verteilungen wichtiger bodenkundlicher Kennwerte sollen dem Anwender Informationen über Ausmaß und Art der Werteausprägung innerhalb der Legendeneinheit geben. Diese Information ist vor allem bei Modellierungen wichtig, um eine Information z.B. über typische Spannweiten einer Werteverteilung zu bekommen. Mittelwert, Modalwert oder Standardabweichung von Kennwerten sind weitere mögliche Informationen. Anders als im ersten Teil der Arbeit wird sich auf rein bodenkundliche Parameter beschränkt. Dies sind die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) sowie der K-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG).

4.6.3 Geostatistische Ansätze

Die Grundlagen der geostatistischen Auswertungsmethoden sind bereits im Methodikkapitel kurz erläutert worden. An dieser Stelle soll kurz auf die Eigenschaften und Aussagen des Variogramms eingegangen werden und ihre Bedeutung für die Bemessung von Heterogenität aufgezeigt werden. Das Variogramm hat drei wesentliche Bestandteile, die eine Aussage zu den räumlichen Abhängigkeiten und damit zur Heterogenität machen (Abb. 4.6).

- **Nuggetvarianz (1)**

Dieser Wert wird auch Nuggeteffekt genannt und bezeichnet den extrapolierten Schnittpunkt des angepassten Modells mit der Ordinate. Im Idealfall ist die Nuggetvarianz gleich Null, da jede Messwiederholung an ein und derselben Stelle zum gleichen Ergebnis führt. Aufgrund von kleinräumigen Variationen, die unterhalb des kleinsten Untersuchungsschrittes (Lags) liegen, ist dies sehr selten. Die Nuggetvarianz zeigt damit die Größe der kleinräumigen Varianz unterhalb des einfachen Lags an. Liegt sie bei 100% so ist die untersuchte Variabel im Raum völlig unabhängig und eine Interpolation aufgrund des Variogramms ist sinnlos, da es keinerlei räumliche Abhängigkeiten zwischen den Proben gibt.

- **Sill (2)**

Der Sill bezeichnet die Gesamtvarianz des untersuchten Merkmals. Jede räumliche ab-

hängige Varianz geht nach einer gewissen Zeit in die Gesamtvarianz aller untersuchten Punkte über.

- **Range (3)**

Der Range ist die Distanz auf der Abszisse, an der die Gesamtvarianz erreicht wird. Bis zu dieser Distanz sind die Ausprägungen des untersuchten Merkmals untereinander räumlich abhängig.

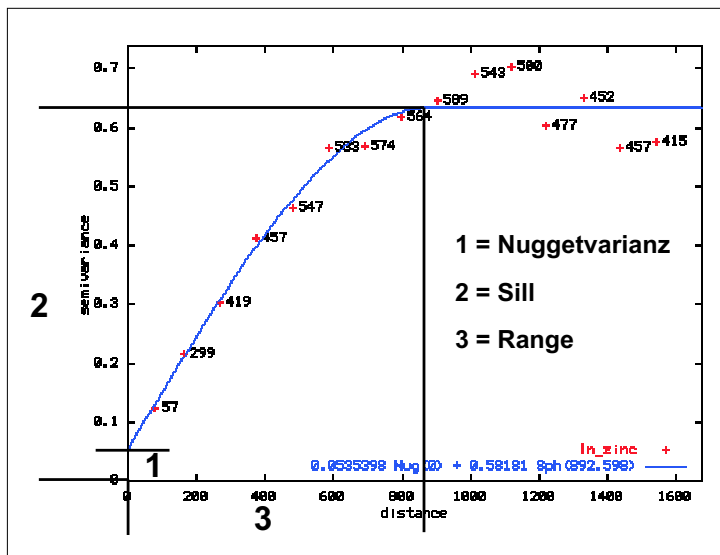


Abbildung 4.6: Darstellung eines Variogramms mit den drei wichtigsten Eigenschaften; eigene Abbildung unter Verwendung von (PEBESMA 2001); Erläuterungen im Text

Die Bedeutung des Variogramms als Quelle für Heterogenitätsmaße liegt in der Auswertung des Nuggeteffekts und des Ranges. Mit Hilfe dieser Werte lassen sich Aussagen zum Ausmaß und der Reichweite räumlicher Abhängigkeiten geben. Für den Nutzer ergeben sich daraus Anhaltspunkte für die Planung von Messkampagnen oder die Abstände von Bohrungen.

4.6.4 Diversitätsmaße

Um die räumliche Verteilung der einzelnen Bodentypen innerhalb der Legendeneinheit der Bodenkarte zu beschreiben, werden in dieser Arbeit Maße der Diversität untersucht. Grundlegendes zu diesen Maßen wurde bereits im Methodikkapitel erläutert. Im Folgenden sollen die konkreten Maße vorgestellt werden und mit Hilfe von Beispielen auf ihre Aussagekraft hin untersucht werden. Das Programm "Analytische Werkzeuge der Aggregation und Generalisierung von Bodenkarten" (FUCHS 2002) hat bei den Berechnungen der Indizes eine sehr gute Hilfestellung geleistet, die die Auswertung deutlich verkürzt hat.

In Tabelle 4.4 werden die ausgewählten Indizes erläutert. Die Abkürzungen stehen für m = Zahl der Flächen und p = Anteil der Teilfläche an der Gesamtfläche. Das Werkzeug von (FUCHS 2002) bietet die Möglichkeit, die vorgestellten Maße einmal mit der Proportion der Flächengröße als Merkmal zu berechnen und einmal mit der Proportion der Häufigkeiten des gewählten Merkmals. Bei allen Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit wurde die Proportion der Flächengröße als Merkmal gewählt. Alle Indizes zeigen im Prinzip folgende Situation an: Ein kleiner

Name	Kürzel	Formel	Wertespanne
Shannon Index	SHDI	$-\sum_{i=1}^m (p_i * \ln p_i)$	$SHDI \geq 0$
Simpson Index	SIDI	$1 - \sum_{i=1}^m p_i^2$	$0 \leq SIDI < 1$
Modifizierter Simpson Index	MSIDI	$1 - \ln \sum_{i=1}^m p_i^2$	$MSIDI \geq 0$
Shannon Ebenheitsindex	SHEI	$\frac{-\sum_{i=1}^m (p_i * \ln p_i)}{\ln m}$	$0 \leq SHEI < 1$
Simpson Ebenheitsindex	SIEI	$\frac{-\sum_{i=1}^m p_i^2}{1 - (\frac{1}{m})}$	$0 \leq SIEI < 1$
Modifizierter Simpson Ebenheitsindex	MSIEI	$\frac{-\sum_{i=1}^m p_i^2}{\ln m}$	$0 \leq MSIEI < 1$

Tabelle 4.4: Grundlagen zur Berechnung der Indizes zur Bemessung der Diversität von Bodenkarten; Erläuterungen im Text

Wert zeigt die Dominanz einer großen Fläche, ein hoher Wert zeigt die gleichmäßige Verteilung aller vorkommenden Flächen an. Die Indizes SHDI und MSIDI nehmen Werte von größer Null an, alle anderen bewegen sich zwischen 0 und 1.

Um die Ableitung und Bedeutung solcher Maße besser einschätzen zu können, wird der Aus-

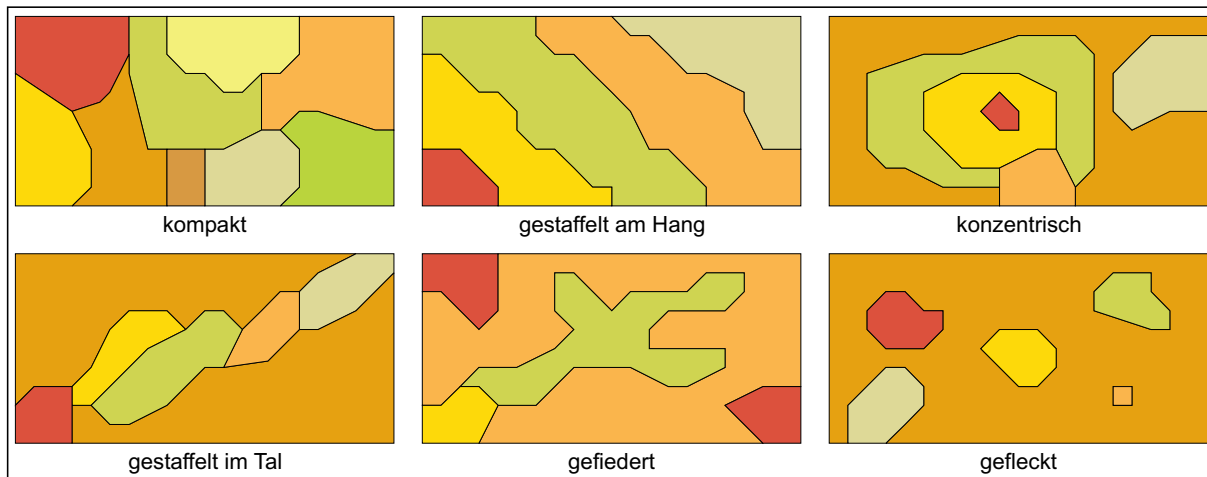


Abbildung 4.7: Modellhafte Darstellung von sechs Verteilungsmustern in Bodenkarten

wertung in den Untersuchungsgebieten eine allgemeine Untersuchung und Erläuterung vorangestellt. Zur Veranschaulichung der Möglichkeiten der Heterogenitätsmaße wurden sechs verschiedene, beispielhafte Konstellationen von Böden innerhalb von Karten erarbeitet und diese ausgewertet (Abbildung 4.7). Bei der Zusammenstellung wurde sich an den Abbildungen in der Bodenkundlichen Kartieranleitung in der 4. Auflage (AG-BODEN 1994, S.281) orientiert, die in dem Kapitel 7.3 "Verteilungsmuster und Flächenanteile von Böden" vorgestellt sind. Im dargestellten Beispiel wird zunächst jeder Fläche ein unterschiedliches Attribut zugewiesen, jeder "Typ" kommt genau einmal vor. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 4.5 zusammengefasst.

Alle Diversitätsmaße sind in der Lage, die unterschiedlichen Situationen in den Beispielflächen wiederzugeben. Der Shannon Index wie auch der Simpson Index zeigen deutlich die Entwicklung von der kompakten Verteilung der Flächen hin zum fleckenhaften Auftreten einzelner Bereiche innerhalb einer anderen einheitlichen Fläche an. Bei den Verteilungen "gestaffelt im Tal" und "gefiedert" finden sich trotz der unterschiedlichen räumlichen Anordnung ähnliche

Werte bei einigen Indizes. Diese lassen sich also mit Hilfe dieser Indizes nicht eindeutig unterscheiden.

Diese Ergebnisse gelten nur, wenn alle Flächen nur einmal vorkommen. Das Bild ändert sich, wenn das Untersuchungsgebiet viele Flächen gleichartigen Inhalts hat. Um die Sensibilität der einzelnen Indizes auf gleiche Geometrien mit unterschiedlichen Inhalten zu untersuchen, wurden die beiden Verteilungen "kompakt" und "gefleckt" verändert. Dadurch kann abgeschätzt werden, wie die Indizes die Vielfalt (*richness*) und die räumliche Verteilung (*evenness*) anzeigen, wenn die Formen gleich bleiben, aber der Inhalt sich verändert. Ausgehend von der Situation, dass jede Einheit genau einmal vorkommt, wurde die Zahl der unterschiedlichen Bodentypen verringert bis nur noch zwei verschiedene vorhanden waren. Die Zahlen in den Datenbeschrei-

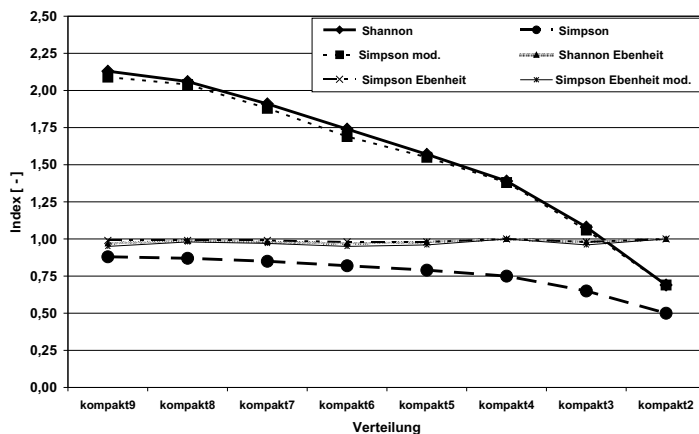


Abbildung 4.8: Veränderung ausgewählter Diversitätsmaße bei der Änderung der Anzahl unterschiedlicher Bodentypen in kompakter Lage

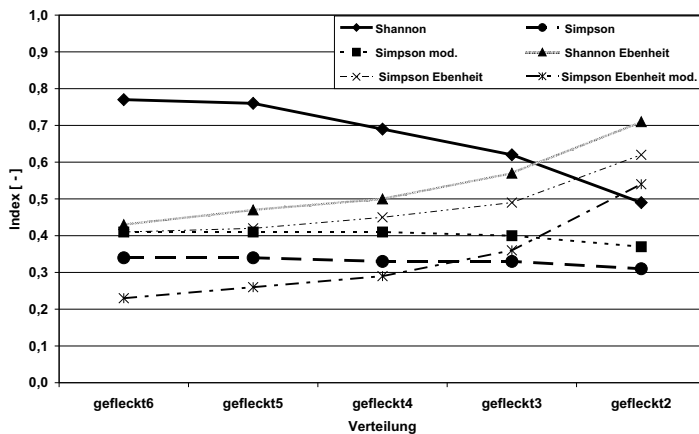


Abbildung 4.9: Veränderung ausgewählter Diversitätsmaße bei der Änderung der Anzahl unterschiedlicher Bodentypen in gefleckter Lage

Index	kompakt	gestaffelt am Hang	konzentrisch	gestaffelt im Tal	gefiedert	gefleckt
Shannon Index	2,13	1,48	1,40	1,11	0,99	0,77
Simpson Index	0,88	0,76	0,70	0,51	0,53	0,34
Mod. Simpson Index	2,09	1,41	1,19	0,71	0,77	0,41
Shannon Areal-Ebenheitsindex	0,97	0,92	0,78	0,62	0,71	0,43
Simpson Ebenheitsindex	0,99	0,95	0,83	0,61	0,71	0,41
Mod. Simpson Ebenheitsindex	0,95	0,88	0,66	0,39	0,55	0,23

Tabelle 4.5: Heterogenitätsindizes für ausgewählte Beispielflächen

bungen zeigen die Zahl der gesamten Typen an (9kompakt = 9 versch. Typen, 8kompakt = 8 versch. Typen usw.) Die Werte sind in Abbildung 4.8 und 4.9 dargestellt. Im ersten Beispiel "kompakt variiert" reagieren der Shannon Index und Modifizierte Simpson Index sehr stark. Ausgehend von Werten über 2 gehen sie bis auf einen Wert von ca. 0,7 zurück. Damit fallen diesen beiden Maße aus der engeren Wahl wegen der hohen Sensibilität gegenüber der Zahl der unterschiedlichen Flächen aus. Der Simpson Index reagiert ebenfalls noch relativ stark. Fast keine Änderung finden sich bei den übrigen Indizes. Ungeachtet der Zahl der unterschiedlichen Typen liegen sie bei einer kompakten Verteilung auf durchgehend hohem Niveau. Das Beispiel "gefleckt variiert" zeigt ein etwas anderes Bild. Insgesamt liegen die Indizes auf niedrigem Niveau zwischen 0,3 und 0,8. Der niedrige Wert des Shannon Index (der auch Werte über 1 annehmen kann) sinkt um so stärker ab, je weniger Bodentypen vorkommen. Die Indizes Simpson und Mod. Simpson reagieren fast überhaupt nicht auf die Verringerung der vorkommenden Böden und zeigen sich damit sehr stabil im unteren Bereich. Alle Ebenheitsindizes steigen bei Verringerung der Bodentypen erwartungsgemäß an, da die "Ebenheit" ja auch verringert wird und zum Schluss nur noch Flächen mit "gegensätzlichen" Inhalten vorliegen. Nach der Auswertung lassen sich zwei Indizes als besonders geeignet festlegen, die räumliche und inhaltliche Heterogenität von Bodenkarten zu beschreiben.

Der **Simpson Index** zeigt einerseits sehr gut die Veränderung verschiedener Flächenverteilungen an, reagiert dabei aber verhältnismäßig gering auf die Zahl der vorkommenden Bodentypen, dies vor allem bei gefleckten Situationen. Hier ist der **Modifizierte Simpson Ebenheitsindex** sensibler, ist aber bei den kompakten Verteilungen weniger empfindlich. Beide Indizes haben im mittleren Bereich ähnliche Werte für unterschiedliche Verteilungen. Wenn zusätzlich zum Index noch die Zahl der unterschiedlichen untersuchten Typen angegeben wird, lassen sich solche Situationen klarer voneinander trennen. Die beiden Indizes ähneln sich im Verlauf, der Simpson Index hat einen etwas gleichmäßigeren Anstieg, der Modifizierte Simpson Ebenheitsindex spannt dagegen das größere Wertespektrum bei den Beispielflächen auf (vergl. Abb. 4.10). Beide Indizes haben ein Wertespektrum zwischen 0 und 1 wodurch feste Grenzen vorhanden sind, die die Vergleichbarkeit verbessern.

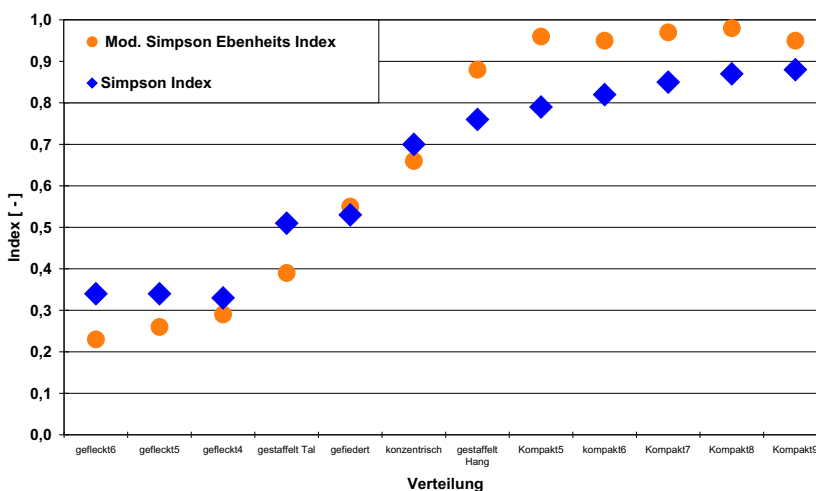


Abbildung 4.10: Vergleich von zwei ausgewählten Diversitätsindizes für räumlich und inhaltlich variierende Modellflächen

4.6.5 Gestaltindex

Um die Beschreibung der Flächen innerhalb der Legendeneinheiten zu verbessern, wurde ein weiterer Index ermittelt. Der **Gestaltindex** ist eine einfache Berechnung, um die Form einer Fläche in ihrer Abweichung von der Kreisform zu beschreiben. Der Index hat bei einer Kreisform den Wert 1 und steigt mit zunehmender Entfernung von dieser Form an. Berechnet wird der Gestaltindex nach

$$SHAPE = \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi * a_{ij}}}$$

mit p = Umfang (*perimeter*) und a = Fläche (*area*) der betroffenen Fläche. Der Index wird für jede Teilfläche je Legendeneinheit berechnet, angegeben werden dann der Mittelwert und der Variationskoeffizient aus allen Teilflächen je Legendeneinheit. Diese zusammen geben Aufschluss über die Form der Pedotope.

Während der Gestaltindex nur eine leichte Differenz zwischen der Gruppe "kompakt, gefleckt, Staffel am Hang" (Index < 1,4) und "Staffel im Tal, gefiedert, konzentrisch" (Index > 1,4) erlaubt, ermöglicht der Variationskoeffizient eine gute Aussage über die Verteilung. Hohe Werte ergeben sich bei vielen kleinen Flächen, die innerhalb von großen Flächen eingelagert sind. Niedrige Variationskoeffizienten sind bei einem ausgeglichenen Gestaltinventar zu erwarten (Tab. 4.6).

	mittlerer Gestaltindex	VC des Gestaltindex
gefiedert	1,69	45,44
konzentrisch	1,64	44,72
gestaffelt Hang	1,42	39,70
gestaffelt Tal	1,36	16,64
gefleckt	1,32	11,01
kompakt	1,23	10,02

Tabelle 4.6: Gestaltindizes sechs verschiedener Beispielflächen: Mittelwert und Variationskoeffizient

5 Informationsgüte kleinmaßstäbiger Bodenfunktionskarten

5.1 Informationsgüte von Bodenfunktionskarten auf der Basis bestehender Kartenwerke

Im ersten Auswertungsschritt wurde die Aussagegenauigkeit kleinmaßstäbiger Bodenkarten bei unveränderter Übernahme der bestehenden bodenkundlichen Grundlagenkarten (Istzustand) bewertet. Dabei wurden auch verschiedene Konzepte der Flächeninhaltsbeschreibung bodenkundlicher Kartiereinheiten verglichen. Bei der BK25 und der BSK200 erfolgt die Flächeninhaltsbeschreibung durch ein Leitprofil und bis zu 5 Begleitprofile. Die Ermittlung der Kennwerte Swr und EfW wurde einmal nur für das Leitprofil jeder Kartiereinheit und einmal als flächengewichtetes Mittel aus den Werten der Leit- und Begleitprofile durchgeführt. Die unterschiedlichen Datengrundlagen sind durch "L" beziehungsweise "L+B" in den Abbildungen gekennzeichnet. Die Auswertung wird getrennt nach den beiden Untersuchungsgebieten und den einzelnen Kennwerten durchgeführt.

5.1.1 Fehlermaße bestehender Bodenfunktionskarten im Raum Vechta

Der zuerst untersuchte Kennwert ist die "nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe)" als bodenkundlicher Basisparameter und Grundlage für die Ableitung der Sickerwasserrate. Abb. 5.1 zeigt die Fehler für die vier untersuchten Maßstäbe. Zunächst ist festzu-

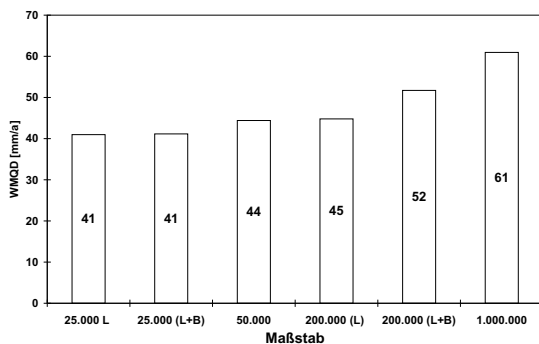


Abbildung 5.1: Fehlermaße für den Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe); Blatt Vechta

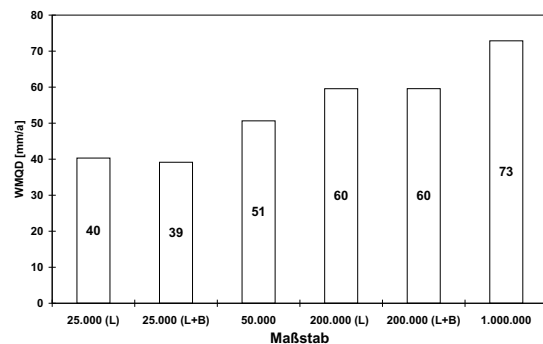


Abbildung 5.2: Fehlermaße für den Kennwert mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr); Blatt Vechta

halten, dass der Fehler mit zunehmendem kleinerem Maßstab ansteigt. Ausgehend von einem relativ hohen Wert bereits im größten untersuchten Maßstab steigt der Fehler einer Aussage zum Kennwert nFKWe bis auf ca. 61 mm im kleinsten Maßstab an. Die beiden unterschiedli-

chen Ableitungen im Maßstab 1:25.000 zeigen keinerlei Unterschiede, hier führt der zusätzliche Aufwand der Auswertung von Begleitböden zu keiner Änderung des Fehlers. Im Maßstab 1:200.000 hat die unterschiedliche Auswertung dagegen Einflüsse auf den Fehler. Die Berücksichtigung der Begleitböden bei der Auswertung erhöht den Fehler der Aussage. Bereits der Maßstab 1:25.000 weist einen großen Fehler auf, der zunächst mit kleiner werdendem Maßstab leicht ansteigt, um dann zum Maßstab 1:1 Mio. hin einen deutlichen Sprung zu machen. Die Auswertung des Kennwertes mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr) zeigt einen ähnlichen Werteverlauf wie bei der nFKWe (Abb. 5.2). Der Fehler des größten Maßstabs ist mit ca.

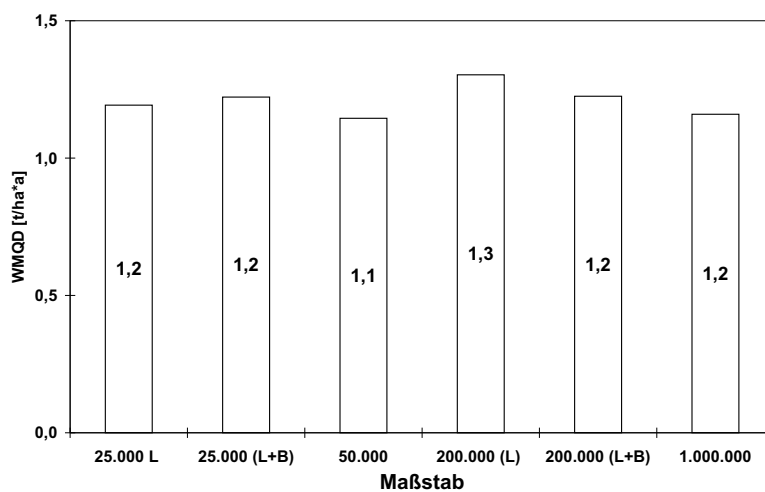


Abbildung 5.3: Fehlermaße für den Kennwert potentielle Erosionsgefährdung (EfW); Blatt Vechta

40mm in einer ähnlichen Größenordnung wie der des bodenkundlichen Parameters nFKWe. Auch bei der Sickerwasserrate zeigt sich kein wesentlicher Unterschied zwischen der Ableitung mit und ohne Begleitböden. Bereits im Maßstab 1:50.000 steigt der Fehler stark an. Die Auswertungen im Maßstab 1:200.000 zeigen keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Datengrundlagen. Der Maßstab 1:1 Mio. hat wie auch beim Kennwert nFKWe den größten Fehler. Die Fehler in jedem Maßstab sind deutlich voneinander treppenartig abgesetzt, es lassen sich keine Gruppen bilden.

Die Auswertung des Kennwertes potentielle Erosionsgefährdung wird hier kurz vorgestellt, um die Entscheidung zu einer Aufteilung der Auswertung der Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt (nFKWe und Sickerwasserrate) auf das Gebiet Vechta und der Kennwerte der Erosionsgefährdung (K-Faktor, EfW) auf das Gebiet Ebergötzen zu begründen. Wie in Abbildung 5.3 deutlich wird, ist der Fehler der Auswertung über alle Maßstäbe relativ klein und es ist auch keine Veränderung in Abhängigkeit vom Maßstab zu erkennen. Die sandigen Substrate und das flache Relief in Vechta führen zu geringer Erosionsgefährdung, was sich auch in den geringen Fehlern widerspiegelt. Eine weitere Erarbeitung der Fehlermaße für Aspekte der Erosionsgefährdung in Vechta ist deswegen nicht sinnvoll. Im Gebiet Vechta ist aufgrund der starken landwirtschaftlichen Nutzung vielmehr der Eintrag von Dünger (hier vor allem Nitrat) in den Boden und das Grundwasser und damit die Ableitung des Kennwertes Sickerwasserrate das vorherrschende Problem.

5.1.2 Fehlermaße bestehender Bodenfunktionskarten im Raum Ebergötzen

Das Gebiet Ebergötzen wurde schwerpunktmäßig unter den Aspekten der Erosionsgefährdung untersucht. In Abbildung 5.4 sind die Fehlermaße für den Kennwert K-Faktor der ABAG zusammengestellt. Der Fehler des Kennwerts K-Faktor (0,12 bis 0,17) zeigt eine geringere Abhängigkeit vom betrachteten Maßstab. Der Grund für geringe Abhängigkeit des K-Faktors vom Maßstab ist durch zwei Punkte bedingt. Zum einen ist im Bereich Ebergötzen mit einem relativ einheitlichen Inventar zu rechnen und der K-Faktor strukturell ein Maß, dass die Vielfalt der Bodeneigenschaften nivelliert. Den höchsten Fehler zeigt der kleinste Maßstab (1:1 Mio.). Eine Ableitung des Kennwerts unter Berücksichtigung der Begleitböden erhöht den Fehler. Anhand einer Beispielrechnung soll die Bedeutung des Fehlers deutlich gemacht werden. Im Gebiet Ebergötzen liegt der R-Faktor bei ca. 50. Wird bei einem schwach geneigten Hang (S-Faktor = 0,6) mit dem K-Faktor 0,50 oder 0,67 (maximaler Fehler = 0,17) die potentielle Erosionsgefährdung berechnet, so verändert sich das Ergebnis um den Faktor 2,4 (12,5 t/ha*a gegenüber 30 t/ha*a). Die Kartengrundlage für eine Abschätzung der Erosionsgefährdung zeigt damit einen relevanten Einfluss auf die Qualität der Aussage. Die Auswertung des Kennwertes

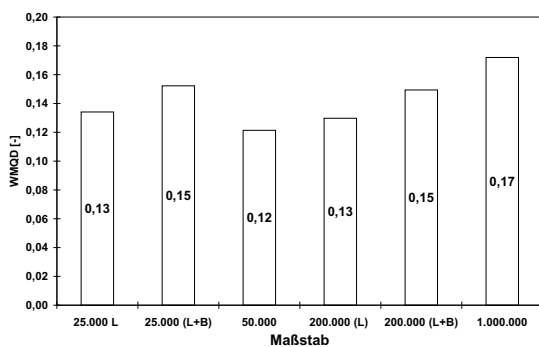


Abbildung 5.4: Fehlermaße für den Kennwert K-Faktor der ABAG; Blatt Ebergötzen

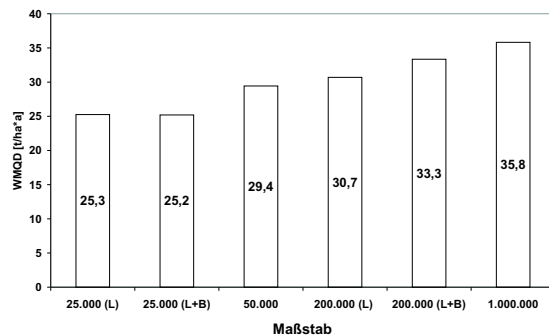


Abbildung 5.5: Fehlermaße der potentiellen Erosionsgefährdung (EfW); Blatt Ebergötzen

potentielle Erosionsgefährdung (EfW) (Abbildung 5.5) zeigt wieder eine hohe Abhängigkeit des Fehlers vom betrachteten Maßstab. Ausgehend von ca. 25 t/ha*a steigt der Fehler durchweg bis zum Maßstab 1:1 Mio. an und erreicht hier im Maximum knapp 36 t/ha*a. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Auswertungsgrundlagen im Maßstab 1:25.000 zeigen keinen Einfluss. Die Ableitung unter Verwendung der Begleitböden verändert das Fehlermaß nur geringfügig. Im Maßstab 1:200.000 ist der Unterschied deutlicher. Insgesamt ist der Fehler in allen Maßstäben vergleichsweise groß.

Die Auswertung des Fehlers der nFKWe in Ebergötzen zeigt eine Verteilung, die nicht vom Maßstab der Karte abhängt (Abb. 5.6). Die Werte liegen mit ca. 70 mm deutlich höher als in Vechta, was auf das höhere Gesamtniveau aufgrund der schluffreicheren Böden (Löss) zurückzuführen ist. Die höchsten Fehler sind im Maßstab 1:25.000 und 1:1 Mio. zu verzeichnen. Der hohe Fehler des Maßstabs 1:25.000 ist vermutlich im Zusammenhang mit der geringen Flächendeckung im Vergleichsmaßstab zu sehen. Die Auswertung über das gesamte Blatt führt auch hier zu Flächen die nicht ausgewertet werden und damit fließen nicht alle Flächen der BK25 in die Auswertung mit ein.

Auf eine Auswertung der Sickerwasserrate wurde im Gebiet Ebergötzen verzichtet, da die angewendete Methode nur bis zu einer Hangneigung von 3,5% gültig ist. Auch eine Korrektur der Werte mit Hilfe von (WESSOLEK 1996) führte nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Damit bleibt die Auswertung in Ebergötzen auf die in diesem Gebiet inhaltlich relevantere Erosionsgefährdung beschränkt.

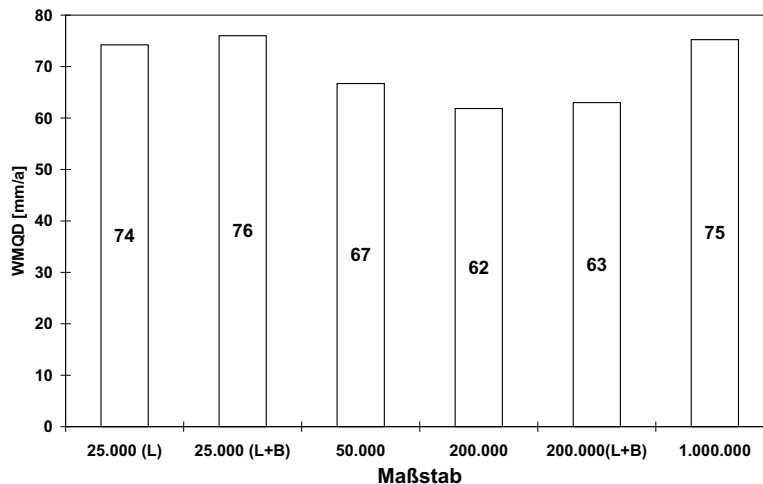


Abbildung 5.6: Fehlermaße für den Kennwert nFKWe; Blatt Ebergötzen

5.1.3 Fehlermaße bestehender Bodenkarten - Fazit

Die Ergebnisse zur Untersuchung des Istzustands des Fehlers lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der mittlere Fehler (WMQD) einer Aussage zur jährlichen Sickerwasserrate auf Basis der bestehenden Bodenkarten bewegt sich zwischen ca. 40 mm und 73 mm. In der gleichen Größenordnung liegt der Fehler des Kennwertes nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes mit minimal 41 mm und maximal 63 mm.
- Diese Fehler steigen erwartungsgemäß mit zunehmend kleinerem Maßstab.
- Eine um Angaben zu den Begleitböden erweiterte Flächeninhaltsbeschreibung der Legendeneinheiten erhöht die Güte der Auswertungskarten für abgeleitete Kennwerte nur unwesentlich.
- Bei dem rein bodenkundlich begründeten Kennwert nFKWe sind die Unterschiede zum Teil deutlicher. Eine allgemeine Tendenz zur Verringerung des Fehlers bei Berücksichtigung der Begleitböden ist nicht zu verzeichnen, zum Teil erhöht sich sogar der Fehler.
- Der mittlere Fehler einer Aussage zur potenziellen Erosionsgefährdung auf Basis der bestehenden Karten bewegt sich zwischen 25 und 35 t/ha*a. Der Fehler steigt auch hier mit abnehmendem Maßstab, die Zunahme ist aber geringer als bei den entsprechenden Werten der Sickerwasserrate.

- Auch bei der Erosionsgefährdung zeigen die unterschiedlichen Konzepte zur Flächeninhaltsbeschreibung (ein Leitprofil / Leit- und Begleitprofil) keinen wesentlichen Einfluss auf den Fehler einer Aussage.
- Der mittlere Fehler einer Aussage zum K-Faktor der ABAG als Aussage der Erosionsanfälligkeit bewegt sich zwischen 0,12 und 0,17. Eine Abhängigkeit vom untersuchten Maßstab ist nur schwach ausgeprägt.

Da sich die Ergebnisse der abgeleiteten Kennwerte bei der Berücksichtigung der Begleitböden in den entsprechenden Maßstäben nur gering unterscheiden, wurde für alle weiteren Versuche der Aggregation bodenkundlicher Areale nur das jeweilige Leitprofil berücksichtigt. Weiterhin wurde die Untersuchung der Sickerwasserrate auf das Blatt Vechta und der Erosionsgefährdung auf das Blatt Ebergötzen beschränkt. Die Datenlage in den beiden Gebieten, die Relevanz der jeweiligen Fragestellungen und methodische Schranken der Anwendung zur Ableitung der Sickerwasserrate begründen dies.

5.2 Veränderung der Kartengüte bei regelhafter Aggregation bodenkundlicher Kartiereinheiten

Nach der Ermittlung des Fehlers der bestehenden Karten wurde untersucht, in welchem Maße die Aussagesicherheit von Bodenfunktionskarten durch alternative bodenkundliche Grundlagenkarten erhöht werden kann, die aus Kartiereinheiten des Maßstabs 1:5.000 nach verschiedenen Kriterien der Aggregation *ohne* Modifikation der Grenzverläufe (**inhaltliche Aggregation**) gewonnen wurden. In diesem Fall werden die Kartiereinheiten von BK25, BÜK50, BSK200 und BÜK1000 unter Beibehaltung ihrer Grenzen durch neue, regionalspezifische Repräsentativprofile beschrieben, die aus Detailinformationen der nächst tieferen Maßstabsebene generiert wurden (vergl. Tabelle 4.2 auf Seite 54). Da aus der Aggregation zwangsläufig eine Einengung der inhaltlichen Spannbreite resultiert, sind einige Aggregationskriterien nur auf den unteren Maßstabsebenen sinnvoll, so dass die Zahl der getesteten Varianten in Richtung auf die oberen Maßstabsebenen abnimmt. So ist zum Beispiel das Kriterium "A3: Übereinstimmung in Haupt-, Subtyp und Tiefenkennziffer des diagnostischen Horizonts" nur beim ersten Aggregationsschritt zur Anwendung gekommen. Die hohe Differenzierung des Kriteriums führt zu einer Situation, die bereits nach dem ersten Schritt eine weitere Aggregation verhindert, da sich alle Flächen voneinander unterscheiden. Auf der anderen Seite sind Kriterien wie "ähnlicher Substrattyp" erst bei einer Aggregation der oberen Maßstäbe untersucht worden.

5.2.1 Verbesserungspotential durch inhaltliche Aggregation

5.2.1.1 Bodenregion Geest / Blatt Vechta

Die Auswertung der Kartengüte nach einer neuen Inhaltsbeschreibung durch regelhafte Aggregation betrachtet die abgeleiteten landschaftsökologischen Kennwerte und die bodenkundlichen Eingangsparameter. Die Ergebnisse für den Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Es zeigt sich, dass eine inhaltliche Aggregation durchweg den Fehler der Bodenkarte senkt. Eine Ausnahme hiervon zeigt sich nur beim Maßstab 1:200.000. Die Auswirkungen der verschiedenen Aggregationskriterien auf den Fehler sind nur sehr geringfügig. Die prozentual stärkste Verbesserung im Vergleich zum jeweiligen Ausgangswert ist im Maßstab 1:1 Mio. mit knapp 16% zu verzeichnen. Im Maßstab 1:200.000 zeigt die Auswahl regionalspezifischer Profile keine Verbesserung gegenüber dem Istzustand, der Fehler der Karte steigt sogar geringfügig.

Anders sieht es bei der Auswertung des Kennwertes jährliche Sickerwasserrate aus. Eine inhaltliche Aggregation verringert das Fehlermaß WMQD (in Abhängigkeit vom jeweiligen Istzustand) in allen Maßstäben für eine Aussage zur jährlichen Sickerwasserrate. Die Verringerung erreicht im Maximum ca. 36% (Tab. 5.2). Je kleiner der Maßstab ist, desto größer werden die erzielbaren Verbesserungen. Das erreichbare Niveau des Fehlers liegt in den Maßstäben oberhalb von 1:50.000 mit ca. 45 mm auf ähnlichem Niveau. Damit zeigt sich, dass bereits beim Erreichen des Maßstabs der BÜK50 die verschiedenen Bodentypen und damit auch deren abgeleitete Kennwerte das Spektrum des gesamten Blattes repräsentieren. Ein weitere Aggregation und Einengung des Wertespektrums im Zuge der folgenden Aggregationen findet nicht statt. Die Unterschiede in der Flächengröße in den anderen kleinen Maßstäben spielen keine

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A9	A10	Verbesserung [%]
WMQD	25.000	41,0	36,6	35,8	35,5	36,6	36,0	36,1	36,0		12,7
[mm/a]	50.000	44,4	41,0	41,3		40,7	40,9	40,9	40,7		8,3
	200.000	44,8	47,6			47,6	47,3	47,3	47,6		- 5,6
	1.000.000	61,0					51,4	51,4	51,4	51,4	15,7

Tabelle 5.1: Ergebnisse der inhaltlichen Aggregation für den Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) auf Blatt Vechta; **fett:** das jeweils beste Aggregationkriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A9	A10	Verbesserung [%]
	1:25.000	40	34	34	33	34	33	32	32	33		17,5
WMQD	1:50.000	51	42	43		42	42	42	42	42		17,6
in mm/a	1:200.000	60	44			45	46	46	47			26,7
	1:1.000.000	73					47	47	47	49	49	35,6

Tabelle 5.2: Ergebnisse der inhaltlichen Aggregation für den Kennwert jährliche Sickerwasserrate auf Blatt Vechta; **fett:** das jeweils beste Aggregationkriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

Rolle. Zwischen den einzelnen Aggregierungsvarianten sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Alle Fehlermaße innerhalb der einzelnen Maßstäbe liegen auf etwa gleichem Niveau. Dieser Befund ist in den kleineren Maßstäben aufgrund der Einengung auf einige wenige Profile nachvollziehbar. Aber auch im ersten Schritt von der genauesten Maßstabsebene zur BK25 schwanken die Ergebnisse nur gering. Hier zeigen sich die Auswirkungen der Methodik bei der Auswahl der Flächen nach dem Aspekt der Flächengröße. Große zusammenhängende Gebiete werden dadurch stärker berücksichtigt.

Welche konkreten Auswirkungen die Belegung der Legenden mit regionalspezifischen Profilen bewirkt, soll im Folgenden an einem Beispiel erläutert werden. Exemplarisch wird der Einfluss einer inhaltlichen Aggregation bodenkundlicher Kartiereinheiten an einem Kartenausschnitt der BÜK1000 in Abb. 5.7 veranschaulicht. Der Ausschnitt stellt den südwestlichen Teil des Blattes Vechta dar. In der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage (Bo5) wird das gesamte Gebiet mit Werten zwischen 250 und 300 mm/a angezeigt. Einzelne Tiefenlinien zeigen geringere Werte (50-100 mm/a). Die BÜK1000 zeigt demgegenüber große Gebiete mit Werten zwischen 200-250 mm/a und ein Gebiet mit Werten zwischen 50-100 mm/a an. Gut erkennbar ist die Lage der LBA 28 (Sandböden mit wasserstauenden lehmigen Unterboden aus Geschiebedecksand über Saale-Geschiebelehm) sowie der LBA6 (Grundwasser vernässte Niedermoorböden). Als Ergebnis der bestmöglichen Aggregation wird das Raummuster der BÜK1000-Einheiten mit ihren Werteverteilungen erkennbar verbessert. Insgesamt wird die Situation des größten Maßstabs angemessener dargestellt. Vor allem die LBA 6 zeigt jetzt ein Wertespektrum, das der Vergleichsgrundlage näher ist. Die kleinräumig variablen Strukturen der untersten Maßstabsebene - wie z.B. Tiefenlinien - werden maßstabsbedingt nicht mehr adäquat abgebildet.

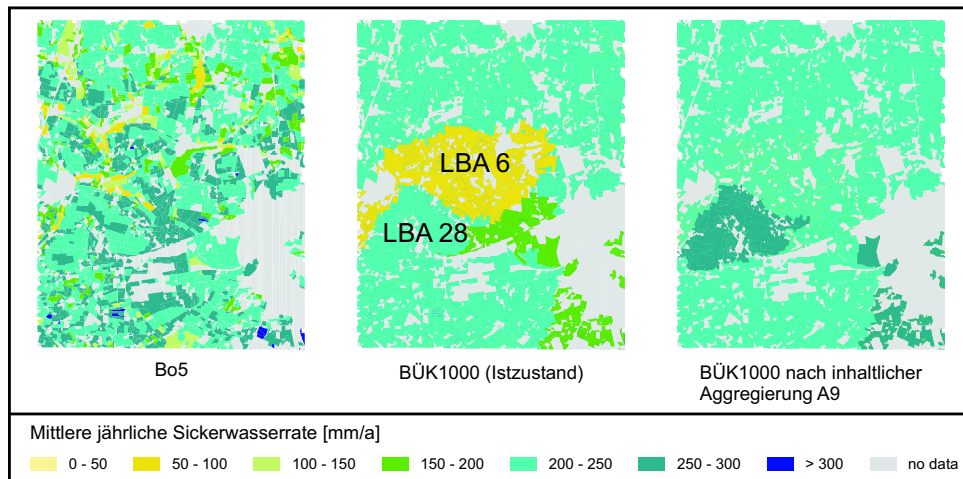


Abbildung 5.7: Einfluss der inhaltlichen Aggregation auf Karten der jährlichen Sickerwasserrate im Maßstab 1:1 Mio. im Vergleich zu Referenzdaten des Maßstabs 1:5.000, Ausschnitt aus Blatt Vechta

5.2.1.2 Bodenregion Bergland / Blatt Ebergötzen

In Ebergötzen (Bodenregion Bergland) zeigen sich trotz des anderen Naturraums und den anderen Kennwerten ähnliche Ergebnisse wie im Bereich der Geest. Zunächst wurde der bodenkundliche Kennwert K-Faktor der ABAG untersucht. (Tab. 5.3). Eine inhaltliche Aggregation verringert den Fehler einer Aussage zum K-Faktor der ABAG (in Abhängigkeit vom Ausgangswert) bis maximal 32%. In den Maßstäben 1:50.000 und 1:200.000 ist die Verbesserung der Aussage nur sehr gering. In den Maßstäben 1:25.000 und 1:1 Mio. lassen sich durch eine regionalspezifische Auswahl von Bodenprofilen deutliche Verbesserungen in der Aussagegüte erzielen. Diese vergleichsweise große Verbesserung hängt mit dem großen Ausgangsfehler eng zusammen. Die absoluten Werte oberhalb von 1:50.000 liegen alle im Bereich um 0,15 und damit auf sehr ähnlichem Niveau.

