

**Umweltforschungsplan  
des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit**

**- Bodenschutz -**

**Forschungsvorhaben 107 06 001/15**

**Realisationskonzept für die  
bodenschutzrelevante Datenhaltung  
auf Bundesebene**

**-Inhaltliche Vorstellungen und fachliche  
Vorschläge zur Datenerfassung und -auswertung**

**Endbericht**

von

**Dr. J. Utermann  
Uwe Johannsen  
Markus Höckesfeld**

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes  
März 1997

Diese TEXTE-Veröffentlichung ist auch als CD-ROM erhältlich.  
Sowohl die Print-Ausgabe als auch die CD-ROM können bezogen werden bei  
**Vorauszahlung von DM 20,-**  
Durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 – 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **Texte-Nummer** und Angabe ob Print-Ausgabe oder CD-ROM  
sowie des **Namens** und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten  
Und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 3.3  
Dr. Frank Glante

Berlin, Juli 1998

Erstellung der  
elektronischen  
Version: Clemens Hölter GmbH  
Am Kuckesberg 9  
42781 Haan  
Tel.: 02129/51011  
Telefax: 02129/51013

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Realisationskonzept für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene -Inhaltliche Vorstellungen und fachliche Vorschläge zur Datenerfassung und Auswertung		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Utermann, J., Johannsen, U., Höckesfeld, M.	8. Abschlußdatum März 1997	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  Stilleweg 2, 30655 Hannover	10. UFOPLAN - Nr. <b>107 06 001/15</b>	
	11. Seitenzahl 188	
	12. Literaturangaben 50	
	13. Tabellen und Diagramme 35	
7. Fördernde Institution (Name Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14 191 Berlin	14. Abbildungen 33 Abb. / 10 Karten	
	15. Zusätzliche Angaben	
16. Kurzfassung Der Austausch bodenschutzrelevanter Daten zwischen Bundes- und Länderbehörden wird im § 19 des BBodSchG-E geregelt. Vor diesem Hintergrund sind eine Reihe fachlicher und administrativer Fragen zu klären. In einer Umfrage unter Bundesbehörden wurden die prioritären bodenschutzrelevanten Fragestellungen auf Bundesebene ermittelt. Am Beispiel des Landkreises Oberhavel (Brandenburg) wurden die Auswaschungsgefährdung von Schwermetallen und die Versauerungsgefährdung von Waldböden hierarchisch nach den Erfordernissen für Übersichtsdarstellungen auf Bundesebene abgearbeitet: i) Darstellung der geogenen und pedogenen Grundausstattung, ii) Ableitung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden, iii) Darstellung aktueller Bodenbelastungen, iv) Ableitung aktueller Gefährdungsgrade. Als methodischer Ansatz zur Konkretisierung der Qualitätsanforderungen für die Darstellung pedologischer Parameter wurden Sensitivitätsanalysen von Auswertungsmethoden in Bodeninformationssystemen durchgeführt. Zur Ableitung der bevorzugten Maßstabebene für Übersichtsdarstellungen von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden wurden vergleichende Untersuchungen anhand der Auswertungsergebnisse von Bodenkarten i.M. 1:200.000 und 1:10.000 durchgeführt. Die Hintergrundgehalte von Schwermetallen in Oberböden wurden nutzungs- und substratdifferenziert ausgewiesen. Die Untersuchungen zeigen, daß für Übersichtsfragestellungen auf Bundesebene die Auswertung kleinmaßstäbiger Bodenübersichtskarten i.M. ≤ 1:200.000 mit relativ geringen Qualitätsverlusten verbunden ist, die i.d.R. in Kauf genommen werden können. Anhand der Projekterfahrungen wird ein administrativer Vorschlag für die Datenübermittlung nach §19 BBodschG-E und die Datenhaltung auf Bundesebene entwickelt. Das F&E-Vorhaben wurde in Zusammenarbeit mit dem Landesumweltamt Brandenburg und dem Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, Müncheberg (ZALF e.V.) durchgeführt.		
17. Schlagwörter  Bodeninformationssystem, Bodenkarten, Bundes-Bodenschutzgesetz, Brandenburg, Datenbedarf, Datenhaltung, Datenübermittlung, Hintergrundwerte, Oberhavel, pedologische Parameter, räumliche Variabilität, Schwermetalle, Sensitivitätsanalyse, Versauerung		
18. Preis		

1. Report Nr. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Concept for the management of soil protection data on the governmental level in Germany - proposal for data compilation and interpretation		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Utermann, J., Johannsen, U. Höckesfeld, M.		8. Report Date March 1997
6. Performing Organisation (Name, Adress)  Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  Stilleweg 2, 30655 Hannover		9. Publication Date
		10. UFOPLAN - Ref. Nr. <b>107 06 001/15</b>
		11. No. of Pages 188
		12. No. of References 50
7. Sponsoring Agency (Name, Adress) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14 191 Berlin		13. No. of Tables and Diagrams 35
		14. No. of Figures 33 fig. / 10 maps
		15. Supplementary Notes
16. Abstract  The transfer of data relevant to soil protection between institutions of the federal states (Bundesländer) and the governmental level will be regulated in § 19 of the German Soil Protection Act (Bundes-Bodenschutzgesetz), which is presently being deliberated by the Bundestag and the Bundesrat. Against this background several scientific and administrative aspects had to be considered. Based on a Germany-wide questionnaire among federal institutes the relevant soil protection issues were evaluated and ranked according to their priority of interest. The need of data relevant to soil protection at the governmental level was discussed on the example of two issues, namely heavy metal contents in soils and soil acidification. The studies were carried out at different hierarchical levels of data-interpretation, such as i) compilation of the pedological database, ii) assessment of soil functions and potential risks, iii) compilation of actual contents of elements in soils and iv) assessment of actual risks. The specific requirements on data-quality and the effects of variability of input parameters on the accuracy of the results were evaluated on the base of extended sensitivity analyses. Aspects of scale-dependant spatial variability were taken into consideration by comparing the results of different methods for interpreting soil information at two scales, 1:10.000 and 1:200.000, respectively. The study illustrates that soil related interpretations at the governmental level can be carried out on the base of small scale soil maps ( $\leq 1:200.000$ ) without significant loss of information. Based on the project experience a concept for realising data transfer to and data management at the governmental level was elaborated. The project was realised in cooperation with the Landesumweltamt Brandenburg as a corresponding institute at the federal state level and the Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V. as a scientific institution in Brandenburg.		
17. Keywords  acidification, Brandenburg, data management, German Soil Protection Act, heavy metal content, need of data, Oberhavel, pedological parameter, sensitivity analysis, soil function, soil information system, soil map, spatial variability		
18. Price		

## Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG .....	13
2 UMFRAGE ZU BODENSCHUTZRELEVANTEN AUFGABEN, ZUM DATENBEDARF UND ZU DATENBESTÄNDEN AUF BUNDESEBENE .....	17
2.1 FRAGESTELLUNGSKATEGORIEN UND NUTZERGRUPPEN .....	20
2.2 DATENBEDARF AUF BUNDESEBENE .....	22
2.2.1 <i>Bodenkundliche Basisdaten</i> .....	22
2.2.2 <i>Bodenfunktionen und potentielle Gefährungsgrade</i> .....	24
2.2.2.1 Potentielle Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind .....	24
2.2.2.2 Potentielle Verdichtungsgefährdung.....	25
2.2.2.3 Potentielle Auswaschungsgefährdung von anorganischen und organischen Stoffen .	26
2.2.2.4 Ertragspotentiale (forstlich, landwirtschaftlich) .....	26
2.2.2.5 Grundwasserneubildungsrate.....	27
2.2.2.6 Fragen der Grundwasserabsenkung .....	28
2.2.2.7 Nutzungspotentiale für die Raumordnung .....	28
2.2.2.8 Potentielle Vorranggebiete für Rohstoffabbau .....	29
2.2.2.9 Potentielle Vorranggebiete für nachwachsende Rohstoffe.....	30
2.2.2.10 Ergänzungen.....	30
2.2.2.11 Datenbedarf für Methoden zur Darstellung der Bodenfunktionen und potentiellen Gefährungsgrade der Böden .....	31
2.2.3 <i>Ermittlung und Darstellung aktueller Stoffgehalte und Belastungen         von Böden</i> .....	32
2.2.3.1 Gehalt an Nährstoffen, Schwermetallen, Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und anderen (an-) organischen Schadstoffen.....	32
2.2.3.2 Nitratgehalte im flurnahen Grundwasser .....	32
2.2.3.3 Aktuelle Bodenversauerung.....	33
2.2.3.4 Ergänzungen zu aktuellen Stoffgehalten und Belastungen.....	33
2.2.3.5 Liste der zu regelnden bodenschutzrelevanten Schadstoffe .....	34
2.2.4 <i>Zusammenfassung des Datenbedarfes</i> .....	35
2.3 VORHANDENE DATENBESTÄNDE.....	37
2.3.1 <i>Geowissenschaftliche Grundlagendaten</i> .....	37
2.3.2 <i>Bodenzustandsdaten</i> .....	38
3 SENSITIVITÄTSANALYSEN VON AUSWERTUNGSMETHODEN ALS METHODISCHER ANSATZ ZUR KONKRETISIERUNG DER ANFORDERUNGEN AN DIE DATENQUALITÄT .....	40
3.1 EINFACHE SENSITIVITÄTSANALYSE (ESA) .....	41

3.2 MULTIPARAMETER SENSITIVITÄTSANALYSE (MPSA) .....	47
3.2.1 Kalkulation von Sensitivitätseffekten.....	49
3.2.2 Interpretation der Sensitivitätseffekten in der MPSA.....	51
3.2.3 Nutzung des two level factorial design zur Bewertung der potentiellen Eignung von Bodenkarten für die Anwendung von Auswertungsmethoden .....	53
3.3 SENSITIVITÄTSANALYSE DER METHODE "GEFÄHRDUNG DES GRUNDWASSERS DURCH AUSTRAG VON SCHWERMETALLEN AUS DEM GRUNDWASSERFREIEN BODENRAUM (FSMw)" .....	53
3.3.1 Aufbau und Ablauf der Methode FSMw.....	53
3.3.2 Einfache Sensitivitätsanalyse .....	57
3.3.2.1 Parametrisierung und Rahmenbedingungen .....	57
3.3.2.2 Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse.....	60
3.3.2.3 Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter .....	68
3.3.3 Multiparameter-Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw .....	70
3.3.4 Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw.....	72
3.4 SENSITIVITÄTSANALYSE DER METHODE "POTENTIELLE VERSAUERUNGS-GEFÄHRDUNG VON WALDBÖDEN"(PVG).....	73
3.4.1 Aufbau und Ablauf der Methode PVG.....	73
3.4.2 Einfache Sensitivitätsanalyse .....	77
3.4.2.1 Parametrisierung und Rahmenbedingungen .....	77
3.4.2.2 Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse.....	79
3.4.2.2.1 Ableitung des Basenspeichers.....	79
3.4.2.2.2 Ableitung des Protonen-Belastungsrisikos .....	84
3.4.2.3 Zusammenfassung der einfachen Sensitivitätsanalyse der Methode PVG .....	86
3.4.3 Multiparameter-Sensitivitätsanalyse (MPSA) der Methode PVG.....	87
3.4.4 Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse der Methode PVG.....	89
3.5 SCHLUBFOLGERUNGEN AUS DER SENSITIVITÄTSANALYSE FÜR DIE BEARBEITUNG BODENSCHUTZRELEVANTER FRAGESTELLUNGEN AUF BUNDESEBENE .....	90
3.5.1 Durchführung von Sensitivitätsanalysen.....	90
3.5.2 Methodenkritik.....	92
3.5.3 Parameterbedarf .....	92
4 BEISPIELHAFTE BEARBEITUNG BODENSCHUTZRELEVANTER THEMEN AUF ZWEI MAßSTABSEBENEN .....	95
4.1 DARSTELLUNG DER GEOGENEN / PEDOGENEN GRUNDAUSSTATTUNG .....	95
4.2 ERMITTLUNG UND DARSTELLUNG VON BODENFUNKTIONEN UND POTENTIELLEN GEFÄHRDUNGSGRADEN .....	102
4.2.1 DV-Konzept zur Umsetzung der Maßstabsvergleiche.....	102

4.2.1.1 Programmierung der Auswertungsmethoden und deren Anwendung zur Erstellung thematischer Karten .....	102
4.2.1.1.1 Erstellung der Methodenmodule .....	104
4.2.1.1.2 Einbindung der Ergebnistabellen in ArcInfo .....	105
4.2.1.2 GIS-technische Umsetzung der Maßstabsvergleiche nach dem "Region Prinzip" ...	105
4.2.1.3 Generalisierung der großmaßstäbigen Auswertungsergebnisse .....	107
4.2.2 <i>Der Einfluß der räumlichen Variabilität von Bodeneigenschaften auf Übersichtsdarstellungen von Bodenfunktionen</i> .....	108
4.2.2.1 Fragestellung im F&E Vorhaben .....	110
4.2.3 <i>Vergleich der potentiellen Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Cadmium</i> .....	112
4.2.3.1 Vergleich der großräumigen Muster .....	121
4.2.4 <i>Vergleich der Bodenfunktionen auf der räumlich/inhaltlichen Ebene der BÜK 200 Legendeneinheiten</i> .....	132
4.2.4.1 Vergleich der mittleren und vorherrschenden Flächenaussage der BFK 200 <sub>BÜK</sub> -Legendeneinheiten .....	133
4.2.4.1.1 Vergleich der Variabilität innerhalb der Raumeinheiten .....	142
4.2.5 <i>Ergänzender Untersuchungsansatz: two level factorial design</i> .....	147
4.2.6 <i>Maßstabsvergleich der potentiellen Versauerungsgefährdung</i> .....	151
4.2.6.1 Vergleich der großräumigen Muster .....	155
4.2.6.2 Vergleich der potentiellen Versauerungsgefährdung auf der Ebene der BÜK 200 Legendeneinheiten .....	157
4.2.7 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse der Maßstabsvergleiche</i> .....	161
4.3 ERMITTLUNG UND DARSTELLUNG DER AKTUELLEN BODENBELASTUNG .....	162
4.4 DARSTELLUNG UND BEWERTUNG AKTUELLER GEFÄHRDUNGSGRAD E .....	169
<b>5 REALISATIONSKONZEPT FÜR DIE BODENSCHUTZRELEVANTE DATENHALTUNG AUF BUNDESEBENE UND DEN DATENAUS TAUSCH ZWISCHEN BUND UND LÄNDERN</b> .....	170
5.1 FACHLICHE ASPEKTE .....	170
5.1.1 <i>Geogene/pedogene Grundausrüstung</i> .....	171
5.1.1.1 Verfügbarkeit bzw. Aufwand zur Bereitstellung einer flächendeckenden Datenbasis auf den bearbeiteten Maßstabsebenen .....	171
5.1.2 <i>Bodenfunktionen/potentielle Gefährdungsgrade</i> .....	172
5.1.2.1 Parameterbedarf, sowie Anforderungen an die Datenqualität aufgrund der Sensitivität der Auswertungsmethoden .....	172
5.1.2.2 Maßstabseignung und Validität der eingesetzten Auswertungsmethoden .....	174
5.1.2.3 Bevorzugter Auswertungsmaßstab für Potentialdarstellungen auf Bundesebene ....	174
5.1.3 <i>Aktuelle Bodenbelastungen</i> .....	175

5.1.3.1 Dokumentationsumfang bei der Übergabe von Bodenzustandsdaten.....	175
5.1.3.2 Vorgehen bei der Übertragung von punktuellen Bodenbelastungsdaten auf die Fläche.....	176
5.1.4 Aktuelle Gefährdungsgrade.....	177
5.2 ADMINISTRATIVER VORSCHLAG FÜR DIE BODENSCHUTZRELEVANTE DATENHALTUNG AUF BUNDESEBENE UND DEN DATENAUSTAUSCH ZWISCHEN BUND UND LÄNDERN.....	177
5.2.1 Zuständige Behörden auf Bundesebene / Datenstrukturen .....	178
5.2.2 Zusammenarbeit und Koordination auf Bundesebene .....	179
5.2.3 Bund/Länder Koordination .....	179
5.2.4 Datenaustausch zwischen Bundes und Landesbehörden .....	180
5.2.5 Zusammenfassung des administrativen Vorschlags zur Datenübermittlung nach § 19 BBodschGE.....	182
6 LITERATUR.....	184
7 ANHANG.....	192

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Bedarf an Bodenkarten verschiedener Maßstabsebenen .....	23
Abb. 2.2: Bodenschutzrelevante Fragestellungen in Bundesinstitutionen .....	35
Abb. 2.3: Datenbedarf von Bundesinstitutionen zu aktuellen Bodenbelastungen .....	36
Abb. 3.1: Flußdiagramm der Methode "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)" .....	56
Abb. 3.2: Mittlere Ton, Schluff und Sandgehalte der für die Sensitivitätsanalyse ausgewählten Bodenarten.....	59
Abb. 3.3: Relative Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (FSMt) für Cd, Zn, Cu, Pb in Abhängigkeit vom pH-Wert bei der Bodenart mS und einem Humusgehalt <2% (h1, h2) .....	61
Abb. 3.4: Änderung der Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) in Abhängigkeit vom mittleren Tongehalt der Bodenarten bei pH 3,5 .....	63
Abb. 3.5: Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes für Cd, Zn, Cu, Pb (FSMt) in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Oberbodens bei pH 2,5 und der Bodenart mS.....	65
Abb. 3.6: Änderung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) unter Berücksichtigung der klimatischen Wasserbilanz (FSMtk).....	66
Abb. 3.7: Der Einfluß der Grundwasserstufe (GWS) auf die potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw) bei unterschiedlicher Bindungsstärke im grundwasserfreien Bodenraum (FSMtk).....	67
Abb. 3.8: Relative Änderung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMtk) für Cadmium (%) bei Variation verschiedener Eingangsparameter in ihrem sensitiven Variationsbereich (%) .....	70
Abb. 3.9: Haupteffekte der Inputparametersensitivität der Methode FSMw für Cadmium.....	71
Abb. 3.10: Flußdiagramm der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden .....	76
Abb. 3.11: Einfluß von Tongehalt, Schluffgehalt, Humusgehalt und pH - Wert in % auf die Sorptionskapazität (SORPWUSTU [mmol/z/100g]).....	79