Das bedeutet, dass auch nach einer Aggregation die Aussage mit einem deutlichen Fehler

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A8	A9	A10	A11	Verbesserung [%]
WMQD	25.000	0,14	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10		0,10	32,5
[-]	50.000	0,13	0,14	0,14	-	0,14	0,13	0,13		0,13	0
	200.000	0,14	0,15			0,15	0,14	0,15		0,14	0
	1.000.000	0,19					0,18	0,15	0,15	0,18	20,3

Tabelle 5.3: Ergebnisse der inhaltliche Aggregation; Kennwert K-Faktor; Blatt Ebergötzen; **fett:** das jeweils beste Aggregationkriterium;; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

belegt ist. Auch im Bereich der Bodenregion Bergland zeigen sich ähnliche Effekte wie im Bereich Geest. Die repräsentative Auswahl an Profilen für das gesamte Blatt wird im Maßstabsbereich 1:50.000 erreicht und verändert sich dann nicht mehr wesentlich. Das Fehlermaß WMQD wird bei einer Aussage zur potenziellen Erosionsgefährdung (in Abhängigkeit vom jeweiligen Istzustand) durch eine inhaltliche Aggregation um 20% bis 45% verringert. Damit liegt das Verbesserungspotential beim Kennwert EfW höher als beim Kennwert K-Faktor. Auch hier ist

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A8	A9	A10	A11	Verbesserung [%]
	1:25.000	25,3	20,8	20,6	21	20,8	20,1	20,7		20,5	20,6
WMQD	1:50.000	29,4	17,9	17,9		18,4	18,4	18,5		18,2	39,1
[t/ha*a]	1:200.000	30,7	19,4			19,4	19,3	19,4		19,3	37,1
	1:1.000.000	35,8					22	22	19,9	22	44,4

Tabelle 5.4: Ergebnisse der inhaltlichen Aggregation für den Kennwert potentielle Erosionsgefährdung auf Blatt Ebergötzen; **fett:** das jeweils beste Aggregationkriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

die Verbesserung um so größer, je größer der Skalensprung ist (Tab. 5.4). Die Kriterien der Aggregation zeigen wie bei den bisherigen Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede auf das Ausmaß der Verbesserung.

Der Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) zeigt im Zuge einer inhaltlichen Aggregation nur im Zielmaßstab 1:25.000 eine deutliche Verbesserung. Alle anderen Maßstäbe werden nur sehr geringfügig verbessert. Zum Teil erhöht sich der Fehler einer Aussage durch die Wahl eines regionaltypischen Profils. Gründe für diesen Befund könnte die lückenhafte Datenbasis im Maßstab 1:5.000 vor allem im Bereich des Göttinger Waldes sein.

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A6	A9	A10	Verbesserung [%]
WMQD	25.000	74,2	49,9	47,2	47,1	47,3	48,2			36,6
[mm/a]	50.000	66,7	70,0	69,6		66,1	64,8	66,0		1,1
	200.000	61,8	70,8			69,8	70,2	68,6		-11,0
	1.000.000	75,3					83,3	77,6	77,6	-3,1

Tabelle 5.5: Ergebnisse der inhaltlichen Aggregation für den Kennwert nFKWe auf Blatt Ebergötzen; **fett:** das jeweils beste Aggregationkriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

5.2.2 Verbesserungspotential durch räumliche Aggregation

Nach der inhaltlichen Aggregation wurde überprüft, in welchem Maße die Aussagesicherheit von Bodenfunktionskarten durch alternative bodenkundliche Grundlagenkarten erhöht werden kann, die aus Kartiereinheiten des Maßstabs 1:5.000 nach verschiedenen Kriterien der Aggregation *unter Veränderung* ihrer Grenzverläufe (**räumliche Aggregation**) gewonnen wurden. Dieses Verfahren bedeutet für die BÜK50, BSK200 und BÜK1000 ein vollständig neues Kartendesign.

Da die übersetzten Bodenschätzungsdaten bereits als Konzeptbodenkarte für die Kartierung der BK25 dienten, wurde die räumliche Aggregation auf der Maßstabsebene 1:25.000 begonnen. Es kann angenommen werden, dass die im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme geleistete Arbeit eines Kartierers nicht wiederholt werden muss. Damit beginnt die Aggregation auf Basis der BK25-Geometrie. Referenz für die Berechnung des Fehlermaßes bleibt aber weiterhin die Bo5. Die Kriterien der getesteten Aggregationsvarianten sind identisch mit den in Tab. 4.2 auf Seite 54 aufgeführten Varianten. Durch Vergleich der Fehlermaße aller ausgewählten Varianten auf einer Maßstabsebene kann das jeweils bestgeeignete Aggregationskriterium identifiziert werden. Dessen zugehöriges Raummuster der bodenkundlichen Areale dient als Datengrundlage für die Aggregation zur nächsthöheren Maßstabsebene. Da Grenzverläufe der Kartiereinheiten verändert werden, müssen zur Ermittlung der Erosionsgefährdung im Zuge der räumlichen Aggregation auch Reliefparameter neu berechnet werden. Die Ergebnisse beider Aggregationsansätze sind daher in diesem Punkt untereinander nur bedingt vergleichbar.

5.2.2.1 Bodenregion Geest / Blatt Vechta

Eine räumliche Aggregation verringert den Fehler einer Aussage zur nFKWe zwischen etwa 4% und 20% (Tabelle 5.6). Im Vergleich mit der inhaltlichen Aggregation zeigt die räumliche Verbesserung keine (1:50.000 und 1:1 Mio.) bzw. leichte Verbesserung (1:200.000). Die stärkste Verbesserung zeigt der Maßstab 1:1 Mio. Auch bei einer räumlichen Aggregation spielt das Kriterium nur eine untergeordnete Rolle. Alle Zahlen bleiben grundlegend auf gleichem Niveau. Damit ist auch bei der räumlichen Aggregation das repräsentative Inventar an Bodentypen zusammen mit der entsprechenden Werteverteilung bereits im Bereich des Maßstabs 1:50.000 erreicht. Tabelle 5.7 fasst die Ergebnisse für den Kennwert jährliche Sickerwasserrate nach ei-

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	Verbesserung [%]
WMQD	50.000	44,4	41,3	42,5	42,2	41,3	42,2	41,2	41,3	41,1	45,8	41,0	45,6	41,1	18,2
[mm/a]	200.000	44,8		43,0	43,3		43,2		43,2		49,9		46,4		19,3
	1.000.000	60,9		49,1	50,9		49,1		49,1						29,9

Tabelle 5.6: Ergebnisse der räumlichen Aggregation für den Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) auf Blatt Vechta; **fett:** das jeweils beste Aggregationskriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

ner räumlichen Aggregation zusammen. Die Verbesserung liegt auch hier in der Größenordnung der inhaltlichen Aggregation, zum Teil noch leicht darunter. Die erzielbare Verbesserung

liegt zwischen knapp 25% und 39%. Auch hier spielt das Aggregierungskriterium eine eher untergeordnete Rolle.

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	Verbesserung [%]
WMQD	1:50.000	51	39	38	40	40	40	39	40	39	38	40	43	39	25,5
[mm/a]	1:200.000	60		40	40		40		41		39		41		35
	1:1.000.000	73		45	44		45		45						39,7

Tabelle 5.7: Ergebnisse der räumlichen Aggregierung für den Kennwert jährliche Sickerwasserrate auf Blatt Vechta; **fett:** das jeweils beste Aggregierungskriterium; Kürzel der Kriterien: siehe Tabelle 4.2 auf Seite 54

5.2.2.2 Bodenregion Bergland / Blatt Ebergötzen

Die Auswertung im Gebiet Ebergötzen beschränkt sich auf die Darstellung des Kennwertes potentielle Erosionsgefährdung (Tabelle 5.8). Auch bei den Aussagen zur Erosionsgefährdung bestätigen sich die bisherigen Befunde. Eine räumliche Aggregierung nach bodenkundlichen Kriterien verringert das Fehlermaß einer Aussage nur in Einzelfällen über die Werte einer inhaltlichen Aggregierung hinaus. Die Ergebnisse liegen in der gleichen Größenordnung.

	Maßstab	Ist	A1	A2	A3	A4	A7
WMQD	1:50.000	29,4	22,3	22,4	24,1	23,2	22,6
[t/ha*a]	1:200.000	30,7		22,4	24,8		22,4
	1:1.000.000	35,8		25,6			26,6

Tabelle 5.8: Ergebnisse der räumlichen Aggregierung für den Kennwert pot. Erosionsgefährdung; Blatt Ebergötzen, **fett** gedruckt: das jeweils beste Aggregierungskriterium

5.2.3 Nach Legendeneinheiten differenzierte Auswertung

Alle bisherigen dargestellten und diskutierten Zahlen summieren die Ergebnisse zu einem pauschalen Fehlermaß für das gesamte Blattgebiet, eine Fallunterscheidung nach Legendeneinheiten bringt demgegenüber ein differenzierteres Bild.

5.2.3.1 Bodenregion Geest / Blatt Vechta

Der Kennwert jährliche Sickerwasserrate in Vechta variiert auf der Ebene der BÜK1000 in den unterschiedlichen Leitbodenassoziationen beträchtlich. Im Bereich der Hohen Geest mit Zweisichtprofilen (Sandlöss über Geschiebelehm) und den südlichen Blattbereichen mit grundwasserbeeinflussten Böden aus fluviatilen Sanden werden durch eine regionalspezifische Auswahl von Profilen zur alternativen Flächenbeschreibung nur geringe Verbesserungen erzielt. In den beiden Moorbereichen (LBA 6 und 7) dagegen sind sehr große Fehler im Istzustand zu verzeichnen, die durch eine Aggregation und damit Auswahl regionalspezifischer Profile deutlich verringert werden können. Eine klare Entscheidung zugunsten der inhaltlichen oder räumlichen Aggregation ist nicht möglich. Die jeweils beste Aggregation ist je nach LBA unterschiedlich (Abb. 5.8 und 5.9).

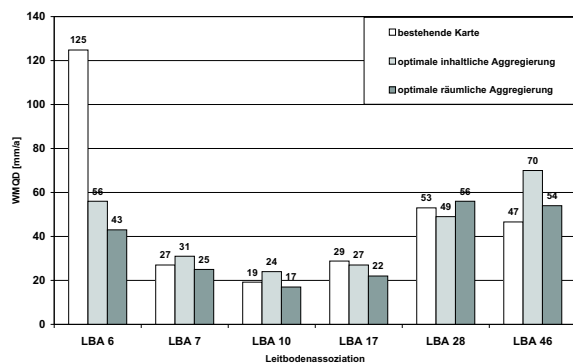


Abbildung 5.8: Vergleich zwischen Istzustand, inhaltlicher und räumlicher Aggregation; differenziert nach LBA; Kennwert: nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums auf Blatt Vechta

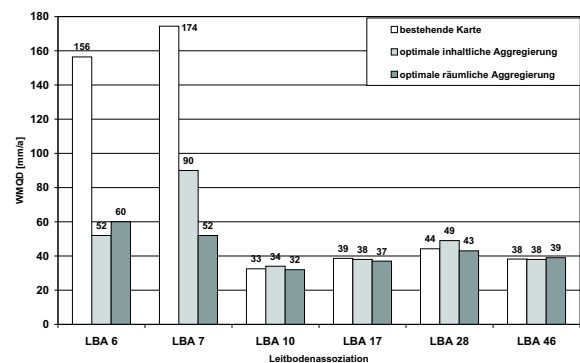


Abbildung 5.9: Vergleich zwischen Istzustand, inhaltlicher und räumlicher Aggregation, differenziert nach LBA; Kennwert: jährliche Sickerwasserrate auf Blatt Vechta

5.2.3.2 Bodenregion Bergland / Blatt Ebergötzen

Bodenfunktionskarten der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser auf Basis der BÜK1000 in Ebergötzen zeigen ein ebenso differenziertes Bild. Das Fehlermaß im Istzustand schwankt innerhalb der Legendeneinheiten zwischen ca. 28 und 68 t/ha*a (gesamtes Blatt: 36 t/ha*a) (Abbildung 5.11). Durch Ausweisung regionalspezifischer Repräsentativprofile nach inhaltlicher Aggregation großmaßstäbiger Kartiereinheiten kann der mittlere Fehler im Bereich flächgründiger Kalksteinverwitterungsböden (LBA 49) um den Faktor 3 vermindert werden. Bodengesellschaften im Löss (LBA 61) zeigen dagegen fast keine Verbesserungsmöglichkeiten. Insgesamt muss allerdings bei dieser Betrachtung immer beachtet werden, dass die jeweilige Auswahl der am besten geeigneten Aggregierungsvariante auf Fehlermaßen für das gesamte Blatt getroffen wurde. Eine individuelle und differenzierte Aggregation für jede LBA könnte die genannten

Befunde noch verändern. Weiterhin ist gerade im Maßstab 1:1 Mio. die Grenze des Ausschnittes zu beachten. Weitere Aussagen müssten in größeren Gebieten durchgeführt werden, um die Aussagen zu bestätigen.

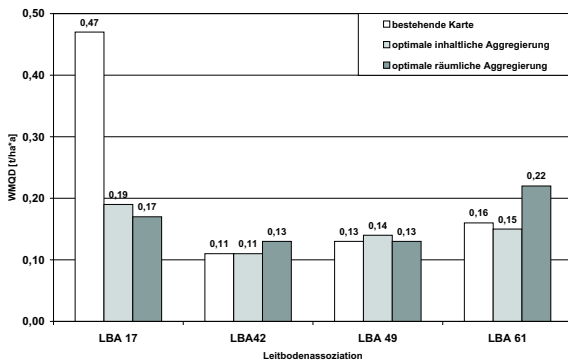


Abbildung 5.10: Vergleich zwischen Istzustand, inhaltlicher und räumlicher Aggregation; differenziert nach LBA; Kennwert: K-Faktor; Blatt Ebergötzen

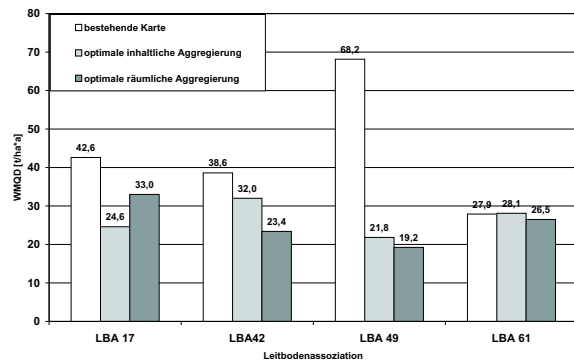


Abbildung 5.11: Vergleich zwischen Istzustand, inhaltlicher und räumlicher Aggregation; differenziert nach LBA; Kennwert: potentielle Erosionsgefährdung; Blatt Ebergötzen

5.2.4 Regelbasierte Aggregation - Fazit

Die Ergebnisse der regelbasierten Aggregation nach inhaltlichen und räumlichen Gesichtspunkten lassen sich folgendermaßen interpretieren:

- Die Aussagegenauigkeit einer Bodenfunktionskarte auf der Maßstabsebene 1:25.000 lässt sich durch alternative Profilauswahl aus bodenkundlichen Detailinformationen nur unwesentlich verbessern. Dies begründet sich aus dem hohen Anteil der Bodendaten im Maßstab 1:5.000 bei der Erarbeitung einer Konzeptkarte für die Kartierung der BK25.
- Auswertungskarten der Maßstäbe 1:200.000 und 1:1.000.000 lassen sich durch alternative Profilauswahl oder räumliche Aggregation bodenkundlicher Kartiereinheiten der nächst tieferen Maßstabsebene noch deutlich verbessern und sind im Falle bestmöglicher Nutzung bodenkundlicher Detailinformationen in ihrer Aussagegenauigkeit annähernd gleichwertig.
- Das Kriterium der Aggregation ist in beiden Fällen von untergeordneter Bedeutung. Bei einem mittleren Zielmaßstab (bis 1:50.000) führen bodentypologische Kriterien zu den relativ besten Ergebnissen. Bei kleineren Zielmaßstäben sind Kriterien der Substratsystematik zu favorisieren.
- Das wesentlich aufwändigere Verfahren der Schaffung alternativer bodenkundlicher Grundlagenkarten der Maßstäbe 1:200.000 und 1:1.000.000 durch räumliche Aggregation mittelmaßstäbiger Kartiereinheiten vermag die Aussagegenauigkeit der entsprechenden Auswertungskarten gegenüber dem ersten Verfahren der inhaltlichen Aggregation nur unwesentlich zu erhöhen.

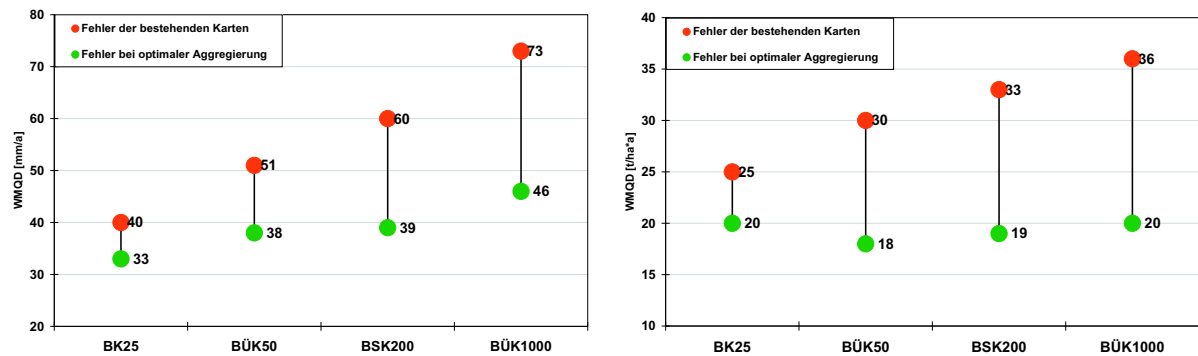


Abbildung 5.12: Bestmögliche Verbesserung von Bodenfunktionskarten durch inhaltliche und räumliche Aggregation; **links** am Beispiel der jährlichen Sickerwasserrate auf Blatt Vechta; **rechts** am Beispiel der pot. Erosionsgefährdung auf Blatt Ebergötzen

Abbildung 5.12 fasst die gesamten Ergebnisse der Aggregation großmaßstäbiger Bodenkarten zusammen. Der aktuelle Zustand wird mit der jeweils besten Aggregierungsvariante in Bezug gesetzt. Der Vergleich zwischen den bestehenden und bestmöglichen Karten lässt sich wie folgt interpretieren:

- Beim Kennwert **jährliche Sickerwasserrate** nimmt die mögliche Verbesserung mit kleinem Maßstab zu. Eine Bodenkarte im Maßstab 1:25.000 lässt sich nur geringfügig durch eine Aggregation verbessern. Der Fehler einer Aussage auf Basis von Karten in den Maßstäben BK50 und BSK200 liegen mit knapp 40 mm nach der Aggregation auf ähnlichem Niveau.
- Beim Kennwert **potentielle Erosionsgefährdung** liegt der Fehler einer Aussage nach einer regelhaften Aggregation unabhängig vom Maßstab auf einem einheitlichen Niveau von ca. 20 t/ha*a. Grund für diesen Befund ist vermutlich der relativ geringe Anteil der bodenkundlichen Parameter am gesamten Kennwert (vergl. Seite 80). Damit resultiert der Fehler fast allein aus der unterschiedlichen Flächengröße und der damit verbundenen unterschiedlichen Ableitung des Reliefparameters.
- Für beide Kennwerte lässt sich festhalten, dass auch eine Aggregation den Aussagefehler einer Karte nicht auf ein akzeptables Niveau senken kann. Ein mittlerer Fehler von ca. 40 mm bei der jährlichen Sickerwasserrate oder von ca. 20 t/ha*a ist so groß, dass er in der Karte gekennzeichnet werden müsste. Die Größenordnung des Fehlers hat zu große Auswirkungen auf eine Modellierung, als das dieser Fehler als "Restfehler" ignoriert werden könnte.
- Für beide Kennwerte lässt sich weiterhin feststellen, dass eine Aggregation und damit regionalspezifische Profilauswahl in den Karten mittlerer und kleiner Maßstäbe den Fehler unabhängig vom Ausgangsmaßstab auf ein ähnliches Niveau senkt. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass der Kartenausschnitt einer TK25 durch alle Maßstäbe von 1:50.000 bis zu 1:1Mio. ein gleichartiges Inventar an verschiedenen Bodentypen beinhaltet. Die Vielfalt und damit auch Repräsentanz, wie sie in der BÜK50 dargestellt wird, ist auch im Maßstab 1:1 Mio. vorhanden, wird hier nur mit veränderten Flächenanteilen an-

gegeben. Erst eine Veränderung der Ausschnittsgröße würde die Werte der erreichbaren Fehlerreduzierung für die unterschiedlichen Maßstäbe verändern.

Die Ergebnisse gestatten weitere Schlussfolgerungen allgemeiner Bedeutung:

- Der Fehler einer bundesweiten Bodenfunktionskarte des Maßstabs 1:1.000.000 ist im Fall der jährlichen Sickerwasserrate zu ca. 60%, im Fall der potenziellen Wassererosionsgefährdung zu ca. 55% durch die räumliche Variabilität der bodenkundlichen Verhältnisse bedingt und damit maßstabsimmanent und nicht eliminierbar. Der verbleibende Fehleranteil ist durch den Modus der Kartenerstellung bedingt und damit durch regelbasierte Aggregation großmaßstäbiger Grundlagenkarten reduzierbar.
- Im Vergleich zwischen inhaltlicher und räumlicher Aggregation ist keine eindeutige Rangfolge zu erkennen. Damit ist der inhaltlichen Aggregation aus Gründen des Aufwandes der Vorrang bei einer Überarbeitung der Karten zu geben. Der Ersatz der Repräsentativprofile durch regionalspezifische Informationen zeigt ähnlich gute Werte wie die sehr viel aufwendigere Neugestaltung der Karten mit komplett neuem Entwurf des Grenzlinienverlaufs der Geometrien.
- Für die BÜK1000 als wichtigstem Element der Flächendatenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR) bedeutet dies, dass eine Verbesserung der Inhalte dieses Kartenwerks mittelfristig allein durch eine regionalspezifische Überprüfung der Repräsentativprofile der Legendeneinheiten realisierbar erscheint.

5.3 Auswirkung verschiedener Regionalisierungen von Relief-, Klima- und Landnutzungsdaten

Die bisherigen Betrachtungen haben sich vor allem dem Vergleich von Kennwerten über die verschiedenen Maßstäbe hinweg gewidmet. Bei der Ermittlung der beiden Kennwerte "jährliche Sickerwasserrate" und "potentielle Erosionsgefährdung" sind aber noch weitere nichtbodenkundliche Parameter beteiligt, die eine Untersuchung nach deren Anteil am Gesamtergebnis notwendig machen. Daraus lassen sich Empfehlungen über den unterschiedlichen Aufwand geben, wenn z.B. im Rahmen einer Datenaufbereitung verschiedene Informationsqualitäten vorliegen und begrenzte Mittel die Beschränkung auf den sensibelsten und damit wichtigsten Parameter notwendig machen. Bereits durchgeführte Arbeiten zur Sensitivität der verwendeten Modelle bei der Erosionsgefährdung (AUERSWALD 1987) und bei der Sickerwasserrate (KUHNER 1994) lassen einen großen Einfluss des Reliefs (Erosionsgefährdung) und des Klimas (Sickerwasserrate) erwarten.

Regionalisierung der Parameter zur Berechnung der jährlichen Grundwasserneubildung		
Boden	Klima (Niederschlag)	
B1 Profilinformationen der bestehenden BÜK1000	N1 Verdunstung: pauschal nach HAUDE; Niederschlag: Pauschalwert für das gesamte Blattgebiet nach nächstgelegener Klimastation (Diepholz)	
B2 Profilinformationen der bestmöglichen inhaltlichen Aggregation	N2 Verdunstung: pauschal nach HAUDE; Niederschlag: Daten im 250m-Raster	
B3 Profilinformationen der BÜK1000, differenziert in die Nutzungsarten Acker, Grünland und Forst	N3 Verdunstung: pauschal nach HAUDE; Niederschlag: Daten im 1km-Raster	
Regionalisierung der Parameter zur Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung		
Boden (K-Faktor)	Klima (R-Faktor)	Relief (S-Faktor)
K1 Profilinformationen der bestehenden BÜK1000 ohne Differenzierung	R1 Pauschalwert für das gesamte Blattgebiet nach nächstgelegener Klimastation (Göttingen)	S0 Geschätzte Neigungsstufe je Legendeneinheit der bestehenden BÜK1000
K2 Profilinformationen der bestmöglichen inhaltlichen Aggregation	R2 R-Faktor berechnet aus Niederschlagsdaten im 50m-Raster mit regionalspezifischer Regressionsgleichung	S1 Höhendaten im 50m-Raster, flächengewichteter Mittelwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
K3 Profilinformationen der BÜK1000, differenziert in die Nutzungsarten Acker und Forst	R3 R-Faktor berechnet aus Niederschlagsdaten im 250m-Raster mit regionalspezifischer Regressionsgleichung	S2 Höhendaten im 100m-Raster, flächengewichteter Mittelwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
	R4 R-Faktor berechnet aus Niederschlagsdaten im 250m-Raster mit bundesweiter Regressionsgleichung	S3 Höhendaten im 250m-Raster, flächengewichteter Mittelwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
	R5 R-Faktor berechnet aus Niederschlagsdaten im 1km-Raster mit regionalspezifischer Regressionsgleichung	S4 Höhendaten im 50m-Raster, Modalwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
	R6 R-Faktor berechnet aus Niederschlagsdaten im 1km-Raster mit bundesweiter Regressionsgleichung	S5 Höhendaten im 100m-Raster, Modalwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
	R7 R-Faktor aus der Isoerodentenkarte von (SAUERBORN 1994)	S6 Höhendaten im 250m-Raster, Modalwert der Neigungsstufenverteilung je Polygon der dreifach nutzungsdifferenzierten BÜK1000
		S7 Höhendaten im 50m-Raster; wie S2, jedoch S-Faktor mit digitalem Reliefmodell des NIBIS ermittelt

Tabelle 5.9: Übersicht der Regionalisierungsvarianten zur Bemessung des Fehleranteils der Boden-, Klima-, Nutzungs- und Reliefparameter

Nach der Bestimmung der bestmöglichen Aggregation bodenkundlicher Flächendaten wurden in einem weiteren Auswertungsschritt die nichtbodenkundlichen Eingangsparameter der Modelle betrachtet, um den Einfluss der Regionalisierung von Relief-, Klima- und Landnut-

zungsinformationen auf die Aussagesicherheit bodenkundlicher Funktionskarten zu quantifizieren. Dafür wurde auch eine Änderung der großmaßstäbigen Vergleichsdaten im Maßstab 1:5.000 nötig. Beide Kennwerte wurden mit regionalisierten Klimadaten höchstmöglicher räumlicher Auflösung neu berechnet. Deshalb sind die folgenden Ergebnisse nicht direkt mit den Ergebnissen der inhaltlichen und räumlichen Aggregation vergleichbar. Tabelle 5.9 zeigt die betrachteten Regionalisierungsvarianten im Überblick.

Die Variation der Eingangsparameter bei der Berechnung der jährlichen Sickerwasserrate im

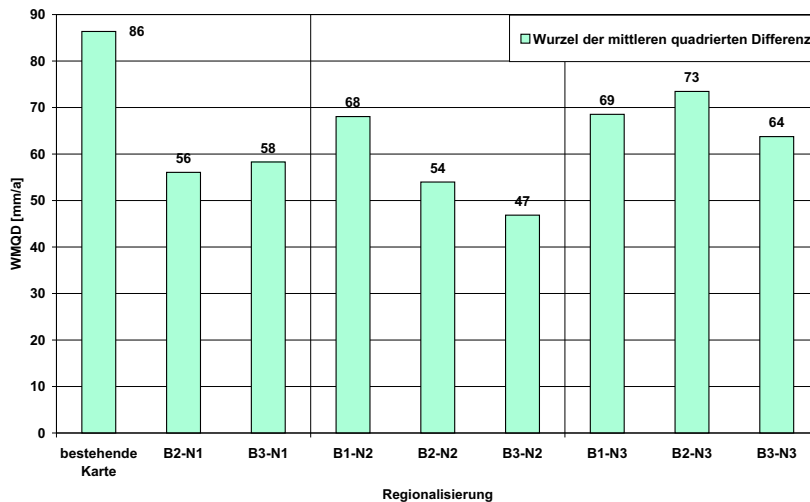


Abbildung 5.13: Ergebnisse der Regionalisierung nicht-bodenkundlicher Parameter im Maßstab 1:1 Mio.; Kennwert jährliche Sickerwasserrate auf Blatt Vechta; die Kürzel sind in Tabelle 5.9 auf Seite 79 erläutert

Gebiet Vechta zeigen die in Abbildung 5.13 zusammengefassten Ergebnisse. Erwartungsgemäß hat die "ungenaueste" Information pauschaler Niederschlagsdaten und der bestehenden bodenkundlichen Information den höchsten Fehler. Auf der anderen Seite wird durch eine Auswahl regionalspezifischer Profile im Rahmen einer Überarbeitung und Differenzierung der BÜK1000 nach Nutzungskriterien zusammen mit einer räumlich stark differenzierten Klimainformation in Form von hochaufgelösten Niederschlagsdaten der Fehler um den Faktor 2 gegenüber dem schlechtesten Ergebnis verbessert. Dahinter tritt auch das beste aggregierte Profil zurück. Ein direkter Vergleich mit den vorhergehenden dargestellten Ergebnissen ist durch die Veränderung der Referenzdaten nicht möglich.

Tabelle 5.10 fasst die sehr viel komplexeren Detailergebnisse der Fehlermaße für die Berechnung des Kennwerts "potentielle Erosionsgefährdung" im Blatt Ebergötzen zusammen. Eine grafische Umsetzung der Befunde ist aufgrund der hohen Datenmenge nicht sinnvoll. In Ebergötzen (Kennwert: EfW) kann der Gesamtfehler allein durch eine Nutzungsdifferenzierung der Bodenkarte mit Ausweisung nutzungsspezifischer Repräsentativprofile gegenüber der bestehenden BÜK1000 (Ist-Zustand) nur um ca. 3% bis 4% reduziert werden. Die räumliche Auflösung der Niederschlagsdaten ist nur von untergeordneter Bedeutung. Die Verwendung einer regionalspezifischen Regressionsgleichung zur Ableitung des R-Faktors zeigt gegenüber einer bundesweiten Regressionsgleichung eine deutliche Verbesserung. Der Gesamtfehler kann im Fall der günstigsten Reliefdatenregionalisierung (Modalwert der Neigungsstufenverteilung aus Höhendaten im 50m-Raster) weiter auf ca. 55% bis 60 % des Ausgangswertes verbessert werden.

Zusammenfassend sollen die Anteile der einzelnen Parameter am Gesamtfehler dargestellt

EfW50	34,99							
K1	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
R1	34,90	24,61	24,25	25,01	29,49	29,48	32,92	33,58
R2	48,78	30,03	25,81	24,60	27,58	27,47	31,67	32,47
R3	48,68	29,94	25,77	24,60	27,61	27,50	31,69	32,49
R4	61,13	35,99	28,78	25,71	26,40	26,09	30,64	31,67
R5	43,80	26,39	24,15	24,09	28,17	28,10	32,00	32,91
K2	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
R1	49,58	36,77	29,63	26,63	27,08	26,66	31,13	31,93
R2	72,26	54,19	41,13	34,01	26,96	25,45	29,34	30,33
R3	71,89	53,86	40,90	33,85	26,94	25,45	29,37	30,35
R4	91,17	67,74	50,91	41,15	28,03	25,45	27,98	29,23
R5	64,13	44,46	34,27	29,18	26,25	25,41	29,91	31,00
K3	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
R1	35,93	24,28	25,18	26,49	30,92	29,90	31,91	33,36
R2	46,60	24,92	24,22	24,85	29,47	28,60	30,76	32,63
R3	46,58	24,92	24,22	24,87	29,49	28,60	30,77	32,64
R4	59,07	27,42	24,59	24,09	28,29	27,50	29,69	32,00
R5	46,03	24,52	24,32	25,21	29,80	28,69	30,94	32,70

Tabelle 5.10: Ergebnisse der Regionalisierung nicht-bodenkundlicher Parameter im Maßstab 1:1 Mio. (Fehlermaß WMQD) beim Kennwert pot. Erosionsgefährdung auf Blatt Ebergötzen; **fett:** die jeweils beste Variante; die Kürzel sind in Tabelle 5.9 auf Seite 79 erläutert

werden. Hierfür wurde die Spannweite des Fehlers, die durch den einzelnen Parameter bedingt wird, in ein Verhältnis zur gesamten Spannweite gesetzt (Abb. 5.14). Die Werte addieren sich aufgrund von komplexeren Wechselbeziehungen nicht zu 100 Prozent. Beim Kennwert jährliche Sickerwasserrate spielt die Beschreibung der bodenkundlichen Legendeneinheiten mit nutzungsspezifischen Repräsentativprofilen eine geringere Rolle als die Klimaregionalisierung. Damit bestätigt sich der erwartete größere Einfluss des Klimas auf den Kennwert jährliche Sickerwasserrate. Ebenso spielt bei der Ableitung des Kennwerts potentielle Erosionsgefährdung die Ableitung der Reliefparameter eine deutlich größere Rolle als die Klima- und Bodenparameter.

Einfluss nichtbodenkundlicher Parameter - Fazit

Zusammenfassend lässt sich der Einfluss der nichtbodenkundlichen Parameter auf die beiden Kennwerte jährliche Sickerwasserrate und potentielle Erosionsgefährdung folgendermaßen darstellen:

- Die bodenkundlichen Informationen haben bei der Berechnung beider Kennwerte nur geringe Bedeutung im Vergleich mit den anderen Parametern.

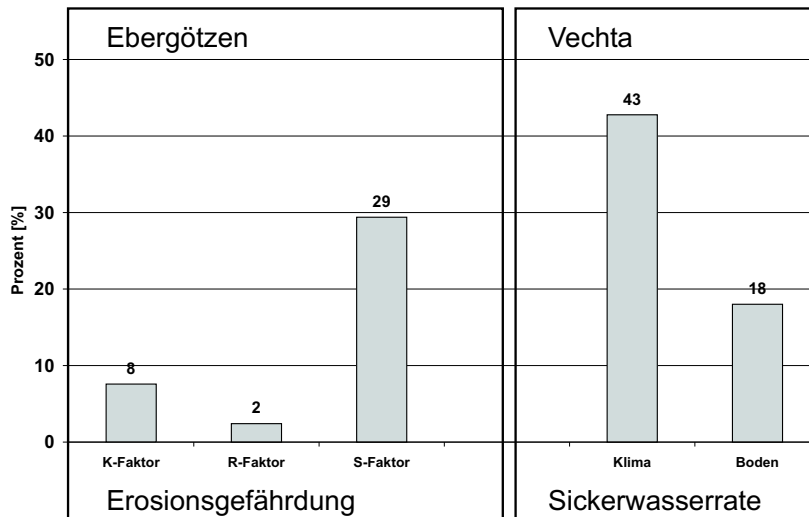


Abbildung 5.14: Relativer Anteil der Art der Regionalisierung von Boden-, Klima- und Reliefinformationen am Gesamtfehler der jährlichen Sickerwasserrate in Vechta bzw. der potenziellen Erosionsgefährdung in Ebergötzen

- Insgesamt wird die Aussagegenauigkeit einer Karte der potenziellen Erosionsgefährdung vor allem durch die Regionalisierung von Reliefparametern gesteuert, die Art der Nutzungsdifferenzierung der bodenkundlichen Grundlagenkarte sowie die Klimaregionalisierung treten dahinter zurück.
- Die Aussagegenauigkeit einer Karte der jährlichen Sickerwasserrate wird vor allem durch die Regionalisierung der Klimaparameter bestimmt. Der Einfluss der bodenkundlichen Informationen ist sogar noch geringer als bei Kennwerten der Erosionsgefährdung.
- Eine differenzierte Regionalisierung von klimatischen und Reliefparametern verringert den Fehler nicht stärker als bei einer Aggregation allein bodenkundlicher Parameter.
- Liegen verschiedene Qualitäten von Informationen vor und ist eine Beschränkung in Folge von Zeit- oder Ressourcenmangel notwendig, so sind die Reliefparameter im Falle der Erosionsgefährdung und die klimatischen Parameter im Falle der Sickerwasserrate mit höherer Wichtigkeit zu betrachten und ein entsprechend höherer Aufwand zu deren Regionalisierung zu betreiben.

6 Beschreibung der Heterogenität bodenkundlicher Grundlagenkarten

6.1 Grundlagen zu den Auswertungen in den beiden Testgebieten

In den beiden Testgebieten Ebergötzen und Vechta werden insgesamt 12 verschiedene Leitbodenassoziationen (LBA) erfasst. Von diesen sind 8 in die Auswertung eingeflossen. Tabelle 6.1 fasst die ausgewerteten LBA mit Kurzbeschreibung, Flächengröße und Bodengesellschaft zusammen. Die Bodengesellschaften sind ein übergeordnetes Gruppierungskriterium, das die Textlegende der BÜK 1000 differenziert. Die Art der Gruppierung ergibt sich aus der Lage der einzelnen LBA (Topologie) und dem Substrat. Diese Gruppierung der Leitbodenassoziationen in der Textlegende ist nicht identisch mit den Bodenregionen der BÜK1000. Die Bodenregionen sind das oberste Gliederungs-niveau der Bodenkartierung innerhalb der Bundesrepublik und unterscheiden sich durch die Orographie und Lithogenese. Weitere Details zu diesen beiden Gliederungen in Bodengesellschaften und -regionen finden sich im Erläuterungsheft zur BÜK1000 (HARTWICH et al. 1995a).

Einen Eindruck der räumlichen Verteilung und Lage geben die Abbildungen 6.1 und 6.2. In beiden Gebieten ist jeweils eine LBA doppelt vertreten (LBA 28 in Vechta und LBA 42 in Ebergötzen) und die LBA 17 kommt in beiden Testgebieten vor. Die beiden Bereiche der LBA 17 befinden sich etwa 180 km voneinander entfernt. Einige LBA sind nicht in die Auswertung ein-

LBA	Textbeschreibung	Fläche [ha]	naturräumliche Zugehörigkeit
LBA 6	Niedermoorböden	1225	Böden der Küstenregion und Moore
LBA 7	Hochmoorböden	387	Böden der Küstenregion und Moore
LBA 10	kalkhaltige Grundwasserböden	856	Böden der breiten Flusstäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen
LBA 28 P3	Sandböden mit stauenden Unterboden; Geschiebedecksand über Saale-Geschiebelehm	4692	Böden des wellig-hügeligen Flachlandes und der Hügelländer
LBA 28 P6	- " -	489	Böden des wellig-hügeligen Flachlandes und der Hügelländer
LBA 46	Schluffböden aus Sandlöss	2310	Böden der Lößgebiete
LBA 42 P2	Schluffböden aus Löss	2371	Böden der Lößgebiete
LBA 42 P8	- " -	448	Böden der Lößgebiete
LBA 61	Braunerden aus Verwitterungsmaterial basenarmer Sandsteine	7623	Böden der Berg- und Hügelländer und Mittelgebirge aus Festgesteinen, deren Verwitterungsmaterial und Umlagerungsdecken
LBA 17 E	podsolierte Sandböden	411	Böden der breiten Flusstäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen
LBA 17 V	- " -	1041	Böden der breiten Flusstäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen

Tabelle 6.1: Untersuchte Leitbodenassoziationen in den Testgebieten, Kurzbeschreibung, Flächengrößen und Zugehörigkeit zu Bodengesellschaften

geflossen. Dies begründet sich in erster Linie aus der Größe und Lage der Fläche. Einige LBA werden nur knapp im Blattgebiet erfasst (z.B. Teilbereich der LBA6 im äußersten Osten von

Blatt Vechta), so daß hier eine Auswertung mit dem Ziel allgemein gültiger Aussagen aufgrund der geringen Anzahl von Flächen nicht sinnvoll ist. Weiterhin ist die Datenlage im Maßstab 1:5000 aufgrund von Siedlungen in einigen Bereichen nicht ausreichend gewesen. So ist zum Beispiel die Fläche der LBA33 auf Blatt Vechta fast deckungsgleich mit dem Stadtgebiet Vechta.

Es ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Betrachtung. Möglich sind:

- allgemeiner Vergleich: Welche Maße sind wo anzutreffen? Wie groß ist die Spannweite der einzelnen Maße?
- Vergleich der Werte mit gleicher Legendenkennzeichnung: Sind in den gleich bezeichneten LBA auch gleiche Heterogenitätsmaße zu finden? Wird die Legendenkennzeichnung der BÜK1000 durch die Information der Heterogenitätsmaße unterstützt oder verändert?
- Vergleich der LBA nach ihrer naturräumlichen Zugehörigkeit: Lassen sich mit Hilfe der Heterogenitätsmaße Gruppen von LBA ausweisen, die sich in der Gruppierung nach Bodengesellschaften widerspiegeln?

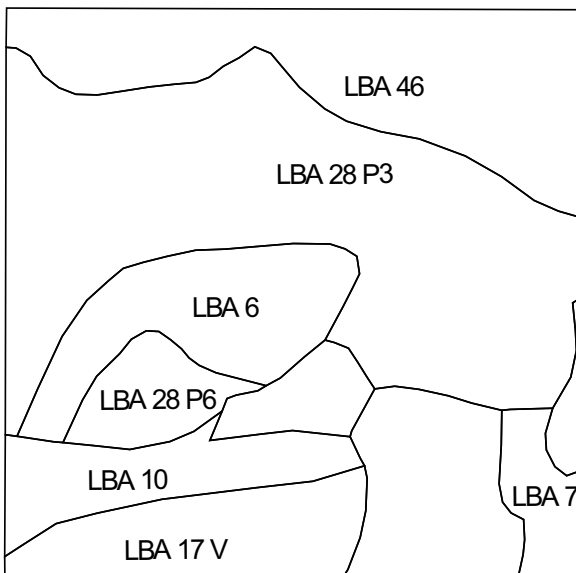


Abbildung 6.1: Verbreitung der untersuchten Leitbodenassoziationen auf Blatt Vechta

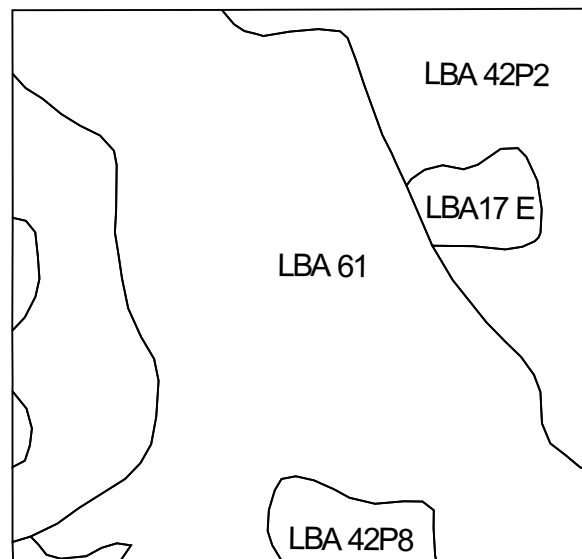


Abbildung 6.2: Verbreitung der untersuchten Leitbodenassoziationen auf Blatt Ebergötzen

Aufgrund der großen Menge der Daten wird an einzelnen Stellen eine Auswahl getroffen, um die wesentlichen Eigenschaften darzustellen. Alle tabellierten Werte der Maße werden im Anhang (vergl. Seite 160ff.) vollständig dargestellt.

Als Datengrundlage für den ersten Auswertungsschritt dienen die Informationen des Maßstabs 1:5000 (Bo5). Für die Auswertung der Diversitätsmaße und des Gestaltindizes werden hier ersatzweise die Geometrien der BK25 ausgewertet. Der geometrische Bezug der Geometrien der Bo5 auf historische oder rezente Schlaggrenzen ist für eine aussagekräftige Auswertung nicht zweckmäßig.

6.2 Ausprägung verschiedener Heterogenitätsmaße auf Basis der Bo5 und BK25

6.2.1 Kontrastmaße

Als erster Kontrastindex wurde die Information nach Übereinstimmung zwischen den Informationen der BÜK1000 und der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage betrachtet. Die taxonomischen Kontrastwerte reichen von keiner Übereinstimmung (kalkhaltige Grundwasserböden; LBA 10) bis zu einer Übereinstimmung von ca. 55% (Schluffböden aus Löss, LBA 42). Die Untersuchung auf Übereinstimmung in Haupt- und Subtyp zeigen nur im Bereich der podsolierten Sandböden (LBA 17 in Vechta) eine geringe Übereinstimmung, in allen anderen LBA sind keine Gemeinsamkeiten zwischen der Information der BÜK1000 und der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage zu erkennen. Die Aussagen zu der Heterogenität innerhalb der LBA ausgedrückt durch den Flächenanteil des dominanten Haupttyps und der Zahl der Hauptbodentypen zeigt zum Teil abweichende Ergebnisse. In den untersuchten LBA im Gebiet Vechta liegt der Flächenanteil des dominierenden Haupttyps zwischen 30 und 75 %. Die Zahlen spiegeln verschiedenen Sachverhalte wider. In den "moorigen" LBA (Nr. 6 und 7) ist ein anderer Haupttyp dominant, als es die kleinmaßstäbige Karte anzeigt. Zusammen mit der Anzahl von 8 verschiedenen Haupttypen und der "Dominanz" eines Typen mit ca. 30% Fläche zeigt sich hier eine hohe Heterogenität der Legendeneinheit. Die hohe Dominanz innerhalb des Polygon 6 der LBA 28 zeigt die unterschiedliche Bezeichnung der Bodentypen in den verschiedenen Maßstäben. Der Maßstab 1:5000 zeigt hier große Anteile von Eschböden, die in der kleinen Maßstäben nicht mehr vorkommen. Im Bereich Ebergötzen finde man deutlich geringere Heterogenitäten. Vor allem im Bereich der beiden Gebiete der LBA 42 zeigt sich ein großer Flächenanteil des dominierenden Haupttyps (ca. 50 %) der auch identisch ist mit dem Legendeneintrag der BÜK1000. Allerdings ist die Zahl der verschiedenen Bodentypen auch hier groß.

Übereinstimmung in den Klassen verschiedener Kennwerte zeigen ein breites Spektrum von keinerlei Übereinstimmung bis hin zu fast vollständig gleichen Klassenwerten (Tabelle 6.2). Die Bereiche in Vechta zeigen geringere Kontraste, und die Lössbereiche in Ebergötzen (LBA 42) zeigen vergleichsweise hohe Kontraste, die aufgrund des Substrates nicht erwartet wurden.