Abb. 3.12: Veränderung der pot. Versauerungsgefährdung (PVG) bei Variation des Ton- und Schluffgehaltes.....	80
Abb. 3.13: Veränderung der pot. Versauerungsgefährdung (PVG) bei Variation des Humusgehaltes.....	81
Abb. 3.14: Die Sensitivität des pH-Wertes für die Basensättigung im effektiven Wurzelraum bei unterschiedlicher Sorptionskapazität .....	83
Abb. 3.15: Sensitivität der effektiven Durchwurzelungstiefe (WE) für die Ableitung des Basenspeichers bei unterschiedlicher Sorptionskapazität (SORP).....	84
Abb. 3.16: Veränderung der potentiellen Versauerungsgefährdung bei Variation der Silikatverwitterungsrate .....	85
Abb. 3.17: Veränderung der potentiellen Versauerungsgefährdung bei Variation des Protonenbelastungsrisikos .....	86
Abb. 3.18: Haupteffekte der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden".....	89
Abb. 3.19: Die Schwermetall-Auswaschungsgefährdung (FSMw <sup>^</sup> ) und die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG) in Abhängigkeit von den geschätzten pH-Pufferbereichen im Unterboden (C-Horizont) unter Forst nach Malessa (1994).....	93
Abb. 4.20: DV-technische Gesamtstruktur zur Generierung von thematischen Karten	103
Abb. 4.1: Anbindung der Methodenergebnisse nach dem "Region Prinzip" an die Ergebniskarten.....	107
Abb. 4.2: Vergleichskonzept zur Ableitung der bevorzugten Maßstabsebene für Ausweisung von Bodenfunktionen zur Übersichtsdarstellung auf Bundesebene .....	111
Abb. 4.3: Flächenanteilsverteilung der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Landkreis Oberhavel .....	121
Abb. 4.4: Flächenanteilsverteilung der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf Forststandorten im Landkreis Oberhavel .....	123
Abb. 4.5: Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf landwirtschaftlich genutzten Böden in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel.	129
Abb. 4.6: Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf forstlich genutzten Böden in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel .....	131

Abb. 4.7: Flächenanteilsverteilung der Basensättigung (BS) von Waldböden im gesamten Kreisgebiet des Landkreises Oberhavel .....	155
Abb. 4.8: Flächenanteilsverteilungen der Basensättigung im eff. Wurzelraum in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel.....	156
Abb. 5.1: Modelle der Datenübermittlung zwischen Landes- und Bundesbehörden....	180
Abb. 5.2: Konzept zur Organisation des Datenaustausches für bodenschutzrelevante Aufgaben auf Bundesebene und zwischen Bund und Ländern .....	182

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Verteiler der Fragebogenaktion zum bodenschutzrelevanten Datenbedarf auf Bundesebene.....	19
Tab. 2.2: Anteilige Häufigkeiten der von Bundesinstitutionen gewünschten Parameter zur Flächeninhaltsbeschreibung von Bodenkarten .....	23
Tab. 2.3: Bei Bundesbehörden vorhandene Bodenzustandsdaten.....	39
Tab. 3.1.: Matrix für eine 2 <sup>3</sup> faktorielle Sensitivitätsanalyse .....	49
Tab. 3.2: Variationseckwerte und Referenzwerte für die einfache Sensitivitäts- analyse der Methode FSMw.....	57
Tab. 3.3: Kennwerte der Sensitivität des pH-Wertes für die Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (Methode FSMw).....	62
Tab. 3.4 Bodenartbedingte Zu- und Abschläge zur Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) aufgrund der Bindungsstärke des Tones.....	62
Tab. 3.5: Humusbedingte Zu- und Abschläge zur Bindungsstärke für Schwer- metalle im grundwasserfreien Bodenraum bei Variation des Humus- gehaltes von <2% (h1/h2) bis >15% (h6) .....	64
Tab. 3.6 Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter (SKO(xp, Δxp)) der Methode "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)" .....	69
Tab. 3.7: Auswahl der Referenzwerte .....	77
Tab. 3.8: Sensitivitätskoeffizienten der Ton- Schluff- und Humusgehalte bezogen auf die Sorptionskapazität (SORP).....	79
Tab. 3.9: Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG) .....	87
Tab. 3.10: Eingangsdaten der Multiparameter- Sensitivitätsanalyse der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung unter Waldböden .....	88
Tab. 3.11: Skalenniveau der Eingangsdaten von Auswertemethoden in Bodeninformationssystemen (zusammengestellt nach AD HOC AG BODEN, 1994).....	91
Tab. 4.1: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen im gesamten Kreisgebiet des LK-Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen.....	124
Tab. 4.2: Naturräumliche Einheiten des LK Oberhavel für den Vergleich der großräumigen Muster der Austragsgefährdung von Cadmium.....	125

Tab. 4.3: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen .....	130
Tab. 4.4: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen auf Forstandorten in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen.....	132
Tab. 4.5: Flächenanteile der Abweichungen der <u>Gesamtmittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten</u> (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200 <sub>BÜK</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel .....	134
Tab. 4.6: Flächenanteile der Abweichungen der <u>Polygonmittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten</u> (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200 <sub>BÜK</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel .....	139
Tab. 4.7: Flächenanteile der Abweichungen der <u>Mittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten in den Naturräumlichen Einheiten</u> (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200 <sub>gen</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel.....	140
Tab. 4.8: <u>Mittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten in den naturräumlichen Einheiten</u> (FSMw/Cd) ausgewählter BÜK 200-Legendeneinheiten in der BFK 200 <sub>BÜK</sub> und der BFK 10 in den großen Naturräumen des LK Oberhavel .....	141
Tab. 4.9: Flächenanteile der Abweichungen der <u>Gesamtmittelwerte der BFK 200<sub>gen</sub> Polygone gleicher Gefährdungsstufe</u> (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200 <sub>gen</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel .....	141
Tab. 4.10: Vergleich der Flächenanteile der vorherrschenden FSMw/Cd-Gefährdungsstufen (Modalwerte) in der BFK 200 <sub>BÜK</sub> und der BFK 10 .....	142
Tab. 4.11: Flächenanteile der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen nach BK 10 innerhalb der Wertespannen der kleinmaßstäbigen Bodenfunktionskarten....	143
Tab. 4.12: Durchschnittliche flächengewichtete Wertespanne zwischen Perzentil 10 und 90 in den kleinmaßstäbigen Karten der potentiellen Austragsgefährdung von Cd und den zugrundeliegenden großmaßstäbigen Auswertungskarten .....	147
Tab. 4.13: Untersuchungslevel (+/-) für ausgewählte Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200.00 (BÜK 200) im Landkreis Oberhavel .....	148
Tab. 4.14: Spannweiten der Austragsgefährdung von Cd und Pb (FSMw) in ausgewählten Legendeneinheiten der BFK 200 <sub>BÜK</sub> aufgrund der Berechnung mit dem two level factorial design und der BFK 10.....	149

Tab. 4.15: Haupteffekte der Austragsgefährdung von Cd und Pb (FSMw) in ausgewählten Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200.00 (BÜK 200) im Landkreis Oberhavel.....	150
Tab. 4.16: Methodeneingangsparameter zur Bestimmung der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden .....	151
Tab. 4.17: Flächengewichtete Gesamtmittelwerte der Basensättigung im eff. Wurzelraum und durchschnittliche Abweichungen der BS-Klassen im Landkreis Oberhavel.....	156
Tab. 4.18: Vergleich der Basensättigungsstufen (BS) in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel.....	157
Tab. 4.19 Standortgruppen der MMK und BÜK 200-Legendeneinheiten zur Substratdifferenzierung der Schwermetall-Hintergrundgehalte von Ackerböden im Landkreis Oberhavel (aus HIEROLD et al. 1996) .....	164
Tab. 4.20: Median und Perzentil 90-Werte (Hintergrundgehalte) für Cadmium und Blei der Oberböden im Landkreis Oberhavel (aus HIEROLD et al. 1996) .....	165
Tab. 4.21: Bewertungsstufen für die Schwermetall-Hintergrundwerte in Anlehnung an den UVP-Orientierungswert I (mg/kg) (aus HIEROLD et al. 1996).....	165

## Kartenverzeichnis

Karte 1: Bodenübersichtskarte 1: 200.000 (BÜK200) im Landkreis Oberhavel .....	97
Karte 2: Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)	
<b>2a:</b> Vergleich BFK10 - BFK200(BÜK) .....	113
<b>2b:</b> Vergleich BFK10 - BFK200/gen .....	115
Karte 3: Grundwasserstufen (GWS) in der BÜK200 und der BK10 .....	117
Karte 4: PH(CaCl <sub>2</sub> ) Werte in der BÜK200 und BK10 .....	119
Karte 5: Haupteinheiten der naturräumlichen Gliederung im Landkreis Oberhavel.....	127
Karte 6: Vergleich der pot. Austragsgefährdung von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (Erläuterung siehe Text)	
<b>6a:</b> Abweichung der Gesamtmittelwerte in den BÜK200 Legendeneinheiten berechnet aus der BFK200(BÜK) und der BFK10 .....	135
<b>6b:</b> Abweichung der Mittelwerte der BÜK200 Legendeneinheiten in den naturräumlichen Einheiten berechnet aus der BFK200(BÜK) und der BFK10.....	135
<b>6c:</b> Abweichung der Polygonmittelwerte der BÜK200 Legendeneinheiten berechnet aus der BFK200(BÜK) und der BFK10.....	137
<b>6d:</b> Abweichung zwischen der BÜK200 Legendeneinheiten und der BFK10 Polygone.....	137
Karte 7: Vergleich der FSMw - Wertespannen (Cadmium)zwischen der BFK200(BÜK) und der BFK10 .....	145
Karte 8: Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG).....	153
Karte 9: Vergleich der Basenspeicher - Wertespannen zwischen BFK200(BÜK) und der BFK10.....	159
Karte 10: Hintergrundgehalte für Cadmium und Blei in Oberböden des Landkreises Oberhavel (Perzentil 90).....	167



## 1 Einleitung

Parallel zur parlamentarischen Beratung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG-E) wird z.Zt. der Datenaustausch zwischen Bundes- und Länderbehörden intensiv diskutiert. Die Vollzugsaufgaben des Bodenschutzes, wie die Umsetzung und Überwachung von Vorsorge- und Schutzbestimmungen liegen im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer. Ihnen obliegt außerdem die bodenkundliche Landesaufnahme und die Erfassung des aktuellen Bodenzustandes. Bodenschutzrelevante Aufgaben des Bundes beziehen sich hauptsächlich auf übergeordnete und länderübergreifende Fragestellungen, wie Rahmenrichtlinien und Übersichtsdarstellungen von Bodenfunktionen oder aktuellen Bodenbelastungen. Hierfür werden in der Regel keine neuen Daten erhoben, sondern vorhandene Daten und Auswertemethoden in Bodeninformationssystemen genutzt. Arbeitsmaßstab auf Bundesebene ist 1:200.000 und kleiner. Sofern die bei Bundesbehörden vorliegenden Datenbestände nicht ausreichen, kann der Bund nach der geplanten gesetzlichen Regelung auf vorhandene Daten aus den Bodeninformationssystemen der Länder zurückgreifen (§19 BBodSchG-E). Der Gesetzestext ist in den Entwürfen zum Bundesbodenschutzgesetz mehrfach geändert worden. In seiner aktuellen Fassung verweist der §19 die Regelung von Inhalt, Umfang und Kosten der zur Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben notwendigen Datenübermittlung auf eine zu schließende Verwaltungsvereinbarung, in Anlehnung die bereits bestehende Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern zum Datenaustausch im Umweltbereich (ANONYM 1994).

Im vorliegenden Bericht werden fachliche und administrative Aspekte der bodenschutzrelevanten Datenhaltung auf Bundesebene und des Datentransfers zwischen Bund und Ländern im Rahmen des §19 BBodSchG-E aufgegriffen und diskutiert. Er gliedert sich in vier große Themenkomplexe:

1. Auswertung einer Umfrage unter Bundesministerien, -behörden und -institutionen zur Präzisierung der bodenschutzrelevanten Aufgaben auf Bundesebene sowie des hieraus ableitbaren fachlich begründeten Datenbedarfes.

2. Sensitivitätsanalysen von Auswertungsmethoden in Bodeninformationssystemen als methodischer Ansatz zur Konkretisierung der Anforderungen an die Datenqualität für Übersichtsdarstellungen von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden.
3. Vergleichende Untersuchungen klein- und großmaßstäbiger Bodenfunktionskarten zur Ableitung einer bevorzugten Maßstabebene für die Ausweisung von Bodenfunktionen auf Bundesebene in Abhängigkeit von der räumlichen Variabilität der Böden und ihrer Eigenschaften.
4. Aufzeigen, Erprobung und Diskussion administrativer Strukturen für einen effizienten, fachlich sinnvollen Datenaustausch zwischen Bundes- und Länderbehörden sowie auf Bundesebene.

Die systematische Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragestellungen auf Bundes- und EU-Ebene kann grundsätzlich nach folgendem hierarchisch abgestuften Schema vorgenommen werden:

**1. Darstellung der geogenen/pedogenen Grundausrüstung der Böden und deren räumlicher Verbreitung**

(Erstellung von Bodenkarten, Klassifikation und Aggregierung von Bodeneinheiten, Ableitung repräsentativer Profile, Erfassung der räumlichen Variabilität)

**2. Ermittlung und Darstellung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden**

(Einsatz von validierten Verfahren zur Auswertung von Basisdaten in Bodeninformationssystemen zur flächenhaften Ausweisung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden)

**3. Ermittlung und Darstellung aktueller Belastungszustände der Böden**

(Darstellung stofflicher und nichtstofflicher Bodenbelastungen unter Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Bodenvariabilität)

**4. Darstellung und Bewertung aktueller Gefährdungsgrade auf Grundlage der Punkte 1-3**

(Pfad- und schutzgutbezogene Bewertung stofflicher und nichtstofflicher Bodenbelastungen)

Der Bezug auf die klar definierten und abgegrenzten Arbeitsschritte erleichtert wesentlich die Zusammenarbeit verschiedener Institutionen, wie sie im F&E-Vorhaben auf Landes- und Bundesebene erprobt wurde. Die im Folgenden dargestellten Untersuchungen wurden daher in enger Anlehnung an dieses Schema durchgeführt.

Zeitgleich mit den Arbeiten auf Bundesebene, die Gegenstand des vorliegenden Berichtes sind, wurde vom Landesumweltamt Brandenburg in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, Müncheberg (ZALF e.V.) im Unterauftrag das Teilvorhaben "Erstellung eines Konzeptes zur Durchführung des §19 "Datenübermittlung an den Bund" des BBodSchG-E" (HIEROLD et al. 1996) bearbeitet.

Am Beispiel des nördlich von Berlin im pleistozänen Jungmoränengebiet gelegenen Landkreises Oberhavel wurden auf Landes- und Bundesebene die Themen:

- Austrag von Schwermetallen ins Grundwasser und
- potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden

systematisch nach den Erfordernissen für Übersichtsdarstellungen auf Bundesebene bearbeitet und im Bezug auf die Fragestellung des F&E-Vorhabens ausgewertet.

Die Bereitstellung der Datenbasis zur pedogenen und geogenen Grundausrüstung auf zwei Maßstabsebenen erfolgte durch das ZALF.

Aktuelle Bodenbelastungsdaten wurden durch das LUA-Brandenburg bereitgestellt, indem nutzungs- und substratdifferenzierte Schwermetall-Hintergrundwerte auf der Basis vorhandener Datenbestände zusammengetragen und aggregiert wurden.

Den Projekttablauf begleitend fanden zahlreiche Abstimmungsgespräche und Diskussionen zwischen den Projektpartnern und anderen Beteiligten auf Bundes- und Landesebene statt. Auf Grundlage der Arbeitsergebnisse und Erfahrungen des Vorhabens wurden unterschiedliche Modelle des Datentransfers erörtert. Dabei wurde versucht, verallgemeinerbare und spezifische, vorhabensbezogene Rahmenbedingungen zu trennen, und damit die Schlußfolgerungen auf eine allgemeingültigere Basis zu stellen. Am Ende des

Berichtes wird ein administrativer Vorschlag für den bodenschutzrelevanten Datentransfer zwischen Bundes- und Länderbehörden sowie die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene vorgestellt, der das vorläufige Ergebnis dieses Diskussionsprozesses darstellt. Er soll als Grundlage für weitere Abstimmungen über den Kreis der bisher Beteiligten hinaus dienen und in die Erarbeitung der Verwaltungsvorschrift zum § 19 BBodSchG-E einbezogen werden.

## **2 Umfrage zu bodenschutzrelevanten Aufgaben, zum Datenbedarf und zu Datenbeständen auf Bundesebene**

Zur Ermittlung des fachlich begründeten Bedarfs an bodenschutzrelevanten Daten wurde eine ressortübergreifende Befragung der auf Bundesebene für den Umweltbereich Boden zuständigen Behörden und Institutionen durchgeführt. Die Ziele dieser Fragebogenaktion waren:

- Erstellung einer Übersicht über die z. Zt. als vorrangig angesehenen Aufgaben und Fragestellungen des Bundes im Bodenschutz aus der Sicht der zuständigen Institutionen.
- Aufzeigen des bei der Bearbeitung dieser Fragestellungen auf Bundesebene entstehenden Bedarfs an bodenschutzrelevanten Daten.
- Erfassung der bei Bundesinstitutionen vorhandenen bodenschutzrelevanten Datenbestände und Prüfung ihrer Verwendbarkeit für bundesweite Auswertungen im Rahmen eines Bodeninformationssystems.
- Ableitung von Defiziten aus der Gegenüberstellung des Datenbedarfes und der vorhandenen bzw. in absehbarer Zeit verfügbaren Daten.