Der Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975) gibt eine ähnliche Information wie der Index "Übereinstimmung in...". Flächen mit großen Übereinstimmungen haben gleichzeitig geringe Kontraste und umgekehrt. Der Indexwert nach (AMOS und WHITESIDE 1975) ist bei der Taxonomie sehr hoch, der geringste Wert liegt bei ca. 180 (Schluffböden aus Löss, LBA 42) und erreicht das Maximum von 300 in den Bereichen der kalkhaltigen Grundwasserböden (LBA 10). Trotz der zum Teil deutlichen Unterschiede im taxonomischen Bereich sind die Kontraste der Kennwerte bei diesem Index sehr gering. In den verschiedenen Flächen gleichen Legendeneinhalts sind die Maße zum Teil sehr ähnlich (LBA 42), in einigen Fällen liegen sie aber auch deutlich auseinander (LBA 17).

Allgemeine Erkenntnisse

Kontrastmaße auf Basis der Bo5 lassen an dieser Stelle trotz der geringen Datendichte einige erste Schlüsse zu. Die ausgewerteten Kontrastmaße machen inhaltlich ähnliche Aussagen, so dass eine Auswahl und Reduktion möglich ist. Eine deutliche Unterscheidung von Legen-

deneinheiten oder Naturräumen mit unterschiedlicher Heterogenität lassen sich (noch) nicht erkennen. Ein Zusammenhang zwischen taxonomischer Heterogenität und der Heterogenität bei den Kennwerten ist ebenfalls nicht zu erkennen. Das Maß Flächenanteil dominanter Haupttyp zeigt ein breites Spektrum der Werte zwischen 20 und 75% Flächenanteil. Die Anzahl der unterschiedlichen Bodentypen liegt auf durchgehend hohem Niveau.

Bei dem Vergleich zwischen zwei räumlich getrennten Gebieten einer LBA (LBA 17) sind deutliche Unterschiede erkennbar, die Werte liegen zum Teil auf gegensätzlichen Seiten des Gesamtspektrums (z.B. Übereinstimmung der nFKWe-Klasse). Diese Aussage muss nach Untersuchung der anderen Maßstäbe nochmals geprüft werden.

6.2.2 Statistische Kennwerte

Die statistische Auswertung des Kennwertes nFKWe ist in Abbildung 6.3 auszugsweise dargestellt. Deutlich sind die unterschiedlichen Werte in Abhängigkeit vom Charakter der Legeneinheit sichtbar. So werden die Moorbereiche (LBA 6 und 7) mit niedrigeren Mittelwerten angegeben als die schluffreicheren Bereiche der LBA 42. Böden der Niederungen (LBA 10) und podsolierten Sandböden (LBA 17) in Vechta haben geringe Mittelwerte in Verbindung mit geringer Standardabweichung, was auf eine einheitliche Werteverteilung schließen lässt. Interessant sind die Vergleiche zwischen verschiedenen Bereichen gleicher Ausprägung. Die beiden Flächen der Böden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm (LBA 28P3 und LBA 28P6) in Blatt Vechta sowie der Schluffböden aus Löss (LBA 42P2 und LBA 42P8) in Ebergötzen haben sowohl bei den Mittelwerten als auch bei der Standardabweichung sehr ähnliche Kennwerte. Demgegenüber ist die Werteverteilung bei den beiden Flächen der podsolierten Sandböden (LBA 17) bei Mittelwert und Standardabweichung deutlich unterschiedlich. Die statistischen Werte des K-Faktor zeigen ebenfalls ein breites Spektrum der untersuchten LBA in Abhängigkeit von der Inhaltsbeschreibung. Die LBA der Lößgebiete (LBA 42 und 46) zeigen hohe mittlere K-Faktoren mit breiten Standardabweichungen, was auf die schluffreichen Böden zurückzuführen ist. Vor allem im Bereich Vechta gibt es Flächen, die ein sehr enges Spektrum beim Kennwert K-Faktor aufweisen (LBA 7 und 10). Die Standardabweichung des

	LBA6	LBA7	LBA10	LBA28 P3	LBA28 P6	LBA46	LBA42 P2	LBA42 P8	LBA61	LBA 17E	LBA 17V
gewichteter Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975)											
Taxonomie [0-300]	266,5	270,7	300,0	274,7	285,5	297,1	188,8	207,4	256,5	293,1	209,3
nFKWe-Klasse [0-200]	170,7	8,2	3,0	64,5	58,0	37,9	91,4	89,7	84,6	138,9	7,2
K-Faktor-Klasse [0-200]	-	-	11,4	56,3	2,5	87,7	22,8	34,2	57,5	182,5	7,3
Übereinstimmung in ...											
gleichem Haupttyp [% Fläche]	16,8	14,7	0,0	0,8	0,6	1,4	55,3	46,3	21,6	0,0	29,5
gleichem Haupt- und Subtyp [% Fläche]	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,8
nFKWe-Klasse [% Fläche]	2,9	82,2	96,9	34,5	42,3	62,1	12,5	15,0	43,2	21,6	90,7
K-Faktor-Klasse [% Fläche]	0,0	0,0	88,5	59,4	96,3	12,6	77,8	77,4	45,2	11,3	92,6
Anteil dominanter Haupttyp [%]											
Anteil dominanter Haupttyp [%]	30,7	34,3	38,9	47,0	75,7	55,0	55,3	46,3	21,6	44,3	47,1
Anzahl Haupttypen (Basis Bo5)	8	8	7	12	7	9	9	10	11	8	9
Anzahl Haupttypen (Basis BK25)	6	5	4	6	5	5	6	5	9	7	4

Tabelle 6.2: Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den Testgebieten auf Basis der Bo5

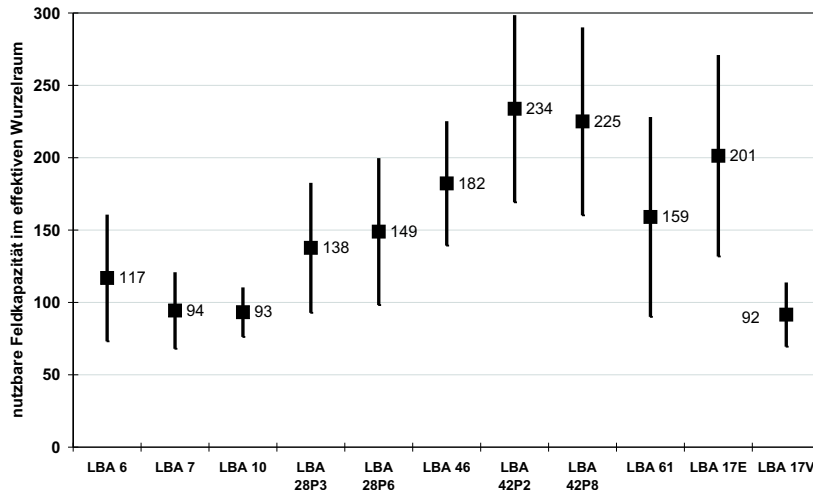


Abbildung 6.3: Auswertung der einzelnen LBA auf Basis von Daten der Bo5; Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe); flächengewichteter Mittelwert und Standardabweichung

K-Faktors in den verschiedenen Bereichen schwankt stärker als bei den Kennwerten des Bodenwasserhaushaltes. Sie reicht von 0 (LBA 7 und 17) bis zu einer Standardabweichung, die den gleichen Wert wie der Mittelwert hat (LBA 6). Der Vergleich gleicher LBA zeigt bei der LBA 28 (Geschiebedecksand über Geschiebelehm) größere Unterschiede, die beiden Bereiche der LBA 42 (Schluffböden aus Löss) liegen in sehr ähnlichen Bereichen und die LAB 17 zeigt starke Unterschiede zwischen den Bereichen in Vechta und in Ebergötzen (Abb. 6.4).

Allgemeine Erkenntnisse

Die statistische Auswertung der Kennwerte nFKWe und K-Faktor für einzelne Leitbodenassoziationen zeigt den möglichen Informationsgewinn. Informationen zur mittleren Ausprägung und Spannweiten wichtiger bodenkundlicher Kennwerte erweitern wesentlich die kleinmaßstäbigen Legendeneinheiten, vor allem im Hinblick auf die Anwendung in Modellierungen. Weiterhin können statistische Kennwerte im Entwurfsprozess die Ausweisung von Legendeneinheiten unterstützen. Die Analyse der Werte für zwei verschiedene Bereiche einer LBA (LBA 17, podsolierte Sandböden) zeigt sehr unterschiedliche Werte. Außerdem passt der relativ hohe Wert im Bereich der LBA 17 im Blatt Ebergötzen sehr gut zu den entsprechenden Werten der benachbarten LBA 42 und 46. Dieser Befund könnte durch die vermutlich falsche Ausweisung der LBA 17 im Blatt Ebergötzen begründet sein. Zusammen mit den vorherigen Erkenntnissen der Kontrastmaße und der Beschreibung der Karteninhalte (vergl. Seite 36ff.) ist diese Schlussfolgerung naheliegend. Eine begleitende Auswertung im Zuge von zukünftigen Kartenentwürfen kann solche fehlerhaften Ausweisungen in der Zukunft verhindern.

6.2.3 Geostatistik

Vorgehen

Für eine geostatistische Auswertung der Daten war es erforderlich, den bisher grundlegenden Bezug auf Flächen zugunsten von Punkten zu ändern. Hierfür wurden die jeweiligen Kenngrößen in den einzelnen Flächen einem Punkt zugeordnet, der in der geometrischen Mitte des betreffenden Polygons festgelegt wurde. Mit den Kennwerten und den Koordinaten dieses Punktes wurden die Kennwerte berechnet. Um eine einheitliche Ausgangsbasis zu erhalten,

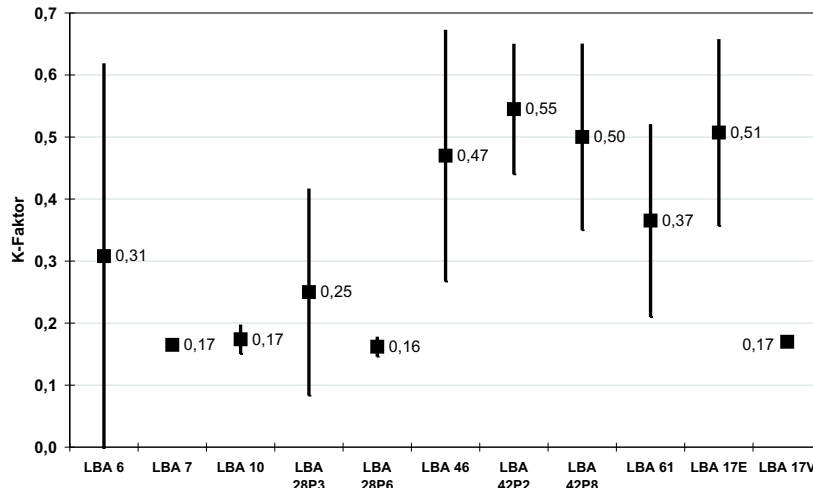


Abbildung 6.4: Statistische Auswertung der einzelnen LBA auf Basis von Daten der Bo5; K-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG); flächengewichteter Mittelwert und Standardabweichung

wurden für alle experimentellen Variogramme die gleichen Einstellungen vorgenommen. Der maximale Suchradius wurde auf 1500 Meter beschränkt, um auch in kleineren Legendeneinheiten gute Ergebnisse zu erzielen, die nicht durch Daten verfälscht werden, die außerhalb der Legendeneinheit liegen. Die Untersuchungsschrittweite (Lag) wurde auf 50 Meter festgelegt. Bei der Erarbeitung eines Variogramms kann noch festgelegt werden, ob im ganzen Umkreis oder ob nur in einer Richtung jeden Punktes nach Vergleichspunkten gesucht werden soll. Viele räumliche verteilte Daten haben eine so genannte Anisotropie, das heißt die räumliche Abhängigkeiten sind von der jeweiligen Richtung abhängig. Um auch diese Effekte zunächst auszublenken, wurde der Suchradius nicht beschränkt. Alle Berechnungen wurden mit der Software *gstat* (PEBESMA 2001) durchgeführt. Bei der Anpassung an die Daten wurde ein exponentielles Modell verwendet. Die Abbildungen 6.5 und 6.6 zeigen exemplarisch, welche Situationen bei einer geostatistischen Auswertung auftreten können. Die linke Abbildung zeigt ein Variogramm mit großem Nuggeteffekt und einem kurzen Range. In die Berechnung der jeweiligen Punkte ist eine sehr hohe Anzahl von verschiedenen Punkten eingeflossen (dargestellt durch die Zahlen an den Kreuzen). Im rechten Beispiel besteht kein räumlicher Zusammenhang zwischen den einzelnen Punkten. Alle weiteren Variogramme der beiden Testgebiete und Kennwerte sind im Anhang ab Seite 165 dargestellt. Neben den drei wichtigsten Größen Sill, Nugget und Range ist in den folgenden Ergebnistabellen noch der Anteil des Nuggeteffektes an der Gesamtvarianz angezeigt sowie die Güte der Anpassung. Je kleiner der Anteil des Nuggeteffektes an der Gesamtvarianz ist, desto geringer ist die kleinräumige Variabilität unterhalb der kürzesten Schrittweite (Lag). Für die Güte der Anpassung wird jeder einzelne Punkte aus den umliegenden Punkten mit Hilfe des gewählten Modells geschätzt und mit dem Originalwert verglichen (Kreuzvalidierung). Ein hoher Wert bei der Güte zeigt eine gute Modellanpassung an. Bei fehlender Angabe ist in dieser LBA keine sinnvolle Anpassung möglich, die Daten haben keinen räumlichen Zusammenhang.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der geostatistischen Auswertung des Kennwerts nFKWe ist in Tabelle 6.3 zusammengestellt. Die räumlichen Abhängigkeiten reichen in den Legendeneinheiten der BÜK1000 zwischen 200 und knapp 1500 Metern, der Anteil des Nuggeteffektes an der Ge-

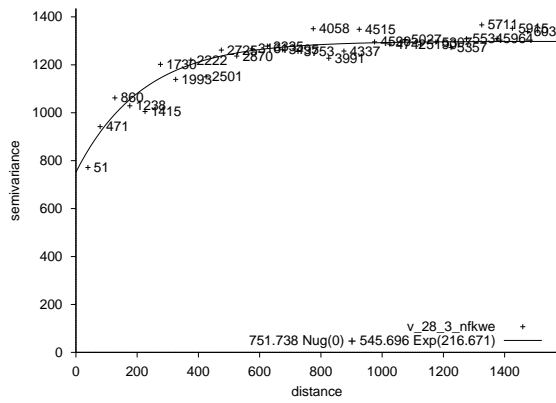


Abbildung 6.5: Variogramm einer Legendeneinheit mit räumlichen Abhängigkeiten; Darstellung des Kennwerts nFKWe für den Bereich der LBA 28 (nördlicher Bereich) im Blatt Vechta

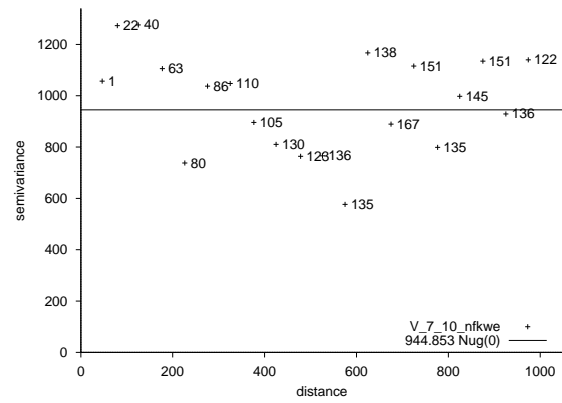


Abbildung 6.6: Variogramm einer Legendeneinheit ohne räumliche Abhängigkeiten; Darstellung des Kennwerts nFKWe für den Bereich der LBA 7 im Blatt Vechta

samtvarianz liegt zwischen 40 und 80%, bei den meisten Flächen über 50%. Der Range liegt im Großteil der Gebiete in der Größenordnung von 200m, in zwei Gebieten (LBA 10 und LBA 42) hat er mit ca. 1400m den 7fachen Wert. Die Anpassung der Daten an das Modell liegt zwischen Werten von unter 0,2 und knapp 0,8.

Vergleicht man die beiden Gebiete Vechta und Ebergötzen, so zeigt sich einerseits eine Tendenz zu einer größeren räumlichen Abhängigkeit (Range) in Vechta, im Gegensatz zu einer tendenziell größeren Güte der Anpassung in Ebergötzen. Beim Vergleich der "gleichen" LBA untereinander zeigt sich bei der LBA 28 wie auch bei der LBA 42 relativ gute Übereinstimmungen der verschiedenen Parameter.

Die Auswertung des K-Faktor zeigt folgende Ergebnisse. In den beiden Bereichen der LBA 6

	Sill	Nugget	Anteil Nuggetvarianz an der Gesamtvarianz [%]	Range	Güte der Anpassung		Sill	Nugget	Anteil Nuggetvarianz an der Gesamtvarianz [%]	Range	Güte der Anpassung
LBA 6	1640	1130	68,9	435	0,26		-	-	-	-	-
LBA 7	-	-	-	-	-		0,00035	0,00005	14,3	430	0,56
LBA 10	500	390	80,9	1440	0,18		0,00032	0,00016	50,0	110	0,23
LBA 28 P3	1300	750	57,7	220	0,60		-	-	-	-	-
LBA 28 P6	1350	630	46,7	200	0,41		0,00025	0,0001	40,0	100	0,23
LBA 46	3000	1200	65,6	240	0,35		0,047	0,023	60,5	330	0,40
LBA 42 P2	4600	3050	66,3	1000	0,59		0,013	0,008	61,5	530	0,64
LBA 42 P8	3500	1550	44,3	200	0,77		0,014	0,009	64,3	540	0,81
LBA 61	3200	1300	40,6	200	0,67		0,014	0,008	57,1	720	0,72
LBA 17E	5000	2000	40,0	200	0,30		0,014	0,01	71,4	780	0,30
LBA 17V	800	500	62,5	200	0,33		-	-	-	-	-

Tabelle 6.3: Geostatistische Kennwerte für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5, links: Kennwert nFKWe; rechts K-Faktor

und der LBA 17 in Vechta waren keine sinnvollen Variogramme möglich, die LBA 28 (Bereich P3) stellt einen Sonderfall dar, der noch näher betrachtet wird. Der Range der Untersuchungen reicht von 100 bis knapp über 800 Meter, damit hat der K-Faktor eine geringere räumliche

Reichweite als Kennwerte des Bodenwasserhaushalts. Die Werteverteilung ist auch ausgeglichener als bei dem Kennwert des Bodenwasserhaushalts. Bis auf die LBA 7 haben alle Nuggetvarianzen höhere Anteile an der Gesamtvarianz als 50%. Die Unterteilung nach den beiden Gebieten zeigt wiederum deutliche Unterschiede. In Ebergötzen ist der Range deutlich größer und auch die Güte der Anpassungen ist besser als in Vechta. Die beiden Bereiche der LBA 42 in Ebergötzen liegen in allen Werten deutlich enger beieinander als beim Kennwert nFKWe. Ein Grund für die bessere Anpassung könnte die größere mittlere Fläche der Legendeneinheiten im Blatt Ebergötzen sein. Weiterhin ist im Bereich der LBA 42 (Lössgebiete) insgesamt mit einem einheitlicheren Inventar zu rechnen.

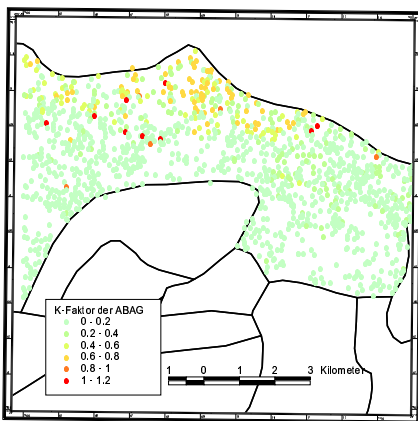
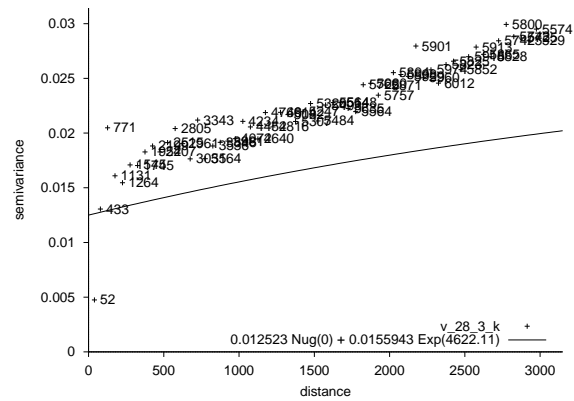


Abbildung 6.7: Verteilung der Punktwerte des K-Faktors in der LBA 28; Blatt Vechta



Am Beispiel der LBA 28 wird eine Trendsituation dargestellt.

Bei der Auswertung der Daten stellt man fest, dass die Verteilung des K-Faktors innerhalb der LBA 28 einen Trend aufweist (Abb. 6.7). Im nördlichen Bereich ist der Anteil von Punkten mit einem K-Faktor höher als 0,6 deutlich erhöht. Das auf diesen trendbehafteten Daten basierende Variogramm zeichnet sich dadurch aus, dass die Varianz auch über den Bereich des Range hinaus nicht auf einem Niveau bleibt, sondern mit zunehmender Entfernung der Punkte voneinander weiter ansteigt (Abb. 6.8). Diese Situation verhindert eine einheitliche Auswertung der Daten aus der gesamten Legendeneinheit. Die Daten wurden durch Definition eines Schwellenwertes (0,5) in einen südlichen und einen nördlichen Teil getrennt und für diese beiden Teilmengen ein getrenntes Variogramm erstellt. Die Abbildungen 6.9 und 6.10 zeigen die experimentellen Variogramme für die beiden Teilbereiche. Im südlichen Bereich ist es möglich, ein Modell an die Werte anzupassen, der nördliche Bereich zeigt unter den geschilderten Randbedingungen kein zufrieden stellendes Ergebnis.

Allgemeine Erkenntnisse

Eine geostatistische Auswertung wichtiger Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt und der Erosionsgefährdung geben Informationen zu den räumlichen Abhängigkeiten und Strukturen innerhalb der Leitbodenassoziationen. Informationen über Reichweite der Abhängigkeiten (Range) wie auch die Variabilität unterhalb der kürzesten Untersuchungsschrittweite (Anteil Nuggeteffekt an der Gesamtvarianz) zeigen unterschiedliche Ausprägungen in Abhängigkeit von der Flächeninhaltsbeschreibung und der Flächengröße. Werte des Bodenwasserhaushaltes zeigen eine geringere räumliche Abhängigkeit als Kennwerte der Erosionsgefährdung. Die methodische Komplexität der Auswertung (Datenaufbereitung, vielfältige Modellanpassungen, Fehlerquellen) legen die Vermutung nahe, daß eine flächendeckende Anwendung große Schwierigkeiten im Vergleich zum Aussagewert des Index bereithält.

6.2.4 Diversitäts- und Gestaltmaße

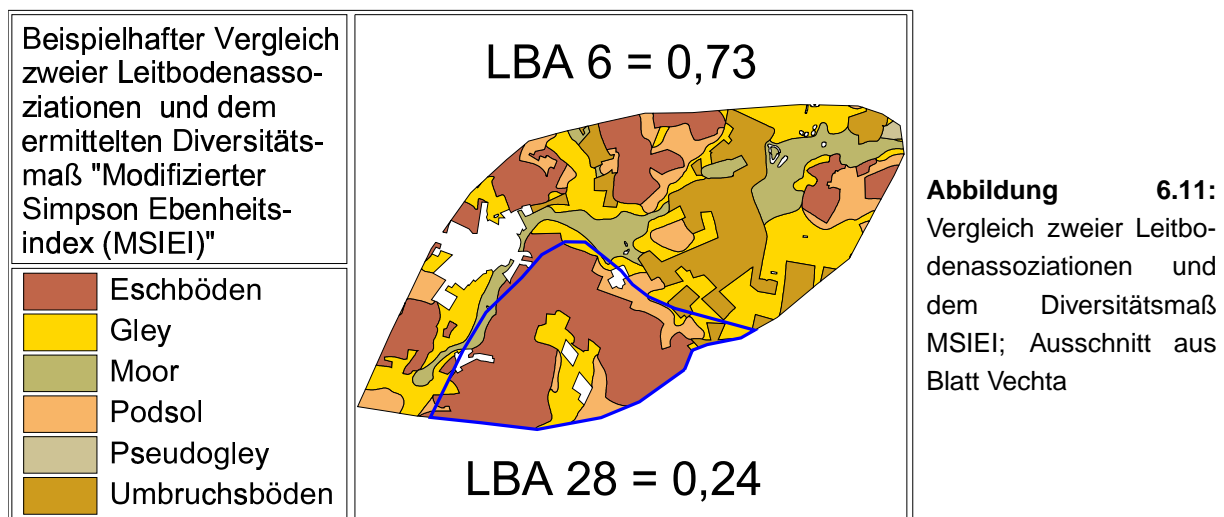
Die Auswertung der Diversitätsmaße und Gestaltmaße wurden im größten Maßstab auf Basis der Geometrien der BK25 ermittelt. Der bereits erwähnte Bezug der Bo5 auf die Schlaggrenzen und damit nicht streng bodenkundlich begründete Grenzziehungen machten dieses Ausweichen notwendig. In Tabelle 6.4 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Aufgrund der ähnlichen Aussagen der Maße werden nur einige Details diskutiert. Die Spannweite der Maße reicht über weite Teile des möglichen Spektrums. Der Index MSIEI hat Werte zwischen 0,24 und 0,77 und zeigt bereits bei dieser beschränkten Zahl an Flächen eine breite Ausprägung der verschiedenen Verteilungen. Die Werte sind nicht gleichmäßig über das mögliche Spektrum verteilt. Die LBA 17 (podsolierte Sandböden) und der Bereich der LBA 28 P6 in Vechta haben mit Werten unter 0,3 die "ungleichmäßigste" Verteilung. Hier dominiert eine große Fläche. Zwei LBA liegen im mittleren Bereich (LBA 10 mit 0,47 und LBA 42P8 mit 0,52), der Rest zeigt Werte zwischen 0,60 und 0,76, wobei vier LBA mit Werten oberhalb von 0,70 eine kompakte Verteilung der Flächen aufweist. Der Vergleich der Bereiche mit gleichem Legendeneinhalt zeigt deutliche Unterschiede. Sehr groß ist er z.B. zwischen den beiden Gebieten der LBA 28 in Vechta. Während der Bereich LBA 28 P6 einen Wert von 0,24 aufweist, hat die andere Fläche (LBA 28 P3) einen Wert von 0,66. Die beiden Flächen der LBA 17 zeigen noch

	SHDI	SIDI	MSIDI	SHEI	SIEI	MSIEI	Mittelwert GI	Variationskoeffizient GI
LBA 6	3,73	0,96	3,33	0,82	0,97	0,73	1,58	28,0
LBA 7	2,83	0,91	2,44	0,78	0,94	0,68	1,51	29,0
LBA 10	2,55	0,84	1,85	0,64	0,86	0,47	1,65	45,9
LBA 28P3	4,47	0,98	3,71	0,80	0,98	0,66	1,62	30,9
LBA 28P6	1,56	0,55	0,80	0,46	0,57	0,24	1,65	19,6
LBA 46	3,53	0,94	2,87	0,73	0,95	0,60	1,64	33,5
LBA 42P2	4,07	0,97	3,67	0,84	0,98	0,76	1,65	27,7
LBA 42P8	2,36	0,83	1,77	0,69	0,86	0,52	1,91	34,5
LBA 17 E	2,91	0,93	2,60	0,81	0,95	0,72	1,63	30,0
LBA 17 V	2,26	0,69	1,18	0,54	0,70	0,28	1,69	43,3
LBA 61	4,81	0,99	4,34	0,83	0,99	0,75	1,76	38,1

Tabelle 6.4: Diversitäts- und Gestaltindizes für die Leitbodenassoziationen in den Testgebieten auf Basis der BK25

gegensätzlichere Werte. Die beiden Flächen der LBA 42 in Ebergötzen unterscheiden sich nur gering. Abbildung 6.11 illustriert die verschiedenen Situationen und die entsprechenden Maßzahlen. Der geringe Wert von 0,24 für die LBA 28 kommt dadurch zustande, dass die LBA von einer großen Fläche dominiert wird und alle anderen Bodentypen nur geringe randliche Anteile haben. Demgegenüber zeigt die LBA 6 eine relativ gleichmäßige Abfolge verschiedener Bodentypen, die kompakt verteilt sind.

Der Gestaltindex auf der Basis der BK25-Daten hat Mittelwerte zwischen 1,51 und 1,91 mit



einem Schwerpunkt um 1,6. Der Variationskoeffizient differenziert diese relativ gleichmäßige Verteilung. Dieser schwankt zwischen ca. 20% und 46%. Damit ist in der LBA 7 eine kompakte Situation zu finden, während in der LBA 42 P8 eher langgestreckte Formen zu finden sein werden. Die größte Spannweite von Formen hat die LBA 10, ein enges Spektrum ist in LBA 28 P6 zu finden.

Allgemeine Erkenntnisse

Diversitäts- und Gestaltmaße von bodentypologischen Einheiten innerhalb der Legendeneinheiten der BÜK1000 lassen weitergehende Aussagen zu deren Verteilung und räumlichen Struktur zu. Unterschiede in verschiedenen LBA werden deutlich gekennzeichnet. Bereits die vergleichsweise geringe Auswahl an unterschiedlichen Flächen innerhalb der Testgebiet zeigt ein breites Spektrum an möglichen Werten.

6.3 Aussagekraft verschiedener Heterogenitätsmaße

Die vorgestellten Maße machen eine große Vielfalt von Informationen zugänglich. Als Erweiterung einer Kartenlegende ist diese Vielfalt aufgrund von redundanten Informationen und Beschränkungen bei der Darstellung nicht notwendig. Eine Eingrenzung auf besonders aussagekräftige Indexwerte ist deshalb nötig und auch möglich. Durch einen Vergleich der Indexwerte untereinander z.B. im Bezug auf den Berechnungsaufwand und durch den Vergleich mit anderen Karteninformationen wie dem Fehler der Aussage lassen sich die aussagekräftigsten Werte identifizieren.

6.3.1 Kontrastmaße

Die Kontrastmaße stellen eine taxonomische Information über den Inhalt der Legendeneinheit zur Verfügung. Der Anwender erhält Informationen über die typologische Bandbreite innerhalb der LBA wie auch die Repräsentanz der kleinmaßstäbigen Information wie sie in der Legende dargestellt wird. Als Maß der Aussagegüte werden die Heterogenitätsmaße mit dem Fehler der Karte verglichen. Fehler meint dabei das Fehlermaß Wurzel der mittleren quadrierten Differenz (WMQD), das im Verlauf der Arbeit schon verwendet und beschrieben wurde, berechnet für die jeweiligen Kennwerte und die einzelnen Bereiche. Damit soll untersucht werden, welche Maße sich besonders dafür eignen, den Fehler der Legendeneinheit und der darauf basierenden Untersuchungen wiederzugeben. Tabelle 6.5 stellt den Fehler der Karte im Bezug zu den Kontrastmaßen dar. Eine Beziehung zwischen taxonomischen Kontrasten und den ge-

	Swr		nFKWe		EfW		K-Faktor	
	K	S	K	S	K	S	K	S
Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975)								
Taxonomie [0-300]	-0,25	0,47	-0,35	0,28	-0,50	0,17	0,24	0,57
nFKWe-Klasse [0-200]	0,50	0,12	0,96	0,00				
K-Faktor-Klasse [0-200]					0,55	0,12	0,83	0,01
Übereinstimmung in ...								
gleichem Haupttyp [% Fläche]	0,13	0,70	0,23	0,49	0,45	0,22	-0,25	0,55
nFKWe-Klasse [% Fläche]	-0,39	0,23	-0,85	0,00				
K-Faktor-Klasse [% Fläche]					-0,55	0,12	-0,83	0,01
Flächenanteil dom. Haupttyp [%]	-0,50	0,12	-0,23	0,49	-0,24	0,54	-0,19	0,66

Tabelle 6.5: Korrelation zwischen den Kontrastmaßen und dem Fehler der bestehenden Karten, K = Korrelationskoeffizient nach Spearman; S = Signifikanzniveau (zweiseitig); **fett:** Koeffizient $\geq 0,8$, *kursiv:* Koeffizient $\geq 0,5$

wählten Kennwerten ist nicht zu erkennen. Dies ist aufgrund der ausgewerteten Kennwerte nFKWe und K-Faktor, die nur einen geringen Bezug zu taxonomischen Aussagen haben, auch nicht erwartet worden. Die Kontrastmaße, die sich auf Kennwertklassen beziehen, korrelieren erwartungsgemäß mit dem jeweiligen Kennwert. Das Maß der Übereinstimmung zwischen den

Karten zeigt für die nFKWe und den K-Faktor die erwarteten starken Korrelationen zu den entsprechenden Kennwerten. Die Korrelationen sind dabei stets negativ, da der Fehler um so stärker ist, je kleiner die Übereinstimmung zwischen den beiden untersuchten Maßstäben ist. Insgesamt zeigen die Kontrastmaße eine hohe Korrelation zu den jeweiligen Fehlern zwischen 0,82 und 0,96.

6.3.2 Statistische Kennwerte

Bei den statistischen Kennwerten zeigen die Informationen zur Streuung die besten Korrelationen mit dem Fehler (Tabelle 6.6). Der Bezug zwischen einer weiten Werteverteilung und einem entsprechend großen Fehler ist zu erwarten. Die statistischen Streuungsmaße des K-Faktors korrelieren erwartungsgemäß mit dem Fehler der Erosionsgefährdung. Ebenso ist eine hohe Korrelation zwischen den Streuungsmaßen der nFKWe und dem Fehler einer Aussage zu diesem Kennwert zu erkennen. Der vergleichsweise geringe Einfluss der nFKWe auf den Fehler einer Aussage zur Sickerwasserrate zeigt sich in den geringen Korrelationen.

	Swr		nFKWe		EfW		K-Faktor	
	K	S	K	S	K	S	K	S
Statistische Maße für nFKWe								
Spannweite	0,30	0,37	0,57	0,07				
Varianz	0,24	0,48	0,78	0,00				
Standardabweichung	0,24	0,48	0,78	0,00				
Variationskoeffizient	0,50	0,12	0,79	0,00				
Statistische Maße für K-Faktor								
Spannweite					0,06	0,88	0,52	0,18
Varianz					0,81	0,02	0,75	0,05
Standardabweichung					0,73	0,02	0,65	0,08
Variationskoeffizient					0,82	0,01	0,48	0,23

Tabelle 6.6: Korrelation zwischen Maßen der klassischen Statistik und dem Fehler der bestehenden Karten, K = Korrelationskoeffizient nach Spearman; S = Signifikanzniveau (zweiseitig); **fett:** Koeffizient $\geq 0,8$, *kursiv:* Koeffizient $\geq 0,5$

6.3.3 Geostatistische und Diversitätsmaße

Bei den geostatistischen Kennwerten als Maße der räumlichen Verteilung werden keine Abhängigkeit zu einem summierenden Fehler wie der WMQD erwartet. Den trotz dieser Annahme untersuchten Ansatz, den Fehler der Karte mit Kennwerten der abgeleiteten Variogramme in Beziehung zu setzen, dokumentiert Tabelle 6.7. Die geostatistischen Kennwerte haben keine bis sehr geringe Korrelationen (Nuggetvarianz) zu dem Fehler der bestehenden Karte.

Um die Aussagekraft dieser beiden Indexgruppen zu überprüfen, wurden die Werte nach zwei verschiedenen Ansätzen gruppiert. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, ob die

	K	S
Sill	0,27	0,49
Nuggetvarianz	0,49	0,46
Anteil der Nuggetvarianz an der Gesamtvarianz	-0,08	0,84
Range	-0,03	0,95

Tabelle 6.7: Korrelation zwischen dem Fehler der bestehenden Karten und den Variogrammkenndaten; Kennwert nFKWe

Heterogenitätsmaße in verschiedenen naturräumlichen Gebieten unterschiedlich ausfallen. Die geringe Datendichte hat zur Folge, dass die Einteilung nach Bodengesellschaften (vergl. Tabelle 6.1) keine zufriedenstellenden Ergebnisse erbrachte. Zum Teil bestanden einzelne Gruppen aus einer einzigen LBA, so daß keine abgesicherten Ergebnisse zu erwarten sind.

Die zweite Gruppierung war die Trennung der Flächen nach Zugehörigkeit zu den beiden Testgebieten. Mit Hilfe eines T-Tests mit unabhängigen Stichproben wurde untersucht, ob die Werteverteilungen in den Testgebieten sich signifikant unterscheiden (Tabelle 6.8). Eine signifikante Trennung der Werte in Abhängigkeit vom Untersuchungsgebiet ist bis auf das Maß "Variationskoeffizient des Gestaltindex" und mit Einschränkungen beim Maß 'Range der nFKWe' nicht erkennbar.

	t-Wert	Freiheitsgrade	Signifikanz (90%)
Anteil Nuggetvarianz an Gesamtvarianz (nFKWe)	1,37	8	0,21
Range (nFKWe)	0,53	8	0,61
Anteil Nuggetvarianz an Gesamtvarianz (K-Faktor)	-2,59	2,21	0,11
Range (K-Faktor)	-2,77	6	0,03
<hr/>			
MSIEI	-1,62	7,55	0,15
Mittelwert Gestaltindex	-1,80	9	0,11
Variationskoeffizient Gestaltindex	0,00	9	1,00

Tabelle 6.8: T-Test von Werteverteilungen in den beiden Untersuchungsgebieten; Auswertung geostatistischer, Diversitäts- und Gestaltmaße

6.3.4 Fazit

Der Vergleich mit dem Fehler der Kartenaussage und der Vergleich der Werte untereinander sollte besonders aussagekräftige Maße aufzeigen. Die Untersuchung war durch den eingeschränkten Umfang der Flächen und die räumliche Beschränkung der Testgebiete erschwert. Trotz der geschilderten Schwierigkeiten lassen sich an dieser Stelle verschiedene Bewertungen in einem Zwischenfazit festhalten:

- Taxonomische Kontrastmaße zeigen keine Relation zum Fehler der bestehenden Karten.
- Kontrastmaße und statistische Streuungsmaße der Kennwerte zeigen eine gute Relation zum Fehler der bestehenden Karten.
- Geostatistische Auswertungen zeigen nur sehr geringe Korrelationen zum Fehler einer kleinmaßstäbigen Kartenaussage. Methodische Komplexität und damit verbundene mög-

liche Fehlerquellen bei der Durchführung, lassen eine regelhafte Anwendung schwierig erscheinen.

- Die Ableitung von Diversitäts- und Gestaltmaßen ist problemlos möglich, die schmale Datenbasis verhindert aber eine klare Zuordnung von Wertespanssen und Ausprägungen einzelner Maße zu Bodengesellschaften oder Naturräumen. Die Qualität der Diversitäts- und Gestaltmaße kann zu diesem Zeitpunkt nur anhand von Modellflächen dargestellt werden.

Bei den Kontrastmaßen sind es die einfachen Maße zu Aussagen der Repräsentanz der kleinmaßstäbigen Kartenaussage, die als geeignet angesehen werden eine Kartenlegenden zu erweitern. Eine einfache Berechnung und nachvollziehbare Werte sprechen dafür. Statistische Kennwerte sollten das Spektrum der entsprechenden Werte innerhalb der Legendeneinheit möglichst vollständig wiedergeben. Der gewichtete Mittelwert zusammen mit dem Variationskoeffizient, aus dem weitere Werte wie die Standardabweichung abgeleitet werden können und der gleichzeitig die Vergleichbarkeit von verschiedenen Flächen und Kennwerten ermöglicht, stehen hier an erster Stelle der Auswahl. Geostatistische Kennwerte haben keinen Informationsgewinn, der den hohen Aufwand der Ableitung und der Qualitätssicherung der Ergebnisse angemessen erscheinen lässt. Die besondere Abhängigkeit von einer hohen Datendichte, die im folgenden Kapitel noch diskutiert wird, stellt weitere Ansprüche. Ein Diversitätsmaß sollte in die Kartenlegende integriert werden, da hierdurch auf eine einfache Weise eine Information über Art und Ausmaß der Verteilung verschiedener Teilflächen innerhalb der Legendeneinheit ermöglicht wird. Die Auswahl des besten Maßes muss sich allerdings auf Beispielflächen stützen. Das Maß des modifizierten Simpson Ebenheitsindex (MSIEI) erscheint hier am geeignetsten (vergl. methodische Grundlagen auf Seite 62).

6.4 Qualität der Datengrundlage zur Ableitung der Heterogenitätsmaße

Das Problem

Bei der Ableitung der Heterogenitätsmaße aus Karten und Informationen größerer Maßstäbe ist nicht nur die Art und Aussage des Maßes entscheidend. Für eine weitergehende Anwendung in anderen Gebieten ist es notwendig, eine möglichst große Datenbasis auswerten zu können. Dies ist bei der Bo5 nicht gegeben. Die sehr gute Aufbereitung, wie sie in den beiden Testgebieten vorlag, ist eine Sondersituation, die nicht überall zu erwarten ist. Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass bisher nur für knapp 20% der Fläche in Deutschland Bodendaten der Bodenschätzung im Maßstab 1:5000 digital in einer Qualität vorgehalten werden, die als Grundlage der hier beschriebenen Auswertungen geeignet wären (PLANUNGSGRUPPE 2003). Dieser Anteil wird auch in der Zukunft aufgrund der hohen Kosten für die Kartierung, Erfassung und Aufbereitung nicht wesentlich ansteigen. In den verschiedenen Bundesländern werden in erster Linie mittelmaßstäbige Karten flächendeckend weiterentwickelt. Deshalb ist es notwendig und sinnvoll, weitere Maßstäbe auf ihre Tauglichkeit zur

Ableitung von Heterogenitätsmaßen für die Legendenerweiterung kleinmaßstäbiger Bodenkarten zu überprüfen.

Der Ansatz und Ergebnisse

Verschiedene Maße, die aufgrund der bisherigen Auswertungen und Überlegungen in die engere Wahl gekommen sind, wurden deshalb auf der Basis der BÜK50 und der BSK200 abgeleitet. Um die Qualität der Aussage zu überprüfen werden die Ergebnisse dann auf Korrelationen mit den Auswertungen auf Basis der Bo5 untersucht. Tabelle 6.9 fasst die Ergebnisse getrennt nach den beiden Maßstäben zusammen.

Als erste Erkenntnis aus diesem Vergleich zeigt sich, dass die Auswertungen auf Basis der

Datenbasis: BÜK50	Korrelation	Datenbasis: BSK200	Korrelation
Flächenanteil gleicher Haupttyp	0,92	Flächenanteil gleicher Haupttyp	0,55
Anzahl der bodenkundlichen Haupttypen	0,81	Anzahl der bodenkundlichen Haupttypen	0,66
Flächenanteil dominanter Haupttyp	0,72	Flächenanteil dominanter Haupttyp	0,55
nFKWe		nFKWe	
Variationskoeffizient	0,55	Variationskoeffizient	0,48
K-Faktor		K-Faktor	
Variationskoeffizient	0,66	Variationskoeffizient	0,15
Diversitätsmaße		Diversitätsmaße	
SHEI	0,90	SHEI	0,55
MSIEI	0,891	MSIE	0,48
SHDI	0,98	SHDI	0,89
MSIDI	0,98	MSIDI	0,86
Gestaltindex		Gestaltindex	
Mittelwert GI	-0,07	Mittelwert GI	-0,07
Variationskoeffizient	-0,65	Variationskoeffizient	-0,59

Tabelle 6.9: Korrelationskoeffizient zwischen den Heterogenitätsmaßen, ausgewertet auf Basis unterschiedlicher Maßstäbe; **fett:** Koeffizient > 0,9

BÜK50 durchgehend höhere Korrelationen aufzeigen, als die auf Basis der BSK200. Die Ergebnisse belegen, dass bei der BSK 200 schon in einem Maß Aggregationen stattgefunden haben, die die Werteverteilungen, dargestellt z.B. durch die Streuungsmaße, stark einschränken. Das bedeutet, daß im Maßstab 1:50.000 im wesentlichen noch das Kennwertespektrum wiedergegeben wird, wie es auch in der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage der Bo5 und BK25 vorkommt. Die Diversitätsmaße zeigen sehr gute Korrelationen zwischen den großmaßstäbigen Informationen und der BÜK50 und eingeschränkt noch relativ gute bei der BSK200. Die Verteilung der einzelnen Bodentypen innerhalb der Legendeneinheit ist also auch hier im Maßstab 1:50.000 noch ausreichend detailliert.

Geostatistische Werte sind in den mittleren Maßstäben nicht mehr abgeleitet worden. Die bereits geschilderten Schwierigkeiten und fehlende Korrelationen zum Fehler einer Aussage stellen nur einen Aspekt bei diesem Maß dar. Ein weiterer Aspekt ist die Datenverfügbarkeit für die Ableitung eines Variogramms. (WEBSTER und OLIVER 2000) sprechen von einer Minde-

stanzahl von ca. 100 Punkten, die zur Ableitung eines belastbaren Variogramms notwendig sind. Diese Zahl wurde in den Maßstäben 1:50.000 und 1:200.000 nicht mehr erreicht. Zusammen mit den bereits geschilderten Problemen bei der Ableitung von Variogrammen, ist für die Ableitung von Heterogenitätsmaßen eine geostatistische Auswertung auf Basis von Informationen im Maßstab 1:50.000 und kleiner zum derzeitigen Zeitpunkt nicht geeignet. Aus der Sicht des Autors ist die Datensituation nicht ausreichend und die inhaltlichen Ansprüche einer ausführlichen geostatistischen Analyse zu komplex, als dass sie in einem einfachen Maß, das als Legendenkennzeichnung geeignet ist, gebündelt werden könnten.

6.5 Empfehlungen zur Erweiterung kleinmaßstäbiger Kartenlegenden

Kleinmaßstäbige Karten haben aufgrund der geschilderten Maßstabsgrenzen und den Grenzen der inhaltlichen Darstellung deutliche Defizite bei der Bereitstellung landschaftsökologischer Kennwerte. Die vorhandene räumliche und inhaltliche Auflösung der Informationen verhindert einen Einsatz im Rahmen von Modellierungen. In der derzeitigen Situation lassen sich nur allgemeine, überblicksartige Aussagen auf dieser Datengrundlage treffen.

Um diese Informationslücke zu schließen werden im folgenden Maße vorgeschlagen, die in die Kartenlegende integriert werden sollten. Die Maße werden auf der Basis von großmaßstäbigen Informationen ermittelt, die sich im Bereich der jeweiligen Legendeneinheit befinden. Als Maßstab dieser großmaßstäbigen Informationen wird 1:50.000 vorgeschlagen. Die Vergleiche zwischen Informationen auf Basis der Maßstäbe 1:5.000 und 1:25.000 mit dem vorgeschlagenen Maßstab ergaben eine hohe Übereinstimmung bei der Berechnung der ausgewählten Heterogenitätsmaße. Der Maßstab 1:50.000 bietet darüber hinaus den Vorteil der weiten Verfügbarkeit im Bundesgebiet, die durch die Bearbeitung innerhalb der SGD weiter ansteigen wird. Die Vorschläge sind als Empfehlung zu sehen und bilden eine mögliche Erweiterung der bestehenden Konzepte zur Legendenkennzeichnung.

6.5.1 Taxonomische Informationen

Zum jetzigen Zeitpunkt beschränkt sich die Legende der BÜK1000 auf eine textliche Umschreibung der wichtigsten Böden unterteilt dabei in Leit- und Begleitböden ohne weitere Angaben zu Flächenanteilen. Eine größermaßstäbige, taxonomische Information sollte deshalb Teil der Legendenerweiterung werden, um dem Anwender Informationen zur taxonomischen Bandbreite großmaßstäbiger Informationen zu geben. Die Information über **Zahl und Art der Hauptbodentypen** kann hier einen ersten, einfachen Anhaltspunkt liefern. Durch den Vergleich mit der Beschreibung der Legendeneinheit lassen sich so Besonderheiten und Böden, die im Rahmen einer Generalisierung oder Aggregation verlorengegangen sind, festhalten. Die Zahl der Bodentypen ist eine Information, die Aussagen zur räumlichen Diversität in einzelnen Fällen erweitert. Da bestehende Karten wie z.B. die BÜK200 bereits Informationen über Leit- und Begleitböden mit klassifizierten Flächenanteilen beinhalten ist eine explizite Angabe der Zahl der verschiedenen Bodentypen im großen Maßstab unter Umständen verzichtbar. Bei einer starken Aggregation werden aber vor allem lokale Besonderheiten (Umbruchsböden; Plaggenesche) oft nicht mehr in der nächst höheren Maßstabsebene angezeigt. Hier kann die Information über die Zahl der ursprünglichen Bodentypen eine gute Zusatzinformation sein.

Zusätzlich dazu sind Aussagen zum **Flächenanteil des Hauptbodentyps** (wie er in der kleinmaßstäbigen Kartenlegende angegeben wird) im verglichenen Maßstab hilfreich, die Repräsentativität und das Ausmaß der aggregierten Informationen zu beschreiben.

Der Flächenanteil des übereinstimmenden Haupttyps ist kein Heterogenitätsmaß, sondern eher ein Gütemaß. Die Anwendung beschränkt sich vor allem auf die Bewertung bestehender Karten und ergänzt diese. Für neu zu erstellende Karten ist es weniger geeignet, da im Rahmen der Erarbeitung und dem Entwurf der Karte natürlich darauf geachtet werden muss, das

möglichst viel von dem dominierenden Bodentypen auch in der nächsthöheren Maßstabsebene dargestellt wird. Eine Alternative zu diesem Maß ist für neu erstellte Karten der **Flächenanteil des dominierenden Bodentyps**. Diese Information gibt Auskunft über die Ausprägung der taxonomischen Bedingungen innerhalb der Legendeneinheit.

Für die Kartenlegende werden empfohlen:

- Der **Flächenanteil gleichen Hauptbodentyps** macht eine Aussage über die Repräsentativität der Information des Eintrages in der kleinmaßstäbigen Karte
- Die **Anzahl der unterschiedlichen Hauptbodentypen** zeigt die Vielfalt der aggregierten Bodentypen an und ergänzt Informationen zur räumlichen Verteilung (Diversität)
- Der **Flächenanteil des dominierenden Bodentyps** ist ein einfaches Maß zur taxonomische Heterogenität der untersuchten Legendeneinheit.

6.5.2 Statistische Maße

Angaben zu landschaftsökologischen Kennwerten beschränken sich in den vorhanden kleinmaßstäbigen Karten auf die Informationen, die zu dem Leitprofil der Legendeneinheit vorhanden sind. Auch Karten mit Leit- und Begleitprofilen haben nur für diese entsprechende Informationen. Die Hintergründe für die Wahl dieses einzelnen Profils zur Beschreibung der Legendeneinheit und der damit verbundene Informationsverlust über andere mögliche Profile bleiben unbekannt.

Diese Lücke kann durch Aussagen zur Bandbreite einzelner Kennwerte geschlossen werden. Modellierungen und Abschätzungen für landschaftsökologische Kennwerte werden so substantiell verbessert. Um die Bandbreite zu beschreiben, wurden aus den möglichen Werten der **flächengewichtete Mittelwert** und der **Variationskoeffizient** gewählt. Der Mittelwert gibt eine Information, auf welchem Niveau die Kennwerte liegen. Als Maß für die Streuung der Kennwerte wurde der Variationskoeffizient gewählt. Zusammen mit dem Mittelwert lassen sich daraus weitere Werte wie die Standardabweichung des Kennwertes für weitere Auswertungen ableiten. Darüber hinaus ermöglicht der Variationskoeffizient durch die Normierung in Form der Prozentaussage einen vereinfachten Vergleich von Werten unterschiedlicher Gebiete und Maße.

Die Legendeneinheit sollte darüber hinaus noch die jeweiligen Flächenanteile innerhalb der Legendeneinheit der klassifizierten Kennwerte nFKWe und K-Faktor bereithalten. Diese Information ist zur Kenntnis der Art der Verteilung zur Vorbereitung von weitergehenden Modellierungen notwendig.

Die vorgeschlagenen Kennwerte beschränken sich auf den Rahmen der vorliegenden Arbeit, die sich mit Fragen des Bodenwasserhaushalts und der Erosionsgefährdung durch Wasser beschäftigt. Andere bodenkundliche Kennwerte sind ebenfalls möglich und ausdrücklich erwünscht. Für die Kartenlegende werden empfohlen:

- Der **flächengewichtete Mittelwert der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)** ist ein wichtiges Maß für einen zentralen Kennwert des Bodenwasserhaushalts.

- Der **Variationskoeffizient der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)** ist ein wichtiges Maß der Streuung für einen zentralen Kennwert des Bodenwasserhaushaltes.
- Der **flächengewichtete Mittelwert des K-Faktor der ABAG** ist ein Maß für einen leicht ableitbaren Kennwert der Erosionsabschätzung
- Der **Variationskoeffizient des K-Faktor der ABAG** ist ein Streuungsmaß für einen leicht ableitbaren Kennwert der Erosionsabschätzung

6.5.3 Diversitätsmaße

Aktuelle kleinmaßstäbige Bodenkarten enthalten nur sehr geringe Informationen über die räumliche Verteilung der beschriebenen Bodentypen innerhalb der Legendeneinheit. Informationen zur Verteilung gehen über eine textliche Beschreibung (z.B. *"in Tiefenlinien verbreitet Gleye"*) nicht hinaus. Für eine weitergehende nachvollziehbare Beschreibung der Verteilung verschiedener Bodentypen werden Diversitäts- und Gestaltmaße zur Verwendung in der Kartenlegende vorgeschlagen. Diese Maße geben dem Anwender eine Information über die räumliche Struktur der Verteilung (*"kompakt"*, *"fleckig"*) und damit indirekt eine Information über die naturräumlichen Gegebenheiten innerhalb der Legendeneinheit. Es wurde ein Diversitätsmaß ausgewählt, das sich durch eine besonders breite Wertespanne auszeichnet. Für die Kartenlegende werden empfohlen:

- Der **Modifizierte Simpson Areal-Ebenheitsindex** gibt Information über Struktur und Verteilung der vorherrschenden Bodentypen innerhalb der Legendeneinheit. Zusammen mit der Anzahl der Bodentypen lässt sich die räumliche Struktur abschätzen.
- Der **flächengewichtete Mittelwert und Variationskoeffizient des Gestaltindex** geben eine Information über die Form der unterschiedlichen Flächen der Bodentypen

7 Anwendung der vorgeschlagenen Heterogenitätsmaße

7.1 Vergleich von Karten

7.1.1 Karten gleicher Maßstäbe

Die Arbeit untersucht zunächst die unterschiedliche Heterogenität bei Karten gleicher Maßstäbe sowie Karten verschiedener Bearbeitungsstände. Es wird angenommen, dass die Heterogenitätsmaße den Vergleich und die Abgrenzung der Karten unterstützen. Für diese Untersuchung standen in den Untersuchungsgebieten Ebergötzen und Vechta vier verschiedene Karten zu Verfügung:

- Die BÜK1000 lag in der nicht nutzungsdifferenzierten Version vor, wie sie auch in den vorhergehenden Untersuchungen verwendet wurde.
- Die BÜK1000-N3 lag in der nutzungsdifferenzierten Version vor, die jede einzelne LBA in die drei Nutzungen Acker, Grünland und Wald unterteilt und jeder dieser Flächen ein neues Profil zuweist.
- Die BSK200 lag in der Form vor, wie sie auch in den vorhergehenden Untersuchungen verwendet wurde.
- Die BÜK200 in einer Version, die vom NLFb für das Gebiet von Niedersachsen erstellt wurde. Die Bearbeitung dieser Karte ist in die Fertigstellung der BÜK200 für das gesamte Bundesgebiet eingebunden. Der besondere Ansatz besteht in der Aggregation von BÜK50 Informationen zu den Legendeneinheiten der BÜK200. Die inhaltlichen Grundlagen zur Ableitung dieser Karte aus der BÜK50 sind bei (GEHRT und SBRESNY 1999) beschrieben. Die Karte ist noch nicht in der offiziellen Bearbeitung bei der BGR und muss als "im Entwurf" betrachtet werden.

Die beiden Karten BSK200 und BÜK200 stellen zwei sehr unterschiedliche Produkte im Hinblick auf die Art und den Zeitpunkt der Erstellung dar. Die vorherrschende Frage war die nach der Veränderung der Heterogenität bei dem neueren Produkt BÜK200.

Vergleich einzelner Legendeneinheiten

Abbildung 7.2 zeigt das Gebiet im Norden des Blattes Vechta, das vom Sandlöss bedeckt ist. Beide Gebiete reichen über die gesamte Breite des Blattausschnitts. Schon der optische Vergleich zeigt die geringere Heterogenität der neuen BÜK200. Statt 7 sind nur noch 3 verschiedene Bodentypen vertreten. Die geringerer Heterogenität zeigt sich anhand der Heterogenitätsmaße (Tab. 7.1). Die beiden taxonomischen Maße zeigen die verringerte Heterogenität

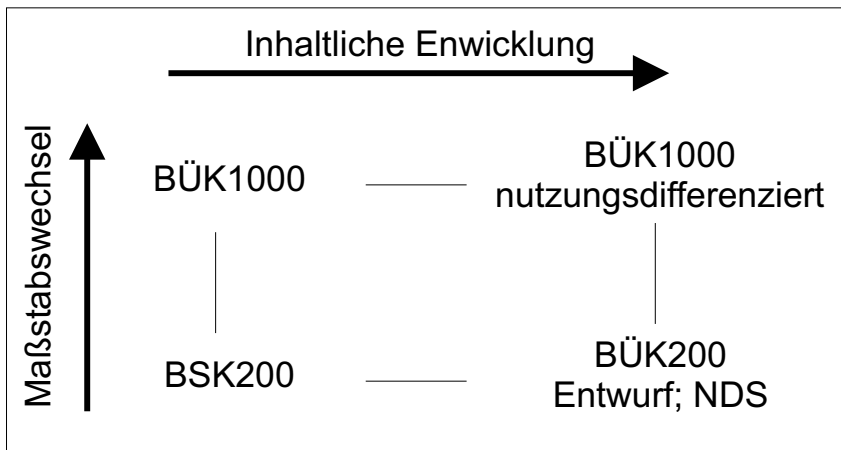


Abbildung 7.1: Vergleichsmöglichkeiten zwischen Karten verschiedener Maßstäbe und Bearbeitungsstände

deutlich an. Die gleichen Werte ergeben sich durch die Besonderheit, daß in beiden Kartenversionen der großmaßstäbig dominante Bodentyp eine entsprechende Übereinstimmung bei der kleinmaßstäbigen Legendenkennzeichnung hat. Die statistischen Kennwerte zeigen ebenfalls die geringere Heterogenität an. Der Mittelwert der nFKWe steigt etwas und der Variationskoeffizient nimmt ab. Beim Variationskoeffizienten des Kennwerts K-Faktor wird die verringerte Heterogenität sehr gut deutlich. Die präzisere Grenzziehung verringert die Bandbreite der einbezogenen Böden und damit werden dadurch "falsche" Böden nicht mit einbezogen. Die Variation des Kennwerts der Erosionsgefährdung nimmt damit stark ab. Der räumliche Diversitätsindex MSIEI zeigt eine höhere Kompaktheit der betroffenen Teilflächen an und der Gestaltindex sinkt leicht im Mittelwert. Damit lässt sich der subjektive Eindruck der geringeren Heterogenität mit Hilfe der Maße belegen und präzisieren.

Vergleich ganzer Blattschnitte

Der Vergleich der beiden Untersuchungsgebiete soll zeigen, wie sich die Heterogenität nicht nur einzelner Legendeneinheiten, sondern auch ganzer Blattschnitte durch eine Überarbeitung verändert. Zur Vorbereitung auf diesen Vergleich sind zunächst auf den folgenden Seiten die bodenkundlichen Grundlagen der BSK200 und BÜK200 in Karten- und Tabellenform (Abb. 7.3 bis 7.6 und Tabelle 7.3) getrennt nach den beiden Gebieten Vechta und Ebergötzen dargestellt. Die Zahlen in den Karten sind die ID der entsprechenden Legende und werden in Tabelle 7.3 erläutert. Die tabellarische Darstellung beschränkt sich auf die Hauptbodentypen und

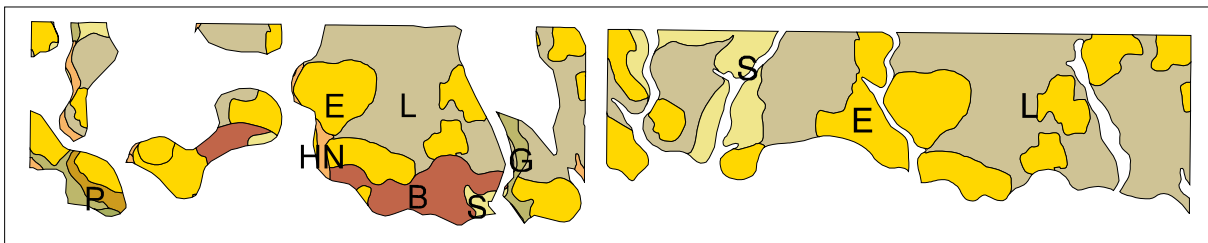


Abbildung 7.2: Vergleich zwischen BSK200 (links) und BÜK200 (rechts): dargestellt sind die Bereiche 2261 (BSK200) und 44 (BÜK200) und die darin enthaltenen Geometrien der BÜK50, für beide Gebiete wird im Maßstab 1:200.000 Sandlöss als Ausgangssubstrat angegeben; Erläuterung der Kürzel: B: Braunerde, E: Eschböden, G: Gley, HN: Niedermoor, L: Parabraunerde, P: Podsol, S: Pseudogley

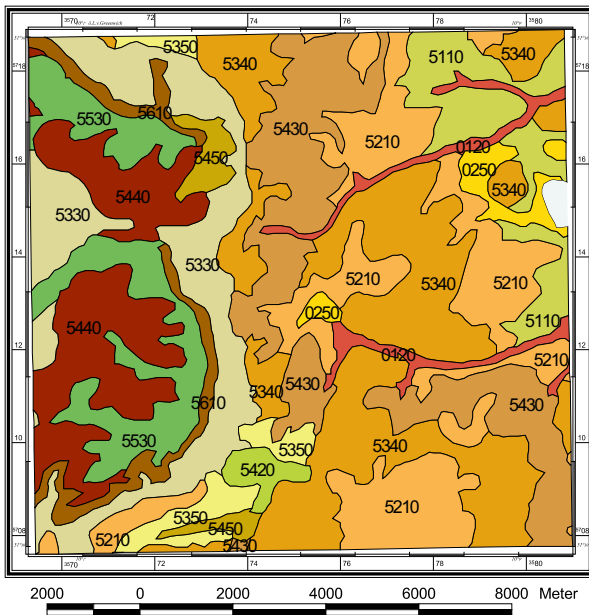


Abbildung 7.5: Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BSK200, Blatt Ebergötzen

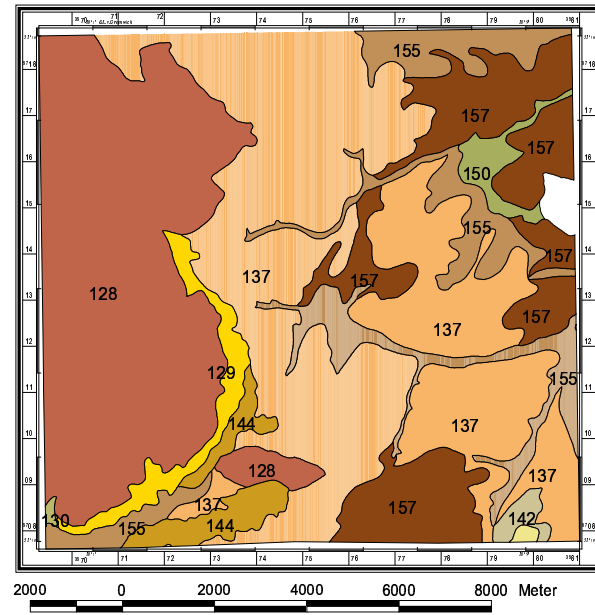


Abbildung 7.6: Übersicht zu den Bodenformen der Bodenkarte BÜK200, Blatt Ebergötzen

Bodenregion Geest / Blatt Vechta

In Vechta wird die Legendeneinheit 2251 (Pseudogley-Braunerde aus Geschiebedecksand) der BSK 200 in der BÜK 200 mit zwei Legendeneinheiten beschrieben (35: vergleyte Podsole und 40: Pseudogley-Eschböden; beide auf Geschiebedecksand). Demgegenüber wird der gesamte nördliche Bereich des Blattes im Norden in der BÜK200 weniger stark differenziert. Die BSK200 weist zwei verschiedene Einheiten aus (2260: Parabraunerde und 2270: Pseudogley, beide aus Sandlöss) während die BÜK200 nur einheitlich in der Einheit 44: Pseudogley-Parabraunerde die beiden Einheiten zusammenfasst. Weiterhin ist die Legendeneinheit 2140 der BSK 200 (Gleye aus holozän umgelagertem fluvialem Sand) in der Darstellung der BÜK200 nicht mehr erkennbar. Die entsprechenden Flächen werden durch die Legendeneinheiten 35 (Podsole aus Geschiebedecksand über tiefem Geschiebelehm), 37 (Pseudogleye aus Fließerde), 58 (Erd-Niedermoore über Niederungssand und Mudde) und 68 (Braunerde-Podsole aus Geschiebedecksand bis Flugsand über Niederungssand) beschrieben. Interessant ist dabei, daß weder der Bodentyp (Gley) noch das Substrat (holozän umgelagerter fluvialer Sand) in den Beschreibungen der BÜK 200 angegeben wird. Hier hat also eine starke Veränderung in der Beschreibung der bodenkundlichen Gegebenheiten stattgefunden. Übereinstimmend werden die Tiefenlinien in den unterschiedlichen Bodenkarten dargestellt.

Bodenregion Bergland / Blatt Ebergötzen

In Ebergötzen wird der gesamte Göttinger Wald von der BÜK200 als eine einheitliche Fläche ausgewiesen (128: Braunerde aus lösshaltiger Fließerde), die BSK zeigt hier drei verschiedene Legendeneinheiten (5530, 5440 und 5530). Diese stärkere Aggregation zeigt sich ebenfalls bei der Einheit 137 der BÜK200 (Braunerden) deren Gebiet in der BSK 200 durch drei verschiedene Einheiten beschrieben wird (5210, 5340 und 5430).

Aber auch bei einer räumlich ähnlichen Darstellung der Legendeneinheiten kann es zu deutlichen inhaltlichen Verschiebungen kommen. So wird in den beiden Karten der gleiche Be-

reich einmal mit der Legendeneinheit 5210 (BSK200) und 157 (BÜK200) beschrieben. Die Beschreibung dieses Bereichs variiert aber erkennbar. Die BSK200 weist hier Pseudogley-Parabraunerden aus fachhängigen Lössbecken und Hangfußlagen aus, die BÜK200 dagegen Tschernosem-Parabraunerden aus Löss über tiefer tonhaltiger Fließerde aus Tonstein- und Mergelsteinverwitterungsmaterial.

Weitere Bezüge können den Karten und der Tabelle 7.3 am Ende des Abschnitts entnommen werden. Eine ausführliche Übersicht über alle Heterogenitätsmaße der Legendeneinheiten der Karten im Maßstab 1:200.000 sind im Anhang ab Seite 171 zu finden.

Die Rahmenbedingungen ermöglichen die Formulierung einiger Thesen. Es ist zu erwarten, dass die Heterogenität der BÜK200 geringer ausfällt. Dies ist zum einen in der inhaltlichen Kontinuität einer Aggregation begründet, die die Wahrscheinlichkeit einer völlig differenten Ausweisung von Bodeneinheiten verringert. Weiterhin führt die Ableitung aus der BÜK50 zu einer deutlich geringeren Anzahl von Teilflächen, die sich im Falle der BSK200 nur durch die geometrische Verschneidung ergeben.

In den Auswertungen der Heterogenitätsmaße bestätigt sich die aufgestellte These. Die Heterogenität der Legendeneinheiten der BÜK200 ist geringer als die der BSK200. Berechnet man den Mittelwert aus den entsprechenden Maßen aller Legendeneinheiten (Tabelle 7.2), zeigt sich ein durchgehend niedrigeres Niveau bei der BÜK200. Die Übereinstimmung des angezeigten Hauptbodentyps mit dem ausgewerteten Hauptbodentyp der BÜK50 und der Flächenanteil des dominanten Bodentyps steigen deutlich. Die Zahl der unterschiedlichen Bodentypen sinkt und die Variationskoeffizienten der beiden Kennwerte nFKWe und K-Faktor sinken ebenfalls.

	Vechta		Ebergötzen	
	BSK200	BÜK200	BSK200	BÜK200
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	48,8	73,8	17,1	67,0
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	56,5	88,9	68,7	89,5
Anzahl Hauptbodentypen	5,7	1,9	5,1	2,4
nFKWe Variationskoeffizient	27,1	17,7	38,3	24,4
K-Faktor Variationskoeffizient	42,5	21,8	41,2	28,3

Tabelle 7.2: Vergleich ausgewählter Heterogenitätsmaße der Bodenkarten BSK200 und BÜK200 auf den Blättern Ebergötzen und Vechta; dargestellt sind die Mittelwerte der Maße aller Legendeneinheiten

BSK200 Vechta			BÜK200 Vechta		
ID	Region	Bodentyp	ID	Region	Bodentyp
110	Talaue	Gley	35	vergleyte Podsole aus Geschiebedecksand über tiefem Geschiebelehm	Podsol
210	Moore	Hochmoor	37	Pseudogleye aus Fließerde über tiefem Geschiebelehm	Pseudogley
230	Moore	Niedermoor	39	Pseudogley-Braunerde-Podsole aus Geschiebedecksand bis Flugsand über Geschiebelehm	Podsol
2101	Grundwassernahe ebene Geest	Pseudogley-Podsol	40	Pseudogley-Eschböden	Esch
2111	-	Gley-Podsol	44	Pseudogley-Parabraunerde	Parabraunerde
2140	-	Gley	47	Gleye aus holozän umgelagertem fluviatilem Sand	Gley
2211	Grundwasserferne ebene bis wellige Geest	Podsol-Braunerde	50	Braunerden aus Lösssand über glazi-fluviatilem Sand	Braunerde
2251	-	Pseudogley-Braunerde	56	Umbruchsböden	Umbruchsböden
2261	-	Parabraunerde	57	Hochmoore über glazi-fluviatilem Sand	Hochmoor
2270	-	Pseudogley	58	Erd-Niedermoore über Niederungssand und Mudde	Niedermoor
2310	Grundwasserferne hügelige bis kuppige Geest	Podsol-Braunerde	63	Eschböden	Esch
			64	Gleye	Gley
			68	Braunerde-Podsole aus Geschiebedecksand bis Flugsand über Niederungssand	Podsol
BSK200 Ebergötzen			BÜK200 Ebergötzen		
ID	Region	Bodentyp	ID	Region	Bodentyp
120	Talaue	Auenboden	128	Braunerden aus lösshaltiger, tonig-schluffiger Fließerde	Braunerde
250	Moore	Niedermoor	129	Pelosol	Pelosol
5110	ebene bis fachwellige Lössbecken	Pseudogley-Parabraunerde	130	Fahlerden aus skeletthaltigem Löss aus Kalksteinverwitterungsmaterial	Parabraunerde
5210	fachhängige Lössbecken und Hangfußlagen	Pseudogley-Parabraunerde	137	Braunerde	Braunerde
5330	Höhenzüge mit Festgesteinsböden	Rendzina	142	Pseudogley-Parabraunerden aus lössreicher Fließerde über tiefer Fließerde aus Verwitterungsmaterial von Schluffstein-Sandstein-Wechselfolgen	Parabraunerde
5340	-	Braunerde	144	Braunerde-Pelosol	Pelosol
5350	-	Braunerde	145	Pseudogleye aus lösshaltiger Fließerde über Fließerde aus Verwitterungsmaterial von Tonstein-Schluffstein-Sandstein-Wechselfolgen	Pseudogley
5420	-	Rendzina	150	Gley-Auenboden	Auenboden
5430	-	Braunerde	155	Pseudogley-Parabraunerden aus Löss	Parabraunerde
5440	-	Rendzina	157	Tschernosem-Parabraunerden aus Löss über tiefer tonhaltiger Fließerde aus Tonstein- und Mergelsteinverwitterungsmaterial	Parabraunerde
5450	-	Braunerde-Pelosol			
5530	Hochflächen einschließlich ihrer Hänge	Rendzina			
5610	Gebirgskämme und Schichtstufen mit steilen Hängen	Rendzina			

Tabelle 7.3: Kurzlegende der BSK200 und der BÜK200 in Vechta und Ebergötzen

7.1.2 Karten unterschiedlicher Maßstäbe

Der Vergleich zwischen Karten unterschiedlicher Maßstäbe anhand von Heterogenitätsmaßen, die auf der gleichen Datenbasis entstanden sind, lässt erwarten, daß die Heterogenität der Karte im kleineren Maßstab höher ist. Dies soll an einzelnen Beispielen überprüft werden. An dieser Stelle werden jeweils die Paare BSK200 / BÜK1000 und BÜK200 / BÜK1000-N3 verglichen. Da die Unterschiede zwischen der nutzungsdifferenzierten BÜK1000-N3 und der aktuellen BÜK1000 nur im Bereich Ebergötzen relevant sind (Abb. 7.7 und 7.8), beschränkt sich der Vergleich der "aktuelleren" Karten auf das Gebiet Ebergötzen.

Der Vergleich zwischen den Maßstäben soll zunächst in Vechta untersucht werden. In Tabelle

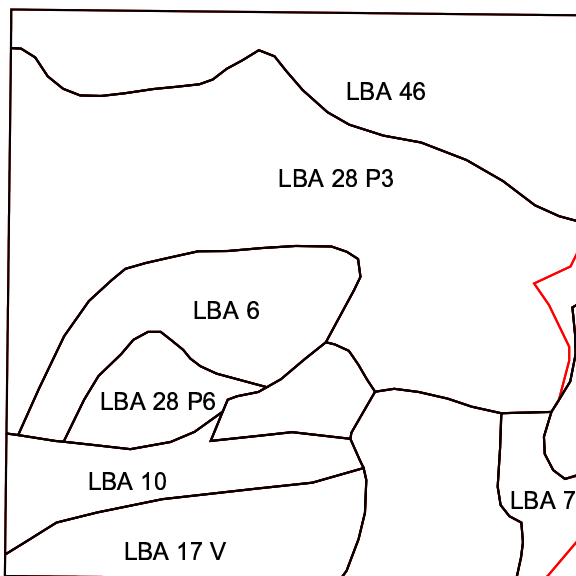


Abbildung 7.7: Vergleich zwischen der BÜK1000 und der nutzungsdifferenzierten BÜK1000-N3 auf Blatt Vechta; in rot sind die Grenzen der BÜK1000-N3 dargestellt

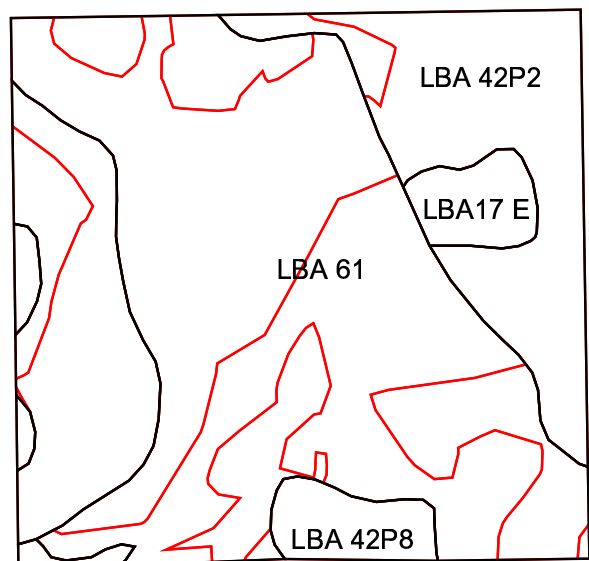


Abbildung 7.8: Vergleich zwischen der BÜK1000 und der nutzungsdifferenzierten BÜK1000-N3 auf Blatt Ebergötzen; in rot sind die Grenzen der BÜK1000-N3 dargestellt

7.4 sind fünf Maße zusammengestellt, auf Basis der BSK200 und der BÜK1000 abgeleitet wurden. Die Heterogenität nimmt in diesem Beispiel beim Wechsel in einen anderen Maßstab nicht durchgehend ab. Nur die taxonomischen Maße Anteil des übereinstimmenden Hauptbodentyp und Anteil dominanter Bodentyp nehmen aufgrund der größeren Flächen der Legendeneinheiten ab und zeigen damit eine geringere Repräsentativität. Alle anderen Maße verringern sich und zeigen damit eine geringere Heterogenität. Dieser unerwartete Befund lässt sich in Eber-

	BSK200	BÜK1000
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	48,8	9,3
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	56,5	51,2
Anzahl Hauptbodentypen	5,7	5,4
nFKWe Variationskoeffizient	27,1	18,2
K-Faktor Variationskoeffizient	42,5	22,8

Tabelle 7.4: Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Heterogenitätsmaße der BSK200 und BÜK1000 auf Blatt Vechta

götzen zum Teil ebenfalls bestätigen. Vor allem beim Vergleich zwischen den Karten BSK200

und BÜK1000 sinkt die Heterogenität beim Wechsel in den kleinen Maßstab (Tabelle 7.5). Der Flächenanteil des übereinstimmenden Hauptbodentyps steigt und die Variationskoeffizienten der beiden untersuchten Kennwerte sinken. Einzig die Zahl der Bodentypen steigt. Das Maß Flächenanteil dominanter Haupttyp sinkt als Zeichen der vergrößerten Heterogenität. Der Vergleich zwischen den Bearbeitungsständen zeigt allerdings in beiden Fällen eine Steigerung der Qualität der Legendeneinheiten.

Diese Qualitätssteigerung zeigt sich auch bei den anderen Maßen. Bei den aktuelleren Karten BÜK200 und BÜK1000-N3 kann die prognostizierte Vergrößerung der Heterogenität nachgewiesen werden. Bis auf den Variationskoeffizienten des K-Faktors nimmt die Bandbreite der Haupttypen, der Variationskoeffizient zu und die Übereinstimmung im Haupttyp ab.

Bereich Ebergötzen	BSK200	BÜK 1000	BÜK200	BÜK1000-N3
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	17,13	36,11	66,99	42,50
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	68,7	52,6	89,5	58,4
Anzahl Hauptbodentypen	5,08	6,75	2,40	4,90
VC nFKWe	38,30	35,71	24,39	56,62
VC K-Faktor	41,21	26,18	28,28	21,95

Tabelle 7.5: Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Heterogenitätsmaße der BSK200 und BÜK1000 sowie der BÜK200 und BÜK1000-N3 auf Blatt Ebergötzen

7.1.3 Vergleich von Karten - Fazit

Die Auswertung von Heterogenitätsmaßen unterstützt den Vergleich von Karten innerhalb eines Maßstabes wie auch verschiedener Maßstäbe. Die Heterogenitätsmaße geben weitere Informationen, die die Bearbeitung und Weiterentwicklung von Bodenkarten substanziell unterstützen. Die Beispiele zeigen einen deutlichen Qualitätszuwachs für die neueren Karten (BÜK200 und nutzungsdifferenzierte BÜK1000).

Die entwickelten Heterogenitätsmaße stellen ein Werkzeug dar, um verschiedene Karten miteinander zu vergleichen. Der Einsatz der Maße ermöglicht die Dokumentation von Weiterentwicklungen z.B. durch den Nachweis einer verringerten Heterogenität bei einem neu gestalteten Kartenentwurf. Diese verringerte Heterogenität steht dann gleichbedeutend für einen Qualitätssprung der Karte. Eine solche Überarbeitung kann auch durch die Definition einer Mindestgröße eines oder mehrerer Maße (z.B. dominanter Flächenanteil mind. 70 %) begleitet werden.

Weiterhin lassen sich Beiträge verschiedener Autoren zu einer Gesamtkarte (z.B. verschiedene Bearbeiter benachbarter Blätter) besser koordinieren und an den Schnittstellen abgleichen. Mit Hilfe der vorgeschlagenen Maße lassen sich die Veränderungen der Karteninhalten im Zuge von Maßstabswechseln dokumentieren und beschreiben.

Unter Zuhilfenahme von Heterogenitätsmaßen sind weitergehende Hilfestellungen bei Aggre-

gierungen und Generalisierungen wie sie z.B. (FUCHS 2002) vorschlägt, denkbar. Neben den dort vorgestellten Methoden können Heterogenitätsniveaus ("die Ergebniskarte nach der Generalisierung darf im Mittel maximal 30% höhere Heterogenität aufweisen") den Prozess der Generalisierung begleiten und ermöglichen damit eine Qualitätsüberprüfung.

7.2 Bundesweite Auswertung der Heterogenitätsmaße

Als Konsequenz aus der Festlegung auf einzelne Heterogenitätsmaße mit Bezug auf Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 ergab sich der Schritt auf Bereiche außerhalb der Testgebiete. Es stellte sich die Frage, inwieweit es möglich ist, für weitere Leitbodenassoziationen der BÜK1000 die vorgeschlagenen Maße zu berechnen. Am Anfang der Bearbeitung stand eine Untersuchung über die Verteilung der einzelnen LBA innerhalb der Bundesländer. Ziel war es, möglichst kompakte Situationen zu finden, in denen eine große Anzahl von verschiedenen LBA kompakt auf engem Raum vorkommen. Zunächst wurde durch eine Verknüpfung der LBA zu den einzelnen Bundesländern und den jeweiligen Flächenanteilen und räumlichen Verteilungen die Basis für die Auswahl gelegt. Die konkrete Auswahl der gesuchten Flächen wurde dann mit Hilfe eines GIS manuell durchgeführt. Die bestehende Datensituation in den Bundesländern veränderte diese Auswahl.

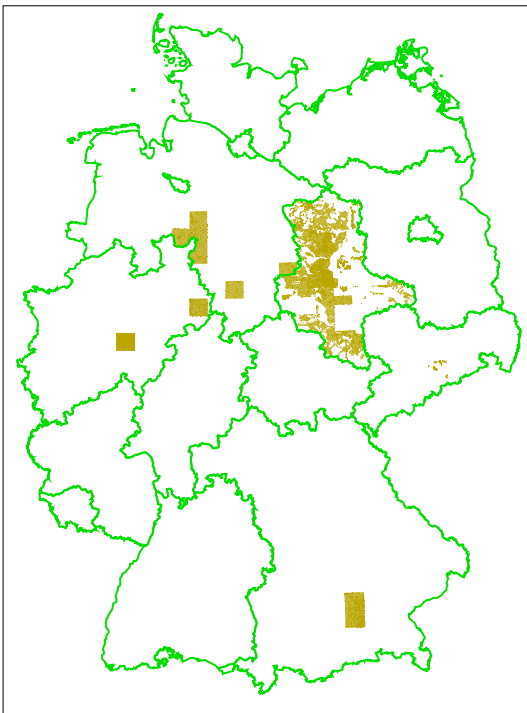


Abbildung 7.9: Lage der ausgewerteten Daten der Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 in Deutschland

Die verschiedenen Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Bundesländer wurden mit der Bitte kontaktiert, alle notwendigen Daten und Kennwerte in den gesuchten Bereichen bereitzustellen. Die realisierte Auswahl an LBA ergab sich aus dem Volumen der Anfragen und den verfügbaren Daten. Für einzelne LBA wurden keine Daten angefragt, da die inhaltliche Situation eine Ableitung nicht sinnvoll erscheinen ließ (z.B. Watt- oder Hochgebirgsböden) oder die räumliche Verbreitung sehr gering war (z.B. LBA 39: Tschernosem des Oberrheintals oder LBA 54: Böden des Laacher Sees). In den Tabellen B.3, B.4 und B.5 im Anhang ab Seite 173 sind die untersuchten LBA zusammengestellt. In den Tabellen ist auch angegeben, welche LBA in welchem Bundesland untersucht wurde.

Die Anfragen an die SGD wurde in verschiedener Weise beantwortet. Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Bayern konnten die Daten in Form von Ausschnitten im Bezug zu Blättern der TK50 bereitstellen, Sachsen-Anhalt stellte die aktuelle Version der zurzeit in Bearbeitung befindlichen BÜK50 zur Verfügung. Abbildung 7.9 zeigt die räumliche Verteilung der erhaltenen Daten innerhalb von Deutschland.

7.2.1 Methodische und räumliche Heterogenität

Neben der räumlichen Heterogenität wiesen die Daten auch eine erhebliche inhaltliche Heterogenität in der Art der Flächeninhaltsbeschreibung auf. Hier wurden die in der Problemstellung

geschilderten Probleme der Verfügbarkeit und inhaltlichen Heterogenität der Daten sehr deutlich.

Auf die niedersächsischen Daten konnte direkt durch das NIBIS zugegriffen werden, die Auswertung des Kennwerts nFKWe war mit Hilfe von MeMaS sehr einfach möglich. Die Daten aus Nordrhein-Westfalen lagen ebenfalls in einer Form vor, die eine Ableitung der gewünschten Informationen direkt ermöglichte. Neben den Geometrien der beiden Blätter lag eine Datenbank vor, die Angaben zum Bodentyp wie auch den Bodenarten (zur Ableitung des K-Faktors) enthielt. Weiterhin war durch eine Auswertung eines Mitarbeiters des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen die nFKWe bereits berechnet worden. Die bayerischen Daten lagen als Geometriedaten mit einem Eintrag zur Legende vor. Die gewünschten Informationen zur Taxonomie wurden unter Zuhilfenahme der Erläuterungen zu dem Kartenwerk (FETZER et al. 1986) erarbeitet. Auf Basis der Profilinformatoren wurden die beiden Kennwerte nFKWe und K-Faktor berechnet. Die Informationen aus Sachsen-Anhalt bestanden aus der vorläufigen digitalen Bodenkarte VBK50 und einer Legende. Sie waren räumlich sehr umfangreich, inhaltlich musste allerdings eine geringere Vielfalt in Kauf genommen werden. Die Geometrien enthielten nur eine Information zu der Kombination aus Bodentyp und Ausgangssubstrat (Bodenform). Der Bezug zu einem konkreten Profil mit berechneten Kennwerte wurde durch eine Tabelle erreicht, die ausgewählte Standardprofile zusammen mit Kennwerten zu Substrat-Horizont-Gruppen bereitstellt (RIEK et al. 1985)¹. Die Daten aus Sachsen enthielten neben den Geometrien eine ausführliche Datenbank, die eine Ableitung der gewünschten Kennwerte ermöglichte. Trotz der methodischen und inhaltlichen Heterogenität war es durch eine Bearbeitung und Anpassung der Daten möglich, nach einheitlicher Methodik für 45 verschiedene Leitbodenassoziationen die vorgeschlagenen Heterogenitätsmaße zu berechnen.

7.2.2 Beschreibung der Daten

In Tabelle 7.6 sind einige statistische Kennwerte der Verteilung der Heterogenitätsmaße zusammengefasst. Alle berechneten Heterogenitätsmaße für die Leitbodenassoziationen der BÜK1000 sind in der Tabelle B.6 auf Seite 176 zusammengestellt.

Alle Maße der untersuchten LBA weisen ein breites Spektrum auf. Während der Großteil der LBA nur in geringem Umfang ausgewertet werden können, haben einige LBA bis über 60% Flächendeckung mit BK50-Daten. Die Übereinstimmung mit dem Haupttyp liegt zwischen 0% und fast vollständiger Übereinstimmung. Die Zahl der bodenkundlichen Haupttypen schwankt zwischen 3 und 13 mit einem Mittelwert zwischen 8 und 9. Der Flächenanteil des dominanten Haupttypen schwankt zwischen 11 und 93 %.

Bei den statistischen Kennwerten wird die gesamte mögliche Bandbreite abgedeckt. Die Variation schwankt zwischen sehr hohen Werten (über 100%) und relativ schmalen Verteilungen knapp unter 15%. Auch die Diversitätsmaße und der Gestaltindex zeigen hohe Spannweiten. In Tabelle 7.7 ist eine Auswahl der untersuchten LBA zusammen mit den berechneten Heterogenitätsmaßen dargestellt. Die Auswahl bezieht nur Flächen ein, die durch mindestens 2% ihrer Gesamtfläche mit Daten aus dem Maßstab 1:50.000 belegt sind. Die Gruppierung der

¹nähere Details sind unter <http://www1.mw.sachsen-anhalt.de/gla/daten/gis/boden/vbk50.htm> und <http://www1.mw.sachsen-anhalt.de/gla/daten/bis/boden/kennwerte.htm> (Stand Dezember 2003) zu finden

	Minimum	Maximum
Flächenanteil [%] untersuchte Fläche zu Gesamtfläche	0,0	62,7
untersuchte Gesamtfläche [km ²]	0,0	2225,6
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	0,0	93,2
Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	11,8	93,2
Anzahl Hauptbodentypen	3	13
nFKWe: Mittelwert	71,2	240,9
nFKWe: Variationskoeffizient	14,8	122,0
K-Faktor: Mittelwert	0,06	0,53
K-Faktor: Variationskoeffizient	14,6	98,0
MSIEI	0,10	0,88
Gestaltindex: Mittelwert	1,55	2,17
Gestaltindex: Variationskoeffizient	22,8	54,6

Tabelle 7.6: Minimum und Maximum der Heterogenitätsmaße für 45 Leitbodenassoziationen der BÜK1000

LBA bezieht sich auf die Bodengesellschaften der BÜK1000, wie sie in der Textlegende definiert werden (HARTWICH et al. 1995a).

Diese Auswahlmenge an LBA wird auch in den folgenden Auswertungen benutzt. Die Tabelle 7.7 gliedert die LBA nach ihrer Zugehörigkeit zu Naturräumen, wie sie in der Legende zur BÜK1000 vorgegeben ist. Im Folgenden sollen an einigen Beispielen die Möglichkeiten der Auswertung mit Hilfe der neuen Maße dargestellt werden.

Bereich	Flächenanteil	Fläche	Anteil gleicher Haupttyp	Anteil dominanter Haupttyp	Anzahl versch. Haupttypen	Mittelwert nFKWe	Variationskoeffizient nFKWe	Mittelwert K-Faktor	Variationskoeffizient K-Faktor	MSIEI	Mittelwert Gestaltindex	Variationskoeffizient GI
Böden der Küstenregion und Moore (Gruppe 1)												
LBA7	2,9	140,5	48,1	48,1	7	110,7	14,8	0,06	98,0	0,56	1,70	34,1
Böden der breiten Flußtäler, einschließlich Terrassenflächen (Gruppe 2)												
LBA9	36,1	691,1	0,0		10	127,8	37,7	0,23	53,9	0,65	1,68	32,2
LBA10	4,3	162,0	0,0	12,6	8	116,3	36,1	0,19	68,6	0,64	1,91	47,5
LBA12	24,2	1841,1	53,9	53,9	9	162,1	63,4	0,25	23,2	0,57	1,68	31,7
LBA13	30,7	326,0	1,2	32,4	11	76,3	21,4	0,21	61,2	0,75	1,73	38,5
LBA14	7,4	206,7	93,1	93,1	7	117,0	26,7	0,19	68,7	0,10	1,61	36,3
Böden des wellig-hügelligen Flachlandes und der Hügelländer (Gruppe 3)												
LBA20	2,7	12,5	0,0	11,8	5	109,1	33,3	0,16	14,6	0,86	1,69	30,3
LBA22	6,2	186,6	3,5	22,5	9	129,5	51,6	0,20	47,6	0,83	1,68	31,9
LBA24	51,6	138,6	7,7	48,6	10	112,6	32,9	0,23	23,6	0,55	1,67	28,1
LBA26	3,5	287,9	17,4	29,6	10	118,9	38,3	0,17	24,1	0,74	1,71	30,9
LBA28	2,8	194,7	17,3	40,8	12	127,8	51,1	0,24	52,5	0,49	1,66	31,9
LBA29	11,7	200,4	4,9		30,9	163,0	75,9	0,21	33,5	0,80	1,59	26,9
LBA30	2,9	77,2	40,8	41,6	9	124,3	33,0	0,30	39,0	0,72	1,76	39,7
LBA32	18,9	900,4	18,7	49,9	9	114,5	30,0	0,18	35,3	0,58	1,70	33,7
LBA33	2,3	151,5	52,1	28,2	9	104,3	18,8	0,13	53,3	0,50	1,73	32,1
Böden der Lößgebiete (Gruppe 4)												
LBA36	62,7	2225,9	75,0	75,0	10	162,9	37,5	0,22	64,5	0,29	1,74	38,6
LBA37	61,8	599,8	40,6	40,6	10	147,0	41,4	0,29	49,6	0,52	1,76	35,7
LBA38	6,2	67,2	27,5	46,2	10	240,9	70,6	0,49	30,7	0,51	1,79	34,2
LBA40	2,2	134,3	47,1	47,1	13	214,7	122,0	0,43	34,9	0,51	1,78	34,2
LBA41	39,0	310,7	69,5	69,5	9	130,0	32,6	0,26	43,2	0,34	1,65	33,6
LBA42	2,6	686,8	44,9	44,9	13	171,1	111,0	0,36	48,3	0,48	1,93	42,0
LBA44	2,8	45,2	2,6	44,8	5	150,9	49,4	0,37	34,03	0,57		
LBA45	21,4	256,5	7,9	33,8	8	138,7	77,7	0,28	44,8	0,80	1,70	31,9
Böden der Berg- und Hügelländer sowie der Mittelgebirge, aus Festgesteinen, deren Verwitterungsmaterial und Umlagerungsdecken (Gruppe 5)												
LBA52	5,6	299,1	43,9	58,5	8	90,3	42,5	0,24	68,3	0,49	2,13	47,4
LBA56	4,5	108,9	39,7	39,7	7	141,5	52,5	0,30	28,3	0,83	1,81	50,8
LBA60	4,4	283,4	88,2	88,2	8	135,8	35,7	0,28	20,5	0,11	1,84	54,6
LBA65	8,4	146,1	0,3	62,4	5	134,6	59,5	0,26	42,5	0,36	1,75	39,9
LBA66	4,8	161,3	0,7	37,3	13	150,9	106,3	0,26	73,7	0,60	1,82	34,9

Tabelle 7.7: Heterogenitätsmaße für 28 Leitbodenassoziationen der BÜK1000

7.2.3 Ausprägung der Heterogenitätsmaße in verschiedenen Naturräumen

Die Gruppierung nach der naturräumlichen Zugehörigkeit sollte die Frage klären, ob es statistisch nachweisbare Unterschiede in der Ausprägung der entsprechenden Maße zwischen den Gruppen gibt. Hierfür wurde eine Varianzanalyse mit anschließendem Scheffé-Test durchgeführt (Tabelle 7.8). Die Daten lassen folgende Schlussfolgerung zu: Die Gruppe 4 (Böden der Lößgebiete) lässt sich anhand der Mittelwerte der nFKWe und des K-Faktors statistisch signifikant auf einem 90%-Niveau von der Gruppe 2 (Böden der breiten Flußtäler, einschließlich Terrassenflächen) und der Gruppe 3 (Böden des wellig-hügeligen Flachlandes und der Hügelländer) trennen. Andere Gruppen lassen sich nicht abgesichert voneinander unterscheiden.