Im Teilvorhaben auf Landesebene wurde analog ein Datenbestandskatalog erstellt, in dem die in Brandenburg vorhandenen bodenschutzrelevanten Daten aufgeführt und hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für Auswertungen auf Bundesebene bewertet werden (HIEROLD et al. 1996). Erhebungen des bodenschutzrelevanten Datenbedarfes auf Länderebene liegen außerdem für Niedersachsen (FIEBER et al. 1993) und das Saarland vor (GEOLOGISCHES LANDESAMT DES SAARLANDES 1991). Eine erste länderübergreifende Bedarfsanalyse auf Grundlage einer Befragung von Bundes- und Ländereinrichtungen sowie wissenschaftlicher Institutionen wurde von HENNINGS (1992) erarbeitet.

Die Fragebogenaktion im Rahmen des F&E-Vorhabens wurde im Juli 1995 gestartet. Der Rücklauf des ersten Fragebogens konnte im November 1995 abgeschlossen werden. Es wurden insgesamt 33 Institutionen angeschrieben. Davon haben 30 den Fragebogen zurückgesandt. Sieben angeschriebene Behörden gaben an, keinen Bedarf an Boden-

schutzdaten zu haben. Aus einigen Institutionen lagen mehrere Fragebögen aus verschiedenen Abteilungen vor (z.B. UBA, BGR, BBA). Die folgende Auswertung basiert auf 40 Fragebögen aus 21 Bundesbehörden und Instituten (siehe **Tab. 2.1**). Aufgrund der relativ überschaubaren Zielgruppe und des nahezu vollständigen Rücklaufes kann von weitestgehender Vollständigkeit der Erhebung ausgegangen werden.

Die Fragebogenaktion wurde überwiegend sehr positiv aufgenommen. Viele der zurückgesandten Fragebögen waren sorgfältig ausgefüllt und mit ausführlichen Begleitschreiben versehen, die zusätzliche wertvolle Informationen und Anregungen enthielten. Die eingegangenen Antworten zeigten aber, daß die Angaben zu den in den Institutionen vorhandenen Datenbeständen nicht ausreichten, um die Eignung der Daten für bundesweite Auswertungen beurteilen zu können. Dieses wurde jedoch für eine fundierte Defizitanalyse als unverzichtbar angesehen. Daher wurde ein Ergänzungsfragebogen zur Erhebung der auf Bundesebene vorhandenen Datenbestände entwickelt und im November 1995 an diejenigen Institutionen verschickt, die im ersten Fragebogen Datenbestände angegeben hatten. Der Ergänzungsfragebogen wurde auf Grundlage der Mindestdatensatzes Bodenuntersuchungen (SAG, 1991) und der obligatorischen Datenfelder im FISBo-BGR (vgl. HEINEKE et al. 1995) erstellt. Der Rücklauf erfolgte bis März 1996. Beide Fragebögen sind im **Anhang 1** dokumentiert.

**Tab. 2.1: Verteiler der Fragebogenaktion zum bodenschutzrelevanten Datenbedarf auf Bundesebene**

Institution	Rücklauf	Datenbestände vorhanden
Akademie für Raumforschung und Landesplanung	Ja	nein
Amt für militärisches Geowesen	Ja	ja
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft -Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland -Institut für Unkrautforschung -Abteilung für ökologische Chemie	Ja Ja Ja	ja ja ja
Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft	(-)	(-)
Bundesamt für Naturschutz	Ja	nein
Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft -Institut Forstökologie und Walderfassung	Ja	ja
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*)	*) insgesamt 5 Fragebögen aus versch. Abt.	ja
Bundesanstalt für Gewässerkunde	Ja	ja
Bundesanstalt für Straßenwesen -Referat Naturschutz, Landschaftspflege, Umweltverträglichkeit	Ja Ja	nein nein
Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung	Ja	ja
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde	Ja	ja
Bundesministerium des Innern	(-)	(-)
Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	Ja	nein
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	Ja	nein
Bundesministerium für Finanzen	(-)	(-)
Bundesministerium für Forschung und Technologie	(-)	(-)
Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau	Ja	nein
Bundesministerium für Verkehr	Ja	ja
Bundesministerium für Verteidigung	Ja	ja
Bundesministerium für Wirtschaft	(-)	(-)
Deutscher Wetterdienst -Zentralamt / Abt. Forschung u. Entwicklung -Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle	Ja (-)	nein (-)
Forschungszentrum Jülich GmbH	Ja	ja
Fraunhofer Institut für Umweltchemie und Ökotoxologie	Ja	ja
GeoForschungsZentrum Potsdam	(-)	(-)
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung -Institut für Tieflagerung -Institut für Bodenökologie	(-) Ja	(-) ja
GKSS Forschungszentrum Geesthacht	keine Antwort	(-)
Institut für angewandte Geodäsie	keine Antwort	(-)
Kernforschungszentrum Karlsruhe	(-)	(-)
National Global Change Sekretariat am Alfred Wegener Institut	keine Antwort	(-)
Statistisches Bundesamt	Ja	ja
Umweltbundesamt Berlin *)	*) insgesamt 12 Fragebögen aus versch. Abt.	ja
Umweltforschungszentrum Leipzig/Halle	Ja	
Zentralstelle für Agrardokumentation und -information	(-)	(-)

## 2.1 Fragestellungskategorien und Nutzergruppen

Der Fragebogen zum Datenbedarf ist in drei Teilbereiche untergliedert, die den Abarbeitungsschritten für bodenschutzrelevante Fragestellungen auf Bundesebene entsprechen (vgl. **Kap. 1**):

1. Datenbedarf zur pedogenen / geogenen Grundausrüstung der Böden und deren räumlicher Verbreitung
2. Datenbedarf zu Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden
3. Datenbedarf zu aktuellen Belastungszuständen der Böden

Die Bearbeiter konnten ihren Datenbedarf abgestuft in den Kategorien "Interesse", "eigene Fragestellungen" und "eigene Arbeiten" angeben.

Die unterschiedlichen Fragestellungen der einzelnen Nutzer führen zu differenzierten Anforderungen an die Daten (z.B. bezüglich der inhaltlichen und räumlichen Auflösung). Die eingegangenen Antworten zeigen häufig wiederkehrende Muster von Fragestellungs- und Problemkategorien, die mit einem bestimmten Datenanforderungsprofil verbunden sind:

- Fragestellungen und Arbeiten im Zusammenhang mit *Forschungsarbeiten*
- Fragestellungen und Arbeiten zur *Übersichtsdarstellung* bodenschutzrelevanter Daten (z.B. als Entscheidungshilfe in der Politik)
- *Anwendungsbezogene* Fragestellungen für Einzelfallentscheidungen (z.B. für Gutachten oder UVP, UVS)

Aufgrund dieser Kategorien ergibt sich darüber hinaus eine Differenzierung in drei Nutzergruppen (wobei die Übergänge z.T. fließend sind):

- Fachbehörden, die originär bodenschutzrelevante Themen bearbeiten (z.B. UBA, BGR, BBA, BFH). In ihnen werden Fragestellungen aus allen drei Themenkategorien bearbeitet. Die Schwerpunkte liegen im Bereich der Forschung und Übersichtsdarstellung. Ihr weitgestreuter Aufgabenbereich bedingt einen sehr heterogenen Datenbedarf, der sich über alle Maßstabsebenen erstreckt.

- Bundesministerien,-behörden und -institute, die bodenschutzrelevante Ergebnisse in andere (z.T. übergeordnete) Zusammenhänge stellen und gemeinsam mit Inhalten aus anderen Fachrichtungen weiter bearbeiten (z.B. umweltökonomische Gesamtrechnung) (z.B. BfLR, StBA, BMU, BMLEF). Sie benötigen i.d.R. Daten für großräumige Übersichtsdarstellungen auf Maßstabsebenen  $\leq 1:200.000$ .
- Nutzer, deren eigentliche Aufgaben in anderen Fachgebieten liegen, die aber z.T. bei der Durchführung einzelner Teilaufgaben auf Bodenschutzdaten zurückgreifen müssen (z.B. BMV, BfG). Hierfür werden überwiegend Daten auf großer Maßstabsebene benötigt. Kleinmaßstäbige Übersichtsdarstellungen werden von dieser Nutzergruppe häufig nur zur groben Orientierung oder als Ersatz für nicht verfügbare Daten mit größerer räumlicher Auflösung verwendet.

Die folgende Zusammenstellung der auf dem Gebiet des Bodenschutzes arbeitenden Bundesbehörden zeigt deutlich die breite fachliche Palette, die von Bodenschutzaufgaben umspannt wird. Zusätzlich sind stichwortartig die vorrangigen Arbeitsgebiete der Behörden angegeben, wie sie sich aufgrund der Fragebogenaktion darstellen. Diese Angaben dienen der Orientierung und sind nicht im Sinne einer administrativen Aufgabenzuweisung oder Arbeitsteilung zu verstehen.:

#### **Umweltbundesamt (UBA)**

- Bodenbelastung / Stoffeinträge
- vorsorgender Bodenschutz

#### **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

- pedogenen / geogene Grundausstattung / Stoffgehalte und deren Verbreitung
- Bodenfunktionen und potentielle Gefährungsgrade

#### **Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH)**

- Bodenzustand, Bodenfunktionen und -belastung für Forststandorte

**Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung (BfLR)**

- Flächennutzung, siedlungsbedingte Bodenbelastungen (Versiegelung, Flächenverbrauch)

**Bundesanstalt für Naturschutz (BfN)**

- Naturschutz, Geotopschutz

**Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA)**

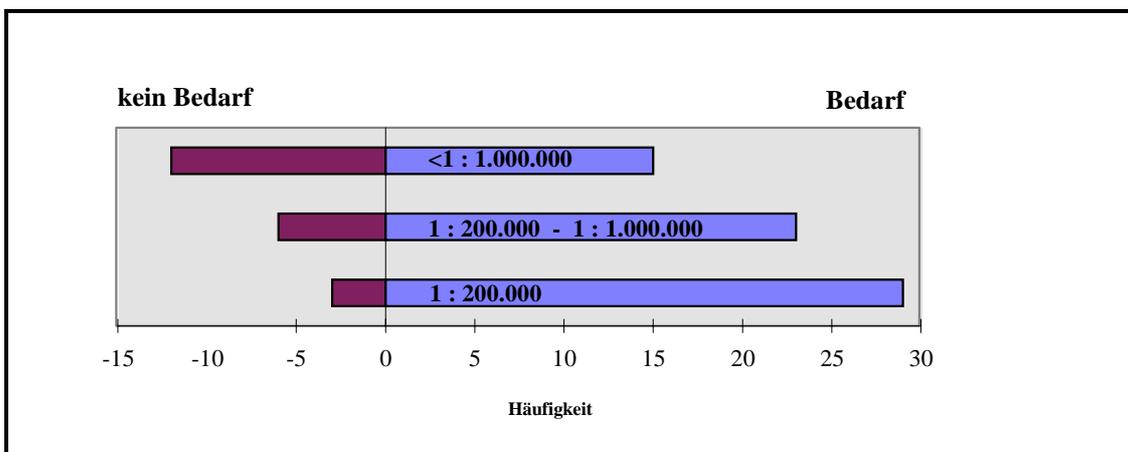
- Bodenschutz in der Landwirtschaft

**Statistisches Bundesamt (StBA)**

- Umweltökonomische Gesamtrechnung
- CORINE - Datenbank

**2.2 Datenbedarf auf Bundesebene****2.2.1 Bodenkundliche Basisdaten**

**Abb. 2.1** zeigt die von den befragten Bundesbehörden gewünschten Maßstabsebenen für Bodenkarten. Deutlich erkennbar ist eine Bevorzugung der größten bundesweit verfügbaren Maßstabsebene. Bodenkarten im Maßstab 1:200.000 werden von nahezu allen Bearbeitern benötigt. Karten in kleineren Maßstäben werden hingegen hauptsächlich für Übersichtsdarstellungen verwendet. Dementsprechend geringer ist das Interesse an Bodendaten auf diesen Maßstabsebenen.



**Abb. 2.1: Bedarf an Bodenkarten verschiedener Maßstabsebenen**

**Tab. 2.2: Anteilige Häufigkeiten der von Bundesinstitutionen gewünschten Parameter zur Flächeninhaltsbeschreibung von Bodenkarten**

über 75%	51-75%	bis 50%
Bodenart (86%)	Bodenreaktion (pH) (72%)	Lage im Relief (50%)
organische Substanz (81%)	Neigung (72%)	Bodengroßlandschaft (47%)
Flächenanteil (81%)	Digitales Geländemodell (69%)	Bodenformengesellschaft (47%)
Wasserdurchlässigkeit (77%)	Porenvolumen (69%)	Wölbung (47%)
Verteilungsmuster (77%)	Höhe über NN (69%)	Geogenese (44%)
Wasser unter GOF (77%)	Carbonatgehalt (67%)	Leitbodengesellschaft (36%)
	Kationenaustauschkap. (64%)	Leitbodenassoziation (31%)
	Bodenlandschaft (58%)	
	Bodenform (58%)	
	Niederschlag (58%)	
	Evapotranspiration (58%)	
	Kennw. d. Wasserbindung (58%)	
	Nutzungsinformation (58%)	
	Zusammensetzung & Herkunft (56%)	
	Reliefformentyp (56%)	
	Exposition (53%)	
	Bodenregion (53%)	

**Tab. 2.2** zeigt die relativen Häufigkeiten der als "gewünscht" angegebenen bodenkundlichen Basisparameter. Neben Bodenart und organische Substanz werden vor allem hydrologische Kennwerte sowie Angaben zur Variabilität und Repräsentanz der Legeneinheiten benötigt. Mit wenigen Ausnahmen wurden alle Bodendaten in der größtmöglichen räumlichen und inhaltlichen Auflösung gewünscht (Mittelwerte und Spannweiten für Leit- und Begleitböden) (vgl. hierzu auch die Angaben zur Maßstabsebene weiter oben). Klimadaten wurden überwiegend in monatlichen oder jahreszeitlichen Intervallen gewünscht. Zur Ergänzung wurden folgende Parameter vorgeschlagen:

- Bodenbiologische Kennwerte und
- Anteil der versiegelten Fläche.

## 2.2.2 Bodenfunktionen und potentielle Gefährungsgrade

Zur Auswertung des Datenbedarfes zu Bodenfunktionen und potentiellen Gefährungsgraden werden die angegebenen Fragestellungen und Arbeiten nach den in **Kapitel 1.1** dargestellten Fragestellungskategorien unterteilt (Forschungsarbeiten, Übersichtsdarstellungen und anwendungsbezogene Fragestellungen). Dadurch werden, über die Gesamthäufigkeiten der Angaben hinaus, Daten- und Forschungsdefizite besser sichtbar.

### 2.2.2.1 Potentielle Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind

**Übersicht:**

Interesse: 25 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	7	5
Übersichtsdarstellungen	8	3
Anwendungsbezogene Fragestellungen	4	2
$\Sigma$	19	10

Die angegebenen Forschungsarbeiten haben den erosionsbedingten Austrag von Schadstoffen zum Thema. Dabei steht insbesondere der Austrag von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen im Vordergrund. Weitere Arbeiten werden zum Austrag von Schwermetall-

len und Dioxinen durchgeführt. Die Arbeiten beschäftigen sich also nicht vorrangig mit Erosionsgefährdung im eigentlichen Sinne, sondern mit erosionsbedingten Stoffverlagerungen als Teilaspekt stofflicher Bodenbelastungen.

Übersichtsfragestellungen fallen hauptsächlich im Zusammenhang mit Aufgaben der Raumordnung und Landesplanung an (z.B. Ausweisung von Schutzgebieten oder Flächen für Vorsorgemaßnahmen). Angewandte Fragestellungen beziehen sich auf die Gestaltung von Eingriffen in die Landschaft (z.B. Böschungen, Ablagerungsflächen für Bodenaushub, Wege).

### 2.2.2.2 Potentielle Verdichtungsgefährdung

#### Übersicht:

Interesse: 22 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	3	2
Übersichtsdarstellungen	6	5
Anwendungsbezogene Fragestellungen	4	2
$\Sigma$	13	9

Die meisten der angegebenen Fragestellungen und Arbeiten zum Thema potentielle Verdichtungsgefährdung beziehen sich auf Übersichtsdarstellungen zur Abschätzung des Flächenumfanges für Vorsorgemaßnahmen u.ä.. Als angewandte Aspekte wurde die Befahrbarkeit mit Arbeitsgerät oder Militärfahrzeugen genannt.

Forschungsarbeiten beziehen sich auf die Auswirkungen der Bodenverdichtung auf den landwirtschaftlichen Ertrag (Limitierung der Nährstoffversorgung, Wasserspeicherfähigkeit) sowie auf das Verhalten und den Verbleib von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen im Boden.

### 2.2.2.3 Potentielle Auswaschungsgefährdung von anorganischen und organischen Stoffen

#### Übersicht:

Interesse: 31 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	13	14
Übersichtsdarstellungen	4	4
Anwendungsbezogene Fragestellungen	3	1
$\Sigma$	20	19

Die potentielle Auswaschungsgefährdung von Nähr- und Schadstoffen ist die Bodenfunktion, zu der z. Zt. auf Bundesebene die meisten Fragestellungen bearbeitet werden. In der Mehrzahl werden Forschungsthemen bearbeitet. Mehrfachnennungen gab es bei der Verlagerung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Schwermetallen sowie Nitratauswaschung. Die Gesichtspunkte, unter denen diese Themen bearbeitet werden, sind ebenfalls breit gestreut. Sie reichen von der Simulation des Stoffaustrages in Agrarlandschaften über die Untersuchung der Auswirkungen von Bodensanierungen, Fragen des Grundwasserschutzes und der Optimierung des Düngemittleinsatzes bis zur Ermittlung von Hintergrundbelastungen und Errechnung von Critical Loads. Angewandte Fragestellungen beziehen sich auf Belastungen im Straßenrandbereich sowie Grundwasserschutz auf militärisch genutzten Liegenschaften des Bundes.

### 2.2.2.4 Ertragspotentiale (forstlich, landwirtschaftlich)

#### Übersicht:

Interesse: 23 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	6	4
Übersichtsdarstellungen	5	3
Anwendungsbezogene Fragestellungen	1	
$\Sigma$	12	7

Die land- und forstwirtschaftlichen Ertragspotentiale finden auf Bundesebene nur ein relativ geringes Interesse. Dies gilt um so mehr, als überwiegend Arbeiten aufgeführt wurden, die nur in Teilbereichen einen Bezug zum Ertragspotential aufweisen aber im Kern andere Fragestellungen behandeln, wie z.B.  $\text{NO}_3$  -Auswaschung, Versauerung u.ä..