	Mittelwert nFKWe			Mittelwert K-Faktor		
	2	3	4	2	3	4
3	1,0			0,99		
4	0,05	0,02		0,02	0,00	
5	0,95	0,97	0,16	0,58	0,31	0,28
	nFKWe Variationskoeffizient			K-Faktor Variationskoeffizient		
	2	3	4	2	3	4
3	1,00			0,24		
4	0,23	0,20		0,68	0,80	
5	0,59	0,62	0,95	0,88	0,70	0,99
	MSIEI					
	2	3	4			
3	0,69					
4	0,99	0,37				
5	0,97	0,38	1,00			

Tabelle 7.8: Varianzanalyse zwischen den Maßen Mittelwert und Variationskoeffizient der nFKWe und K-Faktor sowie dem Index MSIEI; Signifikanzniveau 0,1; Auswertung der LBA, gruppiert nach Naturraum; **fett:** Die Daten lassen eine signifikante Trennung der naturräumlichen Gruppen zu

7.2.4 Diversitätsindex

Der Diversitätsindex MSEIE zeigt im Vergleich mit den statistischen Maßen die räumliche Heterogenität an. In den verschiedenen LBA ist die räumliche Verteilung der Bodentypen sehr unterschiedlich. Abbildung 7.10 zeigt die Verteilung des Index MSEIE in den ausgewählten 28 LBA. Dabei lassen sich vier Bereiche abgrenzen. Zwei LBA mit Indexwerten um 0,1, was auf die Dominanz eines Bodentyps gegenüber vielen kleinen weiteren Flächen schlüsselt. Drei weitere LBA mit Indexwerten zwischen 0,3 und 0,4. Die größte Zahl der LBA hat Indexwerte knapp unter 0,5 bis 0,65. Die LBA mit Indexwerten höher als 0,7 bis zum Maximum von 0,86 bilden den vierten Bereich mit einer kompakten Verteilung.

Selbst benachbarte und inhaltlich ähnliche Bodenassoziationen zeigen zum Teil völlig unter-

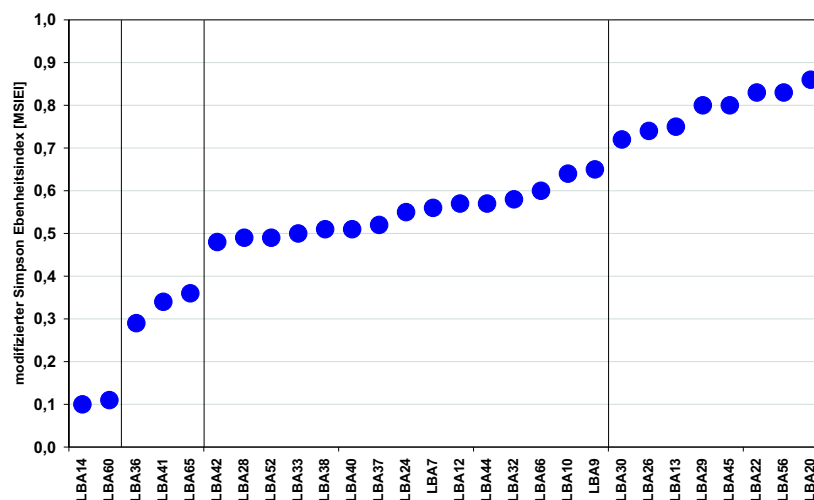


Abbildung 7.10: Verteilung des Index MSEIE in 28 untersuchten LBA der BÜK1000

schiedliche räumliche Strukturen. Am Beispiel der LBA 13 (kalkhaltige Böden aus sandigen bis lehmigen, Hochflut- und Auenablagerungen; Hauptboden: Pararendzina) und der LBA 14 (schluffig-lehmige, braune Böden, in der Regel mit tonreicherem Unterboden auf eiszeitlichen Schotterplatten, aus Decklehm oder Löss über kalkhaltigem Schotter; Hauptboden Parabraunerde) kann dies sehr gut gezeigt werden. Beide LBA liegen im Voralpenbereich im Donautal und unterscheiden sich in erster Linie durch das Substrat (sandig lehmig <-> schluffig-lehmig). Die räumliche Verteilung der vorkommenden Bodentypen ist aber völlig unterschiedlich. Die LBA 13 liegt mit 0,75 am oberen Ende der möglichen Werte während die LBA 14 mit 0,1 am unteren Ende liegt. Abbildung 7.11 zeigt die beiden LBA im Zusammenhang der untersuchten TK50-Blätter in Bayern. Innerhalb des Bereichs der LBA14 werden zu großen Teilen Parabraunerden ausgewiesen, eingesprenkelt sind einzelne Areale, die als Pararendzina kartiert wurden. Innerhalb der LBA 13 dagegen sind die verschiedenen Bodentypen gleichmäßig verteilt.

7.2.5 Gestaltindex

Die Unterschiede, die sich durch die verschiedenen Gestaltindizes dokumentieren lassen, sind in Abbildung 7.12 und Abb. 7.13 dargestellt. In der LBA 29 (Ausschnitt aus der Altmark im Norden von Sachsen-Anhalt) sind die Flächen der verschiedenen Bodentypen kompakt und

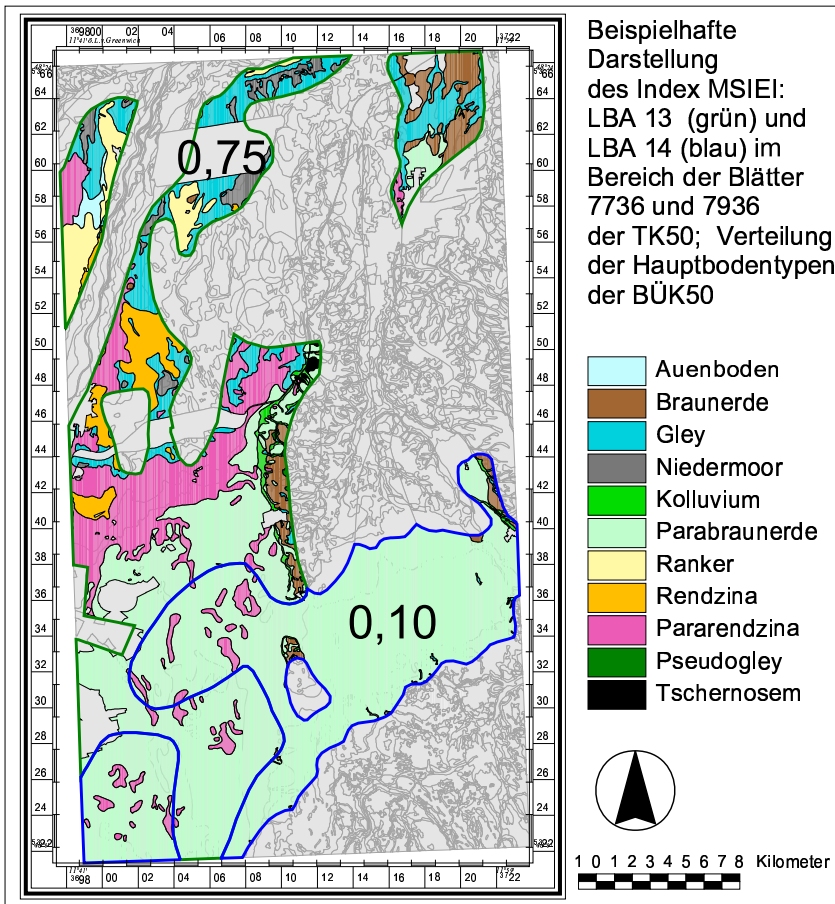


Abbildung 7.11: Vergleich der räumlichen Verteilung von Hauptbodentypen in zwei benachbarten Leitbodenassoziationen; LBA 13 (grüne Umrahmung) und LBA 14 (blaue Umrahmung) im Bereich der Blätter 7736 und 7936 der TK50; dargestellt sind die Verteilungen der Hauptbodentypen der BÜK50; Index: MSIEI

gleichmäßig geformt. Die Werte für den Mittelwert sind 1,59 mit einem Variationskoeffizienten von 26,9 %. Demgegenüber zeigt sich die Verteilung der verschiedenen Bodentypen im Bereich der LBA 60 (Mittelgebirge; Rothaargebirge in Nordrhein-Westfalen) deutlich unterschiedlich. Die schmalen Vorfluter, die das Gebiet durchziehen sind auskartiert und führen zu einer sehr gedehnten und langgestreckten Form der einzelnen Bereiche. Der Gestaltindex liegt mit 1,84 beim Mittelwert und 54,6% beim Variationskoeffizient deutlich über den Werten der Vergleichsfläche.

Durch dieses Maß lassen sich also die räumlichen Strukturen beschreiben. Die Unterschiede zwischen den LBA müssen sich aber nicht nur aus der jeweiligen bodenkundlichen Situation ergeben. Unterschiedliche Präzision oder Kartierkonzepte können ebenfalls zu diesen Ergebnissen führen. Die vorgestellten Maße geben damit die Möglichkeit einer Qualitätsüberprüfung.

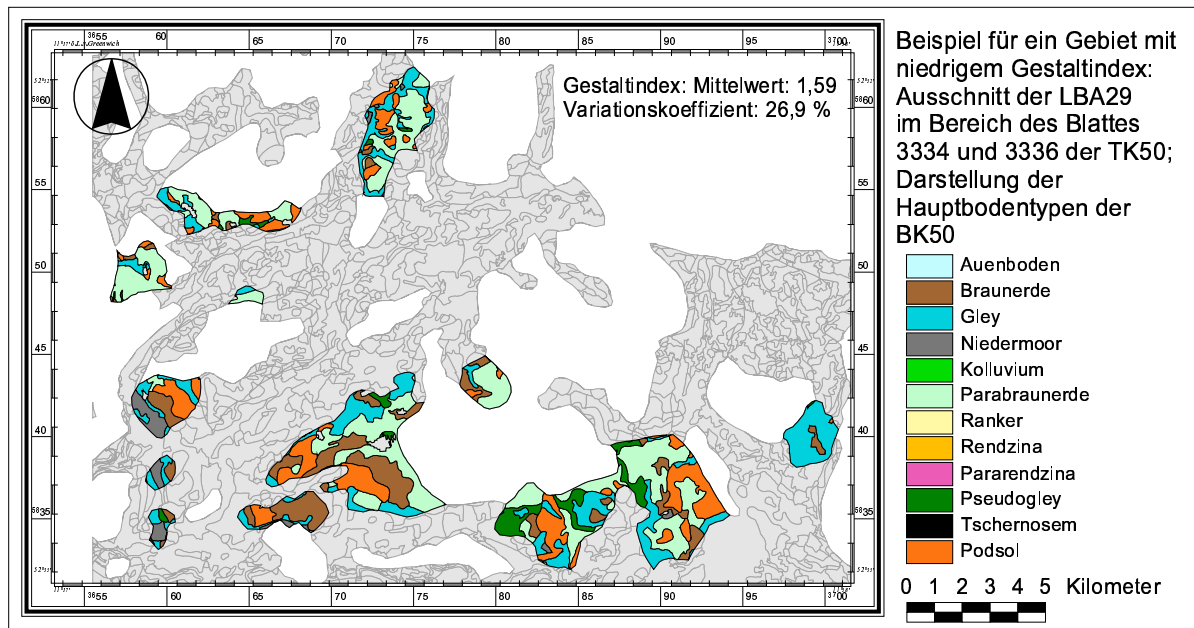


Abbildung 7.12: Beispiel für einen niedrigen Gestaltindex; Ausschnitt der LBA29 im Bereich des Blattes 3334 und 3336 der TK50; Darstellung der Hauptbodentypen der BK50, die benachbarten Bereiche sind grau eingefärbt

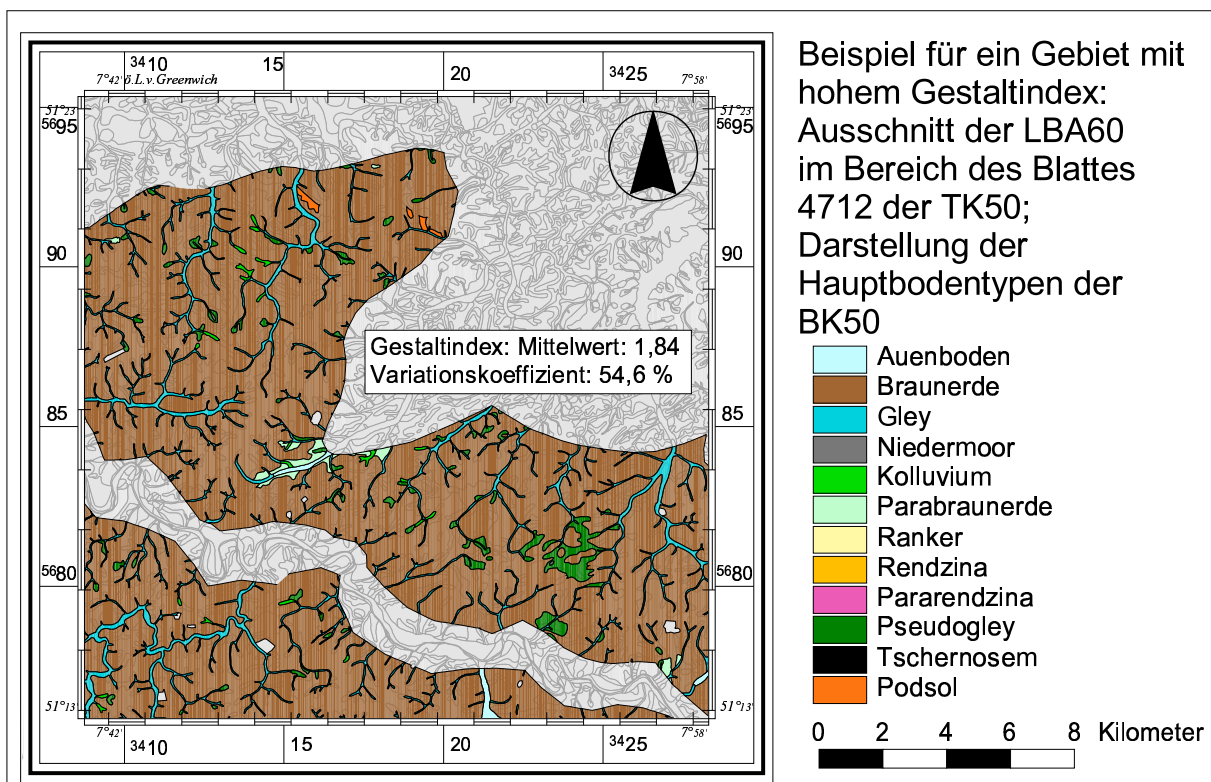


Abbildung 7.13: Beispiel für einen hohen Gestaltindex; Ausschnitt der LBA60 im Bereich des Blattes 4712 der TK50; Darstellung der Hauptbodentypen der BK50; die benachbarten Bereiche sind grau eingefärbt

7.2.6 Bundesweite Darstellung der Heterogenitätsmaße

Auf den folgenden Seiten werden anhand von bundesweiten Übersichten die räumliche Verteilung der verschiedenen Heterogenitätsmaße dargestellt. Die Karten zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen extrapoliert auf das jeweilige Gesamtgebiet der Leitbodenassoziation. Die Möglichkeit, verschiedene Naturräume durch die statistischen Heterogenitätsmaße auszuweisen, ist bereits erläutert worden. Die bundesweite Darstellung in Kartenform bestätigt diesen Befund.

Abbildung 7.14 zeigt die Verteilung des taxonomischen Heterogenitätsmaßes "Flächenanteil des dominanten Haupttyps". Der Großteil der Flächen liegt im Bereich zwischen 20 und 60 %. Besonders heterogene Flächen sind vereinzelt in den Niederungen der Ems und im Bereich der Geest zu finden. Besonders homogene Bereiche finden sich im Alpenvorland, dem Sauerland und Rothaargebirge sowie im Bereich nördlich von Leipzig. Morphologische Gliederungen wie die Trennung der Schwäbische und Fränkische Alb von der Donauniederung sind ansatzweise zu erkennen. Eine pauschale Gliederung eindeutigen Bezügen zwischen der Morphologie und der taxonomischen Heterogenität sind nicht zu erkennen. So sind die Mittelgebirgsbereiche des Odenwaldes in einer anderen Klasse der Heterogenität als die Mittelgebirge des rheinischen Schiefergebirges.

Abbildung 7.15 zeigt die Verteilung des Kennwertes *Variationskoeffizient der nFKWe* in den untersuchten LBA. Besonders einheitliche Gebiete sind im Voralpenraum sowie in der norddeutschen Tiefebene zu finden. Hier ist die Speicherkapazität des Bodens innerhalb des Gebietes sehr einheitlich. Der größte Teil der Fläche wird von LBA eingenommen, die einen Variationskoeffizienten zwischen 25 und 50% haben. Größere Wertespanssen finden sich in den Auen und Terrassen der großen Flüsse (Elbe, Oder) und die höchste Heterogenität ist in den Lössgebieten nördlich der Mittelgebirgsschwelle, am Niederrhein und im Kraichgau zu finden. Hier ist also mit einer hohen Heterogenität des Wertes der nFKWe zu rechnen. Große Gebiete werden durch die Lössüberdeckung sehr einheitlich hohe Werte aufweisen, innerhalb der LBA werden aber auch Bereiche vorhanden sein, die deutlich darunter liegen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer entsprechenden Sorgfalt bei der Ableitung weiterer landschaftsökologischer Kennwerte auf der Basis der nFKWe. Die Ergebnisse zeigen den Vorteil des Variationskoeffizienten, der durch die prozentuale Angabe die Bewertung verschiedener Wertenniveaus ermöglicht.

Die Wertespanne des Kennwertes *Variationskoeffizient K-Faktor* ist weniger stark ausgeprägt und auch die Verteilung zeigt andere Schwerpunkte. Wie im vorherigen ist der größte Teil der Fläche im Bereich von 25 bis 50% geprägt. Niedrigere Werte finden sich im gesamten ostdeutschen Raum, den Mittelgebirgen im Westen und am Niederrhein. Die Maximalwerte bis 100% sind im norddeutschen Tiefland und der Schwäbischen und Fränkischen Alb zu finden.

Die Verteilung des Kennwertes *Modifizierter Simpson Ebenheitsindex (MSIEI)* zeigt wiederum eine andere Verteilung. Niedrige Werte, die auf eine Dominanz eines Bodentyps deuten, finden sich in den Flussauen (Elbe, Weser), im Oderbruch und in Teilen des Rheinischen Schiefergebirges. Den größten Teil machen Werte zwischen 0,4 und 0,8 aus. Sehr kompakte Verteilungen finden sich nur vereinzelt (Thüringer Wald, Erzgebirge, Rheintal).

7.2.7 Bundesweite Auswertung - Fazit

In diesem Abschnitt konnte gezeigt werden, dass eine bundesweite Auswertung der vorgeschlagenen Kennwerte möglich ist und sich verschiedene Bereiche unterschiedlicher Heterogenität innerhalb der Bundesrepublik unterscheiden lassen. Die Informationen über Inhalt und Struktur der bodenkundlichen Eigenschaften innerhalb der Legendeneinheiten einer kleinmaßstäbigen Karte lassen sich durch die Ermittlung von Heterogenitätsmaßen deutlich erweitern. Die Kenntnis dieser Maße ermöglicht weitergehende Differenzierungen und Unterscheidungen zwischen den Legendeneinheiten.

Alle drei Arten von Heterogenitätsmaßen (taxonomisch, kennwertbezogen wie auch räumlich) zeigen innerhalb von Deutschland das gesamte mögliche Wertespektrum. Damit ergeben sich neue Ansätze bei der Gestaltung und Weiterentwicklung kleinmaßstäbiger Bodenkarten. Neben den bisherigen taxonomischen und punkthaften Legendeneinheiten lassen sich nun Werteverteilungen und Spannweiten in die Legende integrieren. Damit können in Zukunft beim Entwurf von kleinmaßstäbigen Bodenkarten Heterogenitätsmaße mit in den Entwurf der einzelnen Legendeneinheit einbezogen werden.

Der jetzige Grenzentscheidungen der Karten wird von den Heterogenitätsmaßen nur eingeschränkt wiedergegeben. Die Verteilung der einzelnen Grade der Heterogenität folgt nicht den bestehenden Gliederungen in Bodengesellschaften oder Bodenregionen.

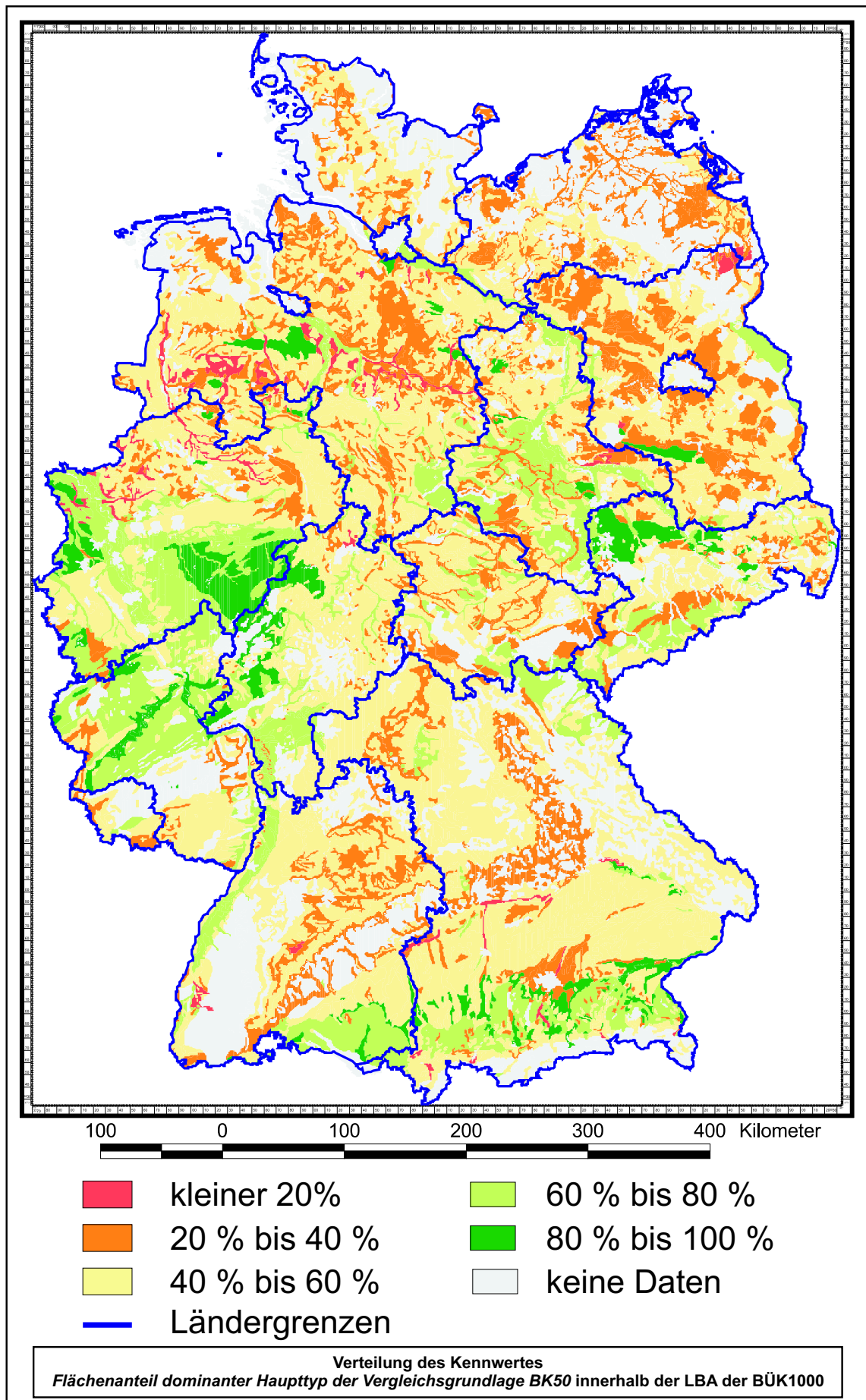


Abbildung 7.14: Verteilung des Kennwertes *Flächenanteil des dominanten Haupttyps der Vergleichsgrundlage BK50* in der Bundesrepublik

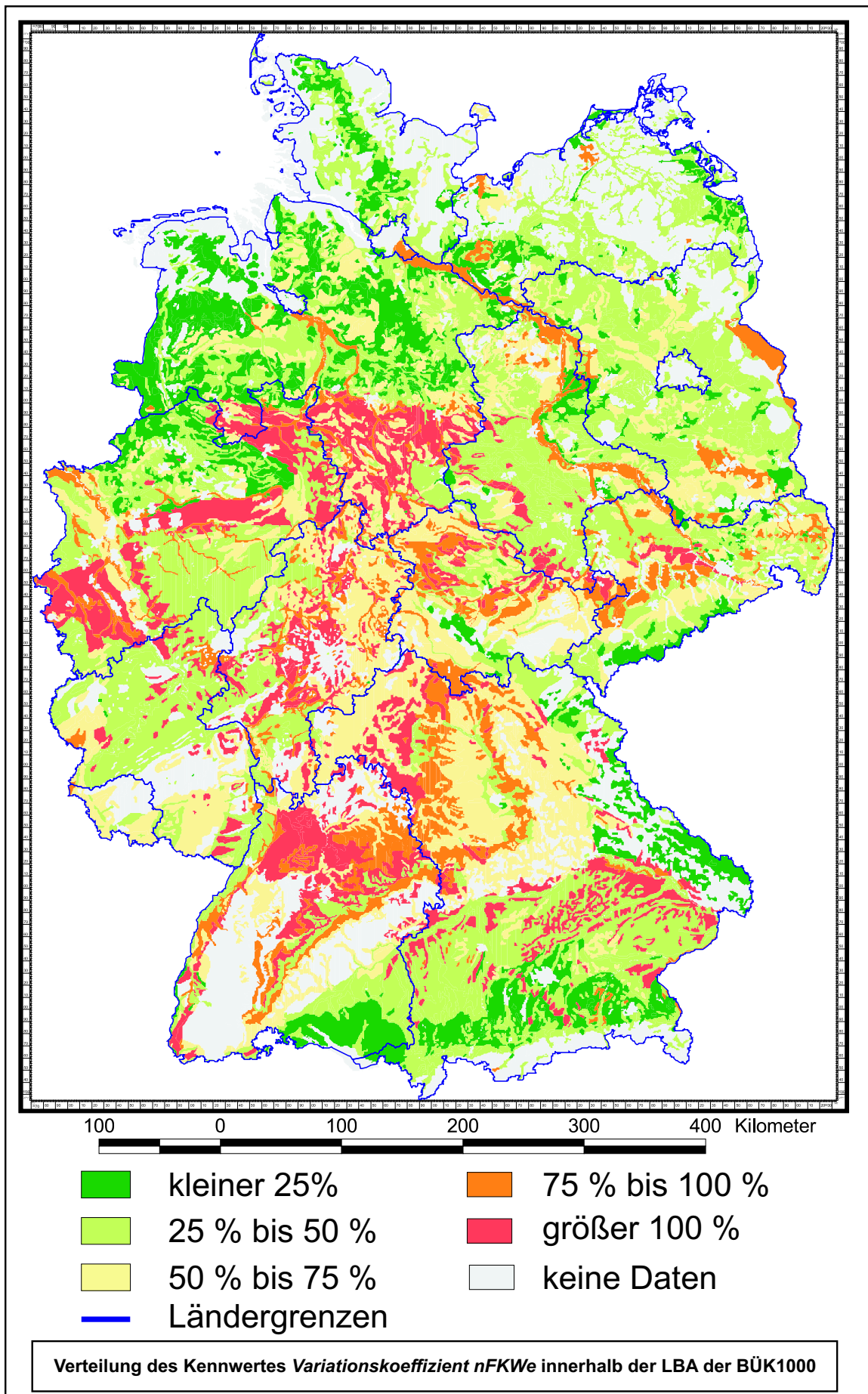


Abbildung 7.15: Verteilung des Kennwertes *Variationskoeffizient: nFKWe* in der Bundesrepublik

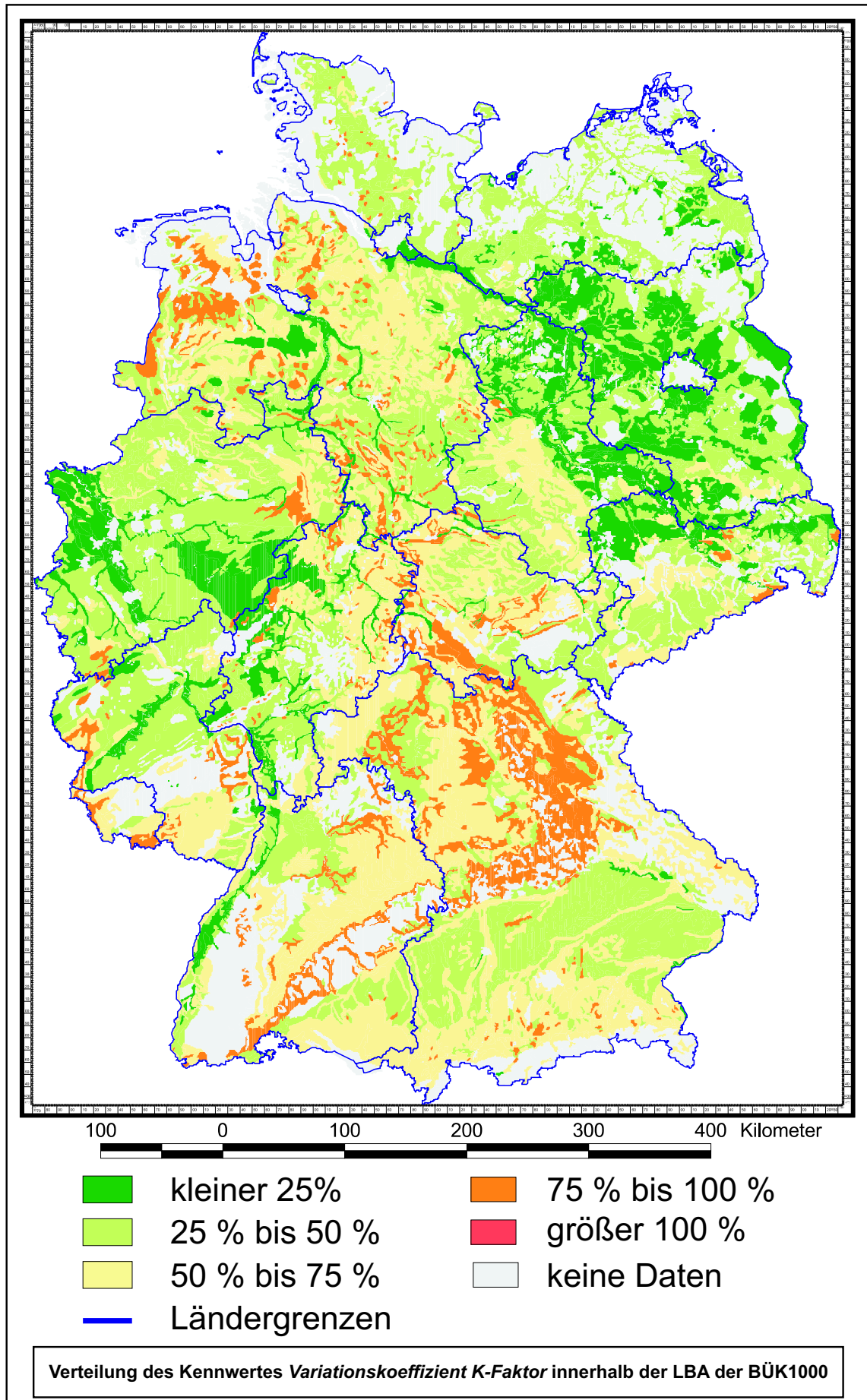


Abbildung 7.16: Verteilung des Kennwertes *Variationskoeffizient K-Faktor* in der Bundesrepublik

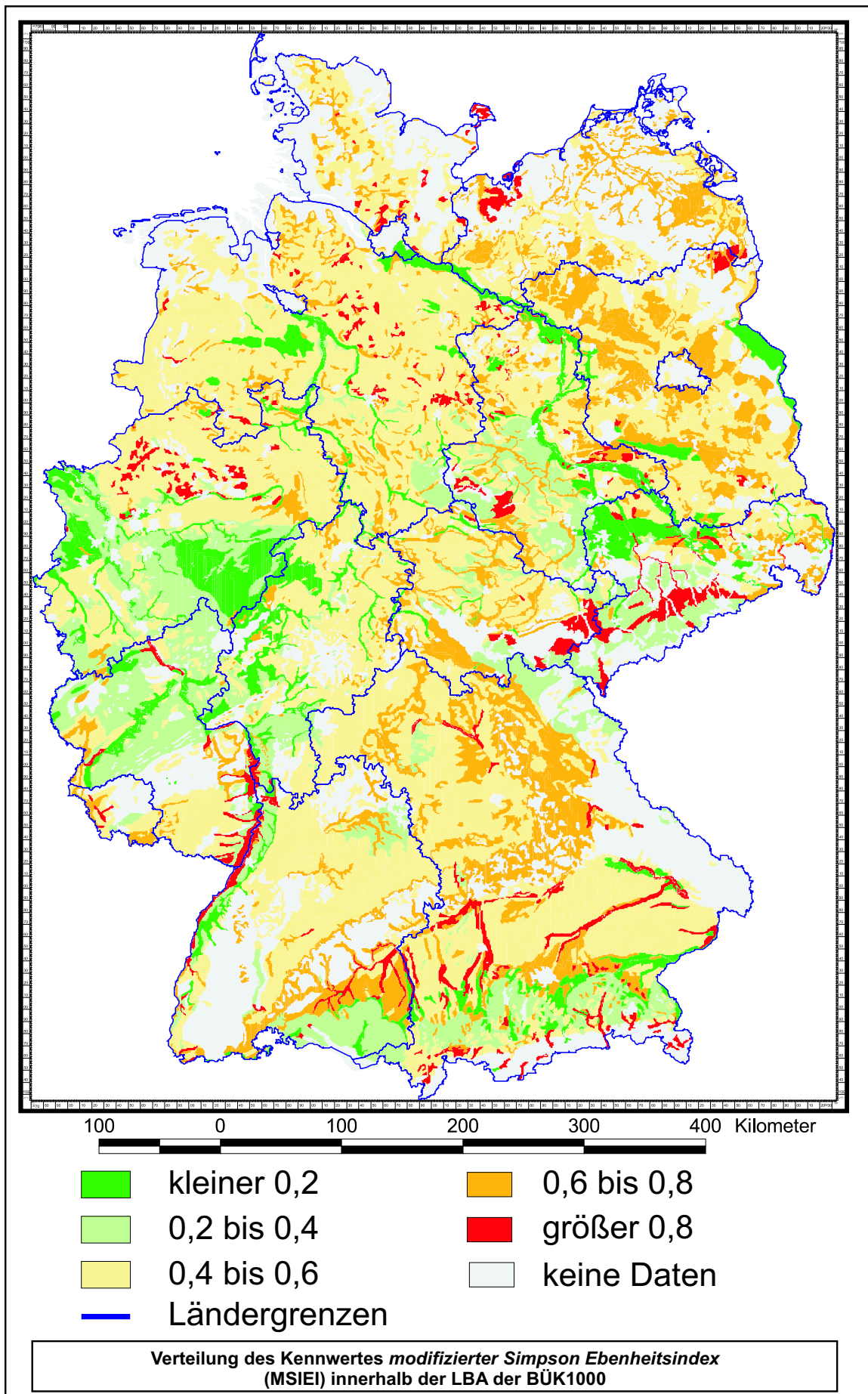


Abbildung 7.17: Verteilung des Kennwertes *modifizierter Simpson Ebenheitsindex* in der Bundesrepublik

7.3 Integration von Verteilungsfunktionen in Kartenlegenden durch eine Monte-Carlo-Simulation

Die Erweiterung der Legendeneinheiten statistischer Kenngrößen wichtiger bodenkundlicher Kennwerte (z.B. nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) und damit verbunden die Kenntnis der Verteilung innerhalb einer Legendeneinheit ermöglicht neue Ansätze zur Berechnung abgeleiteter Kennwerte wie der Sickerwasserrate. Auf Basis der ermittelten Kennwerte war es modellhaft möglich, für die untersuchten LBA eine Berechnung der Sickerwasserrate durchzuführen. Die Ergebnisse werden anhand einer ausgewählten LBA dargestellt.

7.3.1 Methodik von Monte-Carlo-Simulationen

Um der Heterogenität innerhalb der einzelnen Leitbodenassoziationen Rechnung zu tragen und die neuen Möglichkeiten der Kenntnis von Verteilungen Rechnung zu tragen, wurde eine Monte-Carlo-Simulation angewendet. Eine Monte-Carlo-Simulation (MCS) ermöglicht die Modellierung von Kennwerten auf der Basis der statistischen Verteilungen der Eingangsparameter. Die jeweiligen Verteilungen der Eingangsparameter innerhalb des Untersuchungsgebietes sind bekannt, ohne daß die konkrete räumliche Position der einzelnen Ausprägungen bekannt ist. Für die Simulation wird aus den Verteilungen der Eingangsparameter jeweils ein Wert zufällig ausgewählt und auf dieser Basis die Modellierung durchgeführt. Die ausreichend große Wiederholung dieses Schrittes ergibt eine Verteilung von Ergebnissen. Diese Verteilung spiegelt dann alle theoretischen Kombinationen mit ihren spezifischen Häufigkeiten wieder. Am Ende der Simulation steht eine Verteilung von Ergebnissen, die eine Aussage zu deren Verteilung innerhalb des Gebietes macht. Dies wiederum ohne Kenntnis des konkreten Ortes. (Abbildung 7.18) Zur Qualitätssicherung wird vor Beginn der Untersuchung, die Zahl der eingehenden Berechnungen variiert, um herauszufinden, welche Anzahl von Simulationen "ausreichend groß" ist, um ein stabiles Ergebnis zu erhalten. Die Zahl der Berechnungen variierten in den Schritten 10x, 100x, 500x, 1.000x, 2.000x, 5.000x und 10.000x. Diese Berechnungen wurden jeweils 100-mal wiederholt, so dass 100 verschiedene Verteilungen untersucht werden konnten. Mittelwert und Standardabweichung dieser 100 verschiedenen Mittelwerte werden berechnet

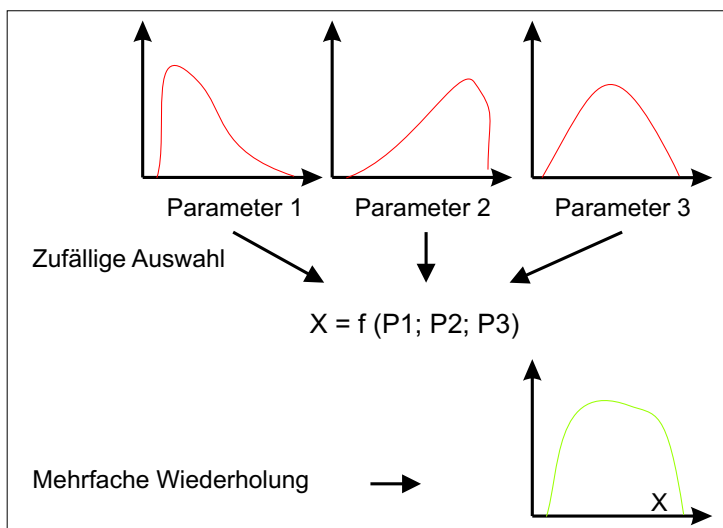


Abbildung 7.18: Prinzipskizze der Monte-Carlo-Simulation

(Abbildung 7.19). Ausgehend von der 10fachen Wiederholung nimmt die Schwankung des Mittelwertes zunehmend ab. Bis zu einer Wiederholung der Berechnung mit dem Faktor 2000 nimmt die Standardabweichung der verschiedenen Mittelwerte ab und bleibt daraufhin auf geringem Niveau. Der gleiche Befund ist bei der Auswertung der Standardabweichung zu sehen. In dem dargestellten Beispiel liegt der Mittelwert 167 mm/a mit einer Standardabweichung von etwa 3 mm. Die Standardabweichung liegt bei ca. 235 mm/a. Das bedeutet, die 2000fache Wiederholung der Berechnung zur Ableitung der Sickerwasserrate führt zu einem Ergebnis, das den Verteilungen der Ausgangswerte entspricht. Bei dieser Zahl an Wiederholungen kann davon ausgegangen werden, dass alle möglichen Kombinationen ausreichend oft vorkommen, um eine realistische Verteilung der möglichen Ergebniswerte innerhalb jeder LBA zu ermitteln.

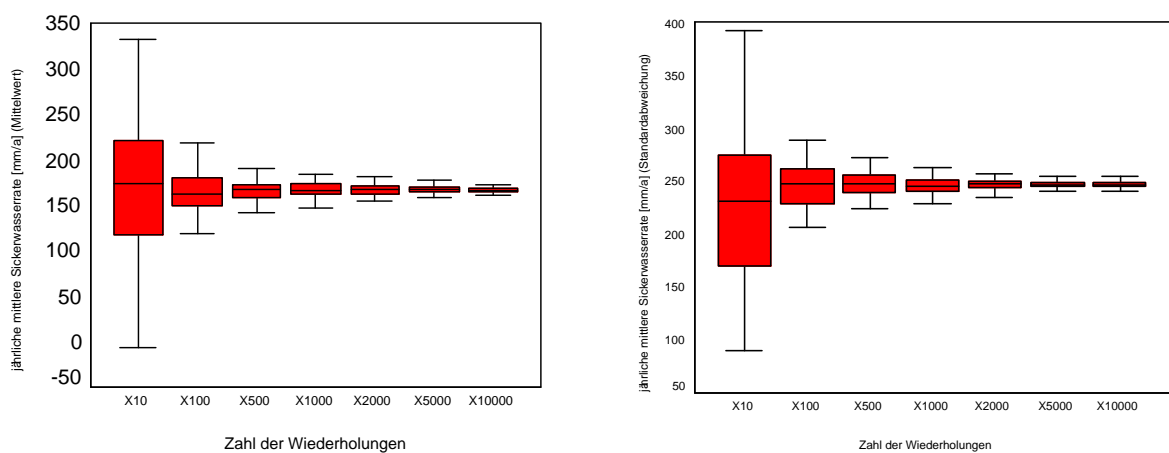


Abbildung 7.19: Mittelwert und Standardabweichung der jährlichen Sickerwasserrate in Abhängigkeit von der Wiederholung der Simulation

7.3.2 Methodik zur Berechnung der Sickerwasserrate

Alle Informationen, die zur Ableitung der Sickerwasserrate benötigt wurden, sind dem Fachinformationssystem Bodenkunde der BGR (FISBo BGR) entnommen worden. Zur Berechnung wurde eine Methode benutzt, die von (DUIJNISVELD et al. 2003) und (WESSOLEK et al. 2004) auf Basis der Arbeit von (RENGER und WESSOLEK 1990) weiterentwickelt wurde. Die Weiterentwicklung besteht in einer weiteren Differenzierung der Nutzung (Wald wird jetzt nach Laub- und Nadelwald getrennt) und vor allem in einer Anpassung der Regressionen nach Böden mit und ohne Grundwasseranschluss. Die Werte dieser Berechnung sind aufgrund der weiterentwickelten Methode nur eingeschränkt mit den bisherigen in der Arbeit dargestellten Ergebnissen der Sickerwasserrate vergleichbar. Die Anwendung der neuen Methode ergab sich durch die Möglichkeit einer schnellen und komfortablen Berechnung mit Hilfe eines Programms, das innerhalb des Referates B4.26 der BGR erarbeitet wurde. Die Anwendung des Programm MeMaS war für die Fragestellung und den Landschaftsraum nicht möglich.

Alle notwendigen Parameter wurden mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) aus Rasterdaten für die Fläche jeder einzelnen LBA abgeleitet und eine klassifizierte Verteilung

ermittelt. Notwendig war die Ermittlung folgender Daten (in Klammern die Minimal und Maximalwerte für das gesamte Bundesgebiet):

- korrigierter mittlerer Niederschlag im Gesamtjahr (420 - 3490 mm)
- korrigierter mittlerer Niederschlag im Sommerhalbjahr (260 - 1940 mm)
- mittlere jährliche potentielle Evapotranspiration als FAO-Gras-Referenzverdunstung (180 - 670 mm)
- Nutzungsart

Der bodenkundliche Kennwert nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) wurde aus dem Histogramm der Kartenlegende entnommen. Der Betrag des mittleren kapillaren Aufstiegs wurde ebenfalls profilbezogen ermittelt. Die Verteilungen der erforderliche Werte innerhalb der ausgewählten Leitbodenassoziation 42 sind in den Abbildungen 7.20 und 7.21 dargestellt. Während die Bodenkennwerte größere nutzungsspezifische Unterschiede aufzeigen, sind die Klimaparameter relativ einheitlich in den drei Nutzungen verteilt.