Unter den aufgeführten Forschungsfragestellungen finden sich die Ableitung der Ertragsstruktur aus Bodenkenndaten, die Anbaueignung für Gartenbaukulturen, das Potential für umweltgerechte Landwirtschaft, Parameter zur Beschreibung des forstlichen Standortpotential sowie Nutzungseinschränkungen im Zusammenhang mit "guter landwirtschaftlicher Praxis". Mit Ausnahme der Letztgenannten, wird keine dieser Fragestellungen z.Zt. bearbeitet.

Übersichtsdarstellungen werden neben den allgemeinen Fragen der Raumordnung und Landesplanung auch zur Klassifizierung der Standorttypen Deutschlands und als Entscheidungsgrundlage für die Agrarpolitik benötigt. Die angewandte Fragestellung bezieht sich auf die Bewertung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im Zuge von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen z.B. für wasserbauliche Maßnahmen.

### 2.2.2.5 Grundwasserneubildungsrate

#### Übersicht:

Interesse: 25 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	6	6
Übersichtsdarstellungen	6	4
Anwendungsbezogene Fragestellungen	2	1
$\Sigma$	14	11

Die Forschungsfragestellungen und -arbeiten im Zusammenhang mit der Grundwasserneubildungsrate behandeln überwiegend Themen aus dem Bereich der Grundwassergefährdung durch Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen (Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, Nitrat, Schwermetalle) sowie Versauerung.

Bei den Übersichtsdarstellungen erweitert sich demgegenüber die Themenpalette. Es werden auch Themen wie "Nachhaltigkeit von Grundwasserförderung" oder "Verletzlichkeit des Grundwassers" genannt. Die angewandten Fragestellungen beziehen sich auf Gutachten zur Abschätzung der Auswaschungsgefährdung (z.B. im Zusammenhang mit militärischer Nutzung oder Straßenbau)

### 2.2.2.6 Fragen der Grundwasserabsenkung

**Übersicht:**

Interesse: 20 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	3	2
Übersichtsdarstellungen	3	1
Anwendungsbezogene Fragestellungen	2	
$\Sigma$	8	4

Der insgesamt recht geringe Umfang der auf Bundesebene vorhandenen Fragestellungen und Arbeiten zur Grundwasserabsenkung ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß es sich um eine sehr spezielle, gut abgrenzbare Problemstellung handelt. Diese weist relativ wenig Berührungspunkte mit den ansonsten dominierenden Fragen der chemischen Belastung von Böden auf. Die angegebenen Forschungsarbeiten behandeln die ökologischen Auswirkungen großflächiger Grundwasserabsenkungen. Die Übersichtsdarstellungen sind keinem konkreten Thema zuzuordnen und die angewandten Fragestellungen beziehen sich auf straßenbaubedingte Auswirkungen.

### 2.2.2.7 Nutzungspotentiale für die Raumordnung

**Übersicht:**

Interesse: 18 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	3	2
Übersichtsdarstellungen	4	2
Anwendungsbezogene Fragestellungen	3	1
$\Sigma$	10	5

Die Mehrzahl der im Zusammenhang mit Nutzungspotentialen für die Raumordnung auf Bundesebene bearbeiteten Fragestellungen beziehen sich auf Übersichtsdarstellungen. Neben allgemeinen Darstellungen von Gefährdungs- und Nutzungspotentialen wird die Ableitung von Vorranggebieten und die Klassifizierung nach Nutzungsmöglichkeiten im Bezug auf die Verwertung von Reststoffen genannt. Forschungsbezogene Fragestellungen sind z.B. die Ableitung von Risikoindikatoren im Zusammenhang mit der ökologischen Flächenstichprobe und Fragen der Waldfunktionen oder auch der Klärschlammasbringung im Wald. Die im Zusammenhang mit Potentialen für die Raumordnung genannten angewandten Fragestellungen beziehen sich z.B. auf Potentiale für Landschafts- und Naturschutz im Zusammenhang mit UVS und UVP.

#### 2.2.2.8 Potentielle Vorranggebiete für Rohstoffabbau

##### Übersicht:

Interesse: 15 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten		
Übersichtsdarstellungen	4	1
Anwendungsbezogene Fragestellungen	2	
$\Sigma$	6	1

Die Ausweisung von potentiellen Vorranggebieten für den Rohstoffabbau findet unter allen genannten Bodenschutzaspekten bei den befragten Bundesinstitutionen das geringste Interesse. Die wenigen genannten Fragestellungen sind mit Ausnahme der Entnahme von Sand und Kies für den Straßenbau eher allgemeiner Natur und finden sich auch unter vielen der vorhergegangenen Rubriken wieder (z.B. Potentialdarstellung für die Raumordnung).

### 2.2.2.9 Potentielle Vorranggebiete für nachwachsende Rohstoffe

#### Übersicht:

Interesse: 21 Institutionen

	„eigene Fragestellungen“	„eigene Arbeiten“
Forschungsarbeiten	4	4
Übersichtsdarstellungen	4	1
Anwendungsbezogene Fragestellungen		
$\Sigma$	8	5

Im Zusammenhang mit potentiellen Vorranggebieten für nachwachsende Rohstoffe werden z.B. die Anbaueignung schadstoffbelasteter Standorte oder eine Abreicherung von Schadstoffen durch nachwachsende Rohstoffe untersucht. Übersichtsdarstellungen dienen zur Ableitung von Vorranggebieten und die Darstellung des vorhandenen Potentials im Bundesmaßstab.

#### 2.2.2.10 Ergänzungen

Ergänzend zu den aufgeführten Bodenfunktionen wurden folgende Themenbereiche genannt:

- ökologische Standortfunktion als Lebensraum für Menschen, Tiere u. Pflanzen
- Parameter zur Gesamtbewertung von Böden (für UVP & UVS)
- Abbaupotentiale für organische Schadstoffe
- Biologische Aktivität / bodenbiologische Veränderungen
- ökotoxikologische Bewertungsgrößen (Abhängig von Nutzungs- und Lebensraumfunktion)
- Betrachtung der zeitlichen Dynamik von Bodenpotentialen und Belastungen
- Critical Loads / Critical Levels

### **2.2.2.11 Datenbedarf für Methoden zur Darstellung der Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgrade der Böden**

Die meisten in den vorangegangenen Kapiteln genannten Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgrade können durch Auswertung von Basisdaten aus Bodeninformationssystemen abgeleitet werden. Die AD-HOC-AG BODEN hat 1994 eine aktuelle Sammlung solcher Methoden vorgelegt. Die darin enthaltenen Verknüpfungsregeln basieren auf folgenden Eingangsparametern.

- Horizontsymbol / Mächtigkeit
- Gehalt der verschiedenen Korngrößenfraktionen
- Bodenart / Torfart
- Skelettgehalt (metrisch u. klassiert)
- Humusgehalt (metrisch u. klassiert)
- Carbonatgehalt
- pH-Wert (metrisch u. klassiert)
- Trockenraumdichte
- eff. Lagerungsdichte
- kF-Wert
- Gefügeform
- Aggregatgrößenklassen
- Verfestigungsgrad des Bh,s-Horizontes

Die aufgeführten Parameter sind im Datenmodell der UAG FIS Bo (HEINEKE et al. 1995), das als einheitliche Grundlage der bodenkundlichen Fachinformationssysteme der Bundesländer und des Bundes erarbeitet wurde vorgesehen oder lassen sich zumindest aus vorhandenen Parametern ableiten. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung zur Deckung des Datenbedarfes zur Darstellung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgrade auf Bundesebene geschaffen.

## 2.2.3 Ermittlung und Darstellung aktueller Stoffgehalte und Belastungen von Böden

### 2.2.3.1 Gehalt an Nährstoffen, Schwermetallen, Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und anderen (an-) organischen Schadstoffen

#### Übersicht:

Interesse: 32 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	12	10
Übersichtsdarstellungen	7	3
Anwendungsbezogene Fragestellungen	3	1
$\Sigma$	22	14

Unter den Forschungsarbeiten zum Themenkreis der stofflichen Bodenbelastungen dominieren Fragen zu Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Schwermetallen. Dioxin- und Nitratbelastungen werden ebenfalls untersucht. Neben den Stoffgehalten und dem Verbleib / Verhalten der Stoffe im Boden stehen Arbeiten zur Ableitung von Grenz- und Hintergrundwerten im Vordergrund.

Übersichtsdarstellungen beziehen sich hauptsächlich auf Nutzungseinschränkungen aufgrund hoher Schadstoffgehalte sowie Einschränkungen für die Verwertung von Sekundärrohstoffen (z.B. Klärschlamm oder Kraftwerksrückstände). Anwendungsbezogene Fragestellungen ergeben sich im Zusammenhang mit Wasser- und Straßenbauvorhaben (z.B. Vorbelastungen von Planungskorridoren oder Wiederverwertbarkeit von Aushub / Baggergut).

### 2.2.3.2 Nitratgehalte im flurnahen Grundwasser

#### Übersicht:

Interesse: 21 Institutionen

	"eigene Fragestellungen"	"eigene Arbeiten"
Forschungsarbeiten	3	3
Übersichtsdarstellungen	6	5
Anwendungsbezogene Fragestellungen	2	
$\Sigma$	11	8

Das Hauptinteresse der befragten Institutionen an Daten zum Nitratgehalt im flurnahen Grundwasser liegt im Bereich der Übersichtsdarstellungen. Es wurde z.B. die Ausweisung gefährdeter Gebiete im Zusammenhang mit der EG-Nitrat-Richtlinie genannt. Forschungsarbeiten werden z.B. zur Validierung von Modellrechnungen zum Nitratstrom und zum Wasser- und Stoffhaushalt von Agrarökosystemen durchgeführt. Die angewandten Fragen beziehen sich z.B. auf Gutachten zum Nachweis von N-Einträgen.

### 2.2.3.3 Aktuelle Bodenversauerung

#### Übersicht:

Interesse: 26 Institutionen

	”eigene Fragestellungen”	”eigene Arbeiten”
Forschungsarbeiten	8	2
Übersichtsdarstellungen	3	2
Anwendungsbezogene Fragestellungen	2	
$\Sigma$	13	4

Unter den Forschungsfragestellungen zur aktuellen Bodenversauerung wird auch die pH-Wert-abhängige Bindungsfähigkeit bzw. Auswaschungsgefährdung von Schwermetallen genannt. Versauerungsfragestellungen im engeren Sinne sind die Modellierung bzw. die Prognose und Dynamik der Versauerung von Waldböden. Die Übersichten betreffen den allgemeinen Versauerungszustand der Böden, als angewandte Fragestellungen wird z.B. der Kalkungsbedarf genannt.

### 2.2.3.4 Ergänzungen zu aktuellen Stoffgehalten und Belastungen

Ergänzend zu den im Fragebogen aufgeführten Fragestellungen, wurde von den befragten Institutionen Datenbedarf zu folgenden Themen angegeben:

- Auswirkungen von Bodenbelastungen auf Oberflächengewässer
- Versiegelung / Bodenverbrauch

- Auswirkungen von Flächenstillegungen
- großräumige Immissionsbelastung
- Differenzierung nach Stoffkonzentrationen und -vorräten
- Belastung der Böden mit künstlichen und natürlichen Nukliden

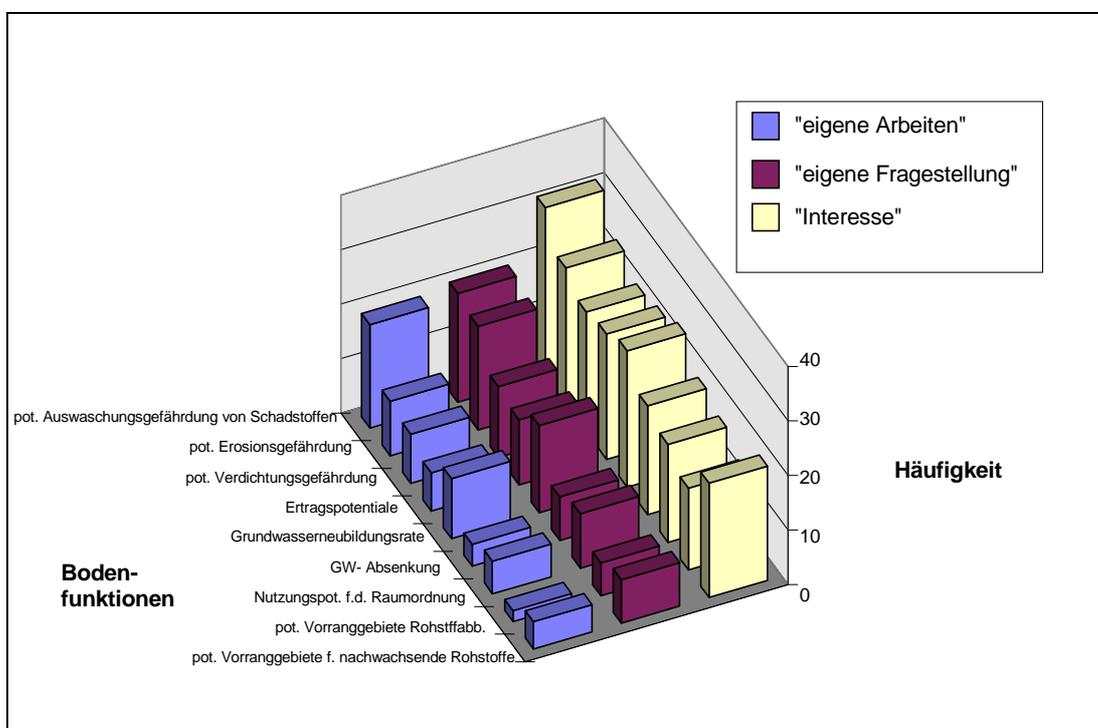
### 2.2.3.5 Liste der zu regelnden bodenschutzrelevanten Schadstoffe

Das Untergesetzliche Regelwerk zum Bundes-Bodenschutzgesetz (UGR) wird zur Zeit durch eine Arbeitsgruppe beim BMU erarbeitet. Die darin enthaltenen prioritären Fragestellungen und deren Auswirkungen auf den bodenschutzrelevanten Datenbedarf auf Bundesebene konnte in der Fragebogenaktion noch nicht berücksichtigt werden. Im Folgenden wird eine Liste der bodenschutzrelevanten Schadstoffe wiedergegeben, für die im aktuellen Entwurf des UGR (Stand März 1997) Vorsorge- Prüf oder Maßnahmenwerte vorgesehen sind. Die Fertigstellung des UGR kann zu weiteren Ergänzungen des Datenbedarf auf Bundesebene führen. Die Stoffliste stellt den zu erwartenden gesetzlich geregelten Mindestdatenbedarf des Bundes zur stofflichen Bodenbelastung dar. Im konkreten Fall kann sich darüber hinaus auch Datenbedarf zu weiteren Stoffen oder Stoffgruppen ergeben.

<b>anorganische Stoffe:</b>	<b>organische Stoffe:</b>
Antimon	Aldrin
Arsen	Dioxine/Furane (PCDD/F)
Blei	DDT
Cadmium	Hexachlorbenzol
Chrom	Hexachlorcyclohexan (HCH Gemisch)
Chromat	Mineralölkohlenwasserstoffe
Cyanid	Polychlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK <sub>16</sub> )
Fluorid	Polychlorierte Biphenyle (PCB <sub>6</sub> )
Kobalt	
Kupfer	
Molibdän	
Nickel	
Quecksilber	
Selen	
Zink	

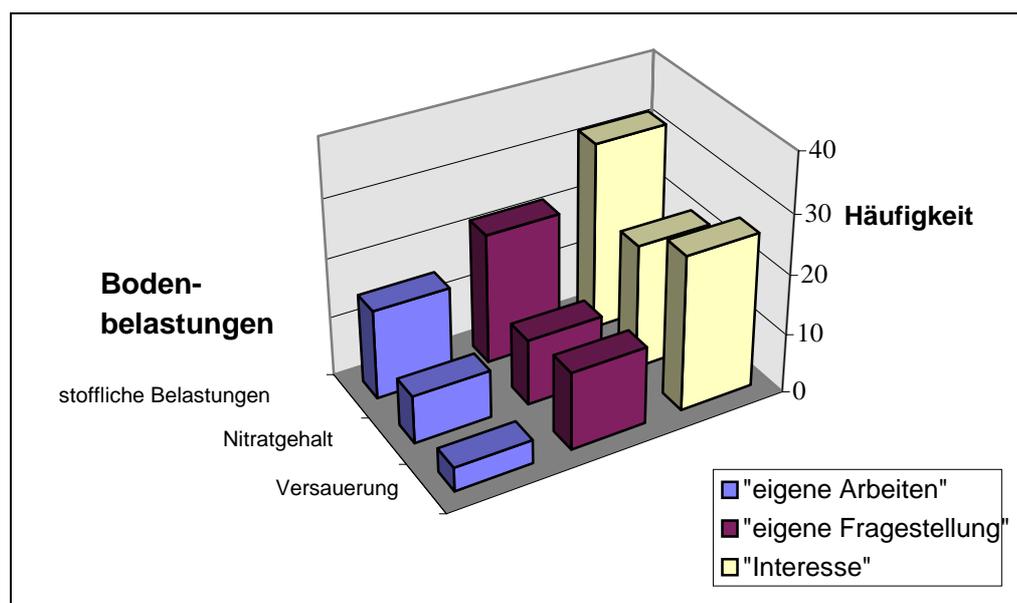
## 2.2.4 Zusammenfassung des Datenbedarfes

Der Schwerpunkt der auf Bundesebene bearbeiteten bodenschutzrelevanten Fragestellungen liegt z. Zt. auf dem Gebiet der stofflichen Belastungen und Belastbarkeit der Böden. Hierbei sind die Bestimmung von Hintergrund- und Grenzwerten und das Verhalten der Schadstoffe in Böden (Sorptions, Abbau, Auswaschung etc.) die am häufigsten bearbeiteten Themen. Dies zeigt sich nicht nur in den hohen Gesamthäufigkeiten der Nennungen (siehe **Abb. 2.2 & Abb. 2.3**), sondern wirkt sich auch in einem überdurchschnittlich großen Anteil an forschungsbezogenen Fragestellungen zu diesen Themenschwerpunkten aus. Besondere Beachtung finden dabei die Stoffgruppen Schwermetalle und Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. Auch in anderen Themenbereichen werden diese dominanten Fragestellungen immer wieder im Hintergrund sichtbar (vgl. z.B. Erosionsgefährdung, Grundwasserneubildung).



**Abb. 2.2: Bodenschutzrelevante Fragestellungen in Bundesinstitutionen**

In **Abb. 2.2** ist der angegebene Datenbedarf zu den prioritären bodenschutzrelevanten Themen zusammenfassend dargestellt. "Interesse" an den Bodenfunktionen zeigen jeweils deutlich mehr Institutionen als tatsächlich eigene Fragestellungen mit dem Thema verknüpfen. Eine weitere deutliche Abstufung ergibt sich beim Vergleich der "Fragestellungen" mit den "eigenen durchgeführten Arbeiten". Insbesondere diese zweite Abstufung kann ein Hinweis auf bestehende Forschungs- oder Datendefizite sein.



**Abb. 2.3: Datenbedarf von Bundesinstitutionen zu aktuellen Bodenbelastungen**

Die gewünschten Ergänzungen bestätigen ebenfalls den Schwerpunkt der stofflichen Bodenbelastungen, wobei insbesondere Informationen über das Verhalten der Stoffe im Boden (Abbau, Pufferung etc.) und ökotoxikologische Auswirkungen benötigt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Bereich bodenbiologischer Parameter. Häufig ge-

nannt wurden außerdem Fragestellungen im Zusammenhang mit der Bodennutzung (Versiegelung, Flächenstillegung etc.) und Bewertungskriterien im Zusammenhang mit der Lebensraumfunktion der Böden.

## **2.3 Vorhandene Datenbestände**

### **2.3.1 Geowissenschaftliche Grundlagendaten**

Die Bereitstellung geowissenschaftlicher Grundlagendaten soll auf Bundesebene im Fachinformationssystem Bodenkunde (FISBo BGR) als Teil eines länderübergreifenden Bodeninformationssystems erfolgen. Die Komponenten Labor- und Profildatenbank, Flächendatenbank und Methodenbank befinden sich im Aufbau. Der aktuelle Stand der Arbeiten ist bei ECKELMANN (1996) ausführlich beschrieben. Dort finden sich auch Hinweise auf weiterführende Literatur.

Länderübergreifende Bodenübersichtskarten sind in den Maßstäben 1:1.000.000 und 1:200.000 vorgesehen.

Die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland (BÜK 1000) wurde 1995 von der BGR vorgelegt (HARTWICH et al. 1995a & b). An der Fortschreibung der Karte wird kontinuierlich gearbeitet. Notwendig ist vor allem die Verbesserung der Hinterlegung der Legendeneinheiten mit repräsentativen Profilinformatoren.

Die Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) soll in den nächsten Jahren in Zusammenarbeit zwischen der BGR und den geologischen Landesämtern herausgegeben werden. Die konzeptionellen Vorgaben sind weitgehend erarbeitet und befinden sich z.Zt. in der Abstimmung (SCHMIDT 1994, HARTWICH 1995, vgl. auch ECKELMANN 1996). Die Bearbeitung der ersten Blätter (München, Braunschweig) ist weitgehend abgeschlossen. Sie werden in Kürze erscheinen. Die Erstellung weiterer Blätter in den nächsten Jahren ist vorgesehen. Insgesamt wird für die flächendeckende Erstellung einer einheitlichen BÜK 200 ein Bearbeitungszeitraum von ca. zehn Jahren veranschlagt.

### 2.3.2 Bodenzustandsdaten

**Tab. 2.3** zeigt eine Zusammenstellung der recherchierten Datenbestände zum aktuellen Bodenzustand. Zur Beurteilung der Qualität und Vergleichbarkeit der Datenbestände verschiedener Herkunft sind neben der Zielstellung und den jeweils untersuchten Parametern im wesentlichen Angaben zum Datenumfang, zur räumlich-zeitlichen Auflösung und zur Dokumentation der angewendeten Methoden erforderlich. Viele der angegebenen Datenbestände sind noch im Aufbau begriffen und beinhalten noch sehr wenige Datensätze.

Die Auswertung des Fragebogens zeigt, daß insbesondere die Strukturen der Datenhaltung äußerst heterogen und schwer durchschaubar sind. Die Datenhaltung erfolgt überwiegend isoliert in den erhebenden Behörden. Der Datenaustausch ist durch z.T. ungeklärte Zuständigkeiten und Zugriffsrechte erschwert. Hier ist deutlich mehr Transparenz und Kooperation geboten, damit die vorhandenen Datenbestände optimal im Sinne der Bodenschutzaufgaben auf Bundesebene genutzt werden können. Auch die hier vorgestellte, mit erheblichem Arbeitsaufwand verbundene Erhebung konnte letztlich keinen wirklich umfassenden Überblick über alle Datenstrukturen und Bestände bringen, da vielfach selbst innerhalb der Institutionen ein vollständiger Überblick über die vorhandenen Datenbestände fehlt.

Die Datenqualität ist in den meisten recherchierten Fällen erfreulich hoch. Die Mehrzahl der aufgeführten Datensätze kann im Sinne des Mindestdatensatzes für Bodenuntersuchungen (SAG, 1991) als weitgehend vollständig angesehen werden. Die Bemühungen zur Durchsetzung einheitlicher Dokumentationsstandards haben offensichtlich Erfolg gezeigt. Inwieweit die Datenbestände allerdings tatsächlich vergleichbar sind, kann aufgrund der Fragebogenaktion nicht beurteilt werden. Die dazu benötigten Parameter sind aber in der überwiegenden Zahl der Datensätze vorhanden.

**Tab. 2.3: Bei Bundesbehörden vorhandene Bodenzustandsdaten**

Datenhalter	Raum	Bezug	Inhalt
Amt für Militärisches Geowesen	Länder übergr.	Punkt Fläche	Datenbank GEOLIS Bodenarten bis 1m Tiefe Verdichtung, Erosion
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland	B.Land	Fläche	Pflanzenschutzmittel
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Institut für Unkrautforschung	Schlag	Punkt	Herbizide
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Institut für ökologische Chemie	Schlag	Punkt Raster	Schwermetalle, Nitrat
Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Institut für Forstökologie und Walderfassung	BRD	Punkt	BZE
Bundesanstalt für Gewässerkunde	Länder übergr.	Punkt	Bodenk. Datenb. Teilb. Kartierung Grunddaten im Bereich v. Bundeswasserstr.
	dto	dto	Bodenk. Datenb. Teilb. Leitprofile Belast.-daten im Bereich v. Bundeswasserstr.
	dto	dto	Sedimentkataster neue Länder Grund- & Belast.-daten aquat. & terrestr. Böden
Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung	BRD		Flächennutzungsdaten / laufende Raumbearbeitung
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde	kl. Raum	Punkt Fläche	Projektdateien, Mariensee, Völkenrode
Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau			* Daten von bundeseigenen Altlasten bei OFD-Hannover (INSA)
FAM Forschungsverbund Agrarökosysteme München	150h	Punkt Fläche	Projektdateien in FAM Datenbank (40 Teilprojekte) sehr umfangreiche Parameterliste
Umweltbundesamt Referat II 1.5  Referat II 3.3	repräs. Ökosys.	Punkt Fläche	Umweltprobenbank (ab 1996) org.- und anorg. Schadstoffe
	Länder übergr.	Punkt Fläche	Dioxin-Datenbank Dioxine, Furane, PCB's
	kl. Raum	Punkt	Nahbereich Chemieanl. Bitterfeld org. und anorg. Belastungen
	BRD	Punkt	Waldbodendegradation (pH-Werte in 2 Tiefenst)
	NBL	Punkt Fläche	Güllebelastung
	Oranienburg	Punkt Fläche	Projekt Methodenbausteine BIS Brandenburg
	25Testgebiete	Fläche	Stabis-Praxistest (Bodennutzung)
	BRD	Punkt	Länderdaten zu anorg Umweltchemikalien (Transver-faktoren Boden-Pflanze)
	ABL	Punkt	BZE- Begleitstudie
	ABL	Punkt	SM- verteilung in Bodenprof. (Abgr. geogener/anthropogener Gehalte)
	ABL	Punkt Fläche	Projekt Bodenuntersuchungen im Bereich des UBA Meßnetzes (NLfB)
	ABL	Punkt Fläche	Dioxinbel. im Bereich des UBA Meßnetzes (NLfB- Dioxin-DB)
Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgabe	Länder übergr.	Punkt	Schwermetalldaten (UGES)
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	BRD		BZE-Begleitstudie
	BRD		DBG-Führer
	NBL		PRODAT
	kl. Räume		Gutachten Truppenübungsplätze, sonstige Profile
	BRD	Punkt	Musterstücke Bodenschätzung
Statistisches Bundesamt	BRD		STABIS Statistisches Informationssystem zur Bodennutzung
	BRD		CORINE LAND COVER (Daten zur Bodenbedeckung)

ABL = Alte Bundesländer NBL = neue Bundesländer

### **3 Sensitivitätsanalysen von Auswertungsmethoden als methodischer Ansatz zur Konkretisierung der Anforderungen an die Datenqualität**

Die bodenschutzrelevanten Fragestellungen auf Bundes- und EU-Ebene erfordern häufig Aussagen zu Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden (vgl. **Kap. 2**). Diese werden in Bodeninformationssystemen durch Interpretation einer vorhandenen Datenbasis aus pedologischen und Standortdaten erstellt. In der Regel werden hierzu standardisierte und automatisierte Auswertungsmethoden angewendet. Die Qualität der abgeleiteten Kennwerte hängt von den Grundlagendaten, dem angewandten Maßstabsbereich und den Auswertungsalgorithmen ab.

Durch Sensitivitätsanalysen kann der Einfluß der Eingangsparameter und deren Wechselwirkungen auf den jeweiligen Zielkennwert untersucht werden. Daraus kann abgeleitet werden, mit welcher Genauigkeit die Basisdaten in eine Auswertung eingehen müssen, bzw. wie zuverlässig die Aussagen bei ungenauen oder fehlerhaften Eingangswerten sind (vgl. LIEBSCHER 1987).

Im Rahmen der Erstellung eines Realisationskonzeptes für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene dienen Sensitivitätsanalysen zur Ableitung folgender Punkte:

- Aufstellung methodenspezifischer Mindestanforderungen an Umfang und Qualität der Eingangsdaten (Mindestdatensätze) für die Darstellung von Bodenfunktionen auf Bundesebene
- Aufzeigen von Beschränkungen der Einsatzmöglichkeiten von Auswertungsmethoden (z.B. der Maßstabseignung)
- Aufzeigen fachlich zu bevorzugender Auswertungswege (Generalisierung / Aggregation)
- Erstellen von Qualitätsmaßen für die abgeleiteten Daten.

Mit der Anwendung der Sensitivitätsanalyse in Bodeninformationssystemen haben sich in den letzten Jahren z.B. MALESSA & MÜLLER (1994, 1995), SBRESNY (1995) und MALESSA et al. (1997) befaßt. Diese Ansätze wurden im F&E-Vorhaben aufgegriffen

und weiterentwickelt. Es wurden Einfache (ESA)- und Multiparameter-Sensitivitätsanalysen (MPSA) für zwei Beispielmethoden durchgeführt:

- "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (**FSMw**)"
- "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (**PVG**)"

Die Beispielmethoden basieren, wie die meisten in Bodeninformationssystemen verfügbaren Auswertungsmethoden, ganz oder teilweise auf ordinal- und nominalskalierten Eingangsparametern (vgl. AD-HOC-AG BODEN 1994). Für diesen Methodentyp ist die Interpretierbarkeit der bisherigen Ansätze der Sensitivitätsanalyse stark eingeschränkt. Die bislang vorliegenden Beispiele beschränken sich daher überwiegend auf eine qualitativ - deskriptive Kennzeichnung der Parametersensitivität (vgl. MALLESSA 1994, KIESERLING 1996, MALLESSA et al. 1997). Im Rahmen des F&E Vorhabens wurden Kennwerte zur Quantifizierung der Sensitivität ordinalskalierte Parameter entwickelt, die quantitative Vergleiche ermöglichen. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten ist die Verbindung der Sensitivität mit der räumlichen Variabilität der Parameter bei der Darstellung von Bodenmerkmalen in Übersichtskarten.

### 3.1 Einfache Sensitivitätsanalyse (ESA)

Die einfache Sensitivitätsanalyse betrachtet die Ergebnisabweichung zwischen einer Auswertung mit einem Referenzeingabevektor gegenüber der Berechnung bei Änderung eines einzelnen Eingabeparameters (JAKEMAN et al. 1990, RAJAGOPALAN & LAKSHMINARAYANA 1980, PECK et al. 1990, RABINOWITZ & STEINBERG 1991, BOOLTING & BOUMA 1993). Die einfache Form der Sensitivitätsanalyse verläuft i.d.R. nach folgendem Schema (RACHIMOW 1985):

1. Es werden bestimmte Merkmalsausprägungen der Methodeneingangsparameter als Referenzwerte festgelegt.
2. Ein Eingangsparameter wird schrittweise variiert, während alle anderen konstant gehalten werden.

3. Die Änderung des Zielwertes in Abhängigkeit von der Eingangsparameteränderung drückt dessen Sensitivität gegenüber dem untersuchten Parameter aus (Eingangsparametersensitivität).

Die Sensitivität verschiedener Methodeneingangsparameter ist aufgrund ihrer unterschiedlichen Dimensionen und Variationsbereiche nicht unmittelbar vergleichbar. Zur quantitativen Beschreibung ihrer Sensitivität kann ein Sensitivitätskoeffizient und ein Sensitivitätsindex berechnet werden. Voraussetzung dafür ist, daß die untersuchte Methode  $F$  eine Abbildung eines reellen Vektorraumes in die reellen Zahlen ist (das ist der Fall, wenn die Ergebnisse direkt aus den Eingangsparameterausprägungen errechenbar sind).

Der **Sensitivitätskoeffizient**  $SK(x_p, \Delta x_p)$  von  $F$  oder kurz  $SK(x_p)$  wird als Quotient zwischen der relativen Änderung des Zielparameters bei Variation des Eingangsparameters  $x_p$  um  $\Delta x_p$  und der relativen Änderung von  $x_p$  definiert (VILLENEUVE et al. 1988, KABALA & MILLY 1990, 1991, KETTUNEN et al. 1992):

$$SK(x_p, \Delta x_p) = \frac{(F(x_1, \dots, x_p + \Delta x_p, \dots, x_n) - F(x_1, \dots, x_p, \dots, x_n)) / F(x_1, \dots, x_p, \dots, x_n)}{\Delta x_p / x_p} \quad (1)$$

darin sind:

- $x_p$  = Ausgangswert des Methodeneingangsparameters (Referenzwert)  
 $\Delta x_p$  = Änderung des Eingangswertes  
 $F(x_1, \dots, x_p, \dots, x_n)$  = Methodenergebnis bei Referenzeingangswert  $x_1, \dots, x_p, \dots, x_n$   
 $F(x_1, \dots, x_p + \Delta x_p, \dots, x_n)$  = Methodenergebnis bei geändertem Eingangswert  $x_1, \dots, x_p + \Delta x_p, \dots, x_n$

Über  $SK(x_p, \Delta x_p)$  läßt sich die Sensitivität für den Modell-Eingangsparameter  $x_p$  bei Variation um ein festes  $\Delta x_p$  quantifizieren. Hierbei gilt, daß das Modell-Ergebnis von der Variation in  $x_p$  um  $\Delta x_p$  völlig unabhängig ist, wenn  $SK(x_p) = 0$  ist. Mit wachsendem Betrag von  $SK(x_p)$  steigt die Sensitivität. So ist z.B. für  $SK(x_p) = \pm 1$  die relative Ände-

nung des Modellergebnisses gleich groß wie die relative Änderung des Modell-Inputparameters. Für  $SK(x_p) = \pm 2$  bedeutet dies, daß die relative Änderung des Modellergebnisses doppelt so groß ist wie die des Modell-Eingangsparameters. Für alle  $SK(x_p) > 0$  wächst der Wert des Modell-Ergebnisses mit dem Wert des Eingangsparameters. Für alle  $SK(x_p) < 0$  wird der Wert des Ergebnisses mit steigenden Eingangsparameterwerten kleiner.

Betrachtet man die relative Änderung des Ergebnisses als Funktion der relativen Änderung der Eingangsgrößen, so entspricht  $SK(x_p)$  deren erster Ableitung.  $SK(x_p)$  ist also die Steigung dieser Funktion. Besteht eine lineare Abhängigkeit des Methodenergebnisses von der relativen Änderung der Eingangsgröße, so ist die Steigung der Funktion eine Konstante. Bei nichtlinearem Verhältnis ist  $SK(x_p)$  eine Funktion der relativen Änderung der Eingangsparameter. In diesem Fall gibt die zweite Ableitung den Einfluß der Änderung der Eingangsparameter auf die Steigung der Sensitivitätsfunktion wider.

Um die mittlere Auswirkung aller Variationen eines Parameterwertes auf den Zielwert in einem einzigen Term zusammenzufassen, läßt sich der **Sensitivitätsindex SI** definieren :

$$SI(x_p) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SK(x_p, \Delta x_{pi}) \quad (2)$$

dabei entspricht  $\Delta x_{pi}$  der i-ten Variation des Parameters  $x_p$ .

Ist die relative Änderung des Ergebnisses eine lineare Funktion der relativen Änderung der Eingangsgrößen, so sind  $SK(x_p)$  und  $SI(x_p)$  gleich groß.