Die Umsetzung der Simulation wurde mit Hilfe des Programms Microsoft Excel realisiert. Ergebnis sind Histogramme der Verteilung des Kennwertes jährliche Sickerwasserrate für jede einzelne LBA jeweils für die Nutzungen Acker, Grünland, Laub- und Nadelwald.

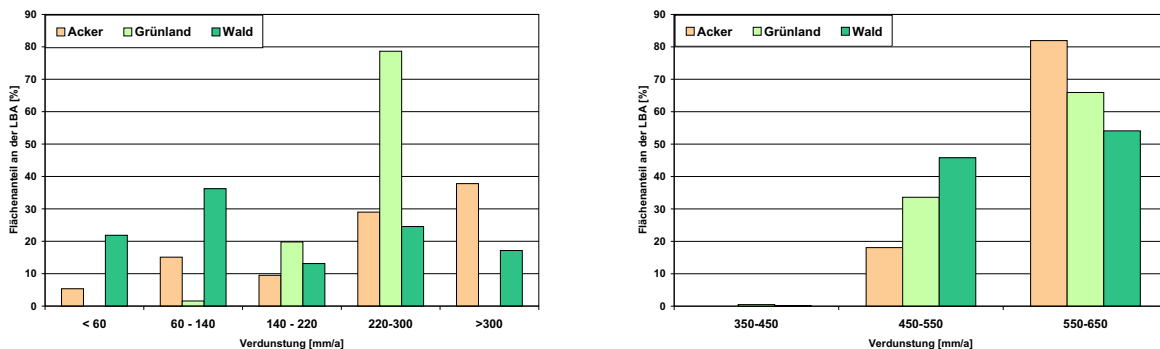


Abbildung 7.20: Verteilung der Bodenparameter und Verdunstung in der LBA42

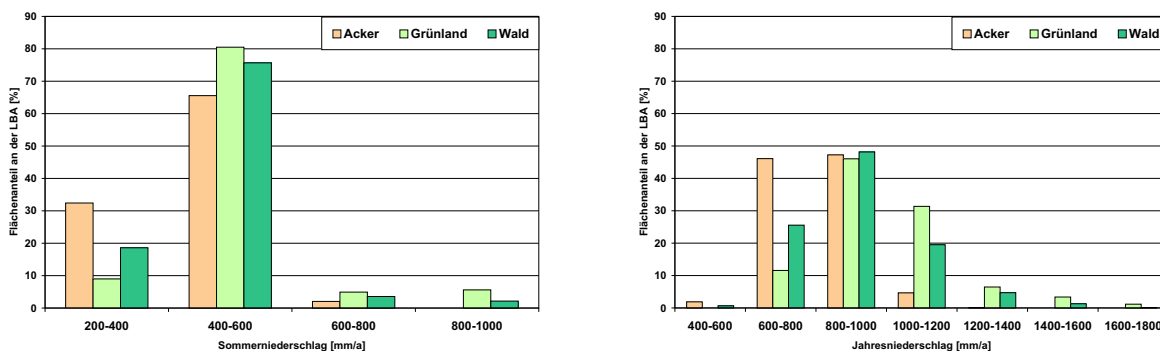


Abbildung 7.21: Verteilung der Niederschläge (Sommer- und Jahresniederschlag) in der LBA42

7.3.3 Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation

Für die Leitbodenassoziation 42 (Schluffböden mit tonreicherem Unterboden aus Löss oder umgelagertem Lösslehm, vergl. Abb. 7.22) werden exemplarisch die Werteverteilung des Kennwerts mittlere, jährliche Sickerwasserrate getrennt nach den Nutzungen, einmal für Flächen mit Grundwasserbeeinflussung (links) und einmal ohne (rechts) dargestellt (Abbildung 7.23). Die Auswertung zeigt vor allem, daß die Werte nicht normalverteilt sind. Die Klassen mit

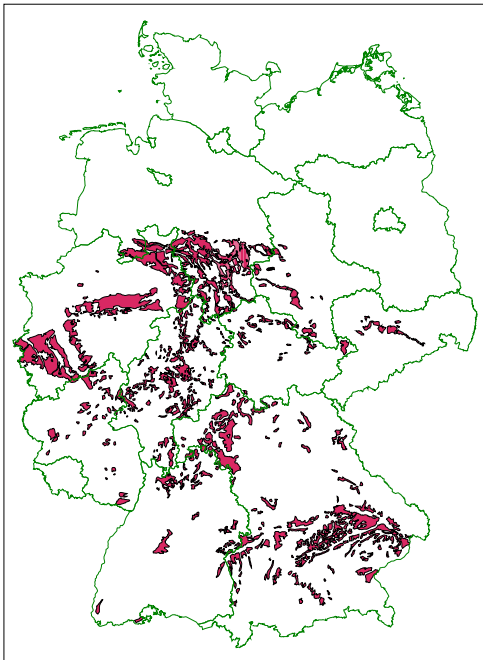


Abbildung 7.22: Lage der LBA 42 innerhalb von Deutschland

den größten Flächenanteile haben ihren Schwerpunkt an den Rändern der Verteilung. Die Unterschiede zwischen Profilen mit und ohne Grundwasserbeeinflussung ist nur bei der Nutzung "Nadelwald" erkennbar, bei den anderen Nutzungen zeigen sich nur marginale Veränderungen. Zwischen den einzelnen Nutzungen sind dagegen größere Unterschiede zu erkennen. Die Ackernutzung zeigt eine sehr starke Teilung in sehr hohe und sehr niedrige Werte, während in den Bereichen Grünland und Wald die Verteilung der Klassen gleichmäßiger ist. Mit Hilfe einer solchen Darstellung der Verteilung verschiedener landschaftsökologische Kennwerte lassen sich weitergehende Untersuchungen und Auswertungen unterstützen.

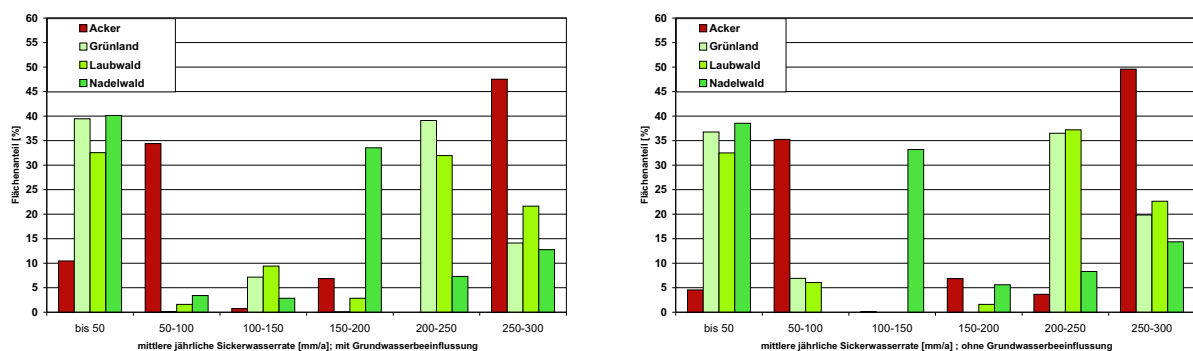


Abbildung 7.23: Verteilung der Sickerwasserratenklassen innerhalb der LBA 42; differenziert nach Nutzungen; links: Profile mit Grundwasserbeeinflussung; rechts: ohne Grundwasserbeeinflussung

In Abbildung 7.24 ist eine weitere Möglichkeit dargestellt, auf welche Weise die Ergebnisse einer solchen Auswertung auch innerhalb der Karte wiedergegeben werden können. Sechs verschiedene Leitbodenassoziationen sind im Kartenbild dargestellt und werden von 6 Verteilungen der Anteile der Sickerwasserratenklassen in Diagrammform begleitet. Die Abbildung 7.24 zeigt ein Gebiet südlich des Untersuchungsgebietes Ebergötzen an der Grenze zwischen Niedersachsen, Hessen und Thüringen. Die Unterschiede innerhalb der einzelnen LBA sind deutlich an den Diagrammen zu sehen. Innerhalb der LBA 42 sind sehr hohe und niedrige Klassen stark vertreten (siehe auch vorheriges Beispiel). In der LBA 43 ist der Großteil der Flächen in den beiden untersten Klassen angesiedelt. LBA 59 und 65 haben den größten Anteil in der größten Klasse und alle anderen Bereiche zeigen eine ausgeglichene Verteilung. Keines der Gebiete zeigt eine Normalverteilung der einzelnen Klassen.

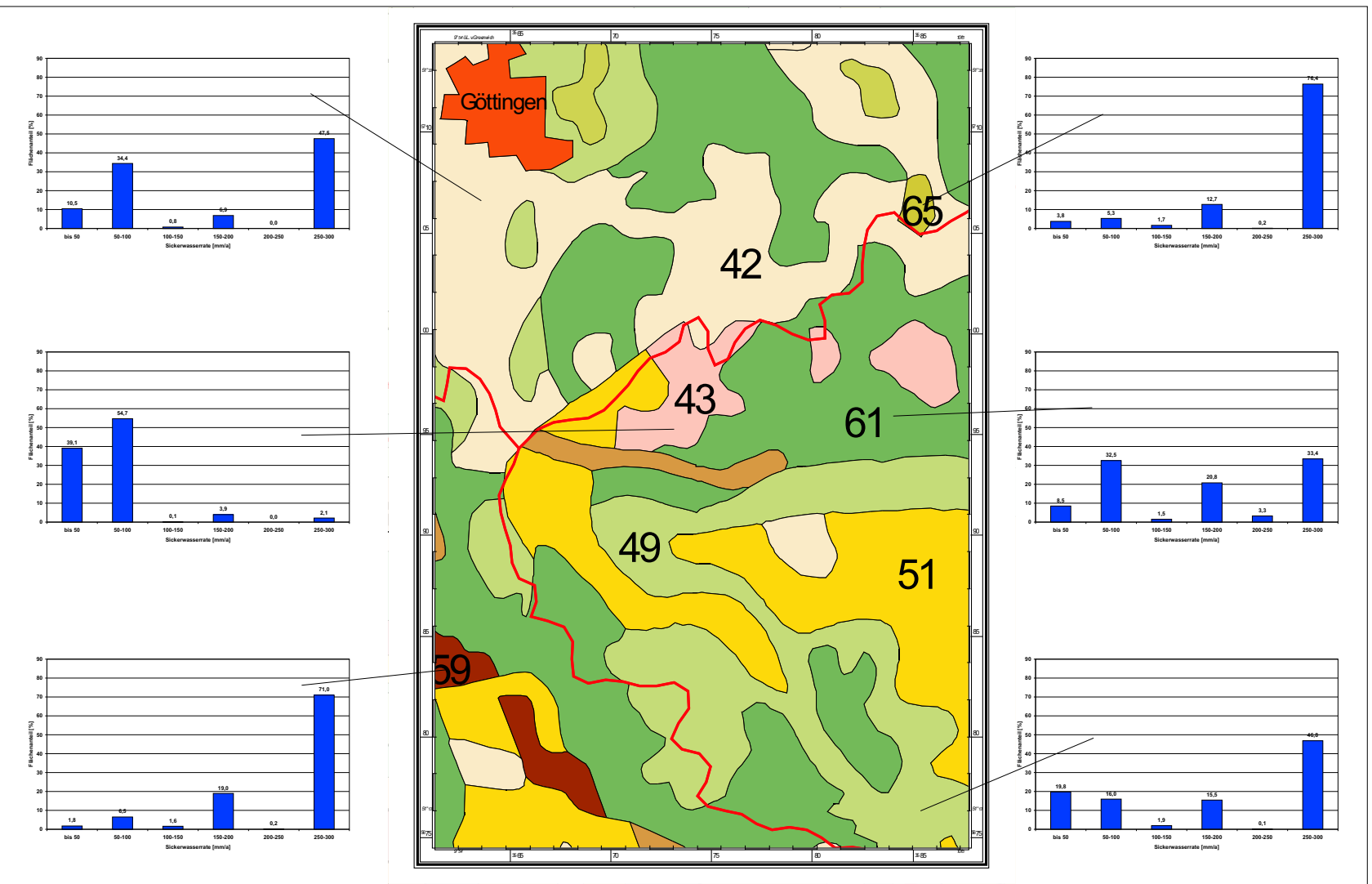


Abbildung 7.24: Beispielhafte Werteverteilungen in verschiedenen LBA; dargestellt sind die Flächenanteile einzelner Klassen der Sickerwasserrate für Ackerprofile ohne Grundwasserbeeinflussung; die rote Linie ist die Grenze zwischen den Bundesländern Niedersachsen, Thüringen und Hessen

7.4 Beispiellegende zukünftiger Bodenkarten

Zukünftige kleinmaßstäbige Bodenkarten werden auch weiterhin nach dem Konzept von einheitlichen Flächen gleicher Eigenschaften im Kartenbild in Verbindung mit einer ausführlichen Legende zu den einzelnen Legendeneinheiten erstellt. Da die Darstellbarkeit unterschiedlicher Legendeneinheiten auf engem Raum Grenzen hat, ist der Informationszugewinn vor allem in der Legende angesiedelt. Informationsmenge und -güte der Einträge werden sich in Zukunft verbessern.

7.4.1 Aktueller Stand

In Tabelle 7.9 ist der Informationsstand zusammengestellt, der aktuell für die deutschlandweite Bodenkarte im Maßstab 1:1 Mio. zur Verfügung steht. Jede Legendeneinheit wird durch ein Profil beschrieben, das eine Reihe von Profil- und Horizontinformationen enthält. Neben den taxonomischen Informationen werden die Eigenschaften der einzelnen Horizonte beschrieben. In der Darstellung fehlen Informationen zu weiteren abgeleiteten Kennwerten wie z.B. die Feldkapazität oder Luftkapazität. Trotz einer breiten Information für dieses eine Profil ist die Informationsdichte für die gesamte Fläche der Legendeneinheit nur als unzureichend zu beschreiben.

LBA	Bodentyp	Horizont- grenzen [cm u. GOF]	Horizont- symbol	Bodenart, Skelettge- halt	Lagerungs- dichte	Humus- gehalt	Carbonat- gehalt	MNGW [dm u. GOF]
73	SS-LL	0-30	Ap	Ut3	2	h3	c0	> 20
		30-45	Sw-Al	Ut4	3	h2	c0	
		45-75	Sd-Bt	Tu4	4	h1	c0	
		75-95	Bv	Ut4	4	h0	c0	
		95-140	Cv	Ut4	4	h0	c0	
		140-200	Cv	Ut4,x2	4	h0	c2	

Tabelle 7.9: Informationsgehalt bestehender kleinmaßstäbiger Karten (BÜK1000)

7.4.2 Nutzungsdifferenzierung

Tabelle 7.10 stellt den Konzeptstand der Bodenkarte im Maßstab 1:1 Mio. innerhalb der BGR dar. Durch eine Verschneidung mit Nutzungsinformationen und eine anschließende Überarbeitung wird jede Legendeneinheit in die drei Nutzungen Acker, Grünland und Wald untergliedert. Hierdurch wird die Information für jede Legendeneinheit verdreifacht, da jeder Nutzung ein eigenes nutzungsspezifisches Profil zugeordnet wurde. Diese Auswahl basierte auf den Punktinformationen, die im FisBo BGR vorhanden sind. Nach der Verschneidung wurde zunächst eine Generalisierung durchgeführt, die Kleinstflächen eliminiert und das Kartenbild unter dem Aspekt der Darstellbarkeit überarbeitet. Zur Neubestimmung des repräsentativen Profils wurden alle Profile innerhalb der jeweiligen Flächen zusammengetragen und in

Rücksprache mit den betroffenen SGD ein als repräsentativ angesehenes Profil ausgewählt (RICHTER et al. 2004). Inhaltlich wurden die Legendeneinträge nicht erweitert, sie enthalten die gleichen Informationen wie die nicht nutzungsdifferenzierte BÜK 1000. Als einzige neue Information für die Leitbodenassoziation kommt der jeweilige Flächenanteil der drei Nutzungsarten innerhalb der Legendeneinheit hinzu.

LBA	Nutzung	Bodentyp	Horizontgrenzen [cm u. GOF]	Horizontsymbol	Bodenart, Skelettgehalt	Lagerungsdichte	Humusgehalt	Carbonatgehalt	MNGW [dm u. GOF]	Flächenanteil [%]
73	A	SS-LL	0-30	Ap	Ut3	2	h3	c0	> 20	65
			30-45	Sw-Al	Ut4	3	h2	c0		
			45-75	Sd-Bt	Tu4	4	h1	c0		
			75-95	Bv	Ut4	4	h0	c0		
			95-140	Cv	Ut4	4	h0	c0		
			140-200	Cv	Ut4,x2	4	h0	c2		
	G	GG-KK	0-10	Ah	Ut4	2	h3	c2	14	20
			10-65	M	Ut4	3	h2	c2		
			65-95	Go-M	Tu4	3	h2	c2		
			95-140	Go	Tu4	4	h1	c2		
			140-200	Gr	Tu4	4	h1	c3		
	F	RR-BB	0-8	Ah	Tu4,x2	2	h4	c0	> 20	15
			8-35	Bv	Tu3,x2	2	h2	c0		
			35-65	Cv-Bv	Tu4,x3	3	h1	c2		
			65-120	Cv	Lt3,x5	3	h1	c5		
			120-200	Cn	X					

Tabelle 7.10: Informationsgehalt kleinmaßstäbiger Karten, die sich zur Zeit in der Bearbeitung bei der BGR befinden (nutzungsdifferenzierte BÜK1000)

7.4.3 Zukünftige Informationen

Die neuen Maße zukünftiger Legenden werden in mehreren Tabellen vorgestellt. Auf Basis der nutzungsdifferenzierten Bodenkarte werden für alle Legendeneinheiten in den drei Nutzungen verschiedene Maße ermittelt. Diese basieren auf Informationen der Maßstabsebene 1:50.000. Dem Anwender der Karte stehen damit deutlich differenziertere Informationen zum Inhalt der Legendeneinheit zur Verfügung, die eine Auswertung und Anwendung der Karte verbessern. Tabelle 7.11 zeigt die erweiterten Angaben zur Taxonomie und den vorgeschlagenen statistischen und Diversitätsmaßen.

Die Informationen zum Flächenanteil des dominanten Bodentyps und die Zahl der Bodentypen der Vergleichsgrundlage BK50 geben wichtige Informationen zu Vielfalt der Legendeneinheit sowie zum Ausmaß der Heterogenität. Für eine Anwendung der Karte im Rahmen von

Nutzung	Flächenanteil dominanter Haupttyp (Basis BK50)	Hauptbodentypen (Basis BK50)	nFKWe		K-Faktor		MSIE (Basis BK50)	Gestaltindex; Mittelwert	Gestaltindex; VC
			∅	VC	∅	VC			
A	56,4	8	161	25	0,50	5	0,56	1,73	15,9
G	47,3	9	183	30			0,66	1,56	23,7
F	63,8	7	129	60			0,36	1,65	18,4

Tabelle 7.11: Informationsgehalt zukünftiger kleinmaßstäbiger Karten; Darstellung statistischer Maße sowie Diversitätsindizes

Modellierungen sind die Angaben zum Mittelwert und dem Variationskoeffizienten wichtiger Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt (nFKWe) und Erosionsgefährdung (K-Faktor) hilfreich. Um die Modellierung von abgeleiteten Kennwerten zu unterstützen, werden die Flächenanteile der Klassen der beiden Kennwerte nFKWe und K-Faktor noch angegeben (Tab. 7.12). Die räumliche Heterogenität wird durch das Diversitätsmaß MSIEI und Angaben zum Gestaltindex wiedergegeben.

Auf Basis der Bodenkarten werden zusammen mit weiteren Parametern (Klima, Relief) die beiden wichtigen landschaftsökologischen Kennwerte Sickerwasserrate und pot. Erosionsgefährdung abgeleitet und die jeweiligen Flächenanteile der klassifizierten Ergebnisse in der Kartenlegende dargestellt (Tab. 7.12).

Nutzung	nFKWe [mm]; Flächenanteil [%]					K-Faktor; Flächenanteil [%]					
	0-60	60-140	140-220	220-300		0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1	
A	0	30	70	0		20	10	65	5	0	
G	10	60	30	0		100	0	0	0	0	
F	5	15	15	60		100	0	0	0	0	

	SWR [mm]; Flächenanteil [%]						EfW [t/ha*a]; Flächenanteil [%]					
	0-50	50-100	100-150	150-200	> 250		< 1	1-5	5-10	10-15	15-30	
A	0	15	85	0	0	5	20	70	5	0	0	
G	10	70	20	0	0	100	0	0	0	0	0	
F	5	10	20	60	5	100	0	0	0	0	0	

Tabelle 7.12: Informationsgehalt zukünftiger kleinmaßstäbiger Karten; Flächenanteile klassifizierter bodenkundlicher und landschaftsökologischer Kennwerte

Weitere Maße über die dargestellten hinaus sind denkbar und wünschenswert. Vor allem bodenchemische Kennwerte sind bisher nicht betrachtet worden. Diese stellen aber wichtige Informationen zu Fragen der Bodenversauerungsgefahr und der Pufferwirkung des Bodens ge-

genüber Schadstoffen wie z.B. Schwermetallen bereit.

Moderne Fachinformationssysteme haben durch die digitale Datenorganisation praktisch keine Grenzen bei der Zahl der Maße. Auf diese Weise lassen sich eine Vielzahl verschiedener Maße für die Karte berechnen und bereitstellen. Bei einer Kartenerstellung können dann nur die gewünschten Informationen mit in der analogen Kartenlegende dargestellt werden. Zusätzlich zu den dargestellten Maßen lassen sich weitere Informationen zur Datenqualität (Meta-Daten) hinzufügen. So können im Verlauf der Weiterentwicklung der Karte z.B. Informationen zur Repräsentativität der Basisdaten aus dem Maßstab 1:50.000 notwendig sein.

8 Diskussion und Ausblick

Der erste Teil der Arbeit untersucht den Fehler einer Aussage, die auf der Basis von kleinmaßstäbigen Karten gemacht wird. Hierbei werden bodenkundliche und landschaftsökologische Kennwerte beispielhaft untersucht. Der Fehler einer solchen Kennwertermittlung ist unabhängig vom Untersuchungsgebiet so groß, dass er deutliche Auswirkungen auf weitere darauf basierende Aussagen hat. Ansätze zur Reduzierung des Fehlers durch eine regelhafte Aggregation und damit Auswahl regionalspezifischer Profile zeigten Erfolge, die allerdings auch einen vergleichsweise großen Fehleranteil (ca. 2/3) aufzeigen, der maßstabsinvariant und damit nicht reduzierbar ist. Die BGR überarbeitet die BÜK1000 in eine nutzungsdifferenzierte Karte (Acker/Grünland/Wald) mit einer Neubelegung der Flächen durch neue Profile. Diese Zuordnung geschieht in Rücksprache mit den Geologischen Diensten der Bundesländer. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen dieses Vorgehen als derzeitige beste Herangehensweise zu einer Überarbeitung und qualitativen Weiterentwicklung der Karte. Trotzdem bleibt der Fehler einer Aussage so groß, dass man weitere Ansätze untersuchen muss, um die Größenordnung des Fehlers zumindest durch geeignete Maße zu beschreiben. Eine einfache Nennung des Fehlers, wie er im Lauf des ersten Teils der Arbeit ermittelt wurde (mittlere jährliche Sickerwasserrate: $WMQD = x \text{ mm}$) reicht hierbei nicht aus.

Im zweiten Teil wird deswegen nach Möglichkeiten gesucht, die verbleibende Heterogenität der Legendeneinheit durch den Transfer von größermaßstäbigen Informationen darzustellen. Die Arbeit verlässt dabei nicht den erprobten und vielfach angewendeten Weg der Darstellung bodenkundlicher Informationen in Form von diskreten Einheiten und deren Beschreibung in der Kartenlegende. Diese Art der Darstellung ist vor allem für den Bereich der kleinmaßstäbigen Karten das Mittel der Wahl. Zur Erweiterung der Karteninhalte ist es allerdings nötig und wie gezeigt auch möglich, die Heterogenität der jeweiligen Legendeneinheit als Eigenschaft der Einheit darzustellen. Die Bezugnahme auf Informationen größerer Maßstäbe der gleichen räumlichen Einheit bietet die Möglichkeit, auf kompakte Weise die dortigen Informationen in den kleineren Maßstab zu transferieren. Dadurch werden Informationen, die im Zuge einer Generalisierung oder Aggregation durch einen Maßstabswechsel und den dadurch veränderten Darstellungsbedingungen, verloren gehen, zumindest teilweise erhalten.

Die vorgeschlagenen Heterogenitätsmaße sind im Kontext der Arbeit entstanden und stellen nur eine mögliche Auswahl dar. Die Erweiterung der Maße um bodenchemische Parameter (z.B. pH-Wert, Humusgehalt) ist wünschenswert. Die Integration der Karten in Bodeninformationssysteme ermöglicht die Erweiterung der Legendeneinheiten um die Heterogenitätsmaße ohne größeren Aufwand und lässt auch eine anwendungsbezogene Auswertung zu.

Eine Zusammenfassung der Maße zu einem übergeordneten Maß, das die "Heterogenität" bodenkundlicher Legendeneinheiten wiedergibt, wurde bewusst nicht durchgeführt. Die verschiedenen Aspekte der taxonomischen, inhaltlichen und räumlichen Heterogenität sind in ihren

Ausmaßen, Gründen und Auswirkungen zu vielfältig. Eine Vermischung dieser verschiedenen Aspekte zu einem Maß würde den Informationszugewinn wieder schmälern.

Der empfohlene Bezug auf die Daten der Maßstabsebene 1:50.000 ist in erster Linie auf die Verfügbarkeit dieser Daten zurückzuführen. Dieser Maßstab wird mittelfristig der größte in Deutschland verfügbare Maßstab sein, der eine ausreichend große und aufbereitete Flächendeckung besitzt. Der Fehler der Karten im Maßstab 1:50.000, der selbstverständlich auch vorhanden ist, muss zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch toleriert werden. Perspektivisch ist es denkbar, andere Maßstäbe zur Ableitung der gewünschten Heterogenitätsmaße heranzuziehen. Dies erfordert aber weitere Untersuchungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Maßstäbe innerhalb großräumiger Auswertungen.

Als Konsequenz aus dem Bezug auf bodenkundliche Informationen im Maßstab 1:50.000 und der föderalen Struktur der Bundesrepublik ergibt sich die Forderung nach einer raschen Harmonisierung der vorhandenen Daten zwischen den Ländern um die vorgestellte Erweiterung der Karten realisieren zu können. Um die lokalen Besonderheiten einzelner Länder angemessen wiedergeben zu können, ist eine Einigung auf einen Standarddatensatz als erster Schritt denkbar, der in den einzelnen Ländern erweitert werden kann. Dieser Standarddatensatz müsste so gestaltet sein, dass die Berechnung der vorgeschlagenen Heterogenitätsmaße möglich ist.

Das Konzept der Erweiterung von Kartenlegenden durch Heterogenitätsmaße ist auch auf andere Maßstäbe übertragbar. Die im Jahr 2008 vollständig vorliegende BÜK200 könnte ebenfalls mit Hilfe der Maßzahlen weiterentwickelt werden. Ebenso können kleinmaßstäbige Karten, die über Deutschland hinausgehen (z.B. europäische Karten) in der Qualität erweitert werden. Bereits in der Zielsetzung ist auf die Arbeit von (DUDAL et al. 1995) hingewiesen worden. Von den sieben vorgeschlagenen Stufen der Erweiterung kleinmaßstäbiger Bodenkarten im Zusammenhang des Entwurfs einer europäischen Bodenkarte im Maßstab 1:250.000 sind in den aktuellen, derzeit verfügbaren Karten drei erreicht. Die Ergebnisse der Arbeit erweitern die Kenntnis und ermöglichen eine Erweiterung auf die vierte Stufe: *Parameter zur Beschreibung des Typs und der Art der Verteilung der Bodeneigenschaften innerhalb der Legendeneinheit*. Die Stufen unter Berücksichtigung geostatistischer Maße (*Beschreibung der räumlichen Struktur der Bodeneigenschaften z.B. durch Variogramme*) wurden untersucht, aber auf der Basis der vorhandenen Daten als nicht geeignet erachtet. Weitere Untersuchungen könnten dies revidieren.

Das wesentliche Problem der Arbeit ist die geringe Repräsentativität der untersuchten Gebiete für Aussagen im kleinen Maßstab. Die Auswahl der Flächen war auf die Testgebiete beschränkt und auch dort waren nur durch den Blattschnitt einer TK25 willkürlich gewählte Bereiche verfügbar. Die untersuchten Legendeneinheiten gehen zum Teil weit über die untersuchten Ausschnitte hinaus. Die inhaltlich begründete Beschränkung auf Profile der überarbeiteten Bodenschätzung führte in einigen Gebieten (Göttinger Wald auf Blatt Ebergötzen) zu einer teilweise lückenhaften Datensituation. Damit erfordern alle vorgestellten Maße eine genauere Überprüfung in einem größeren Rahmen.

Diese Einschränkung gilt auch für die Ableitung der Heterogenitätsmaße für Legendeneinhei-

ten der BÜK1000 außerhalb der beiden Testgebiete. Der begrenzte Zeitraum der Erstellung und die starke inhaltliche und räumliche Heterogenität der Eingangsinformationen stellt eine wichtige Beschränkung dar. Die unterschiedliche geometrische und inhaltliche Qualität der Daten führt zu einem hohen Bedarf an Anpassung, der im Rahmen der Zeit nicht in der notwendigen Ausführlichkeit geleistet werden konnte. Die gesamte Auswertung basiert nur auf Teilflächen der LBA. Fragen der Repräsentativität sind an dieser Stelle nicht untersucht worden. In der graphischen Darstellung wird das Ergebnis auf die gesamte Fläche der LBA verallgemeinert.

Eine kritische Auseinandersetzung erfordert die Frage nach dem Sinn, eine kleinmaßstäbige Karte mit konkreten Werten und Informationen zur Ableitung landschaftsökologischer Kennwerte auszustatten. Die Ermittlung landschaftsökologischer Kennwerte auf der Basis kleinmaßstäbiger Bodenkarten kann eine detaillierte Auswertung mit genaueren, großmaßstäbigen Daten nicht ersetzen. Die Kenntnis von z.B. typischen Spannweiten einzelner Kennwerte ermöglicht es, die Bandbreite der zu erwartenden Ergebnisse zu beschreiben. Eine präzise Aussage zur Ausprägung bodenkundlicher Parameter an einer lagegenau definierten Stelle auf Basis kleinmaßstäbiger Bodenkarten wird auch in Zukunft immer falsch sein. Die Karten sind aus prinzipiellen Gründen nicht dazu geeignet, solche Aussagen zu entwickeln.

Kritiker könnten anmerken, dass eine kleinmaßstäbige Karte durch die Heterogenitätsmaße "gefährlicher" wird, da die Maße einem unbedarften Nutzer eine Genauigkeit suggerieren, die nicht existent ist. Dieser Einwand ist berechtigt, wird aber für geringer eingeschätzt als die Kenntnis der Vielfalt von Kennwerten innerhalb einzelner Legendeneinheiten, die zu einer größeren Sorgfalt und Vorsicht führen, keine eindimensionalen Aussagen für kleinmaßstäbige Legendeneinheiten zu treffen.

Darüber hinaus wird es immer Fragestellungen geben, die eine zusammenfassende Sicht erfordern. Auch bei einer (theoretischen) Flächendeckung für Deutschland im Maßstab 1:50.000 erübrigt sich nicht die Notwendigkeit von Karten kleinerer Maßstäbe. Aufgrund der Datenmengen und -heterogenität ist z.B. eine Bearbeitung von bodenkundlichen Fragestellungen für ganz Deutschland im Maßstab 1:50.000 nicht realistisch. Hier müssen kleinmaßstäbige Karten zum Einsatz kommen, die die wesentlichen Informationen (und dazu gehören auch Informationen über die Heterogenität) komprimiert darstellen. Mit Hilfe dieser Karten können dann z.B. Schwerpunktgebiete festgelegt werden, in denen weitere Untersuchungen in einem entsprechend größeren Maßstab durchgeführt werden.

In der Einleitung wurde als ein Ziel der Arbeit das Schließen einer inhaltlichen und konzeptionellen Lücke genannt. Ist dies geschehen? Inhaltlich ist diese Lücke sicher immer noch vorhanden und wird auch weiterhin Bestand haben. Methodisch konnte jedoch gezeigt werden, dass die Integration von Informationen aus anderen Maßstäben die Qualität und Aussagekraft der kleinmaßstäbigen Karte deutlich verbessert. An verschiedenen Beispielen konnte dieser Zugewinn verdeutlicht werden.

Ausblick

Die Arbeit zeigt, dass die Erweiterung der Kartenlegenden kleinmaßstäbiger Bodenkarten durch Heterogenitätsmaße, die auf größermaßstäbigen Informationen basieren, möglich ist und die Qualität der Karten steigert. Die begonnenen Arbeiten sollten auf einer breiteren Datenbasis weitergeführt werden. Dies dient der Überprüfung der bisherigen Erkenntnisse und der Entwicklung von Heterogenitätstypen, die eine weitere Beschreibung der Karteninhalte ermöglichen. Auch mittel- bis langfristig wird ein solches Vorgehen nicht durch eine Flächendeckung mittelmaßstäbiger Informationen überflüssig. Da eine flächendeckende Information im Maßstab 1:50.000 für alle Leitbodenassoziationen voraussichtlich nie zur Verfügung stehen wird ist ein alternativer Vorschlag zu entwickeln. Eine Untersuchung der Leitbodenassoziationen und der verfügbaren Daten aus dem Maßstab 1:50.000 unter dem Aspekt der Repräsentativität sollte für alle LBA eine ausreichend große Menge von Flächen erarbeiten, die in ihrer Heterogenität (taxonomisch, kennwertbezogen und räumlich) als typisch für die jeweilige LBA angesehen werden können. Wenn anhand dieser Daten die gewünschten Heterogenitätsmaße erarbeitet werden, können Klassen verschiedener Heterogenität ausgewiesen werden, die dann im Kartenbild dargestellt werden. Durch eine Untersuchung der Abhängigkeiten zwischen den bodenkundlichen Heterogenitätsmaße und anderen geowissenschaftliche Parametern wie Relief, Geologie, Hydrologie lassen sich Heterogenitätsstrukturen ausweisen, die dann für andere Gebiete angewendet werden können und dort die Kartierung oder Aufbereitung mittelmaßstäbiger bodenkundlicher Informationen unterstützen kann. Die Heterogenität der Daten auf der Maßstabsebene 1:50.000 als Grundlage für die Ableitung der Heterogenitätsmaße ist hierbei zur Zeit noch hinzunehmen und verstärkt die Forderung nach einer einheitlichen und standardisierten Aufbereitung der vorliegenden Bodeninformationen in den verschiedenen Bundesländern.

Die vorgestellten Maße können neben der primären Erweiterung der Karteninhalte zur Ableitung landschaftsökologischer Kennwerte weitere Hilfestellungen beim Entwurf neuer und der Überarbeitung bestehender Karten leisten. In der praktischen Arbeit zukünftiger Kartenentwicklung sind einige Umsetzungen zur Unterstützung möglich. Durch eine Implementierung der Berechnung von ausgewählten Heterogenitätsmaßen in ein Bodeninformationssystem (BIS), z.B. durch Kombination bestehender BIS mit den Werkzeugen von (FUCHS 2002) ist folgende Abfolge denkbar:

- Definition einer gewünschten Heterogenität
- automatisierte Generalisierung von Bodenkarten nach verschiedenen Vorgaben
- Berechnung der zu erwartenden Heterogenität innerhalb der neu geschaffenen Legendeneinheiten
- Vergleich mit anderen Generalisierungsmöglichkeiten
- Auswahl der "besten" Generalisierung

Eine andere Möglichkeit bietet sich beim Entwurf von Konzeptbodenkarten. Heterogenitätstypen bieten möglicherweise im Umkehrschluss neue Ansätze für zukünftige Kartierungen. Wenn in einem neuen, im großen Maßstab nicht kartierten, Gebiet die naturräumliche Situation

bekannt ist und in anderen ähnlichen Gebieten bereits entsprechende Unterlagen vorhanden sind, die eine Ableitung von Heterogenitätsmaßen ermöglichen, können mit deren Hilfe durch iterative Ermittlung der räumlichen Struktur zusammen mit weiteren Informationen (Nutzung, Relief) großmaßstäbige Konzeptbodenkarten entwickelt werden, auf deren Basis dann die Kartierung durchgeführt wird.

Für die weitere Bearbeitung von bodenkundlichen Fragestellungen lässt sich aus der Arbeit eine vierstufige Struktur verschiedener Arbeitsebenen, verbunden mit entsprechenden Maßstäben ableiten (Tab. 8.1). Alle Maßstäbe sollten dabei Heterogenitätsmaße und Informationen aus der jeweils nächst tieferen Ebene enthalten. Die wichtigste Ebene für direkte

Name	Größenordnung	Pedologische Größenordnung	Pedologische Differenzierung	Maßstab	Administrative Größenordnung
Micro	bis 10km ²	Profil I, Pedotop	Subtyp	bis 1:5000	Standort, Gemeinde
Meso	bis 100 km ²	Bodengesellschaft	Haupt- und Subtyp	bis 1:50.000	Landkreis
Makro1	bis 1000 km ²	Leitbodengesellschaft	Substrat, Geologie, Relief	bis 1:200.000	Bundesland
Makro2	bis 10.000km ²	Bodenregionen	Klima	bis 1:5.Mio	Nation, Europa

Tabelle 8.1: Konzept von vier verschiedenen bodenkundlichen Arbeitsebenen

Aufnahme im Gelände bleibt der Standort unterhalb von 1:5.000. Nur hier können alle Bodeneigenschaften direkt kartiert werden. Die Flächendeckung ist auch in Zukunft nicht realisierbar und neue Aufnahmen werden sich in Zukunft auf einzelne Untersuchungsgebiete im Rahmen von Forschungsvorhaben oder ähnlichem beschränken. Der nächste Maßstab ist die Ebene 1:50.000, in der vor allem räumlich begrenzte Fragestellungen wie z.B. Planungsvorhaben von Verkehrswegen angesiedelt sind. Eine Flächendeckung ist auch hier nicht in Reichweite, aber die vorhandenen Informationen sollten nach einer Aufbereitung dazu geeignet sein, alle notwendigen Heterogenitätsmaße bereit zu halten. Darüber hinaus ist die Ableitung bundesweiter Heterogenitätsstrukturen möglich. Auf Bundesebene sind Karten im Maßstab 1:200.000 in der Zukunft die wichtigsten Karten, um landesweit Aussagen zu pedologischen und landschaftsökologischen Problemen zu bearbeiten. Der Maßstab wird im Jahr 2008 flächendeckend vorliegen. Dieser Maßstab ist auch langfristig der "größte" Maßstab, der für Deutschland flächendeckend vorliegt. Im Maßstab 1:2 Mio. werden europaweite Fragestellungen erarbeitet. Dieser Maßstab eignet sich dazu großräumige Unterschiede darzustellen, die dann differenziert in den jeweils größeren Maßstäben genauer untersucht werden.

9 Zusammenfassung

Die fehlende Flächendeckung mit Bodeninformationen im mittleren und grossen Maßstab innerhalb von Deutschland führt zu einer großen inhaltlichen und methodischen Lücke, die nur unzureichend von den vorliegenden kleinmaßstäbigen Bodenkarten gefüllt werden kann. Für vielfältige bodenkundliche wie auch landschaftsökologische bundesweite Aussagen und Modellierungen ist auf Basis der verfügbaren kleinmaßstäbigen Karten mit großen Unschärfen und Falschaussagen zu rechnen. Ziele der Untersuchung waren deswegen zum einen neue Erkenntnisse zur Informationsgüte einer Aussage auf Basis kleinmaßstäbiger Karten, hier vor allem der Karte im Maßstab 1:1 Mio. Mit Hilfe von konkreten Fehlermaßen sollte die Unschärfe der Kartenaussage benannt werden. Der zweite Teil der Untersuchung beschäftigte sich mit Möglichkeiten der Darstellung der inhaltlichen und räumlichen Heterogenität innerhalb der Legendeneinheiten dieser Karten um die die Variabilität der Inhalte und damit auch Aussagen in der Karte zu transportieren.

Das Thema "Informationsgüte kleinmaßstäbiger Bodenkarten" wurde am Beispiel von zwei niedersächsischen Untersuchungsgebieten (TK25-Blatt 3215; Vechta und TK25-Blatt 4426; Ebergötzen) untersucht. Für beide Gebiete lagen Bodenkarten im Maßstab 1:5.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:200.000 und 1:1 Mio. vor. Die untersuchten Kennwerte nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) und mittlere jährliche Sickerwasserrate (Swr), sowie der K-Faktor der ABAG und die potentielle Erosionsgefährdung durch Wasser (EfW) wurden auf der Basis aller vorhandenen Bodenkarten nach gleicher Methodik (HENNING 1994) abgeleitet. Mit Hilfe des Fehlermaßes "Wurzel der mittleren quadrierten Differenz (WMQD)" wurden alle Karten mit der großmaßstäbigen Referenzgrundlage (1:5.000) verglichen.

Der Vergleich der Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt wurde in Vechta durchgeführt, die Auswertungen zur Erosionsgefährdung in Ebergötzen. Der Fehler einer Aussage zum Kennwert nFKWe auf Basis der vorliegenden Bodenkarten liegt zwischen 41 und 61 mm und für den Kennwert Swr zwischen 40 und 73 mm. Der Fehler einer Aussage zum Kennwert K-Faktor liegt zwischen 0,12 und 0,17 und für den Kennwert EfW zwischen 25,3 und 36 t/ha*a. Der Fehler steigt mit zunehmend kleinerem Maßstab an. Die Berücksichtigung von Begleitböden bei der Berechnung zeigt geringe Auswirkungen auf den Fehler.

Der Fehler einer Aussage zum Bodenwasserhaushalt liegt im Bereich einer halben (nFKWe) bis einer ganzen (Swr) Klassenbreite. Auch die Fehler einer Aussage zum K-Faktor und zur Erosionsgefährdung liegen in Bereichen, die bei einer Modellierung zu deutlichen Fehleinschätzungen führen können.

Das Ausmaß des Fehlers ist stark vom Inhalt der Legendeneinheit abhängig. Große Fehler zeigen sich bei Legendeneinheiten mit Hoch- und Niedermooren. Andere Legendeneinheiten (Sandlöss, fluviatile Sande) zeigen deutlich geringere Fehler als das Gesamtblatt. Einflüsse der Flächengröße und spezifischen Auswahl durch den Blattschnitt lassen sich nicht ausschließen und können diese Ergebnisse mit beeinflussen. Bei den Kennwerten zur Erosi-

onsgefährdung zeigen Kalkverwitterungsböden größere Fehler. Einflüsse nichtbodenkundlicher Parameter (Relief) können diese große Abweichung beeinflussen. Schluffböden auf Lösslehm haben aufgrund des Substrates Fehler auf höherem Niveau. Die geringe Zahl von Flächen erschwert eine abschließende Bewertung.

Eine inhaltliche Aggregation großmaßstäbiger Profilinformatoren nach verschiedenen Kriterien unter Berücksichtigung der Grenzen der kleinmaßstäbigen Zielkarten (Austausch von Profilen ohne Veränderung der bestehenden Geometrien) zeigt eindeutige Verbesserungen. Diese liegen berechnet für die jeweilige Gesamtfäche der Kartenblätter bei der nFKWe (Vechta) bei maximal 15,7%, bei der Swr (Vechta) bei maximal 35,6%, dem K-Faktor (Ebergötzen) bis zu 32% sowie der EfW (Ebergötzen) bis 44,4%. Die erzielbare Verbesserung steigt mit zunehmend kleinerem Maßstab. Eine räumliche Aggregation, die zu einer Neugestaltung der Geometrie und einem neuen Kartenbild führt, senkt den Fehler nur in Einzelfällen unter die oben genannten Werte hinaus. Für alle Auswertungen ist festzuhalten, daß das Auswahlkriterium bei den Aggregationen eine untergeordnete Rolle spielt.

Auswertungskarten der Maßstäbe 1:200.000 und 1:1.000.000 lassen sich durch Aggregation bodenkundlicher Kartiereinheiten der nächst tieferen Maßstabsebene deutlich verbessern und sind in ihrer Aussagegenauigkeit annähernd gleichwertig. Der Fehler einer bundesweiten Bodenfunktionskarte des Maßstabs 1:1 Mio. ist zu ca. 2/3 durch die räumliche Variabilität der bodenkundlichen Verhältnisse bedingt und damit maßstabsimmanent. Der verbleibende Fehleranteil ist durch den Modus der Kartenerstellung bedingt und durch regelbasierte Aggregation großmaßstäbiger Grundlagenkarten reduzierbar. Ein Ersatz der Repräsentativprofile durch gezielte Auswahl aus regionalspezifischen Befunden ist einer völligen Neugestaltung des Grenzlinienverlaufs gleichwertig.

Bei abgeleiteten Kennwerten (Sickerwasserrate und Erosionsgefährdung) tritt der Anteil der bodenkundlichen Parameter zum Teil deutlich hinter andere Parameter bei der Kennwertermittlung zurück. Die mittlere jährliche Sickerwasserrate wird vor allem von den klimatischen Parametern Niederschlag und Verdunstung bestimmt. Die Genauigkeit bei Aussagen zur potentiellen Erosionsgefährdung ist vor allem von der Qualität und Genauigkeit der Reliefparameter abhängig.

Auf der Suche nach Möglichkeiten, die Heterogenität durch geeignete Maße anzuzeigen, wurden taxonomische, inhaltliche und räumliche Heterogenitätsmaße angewendet und auf ihre Aussagekraft hin untersucht. Nach Untersuchung verschiedener Maße zur Beschreibung inhaltlicher und räumlicher Heterogenität innerhalb von Legendeneinheiten kleinmaßstäbiger Bodenkarte werden Maße für eine zukünftige Kartenlegende empfohlen.

Taxonomie: Die Information "Flächenanteil des Haupttyps" (wie er in der kleinmaßstäbigen Kartenlegende angegeben wird) im verglichenen Maßstab ist hilfreich, die Repräsentativität der kleinmaßstäbigen Karte zu beschreiben. Die Anwendung beschränkt sich vor allem auf die Bewertung bestehender Karten. Für neu erstellte Karten ist das Maß "Flächenanteil des dominierenden Hauptbodentyps" besser geeignet die taxonomische Heterogenität wiederzugeben.