Zur Interpretation der Sensitivitätskennzahlen werden die Begriffe **”sensitiv”**, **”robust”** und **”proportional”** verwandt. Eine Eingangsgröße wird als sensitiv bezeichnet, wenn sie leicht variiert zu großen Änderungen im Resultat führt; liegen die Abweichungen im Resultat in der Nähe von Null, ist der Input-Parameter robust. Beide Begriffe sind mathematisch nicht scharf abgegrenzt, sondern fließen ineinander über. (vgl. MAUCH &

KELLER 1992). Verhält sich die relative Variation der Eingangsparameter konstant zur relativen Änderung des Ergebnisses, so werden diese Parameter als "proportional" bezeichnet (MALESSA et al. 1996)

### **Sensitivitätskennwerte für Methoden mit ordinalskalierten Eingangsparametern**

Bei Methoden, die auf einer diskreten Zuweisung von Tabellenwerten aufgrund ordinal- oder nominalskalierten Ausprägungen der Eingangsvariablen basieren, sind die formalen Voraussetzungen für die Anwendung der oben beschriebenen Sensitivitätskennzahlen nicht erfüllt. Bei diesen Methoden ändert sich das Methodenergebnis sprunghaft an bestimmten Schwellenwerten der Eingangsparameter, während es zwischen diesen Werten konstant bleibt. Die Ergebnisänderung in Abhängigkeit von der Änderung der Eingangsparameter erfolgt also nicht stetig, sondern in Stufen.

Die Eingangsparametersensitivität wird hier durch die Höhe der Stufen und deren Anzahl bestimmt. Sie läßt sich also durch die sensitive Wirkung der einzelnen Klassenwechsel und die maximal mögliche Ergebnisänderung beschreiben.

Die Sensitivität der einzelnen Klassenwechsel kann für Methoden mit ordinal skalierten Eingangs- und Zielparametern durch das Verhältnis der Ergebnisklassenwechsel zu den Klassenwechseln des Eingangsparameters quantifiziert werden:

Sensitivitätskoeffizient für ordinalskalierte Parameter:

$$SKO(x_p, \Delta x_p) = \frac{\text{Anzahl der Eingangsklassenwechsel}}{\text{Anzahl der Ergebnisklassenwechsel}}$$

$$SKO(x_p, \Delta x_p) = \frac{\Delta K(F(x_p), F(x_p + \Delta x_p))}{\Delta K(x_p, \Delta x_p)} \quad (3)$$

mit:

$\Delta K(x_p, \Delta x_p)$  = Anzahl der Klassenwechsel bei Änderung des Eingangsparameters  $x_p$  um  $\Delta x_p$

$\Delta K(F(x_p), F(x_p + \Delta x_p))$  = Anzahl der Ergebnisklassenwechsel bei Änderung von  $x_p$  um  $\Delta x_p$

$SKO(x_p, \Delta x_p)$  kann also ähnlich wie der Sensitivitätskoeffizient für metrische Eingangsvariablen ( $SK(x_p)$ ) interpretiert werden. Der Kennwert ermöglicht den Vergleich der Sensitivität der Klassenwechsel unterschiedlicher Eingangsparameter einer Auswertungsmethode.

$SKO(x_p, \Delta x_p)$  wird +/-1, wenn jeder Klassenwechsel des Eingangsparameters zu einer Ergebnisänderung um genau eine Ergebnisklasse führt (proportionale Klassenwechsel). Werden mehrere Eingangsklassen zu einer Ergebnisklasse zusammengefaßt (oder werden Zuschläge bzw. Abschläge <1 erteilt), nimmt der Kennwert Werte zwischen 0 und +/-1 an. Werden hingegen bei der Zuordnung der Ergebniswerte Klassen übersprungen oder Zuschläge >1 erteilt, nimmt  $SKO(x_p, \Delta x_p)$  Werte > +/-1 an. Besteht kein Zusammenhang zwischen der Änderung des Eingangsparameters und der Änderung des Ergebnisses, so wird  $SKO(x_p, \Delta x_p)$  Null.

$SKO(x_p, \Delta x_p)$  kann für Methoden angewendet werden, deren Eingangs- und Zielparameter aus geordneten (ordinalskalierten), diskreten, endlichen Mengen stammen. Der

Zusammenhang zwischen Eingangs- und Zielparameter muß im betrachteten Abschnitt monoton sein.

Der relative Gesamteinfluß einer Änderung des Eingangsparameters auf den Zielwert ergibt sich, wenn man die Zahl der Klassenwechsel von Eingangs- und Zielwert jeweils ins Verhältnis zur maximal möglichen Anzahl der Klassenwechsel setzt:

$$SKOG(x_p, \Delta x_p) = \text{Anzahl} \frac{\text{Ergebnisklassenwechsel} / \text{Max. Klassenwechsel}}{\text{Eingangsklassenwechsel} / \text{Max. Klassenwechsel}}$$

$$SKOG(x_p, \Delta x_p) = \frac{\Delta K(F(x_p), F(x_p + \Delta x_p)) / \Delta K_{\max}(F(x_p))}{\Delta K(x_p, \Delta x_p) / \Delta K_{\max}(x_p)} \quad (4)$$

mit:

$\Delta K_{\max}(x_p)$  = Anzahl der Klassen des Eingangsparameters  $x_p$  - 1

$\Delta K_{\max}(F(x_p))$  = Anzahl der möglichen Ergebnisklassen - 1

$SKOG(x_p, \Delta x_p)$  nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Der Kennwert bezeichnet die maximale relative Spanne der Ergebnisänderung durch einen Parameter unter Referenzbedingungen. Je näher der Wert an 1 liegt, desto größer ist der relative Einfluß des Parameters.

Bei Eingangsparametern die über ihren gesamten Variationsbereich konstante Klassenbreiten aufweisen (z.B. klassierte pH-Werte), kann durch Multiplikation der Anzahl der Eingangsklassenwechsel mit der Klassenbreite (B) ein unmittelbarer Bezug zur Größenordnung des Parameters hergestellt werden. Auf diese Weise ist es dann möglich, Aussagen über die Sensitivität des Eingangsparameters zu machen, die nur noch wenig hinter den Möglichkeiten für metrisch skalierte Eingangsparameter zurückbleiben:

$$SKOP(x_p, \Delta x_p) = \frac{\text{Anzahl der Ergebnisklassenwechsel}}{\text{Anzahl der Eingangsklassenwechsel} * \text{Klassenbreite}}$$

$$SKOP(x_p, \Delta x_p) = \frac{\Delta K(F(x_p), F(x_p + \Delta x_p))}{\Delta K(x_p, \Delta x_p) * B} \quad (5)$$

$SKOP(x_p, \Delta x_p)$  entspricht der durchschnittlichen Steigung einer angenommenen stetigen Sensitivitätsfunktion des Eingangsparameters zwischen zwei diskreten Werten.

### 3.2 Multiparameter Sensitivitätsanalyse (MPSA)

In der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse werden alle Methodeneingangsparameter simultan variiert. Im Unterschied zur einfachen Sensitivitätsanalyse können hierdurch die Wechselwirkungen der Variation verschiedener Eingangsparameter abgeschätzt werden.

Die Multiparameter-Sensitivitätsanalyse ist wie die einfache Sensitivitätsanalyse grundsätzlich für alle Methodentypen anwendbar. Allerdings müssen bei der MPSA strengere Bedingungen erfüllt sein, um interpretierbare Ergebnisse zu erlangen:

- Die untersuchten Parameterausprägungen müssen innerhalb des natürlichen Variationsbereiches des Parameters liegen.
- Die Level der Eingangsparameter müssen untereinander vergleichbar sein.
- Es muß innerhalb des Variationsbereiches ein monotoner Zusammenhang zwischen Parametervariation und Ergebnisänderung bestehen.
- Die Eingangsparameter müssen unabhängig voneinander variiert werden können.

Eine einfache Möglichkeit zur Durchführung der MPSA stellt das "two level factorial design" nach BOX et al. (1978) dar (vgl. MALESSA et al. 1997). Der Ansatz wurde ur-

sprünglich zur Gestaltung eines einfachen experimentellen Versuchsaufbaus konzipiert. Er ermöglicht die Untersuchung des Einflusses der Variation unterschiedlicher Versuchsparameter und ihrer Wechselwirkungen auf eine beobachtete Größe (z.B. die Wuchsleistung von Pflanzen in Abhängigkeit von verschiedenen Milieuparametern (siehe BOX et al. 1978 S. 306 f))

Für jeden Parameter werden zwei Ausprägungen festgelegt (two levels (+/-)). Der Versuch wird dann mit allen möglichen Faktorenkombinationen ( $2^n$ ) durchgeführt. Anhand der unterschiedlichen Ergebnisse der Varianten lassen sich Aussagen über die Auswirkung der Variation der einzelnen Untersuchungsparameter auf das Ergebnis und deren Wechselwirkungen ableiten. Bei der Anwendung für experimentelle Versuche können so kausale Zusammenhänge zwischen einzelnen und mehreren Untersuchungsparametern mit der Ergebnisgröße aufgezeigt werden.

Bei der Anwendung dieses Untersuchungsansatzes zur Analyse von Auswertungsmethoden in Bodeninformationssystemen sind nur Aussagen über formale Aspekte des Methodenablaufs möglich. Im übrigen erlangen die Anwendungsvoraussetzungen (s.o.) eine besondere Wichtigkeit, da unplausible Kombinationen der Eingangsparameter jederzeit berechnet werden können (anders als im Experiment, wo bestimmte Kombinationen praktisch nicht herstellbar sind). Problematisch ist dabei vor allem die geforderte unabhängige Variierbarkeit der Eingangsparameter, da pedologische Parameter häufig mehr oder weniger stark untereinander korrelieren, so daß diese Bedingung i.d.R. nicht oder nur teilweise erfüllt werden kann.

Bei einem einfachen Beispiel mit 3 Parametern und jeweils 2 Ausprägungen ergeben sich für die Multiparametersensitivitätsanalyse  $2^3 = 8$  Möglichkeiten der Parameterkombination. Codiert man die jeweiligen Merkmalsausprägungen mit "+" und "-", ergibt sich die in **Tab. 3.1** dargestellte Matrix.

**Tab. 3.1.: Matrix für eine 2<sup>3</sup> faktorielle Sensitivitätsanalyse**

Lauf Nr.	Lauf $y_i$	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Ergebnis
1	$y_1$	-	-	-	$E_1$
2	$y_2$	+	-	-	$E_2$
3	$y_3$	-	+	-	$E_3$
4	$y_4$	+	+	-	$E_4$
5	$y_5$	-	-	+	$E_5$
6	$y_6$	+	-	+	$E_6$
7	$y_7$	-	+	+	$E_7$
8	$y_8$	+	+	+	$E_8$

Anhand der möglichen Parameterkonstellation lassen sich dann in acht Modellläufen ( $y_1 - y_8$ ) acht Ergebnisse ( $E_1 - E_8$ ) errechnen. Die  $\pm$  Notation verdeutlicht die geometrische Struktur des Ansatzes (vgl. BOX et al. 1978).

### 3.2.1 Kalkulation von Sensitivitätseffekten

#### Haupteffekte

Der Haupteffekt eines Parameters mißt dessen durchschnittlichen Effekt über alle Zustandsformen der übrigen Variablen. Dieser ergibt sich als Differenz aus dem durchschnittlichen Ergebnis für den +Level und dem durchschnittlichen Ergebnis für den -Level einer Variablen, gemittelt über alle Variationsmöglichkeiten der übrigen Parameter:

$$\text{Haupteffekt} = \bar{Y}_+ - \bar{Y}_- \quad (6)$$

### Interaktionseffekte zweier Faktoren

Zur Quantifizierung der Interaktion zweier Parameter wird die Differenz zwischen dem durchschnittlichen Effekt eines Parameters auf dem + und - Level des anderen Parameters berechnet. Die Hälfte dieser Differenz beschreibt den Interaktionseffekt zwischen beiden Parametern. Aufgrund der Auswertungssymmetrie ist diese Berechnung in beiden Richtungen ausführbar. Die Interaktionen der Parameter in der Beispielmatrix (siehe Tab 3.1) können demnach wie folgt berechnet werden:

$$P_1 \times P_3 \text{ Interaktion} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} (y_6 - y_5 + y_8 - y_7) - \frac{1}{2} (y_2 - y_1 + y_4 - y_3) \right) \quad (7)$$

Alternativ ist auch folgende Schreibweise möglich:

$$P_1 \times P_3 \text{ Interaktion} = \frac{y_1 + y_3 + y_6 + y_8}{4} - \frac{y_2 + y_4 + y_5 + y_7}{4} \quad (8)$$

Die Interaktionen aller übrigen Parameterkonstellationen können analog ermittelt werden.

### Interaktionseffekte dreier Faktoren

Zur Bestimmung des Interaktionseffekts aller drei Faktoren wird die Differenz zweier Zwei-Faktor-Interaktionen an beiden Levels des dritten Faktors genutzt:

$$P_1 \times P_2 \text{ Interaktion mit } P_3 + \text{Level} = \frac{(y_8 - y_7) - (y_6 + y_5)}{2} \quad (9)$$

$$P_1 \times P_2 \text{ Interaktion mit } P_3 - \text{Level} = \frac{(y_4 - y_3) - (y_2 + y_1)}{2} \quad (10)$$

Die Differenz stellt die Konsequenz der  $P_1 \times P_2$  Interaktion für beide Levels des  $P_3$  dar. Die Hälfte dieser Differenz wird als Drei-Faktor-Interaktion ( $P_1 \times P_2 \times P_3$ ) definiert.

Analog zu den Interaktionseffekten zweier Faktoren läßt sich die  $P_1 \times P_2 \times P_3$  Interaktion auch wie folgt beschreiben:

$$P_1 \times P_2 \times P_3 \text{ Interaktion} = \frac{y_2 + y_3 + y_5 + y_8}{4} - \frac{y_1 + y_4 + y_6 + y_7}{4} \quad (11)$$

### 3.2.2 Interpretation der Sensitivitätseffekte in der MPSA

Die Interpretationsmöglichkeiten von Sensitivitätseffekten nach dem two level factorial design im Rahmen der MPSA unterscheiden sich grundlegend von denjenigen bei experimentellen oder empirischen Untersuchungen. Die Sensitivitätseffekte können in der MPSA lediglich im Sinne einer formalen Analyse der Auswertungsmethode interpretiert werden. Darüber hinausgehende Schlußfolgerungen sind nicht möglich.

Die Interpretation der Haupteffekte der MPSA ist noch relativ einfach. Sie beschreiben, wie weiter oben bereits ausgeführt wurde, den durchschnittlichen Effekt eines Eingangsparameters über alle definierten Zustände der übrigen Parameter. Sie ergänzen damit die Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse und ermöglichen eine Einschätzung der stark durch die Wahl der Referenzwerte beeinflussten Ergebnisse.

Die Interaktionseffekte dagegen sind nicht so einfach interpretierbar. In dem von Box et. al (1978) als Beispiel verwendeten Versuch zur Ermittlung des Einflusses verschiedener Parameter auf die Wuchsleistung von Pflanzen werden die Interaktionseffekte im Sinne einer gegenseitigen kausalen Beeinflussung der Parameter interpretiert. Der Einfluß der Temperatur ändert sich z.B. in Abhängigkeit vom Katalysatorlevel (ebenda S. 318).

In Übertragung dieses Interpretationsansatzes auf die MPSA erlauben die Interaktionseffekte also Aussagen über die gegenseitige Beeinflussung der Sensitivität zweier Eingangsparemeter in Bezug auf den Zielkennwert der Methode. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn die Parameter in irgendeiner Form direkt miteinander verrechnet oder anderweitig in Beziehung gesetzt werden. Bei den hier angewendeten modular aufgebauten Auswertungsmethoden ist dies überwiegend nicht der Fall. Die Basisparameter gehen in unterschiedliche Teilmodule ein, in denen sie z.T. über mehrere Stufen zu abgeleiteten Kennwerten verarbeitet werden. Interaktionseffekte mit Bezug auf das Methodenendergebnis können daher nur für die Eingangsparemeter des jeweils letzten Bearbeitungsschrittes interpretiert werden. Interaktionseffekte zwischen Basisparametern wirken also nur mittelbar über mehrere Stufen. Sie sind häufig durch mehrere Zwischenergebnisse beeinflusst und spiegeln dementsprechend deren Interaktionen, die Anzahl der Auswertungsschritte und die Sensitivität der Eingangsparemeter wider. Dadurch ergibt sich ein Geflecht scheinbarer, z.T. paradoxer Interaktionseffekte, die den Basisparametern zugerechnet werden, aber weder methodisch, noch inhaltlich sinnvoll interpretierbar sind. So wurde z.B. bei der Methode zur Abschätzung der potentiellen Versauerungsgefährdung ein hoher Interaktionseffekt zwischen der Zahl der Nebeltage und dem Ausgangsgestein der Bodenbildung ausgewiesen, der über drei abgeleitete Kennwerte entsteht.

Die Interpretierbarkeit solcher Effekte reduziert sich letztlich darauf, daß sich eine gleichzeitige Variation relativ sensibler Eingangsparemeter stärker auf das Ergebnis auswirkt, als die gleichzeitige Variation weniger sensibler Parameter. Es ist offenkundig, daß in derartig allgemeinen Aussagen kein besonderer Erkenntnisgewinn liegt. Auf die Ausweisung und Interpretation von Interaktionseffekten der MPSA wurde im Rahmen dieser Arbeit daher verzichtet. Inwieweit sich die hier aufgetretenen Probleme verallgemeinern lassen, kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Es ist aber anzunehmen, daß die gemachten Erfahrungen zumindest auf Auswertungsmethoden desselben Typs (ordinal skaliert, modular aufgebaut) übertragbar sind.

### **3.2.3 Nutzung des two level factorial design zur Bewertung der potentiellen Eignung von Bodenkarten für die Anwendung von Auswertungsmethoden**

Das two level factorial design kann auch zur Ermittlung eines geeigneten Auswertungsmaßstabes zur Darstellung von Bodenfunktionen genutzt werden. Dazu werden die „+“ und „-“-Level der Methodeneingangsparameter aus deren Variabilität innerhalb der Raumeinheiten der zu untersuchenden Bodenkarte abgeleitet. Die Ergebnisse der Methodenläufe mit dieser Matrix ergeben dann die maximale Ergebnisvariation bei bekannter Variabilität der Eingangsparameter. Die Sensitivitätseffekte geben Aufschluß über die Bedeutung der Eingangsparameter unter den konkreten Bedingungen im Untersuchungsgebiet. Im Rahmen des F&E-Vorhabens bietet sich zudem die Möglichkeit, die so ermittelte maximale Ergebnisvariation mit der tatsächlichen Ergebnisvariation innerhalb der Raumeinheiten auf den unterschiedlichen Maßstabsebenen zu vergleichen (siehe **Kap. 4.2.3**).

## **3.3 Sensitivitätsanalyse der Methode „Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)“**

### **3.3.1 Aufbau und Ablauf der Methode FSMw**

Die Methode FSMw ist eine empirisch - deterministische Methode zur relativen Einschätzung der Gefährdung des Grundwassers durch Auswaschung von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum. Durch Verknüpfung ordinal skalierten Boden- und Klimadaten wird eine ebenfalls ordinal skalierte Kenngröße zwischen 1 (= sehr geringe Gefährdung) und 5 (=sehr starke Gefährdung) ermittelt. Die Methode wurde von BLUME & BRÜMMER (1991, vgl. auch DVWK 1988) entwickelt. In überarbeiteter Form ist sie in der Methodendokumentation Bodenkunde (AD-HOC-AG BODEN 1994) dokumentiert.

**Abb. 3.1** zeigt ein Flußdiagramm der Kennwertermittlung. Im Folgenden beziehen sich *kursiv* gedruckte Verweise auf die Methodendokumentation Bodenkunde (ebenda S. 227 - 234) (siehe **Anhang 2**).

Die Methode ist zweistufig aufgebaut. Zunächst wird anhand der Merkmale pH-Wert, Bodenart und Humusgehalt die Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (**FSMt**) ermittelt (*Verknüpfungsregel (VKR) 72*). Dieser Wert wird dann unter Einbeziehung der klimatischen Wasserbilanz und der Grundwasserstufe zum Endergebnis (**FSMw**) verknüpft (*VKR 73*)

Als Basiswert wird anhand des höchsten pH-Wertes im grundwasserfreien Bodenraum die metallspezifische relative Bindungsstärke (**FSM**) bestimmt (*Tab. 72.1*). Substratbedingte Erhöhungen der Bindungsstärke werden durch Zuschläge für höhere Ton- und Humusgehalte berücksichtigt. Dies erfolgt für Ober- und Unterbodeneigenschaften getrennt.

Zuschläge für Oberbodeneigenschaften (0-30 cm Profiltiefe) werden für jedes Metall entsprechend der substratspezifischen Bindungsstärke durch Humus und Ton erteilt (*Tabelle 72.2*). Sie können zwischen 0 und 2.0 betragen (*Tabelle 72.3 / 72.4*). Demgegenüber gehen die Unterbodeneigenschaften stark vereinfacht in die Kennwertermittlung ein. Ohne weitere Randbedingungen erfolgt bei Überschreiten eines bestimmten Ton- bzw. Humusgehaltes in einer 30 cm mächtigen Tiefenstufe im Unterboden ein Zuschlag von 1 (*Tabelle 72.5*). Für Böden, deren Tongehalt in 5 dm Tiefe > 35% beträgt, wird ein Abschlag von 1 vorgenommen. Die FSMt kann zwischen 0 (geringste Bindungsstärke) und 5 (höchste Bindungsstärke) betragen. FSMt-Werte > 5 werden auf 5 abgerundet.

In *VKR 73* wird der allein aus pedologischen Parametern gewonnene metallspezifische Kennwert FSMt anhand der klimatischen Wasserbilanz modifiziert. Über Zusatzbedingungen gehen auch die Bodennutzung und der minimale kf-Wert im Unterboden ein. Im letzten Auswertungsschritt (*Tab. 73.3*) wird durch die Einbeziehung der Grundwasserstufe eine Gewichtung der Bindungsstärke nach der Länge der Filterstrecke vorgenom-

men. Gleichzeitig wird anhand der Matrix eine Umkehrung des Kennwertes vorgenommen (höchste Bindungsstufe = geringste Gefährdung).

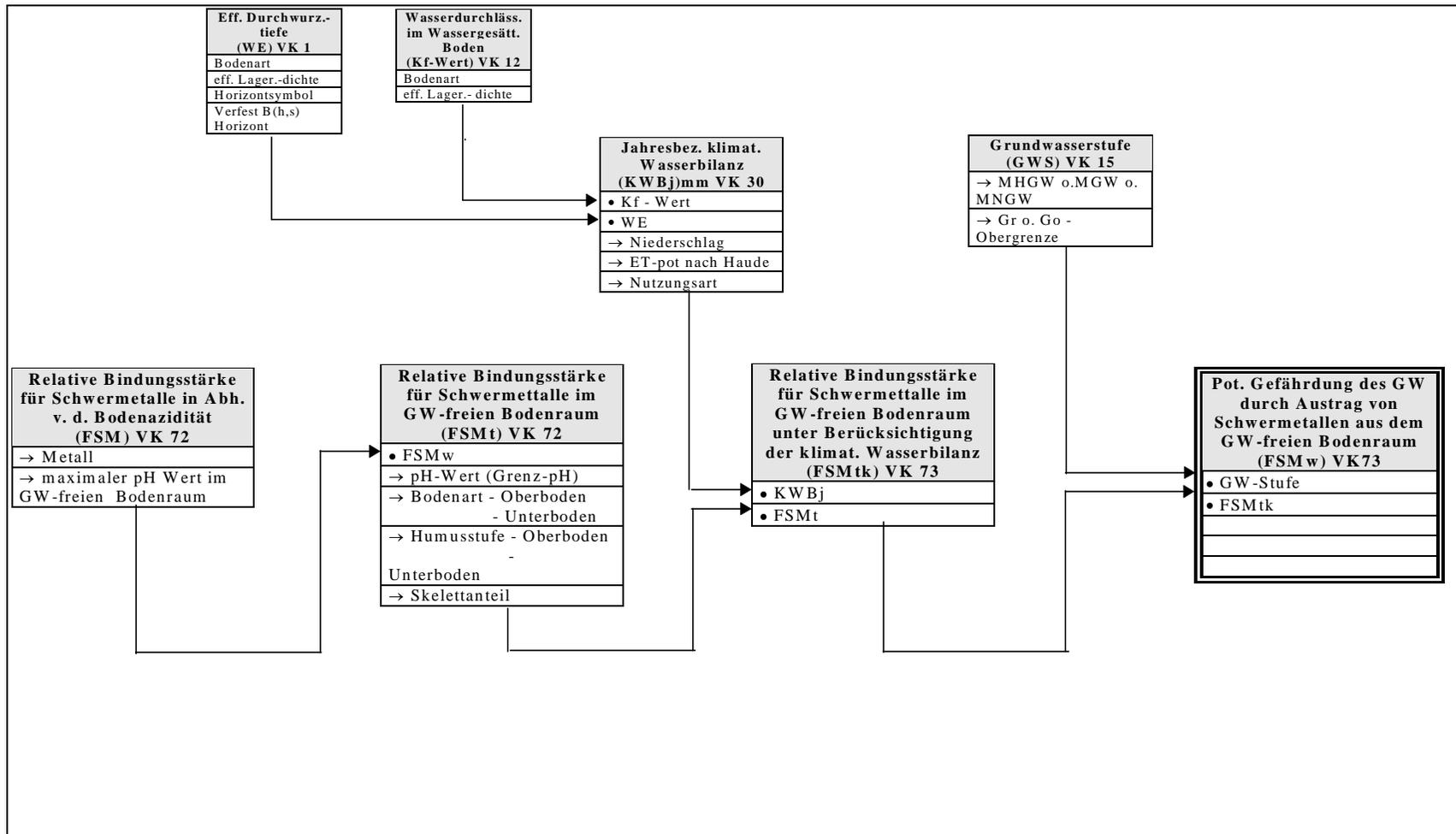


Abb. 3.1: Flußdiagramm der Methode "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)"

### 3.3.2 Einfache Sensitivitätsanalyse

#### 3.3.2.1 Parametrisierung und Rahmenbedingungen

Die einfache Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw wurden an synthetischen Testdatensätzen durchgeführt, in denen die folgenden Parameter variiert wurden: pH-Wert, Bodenart, Humusstufe, klimatische Wasserbilanz, Nutzung und Grundwasserstufe. **Tab. 3.2** zeigt die Eckwerte der Variation und die Referenzwerte der Methodeneingangsparameter für die einfache Sensitivitätsanalyse. Die Begrenzung der möglichen Werte der Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (FSMt) auf maximal 5, sowie die additive Verknüpfung der Parameter kann bewirken, daß durch Summierung mehrerer Zuschläge die Sensitivität einzelner Parameter unterschätzt wird. Um derartige Effekte auszuschließen, werden die Referenzwerte der pedologischen Methodeneingangsparameter im unteren Wertebereich angesetzt. Im letzten Auswertungsschritt, der eine starke Zusammenfassung der Werte im Bereich geringer Bindungsstärke beinhaltet, sind die pedologischen Parameter nicht mehr einzeln identifizierbar. Daher wird bei der Sensitivitätsbetrachtung dieser Parameter nicht allein das Endergebnis (FSMw), sondern auch das Zwischenergebnis (FSMt) betrachtet.

**Tab. 3.2: Variationseckwerte und Referenzwerte für die einfache Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw**

Parameter	Variation Min. - Max.	Referenzwert
Metall	Cd, Cu, Zn, Pb	/
pH Wert	2,5 - 8,0	3,5
Bodenart	17 ausgewählte Bodenarten	mS
Humusstufe	h1 - h6	h1
klimatische Wasserbilanz	< 100mm - > 400mm	> 400mm
Nutzung	Grünland, Acker, Forst	Grünland
Grundwasserstufe	GWS 1 - GWS 6	GWS 6

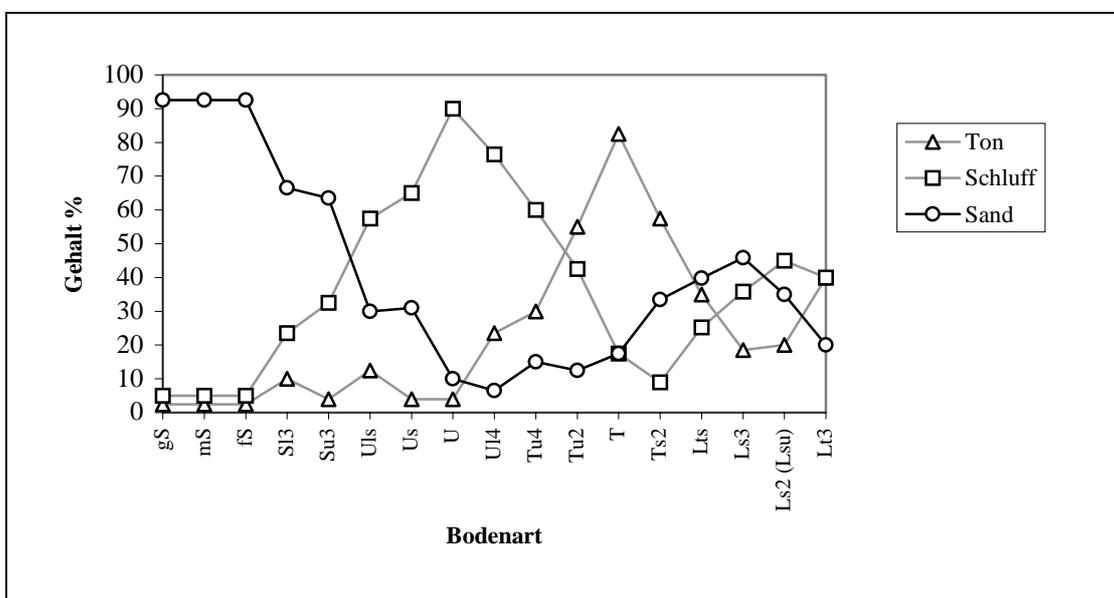
**Metall:** Die Sensitivitätsanalysen werden für die Elemente Cd, Zn, Cu, und Pb durchgeführt. Die Auswahl der Metalle erfolgte aufgrund ihres Mobilitätsverhaltens (relativ mobil (Cd) bis weniger mobil (Pb)).

**pH-Wert:** Die Variation des pH-Wertes erfolgt über den gesamten Anwendungsbereich der Methode von 2,5 bis 8,0 (*Tab. 72.1*). Die Variation wird in 10 Schritten mit einer Schrittweite von jeweils 0,5 durchgeführt. Als Referenz wird ein pH-Wert von 3,5 gesetzt.

**Bodenart:** Die Parametrisierung des Eingangsparameters Bodenart ist aufgrund des nominalen Skalenniveaus und des komplexen Wirkungsgefüges der Körnungszusammensetzung besonders schwierig. Gleichzeitig ist die Bodenart in vielen BIS-Auswertemethoden ein sehr sensibler Parameter. In der vorliegenden Methode beeinflusst die Bodenart drei Module: die Bindungsstärke FSMt (*VKR 72*), die effektive Durchwurzelungstiefe (*VKR 1*) und die Wasserdurchlässigkeit des wassergesättigten Bodens (*VKR 12*). Um einen Überblick über die Wirkung der Bodenart in den Modulen und mögliche bodenartbedingte Wechselwirkungen der Module untereinander zu erlangen, wurden einige Voruntersuchungen durchgeführt. Dazu wurden insgesamt folgende 17 Bodenarten ausgewählt: (gS, mS, fS, Sl3, Su3, Uls, Us, U, Ul4, Tu4, Tu2, T, Ts2, Lts, Ls3, Ls2 (Lsu), Lt3). Diese Bodenarten umfassen in allen Teilmodulen der Methode die maximale Spannweite der bodenartbedingten Variation. Jede der Hauptbodenartengruppen (Sand, Schluff, Ton) weist zudem ein eindeutiges Maximum auf, so daß Zusammenhänge zwischen der Körnungszusammensetzung und Methodenergebnissen leicht erkennbar werden (siehe **Abb. 3.2**).

In den Voruntersuchungen zeigte sich, daß die Bodenart nur durch die Zuschläge zur Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (FSMt) sensitiv wirkt. Dies ermöglichte eine Anhebung des Skalenniveaus der Variablen "Bodenart" über den Tongehalt (der für die Einteilung der Zuschlagsklassen in *Tab. 72. 4* maßgeblich ist) von Nominal- auf Ordinalskalenniveau. Dabei ist allerdings zu

beachten, daß ein monotonen Verhältnis zwischen Tongehalt und substratbedingter Bindungsstärke für Schwermetalle nur im Oberboden gegeben ist. Aufgrund des Abschlages für Tongehalte  $> 35\%$  in 5 dm Tiefe (vgl. **Kap. 2.1**) ergibt sich, bei gleichbleibender Bodenart im Profil, das Maximum der Bindungsstärke bei lehmigen Böden. Die Schichtung der Bodenart im Profil wurde nicht variiert. Als Referenzbodenart wurde mS gesetzt, da für diese Bodenart keine Zuschläge erteilt werden.



**Abb. 3.2.:** Mittlere Ton, Schluff und Sandgehalte der für die Sensitivitätsanalyse ausgewählten Bodenarten

**Humusstufe:** Zuschläge aufgrund eines erhöhten Humusgehaltes werden für den Ober- und Unterboden getrennt erteilt. Im Oberboden werden 4 Klassen unterschieden (h1,2 / h3,4 / h5 / h6). Die Variation der Humusstufe erfolgt entsprechend dieser Einteilung. Im Unterboden wird für die Humusstufen h3-6 ein Zuschlag von 1 erteilt. Die Sensitivitätsberechnungen erfolgten ab Stufe h3,4 im Oberboden jeweils mit und ohne Unterbodenzuschlag (Referenzwert: h2).

**Klimatische Wasserbilanz:** Die KWBj geht nach *VKR 30* als Differenz des Jahresniederschlages und der potentiellen Evapotranspiration ein (*Tab. 73.2*). Sie wird in der Sensitivitätsanalyse zwischen  $< 100$  mm und  $> 400$ mm variiert. Innerhalb der Klassen werden die Werte so gesetzt, daß nutzungsbedingte Modifikationen möglichst zu einer Änderung der Einstufung führen. Als Referenzwert wird KWBj 5+6 ( $> 400$ mm) gesetzt.

**Nutzung:** Entsprechend der Nutzung werden nach *VKR 30* Zu- und Abschläge zur klimatischen Wasserbilanz erteilt. Dabei wird nach Acker, Grünland und Wald unterschieden. An Standorten mit ackerbaulicher Nutzung wird die KWBj außerdem in Abhängigkeit von der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf) im Unterboden modifiziert (*Tab. 73.1*). Unter Grünlandnutzung geht die KWBj unverändert in die weitere Berechnung ein. Daher wird als Nutzungsreferenz der Sensitivitätsanalyse Grünland gesetzt.

**Grundwasserstufe:** Die GW- Stufe kann nach *VKR 15* aus verschiedenen mittleren Grundwasserstandsangaben oder durch die Lage der Go- / Gr -Horizontobergrenze abgeleitet werden. In *Tabelle 73.3* wird zwischen 7 GW-Stufen unterschieden. Die Variation des Parameters erfolgt über alle 7 Stufen. Referenz ist Stufe 6, da in dieser GW-Stufe der FSMw-Wert genau dem gespiegelten und gerundeten FSMt-Wert entspricht.