Die "Zahl der Bodentypen" in der großmaßstäbigen Vergleichsgrundlage gibt Aufschluss über das Ausmaß der Aggregation. Empfohlen werden:

- Flächenanteil gleichen Hauptbodentyps
- Flächenanteil dominierenden Hauptbodentyps
- Anzahl der unterschiedlichen Hauptbodentypen

Kennwerte: Aussagen zur Bandbreite einzelner Kennwerte ermöglichen es, die Modellierung landschaftsökologischer Kennwerte besser zu unterstützen. Als Maß der Streuung wurde der Variationskoeffizient gewählt, da dieses Maß die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Legendeneinheiten vereinfacht. Neben den Kennwerten sollten die Flächenanteile der einzelnen Werteklassen in der Legende dargestellt werden, um die Verteilung der Daten besser zu vermitteln. Empfohlen werden:

- flächengewichteter Mittelwert der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)
- Variationskoeffizient der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)
- flächengewichteter Mittelwert des K-Faktor der ABAG
- Variationskoeffizient des K-Faktor der ABAG

Die **räumliche Heterogenität** innerhalb der Legendeneinheit wird mit Diversitäts- und Gestaltindizes beschrieben. Hierdurch lassen sich räumliche Strukturen der vorherrschenden Bodentypen innerhalb der Legendeneinheit abschätzen. Empfohlen werden:

- Modifizierter Simpson Areal-Ebenheitsindex
- flächengewichteter Mittelwert und Variationskoeffizient des Gestaltindex

Geostatistische Maßzahlen wurden angewendet, jedoch zeigten die Maße eine zu geringe Aussagekraft und die lückenhafte Datensituation verhinderte die Ableitung belastbarer Kennwerte. Es wird die Empfehlung gegeben, für die Ableitung der Heterogenitätsmaße auf Daten im Maßstab 1:50.000 zurückzugreifen. Diese Informationsebene zeigt sehr gute Korrelationen zu den Ergebnissen auf Basis größerer Maßstäbe und hat mittelfristig die größte Flächendeckung (für den Bereich der großen und mittleren Maßstäbe) in Deutschland.

Anhand von Beispielen wird gezeigt, welche neuen Auswertungsmöglichkeiten die Erweiterung von kleinmaßstäbigen Legendeneinheiten durch Heterogenitätsmaße mit sich bringt.

- Die Struktur und der Inhalt zukünftiger kleinmaßstäbiger Bodenkarten wird vorgestellt und erläutert.
- Der Vergleich von Karten gleicher und unterschiedlicher Maßstäbe zur Unterstützung der Kartenherstellung und -überarbeitung ist möglich.
- Die Erarbeitung der gewählten Heterogenitätsmaße für einen Teil der Leitbodenassoziationen der BÜK1000 und Visualisierung der verschiedenen Heterogenitätsbereiche innerhalb von Deutschland zeigt deutliche Unterschiede.

- Durch die Kenntnis der Verteilung wichtiger bodenkundlicher Parameter innerhalb der Legendeneinheit lassen sich z.B. mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation Verteilungen landschaftsökologischer Parameter berechnen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch die Erweiterung von Legenden kleinmaßstäbiger Bodenkarten mit Heterogenitätsmaßen auf Basis mittelmaßstäbiger Karten eine deutliche Informationserweiterung möglich ist. Die Heterogenität wird als wichtige Eigenschaft der Legendeneinheit vorgestellt. Damit wird die Heterogenität zu einem weiteren Kriterium, das die Weiter- und Neuentwicklung kleinmaßstäbiger Karten sowie die Anwendung dieser Karten nachhaltig unterstützt und verbessert.

Schlagworte: Bodenkarte; Heterogenität; Datenqualität; Legendenkennzeichnung

10 Summary

The missing soil data in large scales leads to use of insufficient small scale soil maps for prediction and modelling. Aims of this investigation are 1. to obtain information about the quality of results based on small scale maps (compared with those based on large scale maps) and 2. to evaluate the possibilities to transfer large scale information concerning heterogeneity within a mapping unit into the small scale map legend.

The investigation of this thesis "Information quality of small scale soil maps - problems and developments" was accomplished in two areas of Lower Saxony (TK25-Sheet 3215; Vechta and TK25-Sheet 4426; Ebergötzen). In both areas soil maps at five different scales were available: 1:5.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:200.000 and 1:1.000.000.

All maps were analysed to obtain information about (i) the annual groundwater recharge (AGWR), (ii) the usable fieldcapacity (UFC) as well as (iii) the K-Factor of the USLE (german version developed by (SCHWERTMANN et al. 1990)) and (iv) the potential erosion risk (PER). The used methods are described at (HENNING 1994)). All maps were compared with the most detailed information (1:5.000) using the "root mean squared difference (RMSD)".

The error of the soilwater balance (AGWR and UFC) ranges from 40 to 70 mm, that means a half or full classification step. The error concerning erosion risk is about 0.15 (K-Factor) and up to 35 t/ha*a (PER). All errors raise with decreasing scale and leads to false interpretations concerning questions of soilscience and landscape ecology. The first step to reduce the error was a aggregation of largescale profile information within the mapping units of the small scale maps. This attempt reduces the error up to 15,7% (UFC), 35,6% (AGWR), 32% (K-Factor) and 44,4% (PER). The second step was a spatial aggregation without any restriction through the small scale mapping units. This attempt doesn't reduce the error below the results of the first aggregation.

The quality of small scale maps (1:200.000 and 1:1.000.000) can be improved through aggregation of large scale profilinformation. The error of these maps results for app. 1/3 from the modus of map design and for 2/3 directly from the map scale. This second part of the error can't be reduced. For German small scale maps the recommended way for the revision of maps is to replace the representative profiles with large scale information instead of creating a complete new map.

With regard to ecologic values like groundwater recharge and erosion risk the error is mainly influenced by climatic modelparameters (AGWR) and morphographic parameters (PER).

To describe the heterogeneity within the mapping unit of a small scale soil map, different indices

with taxonomic, characteristic and spatial information were tested. The result is a recommendation for specific indices. These have a strong correlation to the error of the maps, are easy to create and describe the soil heterogeneity within Germany well.

The taxonomic indices give information about the representativeness of the small scale map and the taxonomic heterogeneity within the mapping unit.

- area of identical main soil type (compared with the small scale map)
- area of dominant soil main type
- number of different soil types

The range and mean of specific values concerning soil water properties and soil erosion risk support the modelling of derived ecological values. The chosen indices are the area weighted mean value and the coefficient of variation. Besides the single statistic values the area fraction of classified value of soil water properties and erosion risk describes the allocation of the values.

- area weighted mean value the usable fieldcapacity
- coefficient of variation of the usable fieldcapacity
- area weighted mean value of the K-factor
- coefficient of variation of the K-factor

Diversity Indices describe the spatial heterogeneity within every mapping unit

- Modified Simpson Area-Evenness-Index
- area weighted mean value and coefficient of variation of shapeindex

Geostatistical indices were tested, but show weak correlation to the error of the maps and the data input wasn't sufficient to create strong indices.

The recommended data base for the creation of all indices is the map scale 1:50.000. These data have (i) strong correlations to indices based on larger and more detailed scales and are (ii) the largest scale in Germany with the highest area fraction.

Examples show the new possibilities of the heterogeneity indices;

- Style and content of the new legend of small scale maps are shown and described.
- The new indices support the comparison of map units or map sheets within the same scale as well as different scales. as well as the revision or creation of new maps.
- The heterogeneity indices were created for 45 mapping units within the Soil Map of Germany at a scale of 1:1 Mio (BÜK1000). The indices show clear differences of the heterogeneity within different areas of Germany.
- The knowledge of the statistical range of soil parameters within the mapping unit improves the modelling of derived ecological values like groundwater recharge significantly. The application of monte-carlo-models is possible.

The enhancement of small scale map legends through heterogeneity indices is possible, worthwhile and recommended. The heterogeneity (taxonomic, characteristic, spatial) will be a new attribute of every mapping unit, that leads to new sustainable possibilities in map design and map use.

Keywords: soil map; heterogeneity; data quality; legend improvement;

Literaturverzeichnis

- [ADLER et al. 1998a] ADLER, G., W. ECKELMANN, R. HARTWICH, V. HENNINGS, F. KRONE, W. STOLZ und J. UTERMANN (1998a). *The FISBo BGR soil information system : state of the art*. In: HEINEKE, H.J., Hrsg.: *Land information systems : developments for planning the sustainable use of land resources*, Nr. 17729 in *Report EUR / Commission of the European Communities*, S. 133–139, Ispra. International Workshop on Land Information Systems, Hannover, 20.-22.11.96.
- [ADLER et al. 2000] ADLER, G. H., H. BARTELS, J. BEHRENS, A. BURAK, R. BUSKAMP, W. ECKELMANN, P. FUCHS, T. GÜNTHER und R. HARTWICH (2000). *Hydrologischer Atlas von Deutschland*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [ADLER et al. 1998b] ADLER, GERT H., J. BEHRENS, W. ECKELMANN und R. HARTWICH (1998b). *Digitale Kartenwerke aus Datenbanken des Fachinformationssystems Bodenkunde des Bundes (FISBo BGR)*. In: SCHROEDER, JOHANNES H. und H.-G. HOLL, Hrsg.: *Geowissenschaften in Ökonomie und Ökologie - das System Erde: Programm und Zusammenfassungen der Tagungsbeiträge*, Bd. 98/3 d. Reihe *Terra nostra*, Köln.
- [AG-BODEN 1982] AG-BODEN (1982). *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Bd. 3. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe and Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- [AG-BODEN 1994] AG-BODEN (1994). *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Bd. 4. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe and Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- [AKIN und SIEMES 1988] AKIN, H. und H. SIEMES (1988). *Praktische Geostatistik. Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften*. Springer-Verlag.
- [ALTMANN und HAASE 1984] ALTMANN, R. und G. HAASE (1984). *Merkmalsvariabilität, Kontrast und Arealheterogenität als Eigenschaften der Landschaftsstruktur*. Wiss. Mitt. Institut f. Geographie und Geoökologie; AdW d. DDR, 11:121–136.
- [AMOS und WHITESIDE 1975] AMOS, D.F. und E. WHITESIDE (1975). *Mapping accuracy of a contemporary soil survey in an urbanizing area*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:937–942.
- [ARTMANN und BOCKISCH 2003] ARTMANN, R. und F.-J. BOCKISCH, Hrsg. (2003). *Nachhaltige Bodennutzung - aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht*, Nr. Sonderheft; 256 in *Landbauforschung Völkenrode*. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL).

- [AUERSWALD 1987] AUERSWALD, K. (1987). *Sensitivität erosionsbestimmender Faktoren*. Wasser und Boden, 39:34–38.
- [BAHRENBERG et al. 1990] BAHRENBERG, GERHARD, E. GIESE und J. NIPPER (1990). *Statistische Methoden in der Geographie Band 1: Univariate und bivariate Statistik*. Teubner-Studienbücher Geographie. 3. überarbeitete Aufl
- [BAHRENBERG et al. 1992] BAHRENBERG, GERHARD, E. GIESE und J. NIPPER (1992). *Statistische Methoden in der Geographie Band 2: Multivariate Statistik*. Teubner-Studienbücher Geographie. 2 Aufl
- [BECKER 1995] BECKER, A. (1995). *Problems and progress in macroscale hydrological modelling*. In: FEDDES, R.A., Hrsg.: *Space and time scale variability and interdependences in hydrological processes*, S. 135–143. Cambridge.
- [BECKETT und WEBSTER 1971] BECKETT, P.H.T. und R. WEBSTER (1971). *Soil variability: a Review*. Soils and Fertilizers, 34,1:1–15.
- [BENZLER und LÜDERS 1979] BENZLER, J.-H. und R. LÜDERS (1979). *Bodenkundliche Standortkarte 1:200000*.
- [BERGRATH 2000] BERGRATH, CLAUDIA (2000). *Regionale Modellierung des Versickerungsverhaltens von Pflanzenschutzmitteln für das Gebiet der BRD*. Diplomarbeit.
- [BGBL 1998] BGBL (1998). *Bundesgesetzblatt Teil 1: Gesetz zum Schutz des Bodens; BGBl. I S. 502ff.*
- [BGBL 1999] BGBL (1999). *Bundesgesetzblatt Teil 1: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung; BGBl. I, S. 1554ff.*
- [BÖHNER et al. 2002] BÖHNER, J., R. KÖHTE, O. CONRAD, J. GROSS, A. RINGELER und T. SELIGE (2002). *Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation*. In: MICHELI, E., F. NACHTERGAELE, R. JONES und L. MONTANARELLA, Hrsg.: *Soil Classification 2001*, Nr. EUR 20398 EN in *Publication of the European Union*. European Union.
- [BIE und BECKETT 1971a] BIE, S.W. und P. BECKETT (1971a). *Quality control in soil survey I. The choice of mapping unit*. J. Soil Sci., 22,4:32–49.
- [BIE und BECKETT 1971b] BIE, S.W. und P. BECKETT (1971b). *Quality control in soil survey II The costs of soil survey*. J. Soil Sci., 22,4:453–465.
- [BIERKENS et al. 2000] BIERKENS, M.F.P., P. FINKE und DE WILLIGEN P. (2000). *Upscaling and Downscaling Methods for Environmental Research*. Kluwer Academic Press, Amsterdam.
- [BOESS et al. 1999] BOESS, J., U. MÜLLER und J. SBRESNY (1999). *Erläuterungen zur digitalen Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50) von Niedersachsen*. In: *Bodenübersichtskarten von Niedersachsen*, Nr. 1999/1 in *Arbeitshefte Boden*. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB).

- [BOESS und MÜLLER 1989] BOESS, JÜRGEN und U. MÜLLER (1989). *Erläuterungsheft zur digitalen Bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen und Bremen 1:200.000 (BSK200) und zu ihren Auswertungsmöglichkeiten*. Technischer Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB), Hannover.
- [BORK 1982] BORK, H.-R. (1982). *Die holozäne Relief- und Bodenentwicklung im Untereichsfeld und im südwestlichen Harzvorland*. Doktorarbeit, Naturwiss. Fakultät TU Carolus-Wilhelmina, Braunschweig.
- [BOUMA et al. 1998] BOUMA, J., P. A. FINKE, M. R. HOOSBEEK und A. BREEUWSMA (1998). *Soil and water quality at different scales: concepts, challenges, conclusions and recommendations*. In: FINKE, P. A., J. BOUMA und M. R. HOOSBEEK, Hrsg.: *Soil and water quality at different scales; Developments in Plant and Soil Sciences*, Bd. 80, S. 5–11, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
- [BREGT et al. 1987] BREGT, A.K., J. BOUMA und M. JELLINEK (1987). *Comparison of thematic maps derived from a soil map and from Kriging of point data*. *Geoderma*, 39:281–291.
- [BREGT 1993] BREGT, ARNOLD K. (1993). *Processing of soil survey data*. Selbstverlag, Wageningen.
- [BROWN und HUDDLESTON 1991] BROWN, R.B. und J. HUDDLESTON (1991). *Presentation of statistical data on map units to the user*. In: MAUSBACH, M.J. und L. WILDING, Hrsg.: *Spatial Variabilities of Soil and Landforms*, Bd. 28 d. Reihe SSSA Special Publication, S. 127–148.
- [BURROUGH 1983] BURROUGH, P.A. (1983). *Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation*. *J. Soil Sci.*, 34:577–597.
- [BURROUGH 1993] BURROUGH, P.A. (1993). *Soil Variability: a late 20th century view*. *Soils and Fertilizers*, 56:529–562.
- [BURROUGH und BECKETT 1971a] BURROUGH, P.A. und P. BECKETT (1971a). *The relation between cost and utility in soil survey; IV: Comparison of the utilities of soil maps produced by different survey procedures and to different scales*. *J. Soil Sci.*, 22;4:466–480.
- [BURROUGH und BECKETT 1971b] BURROUGH, P.A. und P. BECKETT (1971b). *The relation between cost and utility in soil survey; V: The cost-effectiveness of different soil survey procedures*. *J. Soil Sci.*, 22;4:481–488.
- [BURROUGH et al. 1971] BURROUGH, P.A., P. BECKETT und M. JARVIS (1971). *The relation between cost and utility in soil survey; I-III*. *J. Soil Sci.*, 22;4:359–394.
- [BURROUGH et al. 1994] BURROUGH, P.A., J. BOUMA und S. YATES (1994). *The state of the art in pedometrics*. *Geoderma*, 62:311–326.
- [DANIELS 1980] DANIELS, C. VON (1980). *Geowissenschaftliche Naturraumpotentialkarten von Niedersachsen*. verfügbar in der Bibliothek der BGR.

- [DE GRUIJTER et al. 1997] DE GRUIJTER, J. J., D. J. J. WALVOORT und P. F. M. VAN GAANS (1997). *Continuous soil maps - a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models*. *Geoderma*, 77:169–195.
- [DEURER 2000] DEURER, MARKUS (2000). *The dynamics of water and solute flow in the unsaturated zone of a coniferous forest : measurement and numerical simulation*. Doktorarbeit, Universität Hannover; FB Geowissenschaften und Geographie.
- [DEUTSCH und JOURNAL 1998] DEUTSCH, CLAYTON V. und A. G. JOURNAL (1998). *GSLIB: geostatistical software library and user's guide*. Applied geostatistics series. Oxford University Press, 2 Aufl.
- [DOMBURG 1994] DOMBURG, P. (1994). *A knowledge-based system to assist in the design of soil survey schemes*. Doktorarbeit, Wageningen.
- [DUDAL et al. 1995] DUDAL, R., A. BREGT und P. FINKE (1995). *Feasibility of the creation of a soil map of europe at a scale of 1:250.000*. In: KING, D., R. J. A. JONES und A. J. THOMASSON, Hrsg.: *European land information systems for agro-environmental monitoring*, S. 207–220. European Commission, Directorate-General XIII, Luxembourg.
- [DUIJNISVELD et al. 2003] DUIJNISVELD, W.H.M., V. HENNINGS, W. STOLZ, N. MARTIN, A. RICHTER und J. BEHRENS (2003). *Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), Lfg. 3, Kap. Mittlere jährliche Sickerwasserrate aus dem Boden - Tafel 4.5*. Bundesministerium für Umwelt und Naturschutz und Reaktorsicherheit, Freiburg i. Br.
- [DUTTMANN 1999] DUTTMANN, RAINER (1999). *Partikuläre Stoffverlagerungen in Landschaften - Ansätze zur flächenhaften Vorhersage von Transportpfaden und Stoffumlagerungen auf verschiedenen Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Änderungen der Bodenfeuchte*, Bd. 10 d. Reihe Geosynthesis. Hannover. Habilitationsschrift.
- [ECKELMANN und ADLER 1993] ECKELMANN, W. und G. ADLER (1993). *Das Fachinformationssystem Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR) I. Aufgaben, Struktur und Inhalte*. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, 72,2:867–872.
- [ECKELMANN und OELKERS 1984] ECKELMANN, W. und K.-H. OELKERS (1984). *Ein Vorschlag zur Beschreibung von Bodengesellschaften in einer Generallegende, dargestellt am Beispiel aus Niedersachsen*. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, 40:177–181.
- [EGHBALL et al. 1999] EGHBALL, B., G. W. HERGERT, G. W. LESOING und R. B. FERGUSON (1999). *Fractal analysis of spatial and temporal variability*. *Geoderma*, 88(3-4):349–362.
- [ELBRACHT 2000] ELBRACHT, JÖRG (2000). *Geologische Karte Blatt Nr.4426 Ebergötzen - Kartierbericht*.
- [ERDMANN und MÜLLER 2000] ERDMANN, K. und U. MÜLLER (2000). *Leitfaden zur Berücksichtigung von Bodeninformationen im Rahmen der Agrarstrukturplanung in Niedersachsen: Nutzung der Daten des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS; Handlungsanleitung/Empfehlungen*. Technischer Bericht 2000/3, NLFb, Hannover. Arbeitshefte Boden.

- [EU 1991] EU (1991). *CORINE : coordination of information on the environment - Programme*. Commission of the European Communities, Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.
- [FAO 1974] FAO (1974). *Map of the World; Vol 1: Legend*. Technischer Bericht, FAO, Rom.
- [FELDWISCH et al. 2003] FELDWISCH, N., O. HENDRISCHKE und A. SCHMEHL, Hrsg. (2003). *Gebietsbezogener Bodenschutz : Bodenschutzgebiete, Bodenplanungsgebiete, Bodenbelastungsgebiete und Bodengefährdungsgebiete im Gefüge des Umwelt- und Planungsrechts - rechtliche und bodenschutzfachliche Grundlagen*, Bd. 13 d. Reihe *Bodenschutz und Atlanten*.
- [FETZER et al. 1986] FETZER, K. D., W. GROTTENTHALER, B. HOFMANN, H. JERZ, G. RÜCKERT, F. SCHMIDT, O. WITTMANN, H. HÄCKEL und M. ZEHENDNER (1986). *Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1 : 50.000, München-Augsburg und Umgebung : Erläuterungen zu den Kartenblättern L 7530 Wertingen, L 7532 Schrobenhausen, L 7730 Augsburg, L 7732 Altomünster, L 7734 Dachau, L 7736 Erding, L 7930 Landsberg a. Lech, L 7932 Fürstenfeldbruck, L 7934 München, L 7936 Grafing b.München, L 8131 Schongau, L 8132 Weinheim i.OB, L 8134 Wolfratshausen und L 8136 Holzkirchen*. Technischer Bericht, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- [FINKE et al. 1998] FINKE, P. A., J. BOUMA und M. R. HOOSBEEK, Hrsg. (1998). *Soil and water quality at different scales*, Nr. 80 in *Developments in Plant and Soil Sciences*, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
- [FINKE 2000] FINKE, P.A. (2000). *Updating the 1:50,000 Dutch groundwater table class map by statistical methods: an analysis of quality versus cost*. *Geoderma*, 97:329–350.
- [FUCHS 2002] FUCHS, MICHAEL (2002). *Methoden zur objektiven Ableitung von Bodenkarten im Folgemaßstab*. Doktorarbeit, Freie Universität Berlin.
- [GEHRT und SBRESNY 1999] GEHRT, E. und J. SBRESNY (1999). *Erläuterungen zur Ableitung und den Inhalten der Bodenübersichtskarten 1:200.000 (BÜK 200) und 1:500.000 (BÜK 500) von Niedersachsen*. In: *Bodenübersichtskarten von Niedersachsen*, Nr. 1999/1 in *Arbeitshefte Boden*. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFb).
- [GOOVAERTS 1999] GOOVAERTS, P. (1999). *Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives*. *Geoderma*, 89(1-2):1–45.
- [HAASE und SCHMIDT 1985] HAASE, G. und R. SCHMIDT (1985). *Konzeption und Inhalt der Karte "Böden" im "Atlas DDR"*. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 129:199–204.
- [HARTWICH 1999] HARTWICH, R. (1999). *The 1:200,000 Soil Map of Germany and the Related Soil Information System (SIS)*. *Bolletino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 48(3):579–590.
- [HARTWICH et al. 1995a] HARTWICH, R., J. BEHRENS, W. ECKELMANN, G. HAASE, A. RICHTER, G. ROESCHMANN und R. SCHMIDT (1995a). *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik*

- Deutschland 1:1.000.000*. Technischer Bericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- [HARTWICH et al. 1995b] HARTWICH, R., J. BEHRENS, W. ECKELMANN, G. HAASE, A. RICHTER, G. ROESCHMANN und R. SCHMIDT (1995b). *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 - Karte mit Erläuterungen, Textlegende und Leitprofilen*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- [HARTWICH et al. 1995c] HARTWICH, R., D. KRUG und W. ECKELMANN (1995c). *Anleitung zur Erarbeitung der Bodenübersichtskarte i.M. 1:200.000 (BÜK 200)*. Technischer Bericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. unveröff.
- [HEINEKE und KUES 1996] HEINEKE, HANS J. und J. KUES (1996). *Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS - Fachinformationssystem Bodenkunde*. Technischer Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- [HELMING und FRIELINGHAUS 1999] HELMING, K. und M. FRIELINGHAUS (1999). *Skalenaspekte der Bodenerosion*. In: STEINHARDT, U. und M. VOLK, Hrsg.: *Regionalisierung in der Landschaftsökologie Forschung - Planung - Praxis*. UFZ Leipzig-Halle GmbH, Leipzig.
- [HENNINGS 1991] HENNINGS, VOLKER (1991). *Die Bedeutung der räumlichen Variabilität bodenkundlicher Basisdaten für aktuelle und zukünftige Kartiertechniken, dargestellt an einem Beispielsgebiet im nördlichen Harzvorland*. Nr. 28 in *Geologisches Jahrbuch: Reihe F, Bodenkunde*. Schweizerbart, Hannover.
- [HENNINGS 1998] HENNINGS, VOLKER (1998). *Einfluss verschiedener Verfahren der Aggregation auf die Güte bodenkundlicher Auswertungskarten*. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 88:417–420.
- [HENNINGS 1994] HENNINGS, VOLKER (KOORDINATION) (1994). *Methodendokumentation Bodenkunde: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden*. Geologisches Jahrbuch: Reihe F, Bodenkunde 31, Hannover.
- [HERRMANN 1957] HERRMANN, A. (1957). *Kartierbericht zur Kartierung Bl. Waake ,Nr. 4426*. Archiv Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB).
- [HEUVELINK und WEBSTER 2001] HEUVELINK, G.B.M. und R. WEBSTER (2001). *Modelling soil variation: past, present, future*. *Geoderma*, 100 (3-4):269–301.
- [HEYMANN 1994] HEYMANN, YVES (1994). *CORINE Landcover: technical guide*. Technischer Bericht, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg.
- [HOOSBEEK und BRYANT 1992] HOOSBEEK, M.R. und R. BRYANT (1992). *Towards the quantitative modelling of pedogenesis - a review*. *Geoderma*, 55:183–210.
- [IBANEZ et al. 1995a] IBANEZ, J. J., S. DE-ALBA und J. BOIXADERA (1995a). *The pedodiversity concept and its measurement: application to soil information systems*. In: KING, D., R. J. A. JONES und A. J. THOMASSON, Hrsg.: *European land information systems for agro-environmental monitoring*, S. 181–195. European Commission, Directorate-General XIII, Luxembourg.

- [IBANEZ et al. 1995b] IBANEZ, J.J., S. DE-ALBA, F. BERMUDEZ und A. GARCIA-ALVAREZ (1995b). *Pedodiversity: concepts and measures*. *Catena*, 24:215–232.
- [IBANEZ et al. 1998] IBANEZ, J.J., S. DE-ALBA, A. LOBO und V. ZUCARELLO (1998). *Pedodiversity and global soil patterns at coarse scale (with Discussion)*. *Geoderma*, 83:171–214.
- [ISAAKS und SRIVASTAVA 1989] ISAAKS, E. und R. SRIVASTAVA (1989). *An introduction into applied geostatistics*. Oxford university press.
- [ISSS-ISRIC-FAO 1998] ISSS-ISRIC-FAO (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Report No. 84, FAO, Rom.
- [JENNY 1963] JENNY, H. (1963). *E. W. Hilgard and the birth of modern soil science*. Farallo Publications, Berkeley.
- [KLEEBERG 1992a] KLEEBERG, H.-B. (1992a). *Diskussionsergebnisse (Kapitel 9)*. In: H.-B., KLEEBERG, Hrsg.: *Regionalisierung in der Hydrologie - Ergebnisse von Rundgesprächen der Deutschen Forschungsgemeinschaft*, Nr. XI in *Mitteilung XI der Senatskommission für Wasserforschung*. VCH Weinheim.
- [KLEEBERG 1992b] KLEEBERG, H.-B., Hrsg. (1992b). *Regionalisierung in der Hydrologie - Ergebnisse von Rundgesprächen der Deutschen Forschungsgemeinschaft*, Nr. XI in *Mitteilung XI der Senatskommission für Wasserforschung*. VCH Weinheim.
- [KLEINSCHMIDT 1994] KLEINSCHMIDT, VOLKER (1994). *Bodenschutzbelange bei der UVP im Raumordnungsverfahren: Beispiel Fernstrassenplanung in NRW*. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund.
- [KNEIB 1979] KNEIB, W. (1979). *Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung*. Doktorarbeit, Agrarwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- [KNOTTERS und BRUS 1995] KNOTTERS, M. und J. H. O. BRUS, D. J. AND VOSHAAR (1995). *A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations*. *Geoderma*, 67(3-4):227–246.
- [KOMMISSION 1986] KOMMISSION, EUROPÄISCHE (1986). *EG-Klärschlammrichtlinie - Richtlinie 86/278/EWG des Rates vom 12. Juni 1986*.
- [KOMMISSION 2000] KOMMISSION, EUROPÄISCHE (2000). *Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EU-Wasserrahmenrichtlinie / WRRL)*.
- [KOPP und JOCHHEIM 2002] KOPP, DIETRICH und H. JOCHHEIM (2002). *Forstliche Boden- und Standortdaten des nordostdeutschen Tieflands als Datenbasis für die Landschaftsmodellierung*. Kessel, Remagen-Oberwinter.
- [KÖTHE und LEHMEIER 1993] KÖTHE, R. und F. LEHMEIER (1993). *SARA - Ein Programmsystem zur Automatischen Relief-Analyse*. Standort - Z. f. Angewandte Geographie, 4/93:11–21.

- [KUES und STEININGER 1994] KUES, JÖRG und A. STEININGER (1994). *Die Forstliche Standortkarte im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS)*. Neues Archiv für Niedersachsen, 2:89–94.
- [KUHNERT 1994] KUHNERT, ANDREA (1994). *Sensitivitätsanalyse zweier Modelle im NIBIS zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate im Beispielgebiet Schwaförden*. Diplomarbeit. Universität Hannover, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie.
- [LAMP und KNOOP 1984] LAMP, J. und F. KNOOP (1984). *Erfassung der regionalen Merkmalsvarianz von Böden*. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 40:191–198.
- [LARK und WEBSTER 1999] LARK, R.M. und R. WEBSTER (1999). *Analysis and elucidation of soil variation using wavelets*. European Journal of Soil Science, 50:185–206.
- [LÜDERS et al. 1974] LÜDERS, R., W. MÜLLER und K.-H. OELKERS (1974). *Bodenkundliche Standortkarte 1:200.000*.
- [LESER 1991] LESER, HARTMUT (1991). *Landschaftsökologie: Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Ulmer UTB, 3 Aufl.
- [LGN 1996] LGN (1996). *Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4426 Ebergötzen*.
- [LGN 1997] LGN (1997). *Topographische Karte 1:25.000, Blatt 3215 Vechta*.
- [LIEBEROTH 1982] LIEBEROTH, IMMO (1982). *Bodenkunde*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 3. Aufl.
- [LIEDTKE et al. 2003] LIEDTKE, HERBERT, R. MÄUSBACHER und K.-H. SCHMIDT, Hrsg. (2003). *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [MAGURRAN 1988] MAGURRAN, ANNE E. (1988). *Ecological Diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- [MARSMAN und DE GRUIJTER 1984] MARSMAN, B.A. und J. DE GRUIJTER (1984). *Dutch soil survey goes into quality control*. In: BURROUGH, P. A. und S. W. BIE, Hrsg.: *Soil information systems technology*, S. 127–134, Wageningen. Pudoc.
- [MARSMAN und DE GRUIJTER 1986] MARSMAN, B.A. und J. DE GRUIJTER (1986). *Quality of soil maps; a comparison of soil survey methods in a sandy area*. Soil Survey Papers 15, Soil Survey Institute, Wageningen.
- [MATHERON 1963] MATHERON, G. (1963). *Principles of geostatistics*. Economic Geology, 58:1246–1266.
- [MATHEWS 2003] MATHEWS, JEANNETTE, Hrsg. (2003). *Aktuelle DV-gestützte Anwendungen im Bodenschutz- und Altlastenbereich*, Bd. 49/03 d. Reihe *Texte Umweltbundesamt*, Berlin. Umweltbundesamt; Fachgebiet II 5.2. UBA-Workshop am 6./7. Mai 2003.

- [MCBRATNEY 1998] MCBRATNEY, A. B. (1998). *Some considerations on methods for spatially aggregating and disaggregating soil information*. In: FINKE, P. A., J. BOUMA und M. R. HOOSBEEK, Hrsg.: *Soil and water quality at different scales*, Nr. 80 in *Developments in Plant and Soil Sciences*, S. 51–62. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [MCBRATNEY und DE GRUIJTER 1992] MCBRATNEY, A.B. und J. DE GRUIJTER (1992). *A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades*. *J. Soil Sci.*, 43:159–175.
- [MCGARIGAL und MARKS 1994] MCGARIGAL, K. und B. J. MARKS (1994). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Oregon: Forest Science Department.
- [MEYER und VOLK 2001] MEYER, BURGHARD und M. VOLK (2001). *Die Schutzgüter Boden und Wasser in der naturschutzfachlichen Planung: Vorschläge für die Entwicklung von Standards*. Technischer Bericht 2001,6, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.
- [MÜLLER 1996] MÜLLER, UDO (1996). *Auswertungsmethoden im Bodenschutz; Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssysteme (NIBIS)*. Technische Berichte zum NIBIS. Bodenkunde, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB), Hannover. 6. erw. u. erg. Auflage.
- [MONMONIER 1974] MONMONIER, MARK (1974). *Measures of pattern complexity for choropleth maps*. *The American Cartographer*, 1:159–169.
- [MONMONIER 1996] MONMONIER, MARK (1996). *How to lie with maps*. University of Chicago, 2. Aufl.
- [NEEF 1963] NEEF, E. (1963). *Dimensionen geographischer Betrachtungen*. *Forschung und Fortschritt*, 37:361–363.
- [OELKERS 1984] OELKERS, KARL-HEINZ (1984). *Datenschlüssel Bodenkunde*. Technischer Bericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- [OELKERS und ECKELMANN 1983] OELKERS, K.H. und W. ECKELMANN (1983). *Das Auffinden und Abgrenzen bodenkundlicher Kartiereinheiten bei der Landesaufnahme und ein Vorschlag zur Beschreibung der Flächeninhalte*. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, 36:47–55.
- [OTTE 1988] OTTE, FRIEDERIKE (1988). *Über die quantitative Erfassung der Bodenvariabilität und Gütemaße für großmaßstäbige Karten*. Doktorarbeit, Inst. für Pflanzenernährung u. Bodenkunde der Universität Kiel.
- [PEBESMA 2001] PEBESMA, EDZER J. (2001). *gstat user's manual, Version 3.2.2*. Programm und Dokumentation als Freie Software verfügbar unter <http://www.gstat.org>.
- [PHILLIPS 1993] PHILLIPS, J.D. (1993). *Stability implications of the state factor model of soils as a nonlinear dynamical system*. *Geoderma*, 58:1–15.

- [PIELOU 1975] PIELOU, E.C. (1975). *Ecological Diversity*. Wiley, New York.
- [PLANUNGSGRUPPE 2003] PLANUNGSGRUPPE (2003). *Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit*. Technischer Bericht, Planungsgruppe Ökologie + Umwelt GmbH, Hannover. erarbeitet im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), umfasst Bericht und Anhang; beide unter <http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/umwelt-gesundheit/umwelt/boden/bodenschutz/fragen/bfb-labo.html> verfügbar (Stand Ende 2003).
- [REENTS 1982] REENTS, H-J. (1982). *Die Abgrenzung von Bodengesellschaften aufgrund funktionaler Beziehungen zwischen Böden - dargestellt an 2 Beispielen aus der nordwestdeutschen Geestlandschaft*. Doktorarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- [REENTS 1984] REENTS, H-J. (1984). *Möglichkeiten zur Kennzeichnung der Strukturen von Bodengesellschaften*. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, 40:211–216.
- [RENGER und WESSOLEK 1990] RENGGER, M. und G. WESSOLEK (1990). *Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen und Nutzungsänderungen auf die Grundwasserneubildung*. *Mitt. Inst. für Wasserwesen*, 38:295–305.
- [RICHARDSON und EDMOND 1987] RICHARDSON, J. L. und W. J. EDMOND (1987). *Linear regression estimations of Jenny's relative effectiveness of state factors equation*. *J. Soil Sci.*, 144:203–208.
- [RICHTER et al. 2004] RICHTER, ANDREAS, C. SIEBNER, G. ADLER, W. ECKELMANN und R. HARTWICH (2004). *Die nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 - Auszug Waldböden - (BÜK1000-Wald)*. Karte. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- [RIEK et al. 1985] RIEK, WINFRIED, G. WESSOLEK, M. RENGGER und E. VEITERLEIN (1985). *Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrat-Horizontgruppen - eine statistische Auswertung von Labordatenbanken*. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 158(5):485 – 491.
- [ROESCHMANN 1972] ROESCHMANN, G. (1972). *Zur Problematik der Reinheit von Kartiereinheiten auf Bodenkarten aus der Sicht der systematischen bodenkundlichen Landesaufnahme*. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, 16:79–88.
- [ROESCHMANN 1986] ROESCHMANN, G. (1986). *Bodenkarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000; Legende und Erläuterungen*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- [SACHS 1999] SACHS, LOTHAR (1999). *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden*. Springer, 9. überarbeitete Aufl.
- [SAUERBORN 1994] SAUERBORN, P. (1994). *Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland - Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa*. Nr. 13 in *Bonner Bodenkundl. Abh.*. Bonn.

- [SCHAFFER 1970] SCHAFFER, G. (1970). *Gedanken zur Bildung von Bodengesellschaften*. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 10:282–288.
- [SCHEFFER et al. 1992] SCHEFFER, F., P. SCHACHTSCHABEL, H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K. H. HARTGE, U. SCHWERTMANN, W. R. FISCHER, M. RENGER und O. STREBEL (1992). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 13. durchgesehene Aufl.
- [SCHLICHTING 1987] SCHLICHTING, E. (1987). *Musterbildung in der Pedoshäre*. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 55(I):65–90.
- [SCHMIDT und HAASE 1980] SCHMIDT, R. und G. HAASE (1980). *Die Heterogenität der Bodendecke und ihr Einfluß auf Bodenfruchtbarkeit, Melioration und Landeskultur*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 124:11–18.
- [SCHWERTMANN et al. 1990] SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ (1990). *Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen*. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- [SEEDORF und MEYER 1992] SEEDORF, H.-H. und H.-H. MEYER (1992). *Landeskunde Niedersachsens, Bd. 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung*. Wachholtz, Neumünster.
- [SELLGE et al. 1993] SELLGE, H., K.-H. OLKERS, D. GRÜNER, H.-U. GERIGK und K. HETTER (1993). *Bodenschätzung in Niedersachsen heute*. Technischer Bericht, Niedersächsisches Landesverwaltungsamt. Nachdruck aus den Nachrichten der Vermessungs- und Katasterverwaltung, Heft 4/1993.
- [SHANNON und WEAVER 1949] SHANNON, C.E. und W. WEAVER (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana : Univ. of Illinois Press.
- [SIMPSON 1949] SIMPSON, E.H. (1949). *Measurement of diversity*. Nature, 163:688.
- [SINOWSKI 1995] SINOWSKI, W. (1995). *Die dreidimensionale Variabilität von Bodeneigenschaften - Ausmaß, Ursachen und Interpolation*. Nr. 7 in *FAM-Bericht*. Verlag Shaker, Aachen. Dissertation.
- [STANDORTKARTIERUNG 1980] STANDORTKARTIERUNG, ARBEITSKREIS (1980). *Forstliche Standortaufnahme*. Technischer Bericht, Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, Münster-Hiltrup. Landwirtschaftsverlag.
- [TGL 1985] TGL (1985). *TGL 24300: Aufnahme landwirtschaftlich genutzter Standorte*. TGL; Technische Güte und Lieferbedingungen, Leipzig.
- [USDA 1975] USDA, SOIL SURVEY STAFF (1975). *Soil Taxonomy*. USDA Agriculture Handbook No. 436, US Soil Survey Staff, Washington, D.C.
- [VOLTZ 1990] VOLTZ, M.; WEBSTER, R. (1990). *A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information*. J. Soil Sci., 41:473–490.

- [VREECKEN 1984] VREECKEN, W. J. (1984). *Soil-landscape chronograms for pedochronological analysis*. *Geoderma*, 34:149–164.
- [WAGENET 1998] WAGENET, R. J. (1998). *Scale issues in agroecological research chains*. In: *Soil and water quality at different scales*, S. 23–34. Kluwer Academic Publishers.
- [WEBSTER und OLIVER 2000] WEBSTER, R. und M. OLIVER (2000). *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley.
- [WEBSTER 1994] WEBSTER, RICHARD (1994). *The development of pedometrics*. *Geoderma*, 62:1–15.
- [WESSOLEK 1996] WESSOLEK, G. (1996). *Abschätzung der Grundwasserneubildung von Hangstandorten*. im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- [WESSOLEK et al. 2004] WESSOLEK, G., W. DUIJNISVELD und S. TRINKS (2004). *Die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur bundesweit einheitlichen Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden im Rahmen des Projektes Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD)*. Wasser und Abfall. in Vorbereitung.
- [WILHELMY 1990] WILHELMY, HERBERT (1990). *Kartographie in Stichworten*. Verlag Ferdinand Hirt, 5. überarbeitete Aufl.
- [WISCHMEIER und SMITH 1987] WISCHMEIER, W.H. und D. SMITH (1987). *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. Nr. 537 in *Agriculture Handbook*. USDA, Washington.

11 Anhang

A Heterogenitätsmaße

	LBA6	LBA7	LBA10	LBA28	LBA46	LBA42	LBA61	LBA 17E	LBA 17V
Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975)									
Taxonomie [0-300]	266,5	270,7	300,0	274,7	297,1	188,8	256,5	293,1	209,3
nFKWe-Klasse [0-200]	170,7	8,2	3,0	64,5	37,9	91,4	84,6	138,9	7,2
K-Faktor-Klasse [0-200]	-	-	11,4	56,3	87,7	22,8	57,5	182,5	7,3
Übereinstimmung in...									
gleicher Haupttyp [%]	16,8	14,7	0,0	0,8	1,4	55,3	21,6	0,0	29,5
gleicher Haupt- und Subtyp [%]	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	26,8
nFKWe-Klasse [% Fläche]	2,9	82,2	96,9	34,5	62,1	12,5	43,2	21,6	90,7
K-Faktor-Klasse [% Fläche]	0,0	0,0	88,5	59,4	12,6	77,8	45,2	11,3	92,6
Anzahl Haupttypen (Basis Bo5)	8,0	8,0	7,0	12,0	9,0	9,0	11,0	8,0	9,0
Anzahl Haupttypen (Basis bk25)	6,0	5,0	4,0	6,0	5,0	6,0	9,0	7,0	4,0
Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	30,7	34,3	38,9	50,6	55,0	53,9	21,6	44,3	47,1

Tabelle A.1: Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5

	LBA6	LBA7	LBA10	LBA28	LBA46	LBA42	LBA61	LBA 17E	LBA 17V
Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975)									
Taxonomie [0-300]	257,5	231,4	300,0	257,5	180,9	180,4	245,3	281,3	160,6
nFKWe-Klasse [0-200]	192,0	0,0	0,0	87,3	40,5	72,7	97,2	126,5	0,0
K-Faktor-Klasse [0-200]	0,0	0,0	1,7	69,2	22,3	22,0	45,5	169,0	0,6
Übereinstimmung in...									
gleicher Haupttyp [%]	12,8	9,1	0,0	3,2	20,0	59,8	27,4	0,0	20,0
gleicher Haupt- und Subtyp [%]	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
nFKWe-Klasse [% Fläche]	0,0	100,0	100,0	12,7	59,5	37,2	13,3	0,0	100,0
K-Faktor-Klasse [% Fläche]	0,0	0,0	98,3	60,5	88,9	77,0	54,3	0,0	99,4
Anzahl Haupttypen									
Anzahl Haupttypen	6,0	4,0	4,0	8,0	6,0	7,0	9,0	5,0	5,0
Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	30,7	50,8	54,1	35,3	59,5	58,1	27,7	48,4	69,7

Tabelle A.2: Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der BÜK50

	LBA6	LBA7	LBA10	LBA28	LBA46	LBA42	LBA61	LBA 17E	LBA 17V
Kontrastindex nach (AMOS und WHITESIDE 1975)									
Taxonomie[0-300]	260,9	255,8	300,0	206,6	179,7	171,2	199,9	300,0	106,1
nFKWe-Klasse [0-200]	200,0	0,0	0,0	70,4	5,5	39,2	47,1	105,4	0,0
K-Faktor-Klasse [0-200]	0,0	0,0	0,0	59,2	1,3	14,9	28,8	119,0	0,0
Übereinstimmung in ...									
gleicher Haupttyp [%]	19,5	7,3	0,0	46,7	60,7	61,7	50,0	0,0	96,9
gleicher Haupt- und Subtyp [%]	19,5	7,3	0,0	46,7	60,7	0,0	0,0	0,0	96,9
nFKWe-Klasse [% Fläche]	0,0	100,0	100,0	29,6	94,5	48,7	14,5	0,0	100,0
K-Faktor-Klasse [% Fläche]	0,0	0,0	100,0	63,7	94,5	68,6	30,2	0,0	100,0
Anzahl der bodenkundlichen Haupttypen									
Anzahl der bodenkundlichen Haupttypen	4,0	3,0	3,0	6,0	5,0	4,0	6,0	3,0	3,0
Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	38,3	53,7	60,8	50,7	60,7	60,3	50,0	46,4	96,9

Tabelle A.3: Kontrastmaße für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der BSK200

	Swr		nFKWe		Wpfi		EfW		K-Faktor	
	K	S	K	S	K	S	K	S	K	S
Shannon Areal-Heterogenitäts Index	0,52	0,10	0,52	0,10	0,12	0,73	0,47	0,21	0,45	0,26
Simpson Areal Heterogenitäts Index	0,52	0,10	0,52	0,10	0,12	0,73	0,47	0,21	0,45	0,26
Modifizierter Simpson Areal Heterogenitäts Index	0,52	0,10	0,52	0,10	0,12	0,73	0,47	0,21	0,45	0,26
Shannon Areal Ebenheits Index	0,67	0,02	0,70	0,02	0,26	0,43	0,73	0,02	0,33	0,42
Simpson Areal Ebenheits Index	0,55	0,08	0,59	0,06	0,15	0,66	0,57	0,11	0,42	0,30
Modifizierter Simpson Areal Ebenheits Index	0,70	0,02	0,66	0,03	0,24	0,48	0,73	0,02	0,33	0,42
Mittelwert Gestaltindex	0,78	0,84	0,43	0,21	0,44	0,21	-0,37	0,37	0,60	0,09
Variationskoeffizient Gestaltindex	-0,07	0,85	-0,42	0,22	0,58	0,08	-0,12	0,77	-0,16	0,67

Tabelle A.4: Korrelation zwischen den Heterogenitätsmaßen und dem Fehler der bestehenden Karten, K = Korrelationskoeffizient nach Spearman; S = Signifikanzniveau (zweiseitig); **fett:** Koeffizient $\geq 0,7$

	LBA 6	LBA 7	LBA 10	LBA 28 (P3)	LBA 28 (P6)	LBA 46	LBA 42P2	LBA 42P8	LBA42g	LBA 61	LBA 17E	LBA 17V
nFKWe												
Mittelwert	116,9	94,4	93,3	137,7	149,0	182,3	233,8	225,1	233,5	159,1	201,4	91,6
Median	103,5	89,8	88,8	131,5	139,0	175,2	260,0	260,0	260,0	141,5	232,0	85,8
Modus	126,0	89,5	82,8	110,5	213,5	179,0	260,0	272,5	260,0	228,0	257,0	84,0
Maximum	261,0	216,0	179,0	286,0	228,0	330,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	244,0
Minimum	34,2	18,9	50,4	0,0	52,8	63,0	23,4	30,5	23,4	8,1	34,4	34,5
Spannweite	226,8	197,1	128,6	286,0	175,2	267,0	276,6	269,5	276,6	291,9	265,6	209,5
Varianz	1915,3	699,8	291,9	2018,0	2577,2	1845,6	4184,0	4216,0	4185,1	4764,5	4841,4	492,1
Standardabweichung	43,8	26,5	17,1	44,9	50,8	43,0	64,7	64,9	64,7	69,0	69,6	22,2
Variationskoeffizient	37,4	28,0	18,3	32,6	34,1	23,6	27,7	28,8	27,7	43,4	34,6	24,2
K-Faktor												
Mittelwert	0,31	0,17	0,17	0,25	0,16	0,47	0,55	0,50	0,50	0,37	0,51	0,17
Median	0,16	0,16	0,16	0,19	0,16	0,57	0,59	0,59	0,59	0,33	0,59	0,16
Modus	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,66	0,59	0,59	0,59	0,50	0,59	0,16
Maximum	0,90	0,21	0,28	1,05	0,21	0,90	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,90
Minimum	0,12	0,14	0,14	0,05	0,14	0,16	0,08	0,13	0,08	0,05	0,09	0,14
Spannweite	0,78	0,06	0,14	1,00	0,06	0,74	0,56	0,51	0,56	0,59	0,55	0,76
Varianz	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Standardabweichung	0,31	0,00	0,02	0,17	0,02	0,20	0,11	0,15	0,14	0,16	0,15	0,00
Variationskoeffizient	100,94	0,87	13,62	66,80	9,94	43,19	19,31	30,07	28,58	42,56	29,69	2,76

Tabelle A.5: Statistische Auswertung für die Leitbodenassoziationen in den beiden Testgebieten auf Basis der Bo5

B Geostatistik

B.1 Variogramme im Gebiet Vechta; Kennwert nFKWe

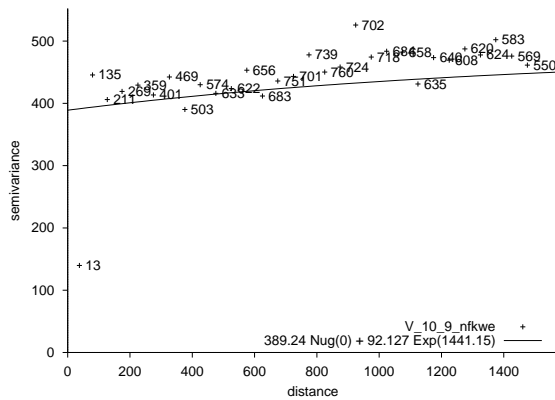


Abbildung B.1: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 17 im Blatt Vechta

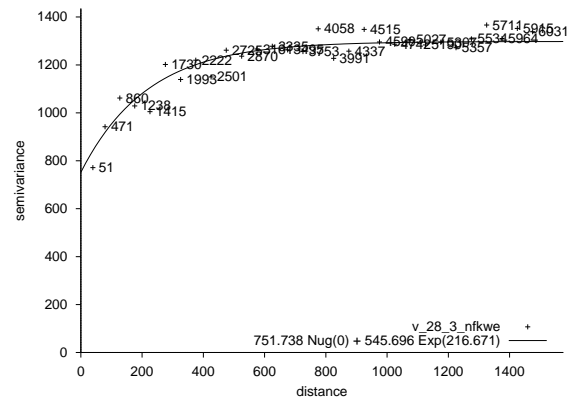


Abbildung B.2: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 28 (nördlicher Bereich) im Blatt Vechta

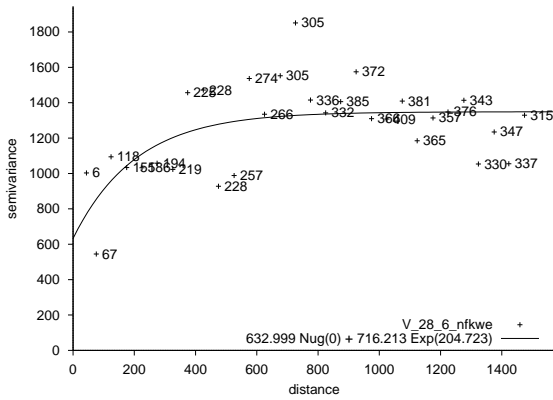


Abbildung B.3: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 28 (südlicher Bereich) im Blatt Vechta

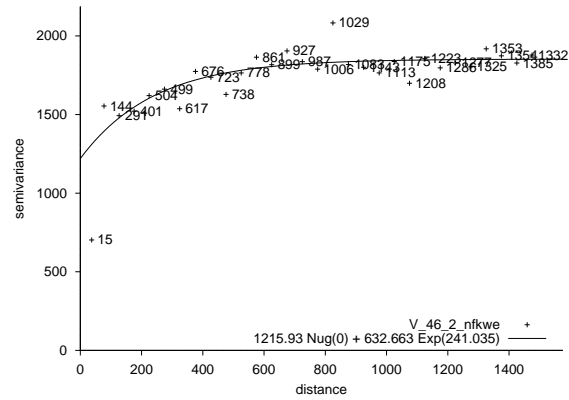


Abbildung B.4: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 46 im Blatt Vechta

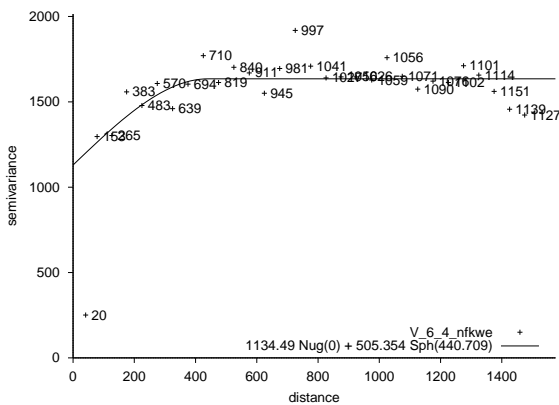


Abbildung B.5: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 6 im Blatt Vechta

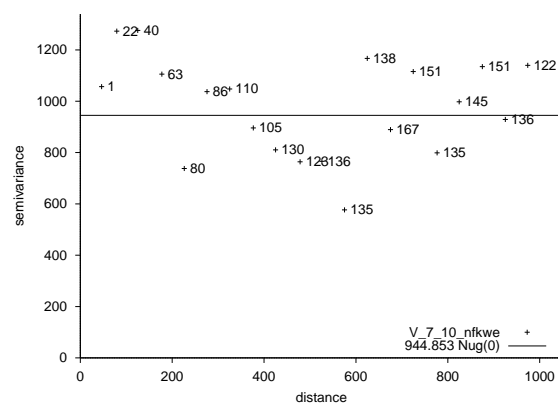


Abbildung B.6: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 7 im Blatt Vechta

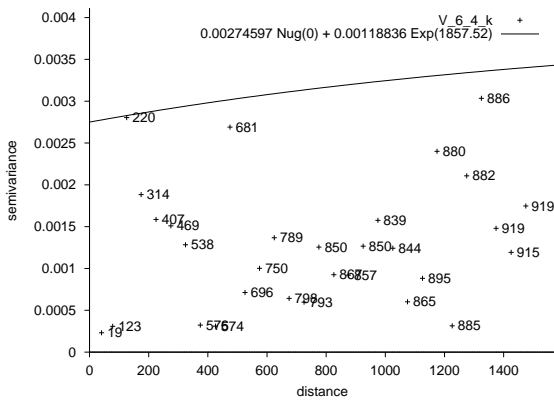


Abbildung B.11: Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 6 im Blatt Vechta

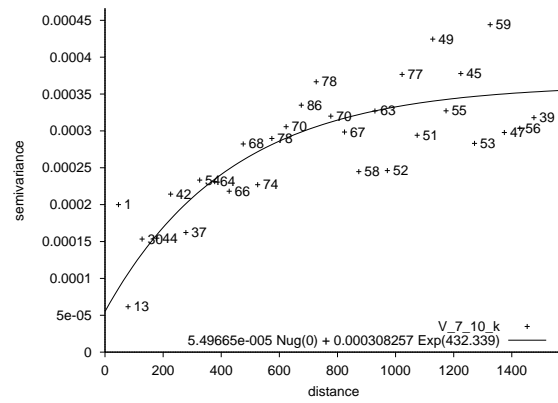


Abbildung B.12: Variogramm des Kennwerts K-Faktor im Bereich der LBA 7 im Blatt Vechta

B.3 Variogramme im Gebiet Ebergötzen; Kennwert nFKWe

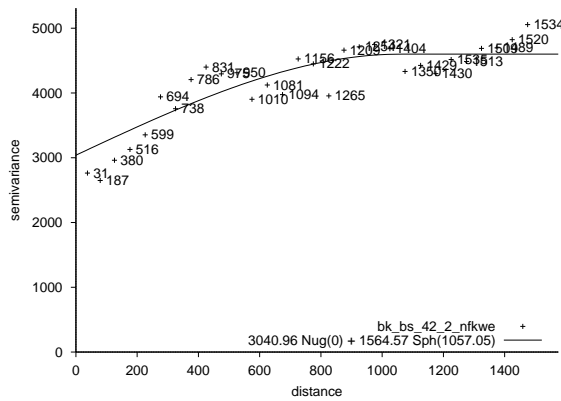


Abbildung B.13: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 42 (nordöstlicher Bereich) im Blatt Ebergötzen

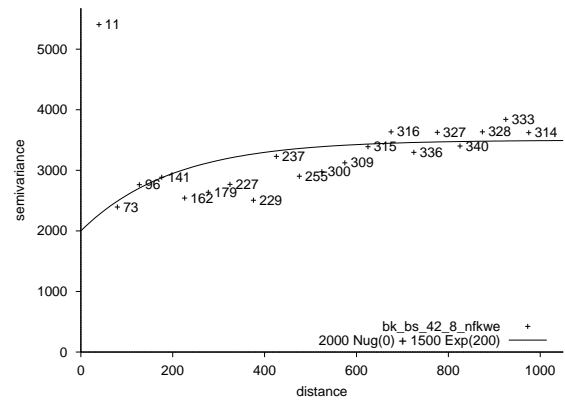


Abbildung B.14: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 42 (südlicher Bereich) im Blatt Ebergötzen

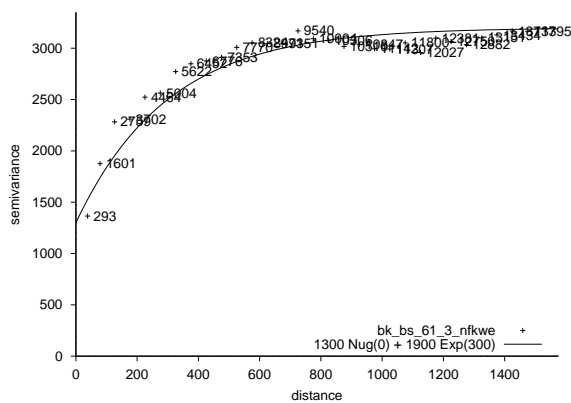


Abbildung B.15: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 61 im Blatt Ebergötzen

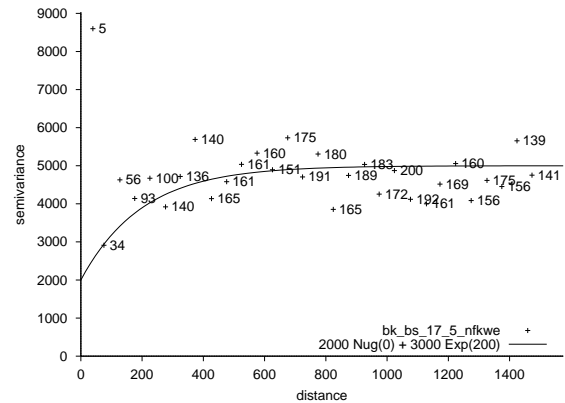


Abbildung B.16: Variogramm des Kennwerts nFKWe im Bereich der LBA 17 im Blatt Ebergötzen

BSK200													
	ID110	ID210	ID230	ID2101	ID2111	ID2140	ID2211	ID2251	ID2261	ID2270	ID2310		
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	70,0	99,6	40,8	13,7	70,6	27,5	44,2	15,0	40,6	18,6	96,5		
Anzahl Hauptbodentypen	4	2	8	8	5	9	3	7	8	6	3		
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	70,0	99,6	40,8	29,7	70,6	42,9	44,2	38,7	40,6	48,3	96,5		
nFKWe Mittelwert	94,9	78,1	135,6	125,9	96,8	99,7	96,3	118,6	195,3	213,3	89,1		
nFKWe Variationskoeffizient	3,3	0,1	43,5	37,5	6,5	16,6	0,0	18,3	93,6	76,9	1,3		
K-Faktor Mittelwert	0,16	0,00	0,14	0,20	0,16	0,15	0,21	0,17	0,44	0,50	0,24		
K-Faktor Variationskoeffizient	21,2		116,6	83,5	20,2	41,7	19,8	22,7	46,5	34,7	18,5		
MSIEI	0,42	0,01	0,71	0,83	0,38	0,58	0,90	0,64	0,56	0,63	0,06		
Gestaltindex Mittelwert	1,80	1,78	1,82	1,62	1,59	1,80	1,72	1,84	1,58	1,76	1,50		
Gestaltindex Variationskoeffizient	28,0	13,1	31,7	23,5	29,5	30,5	19,9	35,1	26,9	27,7	28,1		
BÜK200													
	ID35	ID37	ID39	ID40	ID44	ID47	ID50	ID56	ID57	ID58	ID63	ID64	ID68
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	85,4	100,0	0,0	100,0	57,0	100,0	89,2	100,0	100,0	54,2	0,0	84,4	88,7
Anzahl Hauptbodentypen	2	1	2	1	3	1	2	1	1	3	1	2	4
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	85,4	100,0	95,5	100,0	57,0	100,0	89,2	100,0	100,0	55,9	100,0	84,4	88,7
nFKWe Mittelwert	107,8	140,4	124,3	133,0	230,1	93,0	90,8	114,0	78,0	124,8	111,0	84,6	93,8
nFKWe Variationskoeffizient	7,9		1,8		71,1		4,0			26,1		10,7	2,3
K-Faktor Mittelwert	0,23	0,14	0,16	0,16	0,56	0,16	0,23	0,16		0,06	0,16	0,12	0,16
K-Faktor Variationskoeffizient	19,0	37,3		98,6	0,0		19,9			0,0		0,0	0,0
MSIEI	0,41		0,13		0,73		0,31			0,77		0,44	0,17
Gestaltindex Mittelwert	1,64		2,01		1,49		1,64			1,87		2,43	1,68
Gestaltindex Variationskoeffizient	38,9		43,5		26,0		14,0			36,5		25,2	41,7

Tabelle B.1: Heterogenitätsmaße für Legendeneinheiten der BSK200 und BÜK200 auf dem Blatt Vechta

BSK200													
	ID120	ID250	ID5110	ID5210	ID5330	ID5340	ID5350	ID5420	ID5430	ID5440	ID5450	ID5530	ID5610
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	13,1	16,3	14,9	51,0	22,7	57,6	32,2	0,0	10,4	0,4	3,9	0,2	0,0
Anzahl Hauptbodentypen	6	6	6	6	5	9	5	4	6	3	4	2	4
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	57,0	44,3	95,8	59,4	42,6	57,6	43,3	76,9	85,5	99,5	43,7	99,8	87,2
nFKWe Mittelwert	238,8	227,1	243,0	200,6	99,6	153,6	125,4	52,9	74,2	46,5	61,1	61,4	45,2
nFKWe Variationskoeffizient	69,7	77,8	38,5	97,9	43,9	54,6	33,8	12,0	21,7	6,3	25,7	9,3	6,8
K-Faktor Mittelwert	0,46	0,38	0,50	0,41	0,11	0,28	0,11	0,01	0,05	0,01	0,02		
K-Faktor Variationskoeffizient	16,4	9,5	10,8	19,8	127,7	25,4	78,9						
MSIEI	0,54	0,75	0,05	0,48	0,72	0,41	0,62	0,35	0,17	0,01	0,81	0	0,18
Gestaltindex Mittelwert	2,52	1,98	2,11	1,93	1,94	1,98	1,73	2,00	1,95	2,45	1,94	1,84	2,09
Gestaltindex Variationskoeffizient	37,3	32,2	38,1	32,7	50,9	34,3	31,4	37,2	41,1	43,7	37,4	37,2	35,9
BÜK200													
	ID128	ID129	ID130	ID137	ID142	ID144	ID145	ID150	ID155	ID157			
Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	1,0	100,0	0,0	6,7	100,0	100,0	100,0	94,6	71,8	95,7			
Anzahl Hauptbodentypen	3	1	1	5	1	1	1	2	5	4			
Flächenanteil dominanter Haupttyp der BK50 [%]	98,4	100,0	100,0	34,2	100,0	100,0	100,0	94,6	71,8	95,7			
nFKWe Mittelwert	77,8	-	-	160,1	-	-	-	-	249,7	217,6			
nFKWe Variationskoeffizient	22,4	-	-	19,2	-	-	-	-	15,6	40,6			
K-Faktor Mittelwert	0,23	-	-	0,35	-	-	-	-	0,50	0,50			
K-Faktor Variationskoeffizient	69,9			21,8					12,4	9,1			
MSIEI	0,03	-	-	0,51	-	-	-	-	0,39	0,06			
Gestaltindex Mittelwert	2,10	-	-	1,70	-	-	-	-	2,34	1,77			
Gestaltindex Variationskoeffizient	31,3	-	-	27,4	-	-	-	-	50,2	27,8			

Tabelle B.2: Heterogenitätsmaße für Legendeneinheiten der BSK200 und BÜK200 auf dem Blatt Ebergötzen

LBA	Kurzbeschreibung	Wo untersucht
1	Sandböden der jungen Dünengebiete	nicht untersucht
2	Wattböden	nicht untersucht
3	Marschböden aus marinen Ablagerungen	nicht untersucht
4	Marschböden aus brackischen Ablagerungen	NI
5	Marschböden aus fluviatilen Ablagerungen	NI
6	Kalkhaltige Niedermoorböden	NI
7	Saure Hochmoorböden	NI
8	Auenböden (lehmig/tonig)	NI
9	Auenböden (Schwarzerdegebiete)	ST
10	Auenböden (sandig/sandig-lehmig)	NI
11	Grundwasserböden breiterer Flusstäler	SN
12	Sandige Grundwasserböden der Urstromtäler	ST
13	Böden aus kiesig-sandigen Hochflut- und Auenablagerungen	BY
14	Braune Böden aus tonigen Material über Schotterplatten	BY
15	Böden aus lössbedeckten Terrassenablagerungen des Rheins und der Elbe	NI
16	Saure braune Böden aus sandigen Ablagerungen aus Flussschotter /Terrassenkies	NI
17	Saure Sandböden, oft podsoliert, aus Flussablagerungen	NI
18	Braune Böden aus lössvermischten Tertiärablagerungen	BY
19	Böden aus Geschiebelehm über Geschiebemergel	nicht untersucht
20	Böden mit Humusanreicherung aus Geschiebemergel und Beckenablagerungen der Weichselkaltzeit	ST
21	Böden mit tonreicherem Unterboden auf kalkhaltigem Untergrund aus Moränenablagerungen	BY
22	Böden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm	ST
23	Böden mit Staunässe/Grundwassereinfluss aus Geschiebemergel	nicht untersucht
24	Böden aus Geschiebelehm der Saalevereisung	ST
25	Sandige Böden aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm des Saale-Glazials	NI

Tabelle B.3: Übersicht der untersuchten Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 1 bis LBA 25; **Länderkürzel:** BY: Bayern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein-Westfalen; SN: Sachsen; ST: Sachsen-Anhalt

LBA	Kurzbeschreibung	Wo untersucht
26	Böden aus Geschiebelehm/-mergel mit sandiger Deckschicht (Weichselvereisung)	ST
27	Böden aus Geschiebemergel/-lehm; Zerschneidungsgebiete, Endmoränen; Weichselzeit	nicht untersucht
28	Stauasse Sandböden aus Geschiebedecksand über Saale-Geschiebelehm	NI
29	Böden auf Sanddecken über vorwiegend saalezeitlichem Geschiebelehm	ST
30	Böden auf kalkhaltigen Moränenablagerungen des Riß-Glazials	BY
31	Saure Sandböden aus nährstoffarmen Sanden /Flugsanden	NI
32	Böden aus Nährstoffreichen Sande der Hochflächen Endmoränen und Sander der Weichselvereisung	ST
33	Saure Sandböden mit podsoliertem Oberboden aus eiszeitlichen Fluss und Flugsanden	NI
34	Regosol / Lockersyrosem aus trockenen, nährstoffarmen Sanden Böden der Lößgebiete	SN
35	Pararendzina aus Löss im Wechsel mit Rendzina aus Mergel- und Kalkstein	nicht untersucht
36	Tschernosem der Mitteldeutschen Trockengebiete aus Löss	ST
37	Tschernosem / Braunerde aus Löss im Wechsel mit Rendzina aus Mergel und Kalkstein	ST
38	Tschernosem / Pseudogley-Tschernosem aus Löss über Ton- und Mergelgesteinen	NI
39	Tschernosem des Oberrheintales aus Löss und lössähnlichen Schluffablagerungen	nicht untersucht
40	Tschernosem-Parabraunerde / Parabraunerde-Tschernosem aus Löss oder Lösslehm	NI
41	Tschernosem-Parabraunerde / Parabraunerde aus sandigen Lössdecken über Schmelzwassersedimenten oder Geschiebelehm	ST
42	Parabraunerde / Fahlerde / Pseudogley aus Löss oder Lösslehm über verschiedenen Gesteinen	NI
43	Parabraunerde-Pseudogley aus Löss oder Lösslehm über verschiedenen Gesteinen	nicht untersucht
44	Parabraunerde / Fahlerde / Braunerde-Pseudogley aus lössvermischten Verwitterungsprodukten verschiedener Silikatgesteine	SN
45	Braunerde / Parabraunerde / Fahlerde aus sandvermischem Löss oder Lösslehm	ST
46	Parabraunerde / Fahlerde / Braunerde aus Sandlöss über Sand oder Lehm	NI
47	Braunerde / Pseudogley aus basaltgrushaltigem Lösslehm	nicht untersucht
48	Pseudogley / Braunerde / Parabraunerde aus Löss oder Lösslehm	NI
49	Rendzina / Braunerde-Rendzina / Pararendzina aus Hangschutt über Kalk-, Mergel- und Dolomitgesteinen im Wechsel mit Terra fusca-Braunerde aus schluffig-tonigen Umlagerungsprodukten der Kalksteinverwitterung	NI
50	Braunerde / Terra fusca aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Mergel- und Dolomitstein-Verwitterung und Rendzina aus Kalkstein	nicht untersucht

Tabelle B.4: Untersuchte Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 26 bis LBA 50

LBA	Kurzbeschreibung	Wo untersucht
51	Pelosol-Braunerde / Pelosol-Pseudogley aus Verwitterungsprodukten von Mergel- und Tongesteinen	NI
52	Braunerde aus Mergelgesteinen und kalkhaltigen Schottern	NW
53	Braunerde aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen	nicht untersucht
54	Braunerde aus basenreichen Tuffen	nicht untersucht
55	Braunerde aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen	nicht untersucht
56	Braunerde / Braunerde-Pseudogley aus lössvermischten Verwitterungsprodukten von kristallinen Schiefern, Sandstein, Quarzit und sauren bis intermediären magmatischen Gesteinen	ST
57	Podsol-Braunerde aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen	SN
58	Braunerde / Podsol-Braunerde aus Schluff-, Sand- und Tonsteinen	nicht untersucht
59	Braunerde / Podsol-Braunerde aus harten Ton- und Schluffschiefern mit Anteilen von Grauwacke, Sandstein, Quarzit und Phyllit	ST
60	Podsol-Braunerde aus harten Ton- und Schluffschiefern, Grauwacken und Phyllit	NW
61	Podsolige Braunerde aus basenarmen quarzitischen Sandsteinen und Konglomeraten	NI
62	Podsolige Braunerde aus lösshaltigen Deckschichten über Sandstein und Quarzit	nicht untersucht
63	Braunerde-Podsol / Podsol aus basenarmen Sandsteinen und Quarziten	nicht untersucht
64	Pseudogley / Podsol-Pseudogley aus lössvermischten, grusig-lehmigen Deckschichten über Sandstein und Quarzit	nicht untersucht
65	Braunerde / Podsol-Braunerde / Braunerde-Rendzina / Parabraunerde im engräumigen Wechsel aus Tonschiefer, Grauwacken und Kalkgesteinen sowie Lösslehm über verschiedenen Gesteinen	NW
66	Rendzina / Pararendzina / Ranker / Podsol-Braunerde / Pelosol-Braunerde / Parabraunerde / Pseudogley im engräumigen Wechsel aus Kalk- und Mergelgesteinen, Sand-, Schluff- und Tonsteinen sowie Lösslehm	NI
67	Plastosol- / Latosol- / Fersiallit- / Ferrallit-Relikte der tertiären Bodenbildung	nicht untersucht
68	Böden der montanen und subalpinen Höhenstufen der Alpen aus Kalk- und Dolomitgesteinen (z.B. Rendzina, Kalkbraunerde) sowie aus kalkfreien Silikatgesteinen (z.B. Ranker, Podsol-Braunerde, Pseudogley)	nicht untersucht
69	Rohböden (Syrosem) der alpinen, subnivalen und nivalen Fels- und Frostschutzgebiete	nicht untersucht
70	Versiegelte Flächen in größeren Städten	nicht untersucht
71	Technogen gestaltete Böden und große Abbaufächen	nicht untersucht
72	Gewässer	nicht untersucht

Tabelle B.5: Untersuchte Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 51 bis LBA 72

Bereich	Flächenanteil [%] untersuchte Fläche zu Gesamtfläche der BÜK1000-LE	Fläche [km ²]	Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	Anzahl Hauptbodentypen	nFKWe: Mittelwert	nFKWe: Variationskoeffizient	K-Faktor Mittelwert	K-Faktor Variationskoeffizient	MSIEI	Gestaltindex Mittelwert	Gestaltindex Variationskoeffizient
LBA6	0,9	112,68	26,4	31,0	11	76,0	30,5	0,22	37,39	0,65	1,72	38,9
LBA7	2,9	140,52	48,1	48,1	7	110,7	14,8	0,06	97,98	0,56	1,70	34,1
LBA8	1,4	167,46	59,0	59,0	9	186,4	95,2	0,39	24,79	0,24	1,71	46,8
LBA9	36,1	691,10	0,0	39,2	10	127,8	37,7	0,23	53,91	0,65	1,68	32,0
LBA10	4,3	162,01	0,0	12,6	8	116,3	36,1	0,19	68,55	0,64	1,91	47,5
LBA11	0,5	38,31	1,7	47,4	5	71,2	30,9	0,22	55,15	0,88	2,17	37,9
LBA12	24,2	1841,09	53,9	53,9	9	162,1	63,4	0,25	23,19	0,57	1,68	31,7
LBA13	30,7	325,97	1,2	32,4	11	76,3	21,5	0,21	61,18	0,75	1,73	38,5
LBA14	7,4	206,67	93,1	93,1	7	117,0	26,7	0,19	68,70	0,10	1,61	36,3
LBA15	1,9	40,26	0,0	68,6	8	173,9	59,3	0,34	20,49	0,34	1,86	39,4
LBA16	1,0	40,12	69,6	69,6	5	147,0	32,5	0,30	42,08	0,39	1,55	24,4
LBA17	0,8	111,09	56,9	56,9	7	107,3	22,7	0,16	40,64	0,51	1,64	30,2
LBA18	1,2	93,69	12,2	45,8	9	136,2	40,4	0,31	31,16	0,62	1,82	46,9
LBA20	2,7	12,51	0,0	11,8	5	109,1	33,3	0,16	14,55	0,86	1,69	30,3
LBA21	0,0	0,00	66,5	66,5	8	78,9	16,7	0,19	61,77	0,36	1,79	44,9
LBA22	6,2	186,55	3,5	25,1	9	129,5	51,6	0,20	47,60	0,83	1,68	31,9
LBA24	51,6	138,63	7,7	48,6	10	112,6	32,9	0,23	23,59	0,55	1,67	28,1
LBA26	3,5	287,90	17,4	29,6	10	118,9	38,3	0,17	24,07	0,74	1,71	30,9
LBA28	2,8	194,66	17,3	40,8	12	127,8	51,1	0,24	52,47	0,49	1,66	31,9
LBA29	11,7	200,38	4,9	30,8	6	163,0	75,9	0,21	33,46	0,80	1,59	26,9
LBA30	2,9	77,23	40,8	41,6	9	124,3	33,0	0,30	39,00	0,72	1,76	39,7

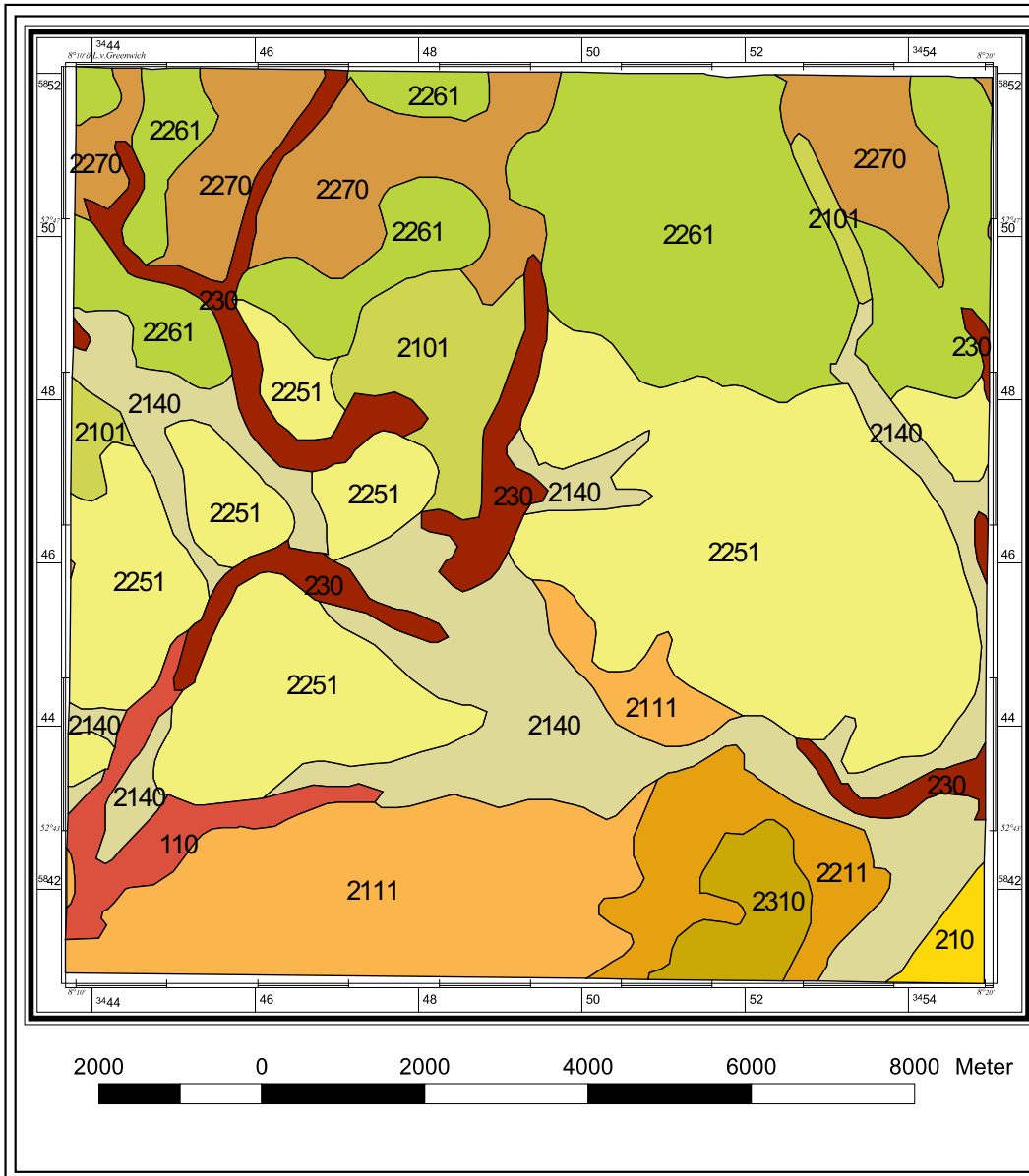
Tabelle B.6: Heterogenitätsmaße für die Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 6 bis 30

Bereich	Flächenanteil [%] untersuchte Fläche zu Gesamtfläche der BÜK1000-LE	Fläche [km ²]	Flächenanteil gleicher Haupttyp [%]	Flächenanteil dominanter Haupttyp [%]	Anzahl Hauptbodentypen	nFKWe: Mittelwert	nFKWe: Variationskoeffizient	K-Faktor Mittelwert	K-Faktor Variationskoeffizient	MSIEI	Gestaltindex Mittelwert	Gestaltindex Variationskoeffizient
LBA31	1,7	256,69	28,7	51,1	10	115,7	36,6	0,22	39,39	0,45	1,77	36,0
LBA32	18,9	900,39	18,7	49,9	9	114,5	30,0	0,18	35,34	0,58	1,70	33,7
LBA33	2,3	151,52	52,1	28,2	9	104,3	18,8	0,13	53,26	0,50	1,73	32,1
LBA36	62,7	2225,85	75,0	75,0	10	162,9	37,5	0,22	64,52	0,29	1,74	38,3
LBA37	61,8	599,77	40,6	40,6	10	147,0	41,4	0,29	49,57	0,52	1,76	35,7
LBA38	6,2	67,20	27,5	46,2	10	240,9	70,6	0,49	30,67	0,51	1,79	34,2
LBA40	2,2	134,34	47,1	47,1	13	214,7	122,0	0,43	34,88	0,51	1,78	34,2
LBA41	39,0	310,66	69,5	69,5	9	130,0	32,6	0,26	43,23	0,34	1,65	33,6
LBA42	2,6	686,81	44,9	44,9	13	171,1	111,0	0,36	48,26	0,48	1,93	42,0
LBA44	2,8	45,23	2,6	44,8	5	150,9	49,4	0,37	34,03	0,57		
LBA45	21,4	256,50	7,9	33,8	8	138,7	77,7	0,28	44,76	0,80	1,70	31,9
LBA46	0,8	35,47	82,9	82,9	6	196,3	29,6	0,53	22,39	0,20	1,56	22,8
LBA48	1,4	58,78	57,8	57,8	9	172,8	83,2	0,31	54,74	0,44	1,72	33,9
LBA49	2,0	279,01	19,4	25,5	11	98,3	53,8	0,18	91,49	0,75	1,83	36,5
LBA51	0,6	72,12	2,2	45,7	12	154,4	75,8	0,29	61,69	0,52	1,81	29,7
LBA52	5,6	299,06	43,9	55,8	8	90,3	42,5	0,24	68,34	0,49	2,13	47,4
LBA56	4,5	108,94	39,7	39,7	7	141,5	52,5	0,30	28,33	0,83	1,81	50,8
LBA57	0,0	11,37	46,2	46,2	3	107,9	55,7	0,27	56,61	0,68		
LBA59	1,0	168,28	67,4	67,4	7	147,4	43,3	0,31	29,81	0,41	1,82	48,4
LBA60	4,4	283,36	88,2	88,2	8	135,8	35,7	0,28	20,51	0,11	1,84	54,6
LBA61	0,6	113,96	42,0	42,0	11	141,2	69,4	0,24	52,71	0,56	1,75	31,1
LBA65	8,4	146,13	0,3	62,4	5	134,6	59,5	0,26	42,53	0,36	1,75	39,9
LBA66	4,8	161,27	0,7	37,3	13	150,9	106,3	0,26	73,68	0,60	1,82	34,9

Tabelle B.7: Heterogenitätsmaße für die Leitbodenassoziationen der BÜK1000; LBA 31 bis 66

C Karten

Abbildung C.1: Bodenübersichtskarte BSK200, Blatt Vechta



Legende

- 110: Gley aus fluvialem Substrat
- 210: Hochmoor (ombrogen)
- 230: Niedermoor (topogen)
- 2101: Pseudogley-Podsol aus fluvialem Substrat grundwassernaher, ebener Geest
- 2111: Gley-Podsol aus fluvialem Substrat grundwassernaher, ebener Geest
- 2140: Gley aus fluvialem Substrat grundwassernaher, ebener Geest
- 2211: Podsol-Braunerde aus Geschiebedecksand grundwasserferner ebener bis welliger Geest
- 2251: Pseudogley-Braunerde aus Geschiebedecksand grundwasserferner ebener bis welliger Geest
- 2261: Parabraunerde aus Sandlöss grundwasserferner ebener bis welliger Geest
- 2261: Pseudogley aus Sandlöss grundwasserferner ebener bis welliger Geest
- 2310: Podsol-Braunerde aus Geschiebedecksand grundwasserferner hügeliger bis kuppiger Geest

Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BSK200) Blatt Vechta

Abbildung C.2: Bodenübersichtskarte BÜK200, Blatt Vechta

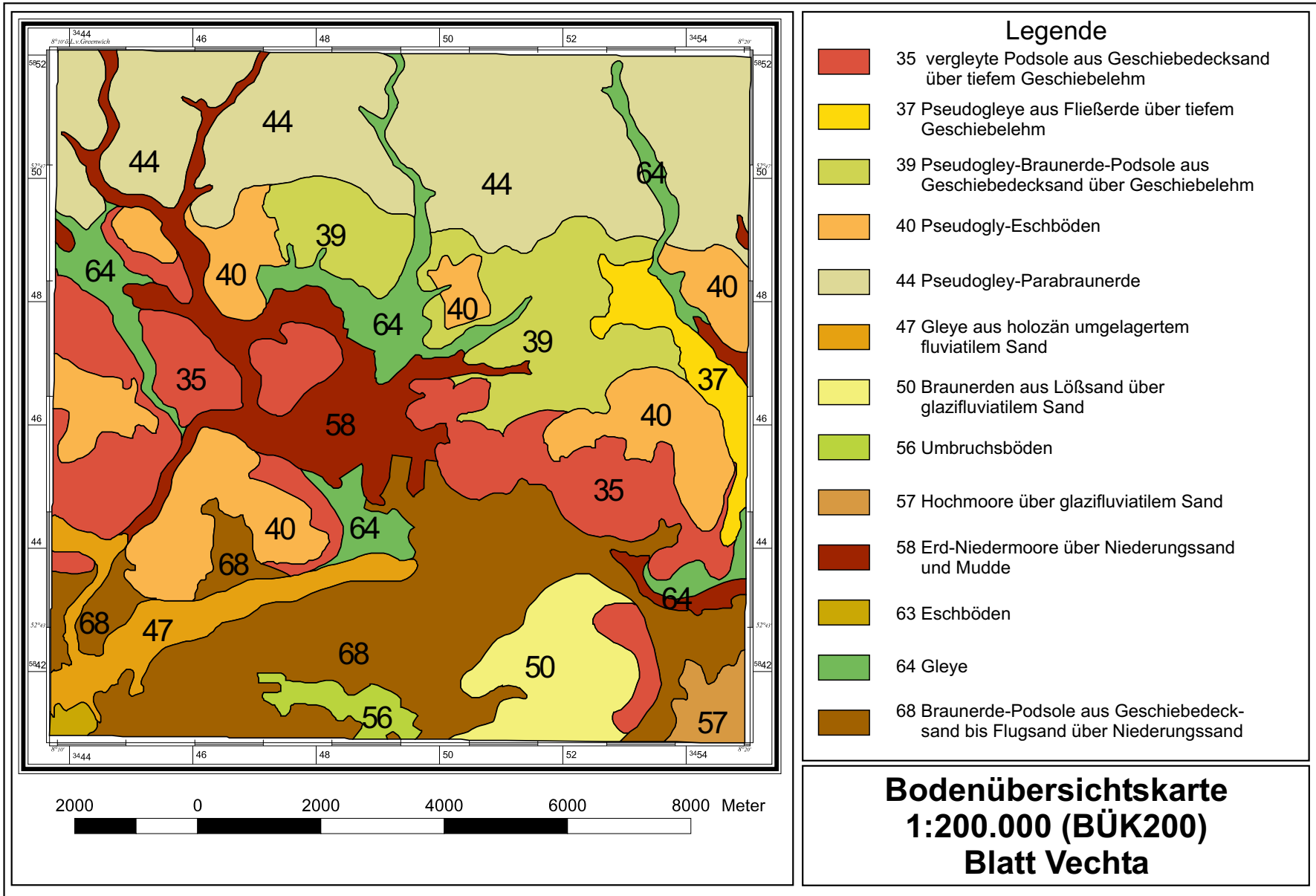
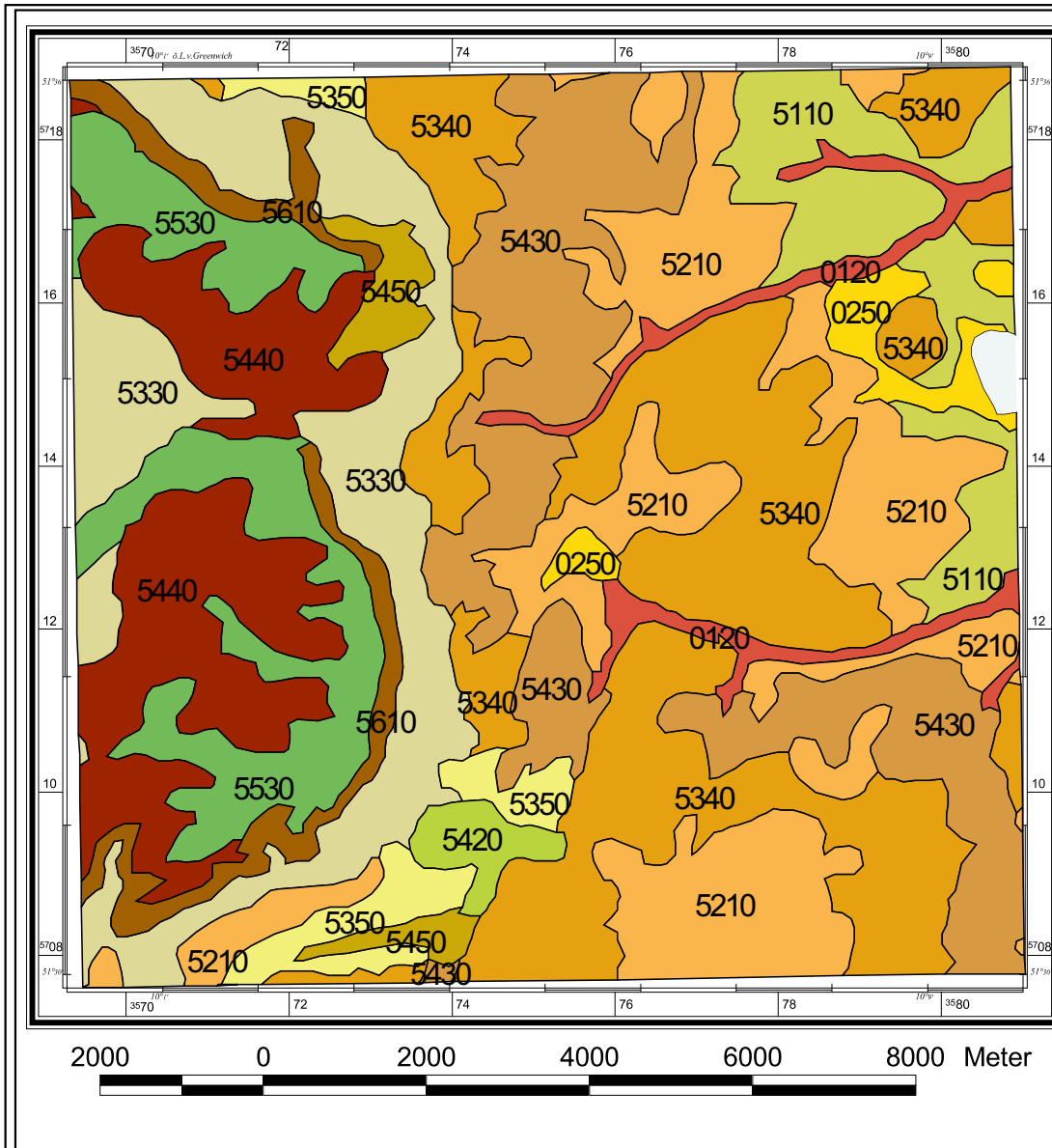


Abbildung C.3: Bodenübersichtskarte BSK200, Blatt Ebergötzen



Legende

- 120: Auenboden auf holozänem Auenlehm
- 250: Niedermoor (topogen)
- 5110: Pseudogley-Parabraunerde aus Löss ebenen bis flachwelligen Lößbecken
- 5210: Pseudogley-Parabraunerde aus Löss in flachhängigen Lößbecken und Hangfußlagen
- 5330: Rendzina aus verwittertem Festgestein flach- bis mittelhängiger Höhenzüge
- 5340: Braunerde aus Festgestein flach- bis mittelhängiger Höhenzüge
- 5350: Braunerde aus Festgestein flach- bis mittelhängiger Höhenzüge
- 5420: Rendzina aus verwittertem Festgestein mittel- bis steilhängiger Höhenzüge
- 5430: Braunerde aus verwittertem Festgestein mittel- bis steilhängiger Höhenzüge
- 5440: Rendzina aus verwittertem Festgestein mittel- bis steilhängiger Höhenzüge
- 5440: Braunerde-Pelosol aus verwittertem Festgestein mittel- bis steilhängiger Höhenzüge
- 5530: Rendzina auf Hochflächen einschließlich ihrer Hänge
- 5610: Rendzina auf Gebirgskämmen und Schichtstufen mit steilen Hängen

**Bodenübersichtskarte
1:200.000 (BSK200)
Blatt Ebergötzen**

Abbildung C.4: Bodenübersichtskarte BÜK200, Blatt Ebergötzen