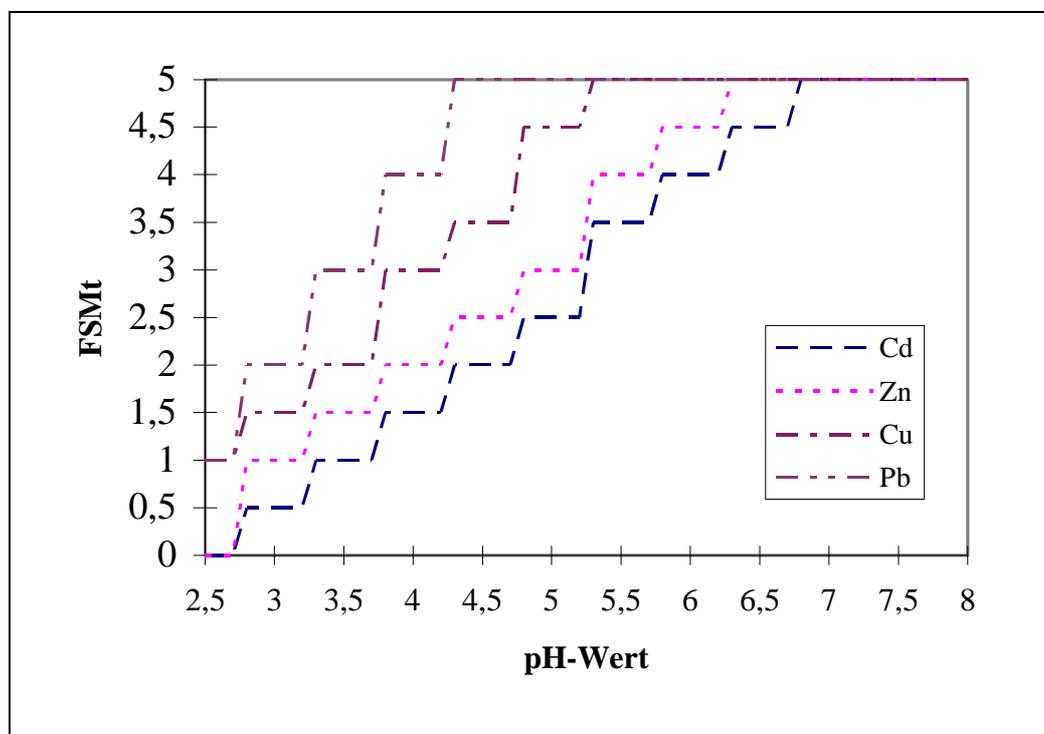
### 3.3.2.2 Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse

#### pH-Wert:

Unter den pedologischen Eingangsparametern, die zur Kennzeichnung der Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (FSMt) herangezogen werden, ist der pH-Wert der mit Abstand sensitivste Parameter. Allein aufgrund der Variation des pH-Wertes kann die Bindungsstärke für Cd und Zn über den gesamten möglichen Wertebereich von 0 - 5 verändert werden. Die Bindungsstärke für die weniger mobilen Elemente

Cu und Pb kann anhand der *Tabelle 72.1* nur zwischen 1 und 5 variiert werden. Auch diese Variation ist allein aufgrund des pH- Wertes möglich (siehe **Abb. 3.3**).

Der pH-Wert ist bei den untersuchten Elementen in unterschiedlichen Wertebereichen sensitiv. (siehe **Tab. 3.3**). Die Untergrenze des sensitiven Bereiches liegt einheitlich bei pH 2,5. Seine obere Grenze liegt bei Cadmium mit 6,8 am höchsten, und bei Blei mit 4,3 am niedrigsten. Ebenso unterscheidet sich die Anzahl der sensitiven pH-Schritte. Die maximale Ergebnisänderung erfolgt bei Cadmium in zehn pH-Stufen von jeweils pH-0,5. Bei Blei hingegen wird sie in nur 5 Schritten gleicher Breite erreicht. Der pH-Wert wirkt demnach elementspezifisch sehr unterschiedlich sensitiv auf die relative Bindungsstärke. Bei Blei ist er in einem sehr eingegengten Wertebereich um den Faktor 2 sensitiver als bei Cadmium. Die Bindungsstärke für Cadmium dagegen reagiert in einer wesentlich weiteren pH-Spanne.



**Abb. 3.3:** Relative Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (FSMt) für Cd, Zn, Cu, Pb in Abhängigkeit vom pH-Wert bei der Bodenart mS und einem Humusgehalt <2% (h1, h2)

**Tab. 3.3: Kennwerte der Sensitivität des pH-Wertes für die Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes (Methode FSMw)**

Metall	Min - Max der Bindungsstärke durch pH	sensitiver pH-Bereich	Zahl der Klassen im sens. pH-Bereich
Cd	0 - 5	2,5 - 6,8	10
Zn	0 - 5	2,5 - 6,3	9
Cu	1 - 5	2,5 - 5,3	7
Pb	1 - 5	2,5 - 4,3	5

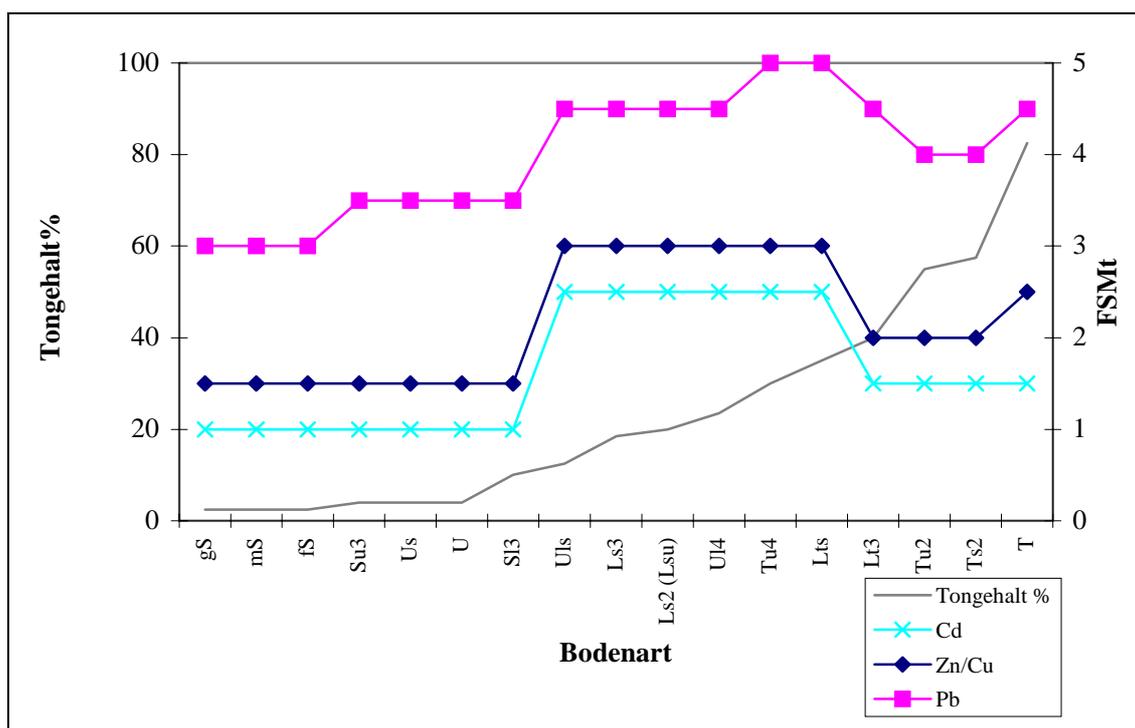
### Bodenart

Der Einfluß der Bodenart auf die Bindungsstärke wird durch Zuschläge auf den pH-bedingten Basiswert ausgedrückt. Die Bodenart ist metallspezifisch unterschiedlich sensitiv. Kriterium für die Gruppierung der Bodenart in 5 Klassen ist der Tongehalt. Während für den Oberboden nach der substratbedingten Bindungsstärke (Tab. 72.2) Zuschläge zwischen 0 und 2 erteilt werden, wird im Unterboden für alle Elemente derselbe Zu- oder Abschlag von +1 oder -1 erteilt. Das führt zu einer unterschiedlichen Gewichtung der Bodenart im Profil. Bei Cadmium ist der Unterbodenzuschlag z.B. doppelt so hoch wie der maximale Oberbodenzuschlag, bei Blei beträgt er dagegen nur 2/3 desselben. Willkürlich gesetzt ist auch die Tiefe von 5 dm für den Abschlag für vertikale Grobporen in stark quellenden und schrumpfenden Böden, der ab einem Tongehalt von 35% vorgenommen wird. Die Zuschläge können sich also, je nach der Variation der Bodenart im Profil, gegenseitig verstärken oder abschwächen. Um solche Effekte auszuschließen, wurde für die Sensitivitätsanalyse die Bodenart in der Tiefe als konstant angenommen. Damit wird der maximale Einfluß der Bodenart erfaßt.

**Tab. 3.4: Bodenartbedingte Zu- und Abschläge zur Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) aufgrund der Bindungsstärke des Tones**

Metall	max. Zuschlag O-Boden	Klassen Oberboden	Grenzen Ton% O-Boden	Zuschlag U-Boden	Grenze Ton% U-Boden	Abschlag 5 dm	Grenze Ton % 5 dm	max. Zuschlag Profil	Klassen pro Profil
Cd	+0,5	2	>12	+1	>12	-1	>35	1,5	2 / 1
Zn	+1	3	>12/>65	+1	>12	-1	>35	2	3 / 1
Cu	+1	3	>12/>65	+1	>12	-1	>35	2	3 / 1
Pb	+1,5	4	>5/>25/>65	+1	>12	-1	>35	2,5	5 / 1

In **Tab. 3.4** sind die metallspezifischen Zuschläge aufgrund der Bodenart zur Bindungsstärke des GW-freien Bodenraumes (FSMt) zusammengestellt. Bezogen auf deren gesamte Variation können sie zwischen 30% für Cadmium und 63% für Blei betragen. Das Maximum der Bindungsstärke liegt aufgrund des Abschlages für Tongehalte > 35% (s.o.) nicht im Bereich der tonigen, sondern bei den lehmig-schluffigen Böden.



**Abb. 3.4:** Änderung der Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) in Abhängigkeit vom mittleren Tongehalt der Bodenarten bei pH 3,5

Ein weiteres wesentliches Charakteristikum des Einflusses der Bodenart auf die Bindungsstärke sind ausgeprägte Sensitivitätssprünge, die bei nur geringer Änderung des Tongehaltes beim Übergang von einer Bodenart zur anderen, zu starken Änderungen des Ergebnisses führen können. Die Auswirkungen solcher Sprünge sind aus **Abb. 3.4** ersichtlich. Eine besonders sensitive Grenze liegt bei einem Tongehalt von ca. 12%, ab dem der Unterbodenzuschlag wirksam wird. Dieser addiert sich zum Oberbodenzuschlag, so daß z.B. bei Cadmium die gesamte bodenartbedingte Änderung der Bin-

ungsstärke von 1,5 in einem einzigen Schritt erfolgt. Je nach der übrigen Parameterkonstellation ist es möglich, daß sich dieser Einfluß beim Übergang zum FSMw-Wert aufgrund der Rundung auf 2 erhöht.

### Humusgehalt

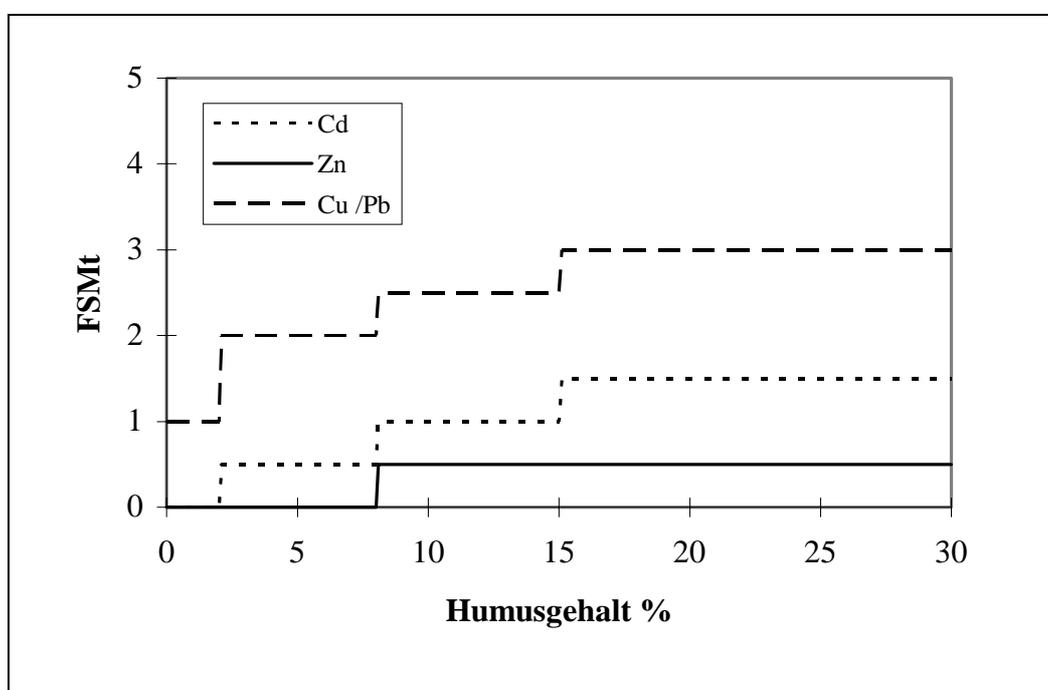
Der Humusgehalt geht im wesentlichen nach demselben Prinzip wie die Bodenart durch Ober- und Unterbodenzuschläge in die Berechnung der FSMt ein. Die Spanne der möglichen Zuschläge für den Oberboden beträgt ebenfalls 0,5 - 2,0. Die Zuschläge werden elementspezifisch in 4 Klassen erteilt. Für humose Auflagehorizonte gilt Humusstufe 6 (>15% Humusanteil). Bei Of-Horizonten werden die humusbedingten Zuschläge vermindert. **Tab. 3.5** zeigt die Sensitivität des Humusgehaltes.

**Tab. 3.5: Humusbedingte Zu- und Abschläge zur Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum bei Variation des Humusgehaltes von <2% (h1/h2) bis >15% (h6)**

Metall	max. Zuschlag O-Boden	Klassen Oberboden	Grenzen Humus% O-Boden	Zuschlag U-Boden	Grenze Humus% U-Boden	max. Zuschlag Profil	Klassen pro Profil
Cd	+1,5	4	>2/>8/>15	+1	>2	2,5	4 / 1
Zn	+0,5	2	>8	+1	>2	1,5	2 / 1
Cu	+2	4	>2/>8/>15	+1	>2	3,0	4 / 1
Pb	+2	4	>2/>8/>15	+1	>2	3,0	4 / 1

Die maximal möglichen Zuschläge, die aufgrund des Humusgehaltes erteilt werden, liegen im Mittel deutlich über denen der Bodenart. Für eine realistische Einschätzung der tatsächlichen Bedeutung dieses Parameters sind allerdings einige Rahmenbedingungen zu beachten. Der maximale Zuschlag setzt sich aus dem Ober- und Unterbodenzuschlag zusammen. Der Humusgehalt der Böden nimmt in der Regel mit der Tiefe deutlich ab. Daher ist zu erwarten, daß ein Zuschlag aufgrund hoher Humusgehalte im Unterboden nur selten erteilt wird. Aus diesem Grunde wurde die Sensitivitätsanalyse des

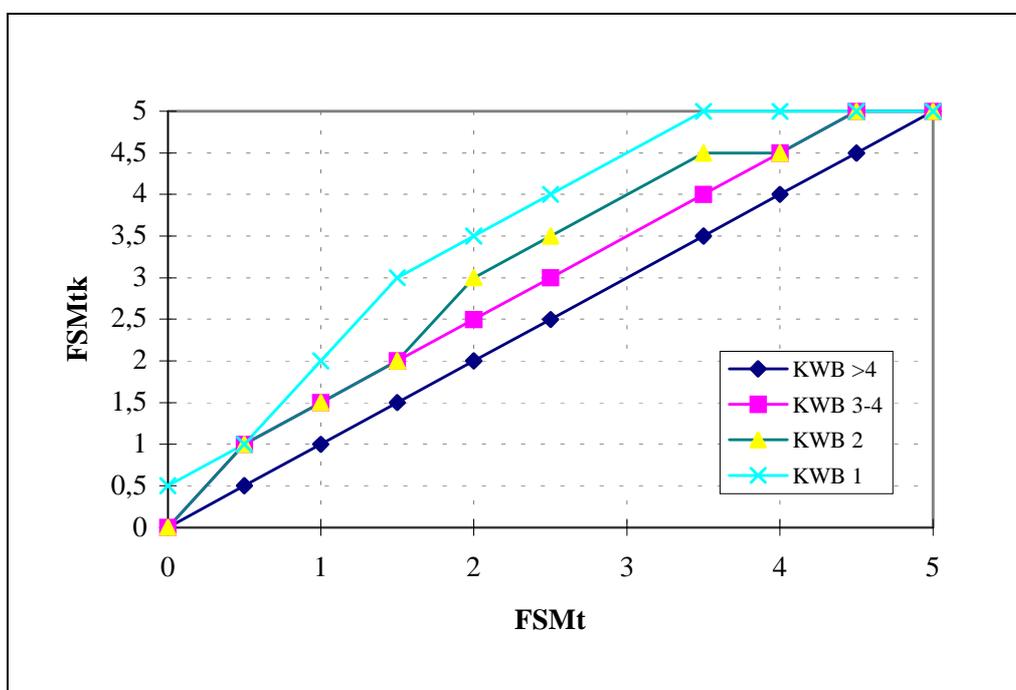
Humusgehaltes ohne Humuszuschlag im Unterboden durchgeführt (mögliche Ausnahmen, wie Bh-Horizonte von Podsolen, fossile Böden oder organogene Ausgangssubstrate wurden bewußt außer Acht gelassen). Unter dieser Annahme liegen die maximal möglichen Zuschläge zwischen 0,5 für Zink und 2,0 für Kupfer und Blei. Sie können also 10% bis 40% der Gesamtvariation der FSMt verursachen (siehe **Abb. 3.5**). Bei Einbeziehung des Humusgehaltes im Unterboden kann der Einfluß des Humusgehaltes auf 30% bis 60% steigen.



**Abb. 3.5:** Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes für Cd, Zn, Cu, Pb (FSMt) in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Oberbodens bei pH 2,5 und der Bodenart mS

### Klimatische Wasserbilanz / Nutzung

Aufgrund der Klimatischen Wasserbilanz (KWBj) werden Zuschläge zur Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes für Schwermetalle (FSMt) zwischen 0 und 1,5 erteilt (siehe **Abb. 3.6**, *Tab. 73.2*). Die KWBj wird nutzungsdifferenziert nach *VKR 30* ermittelt. Bezogen auf Grünland wird der Einfluß der KWBj unter Forst verstärkt und unter Acker abgeschwächt. Unter Ackernutzung geht außerdem der minimale kf-Wert des Unterbodens in die Berechnung der KWBj ein.

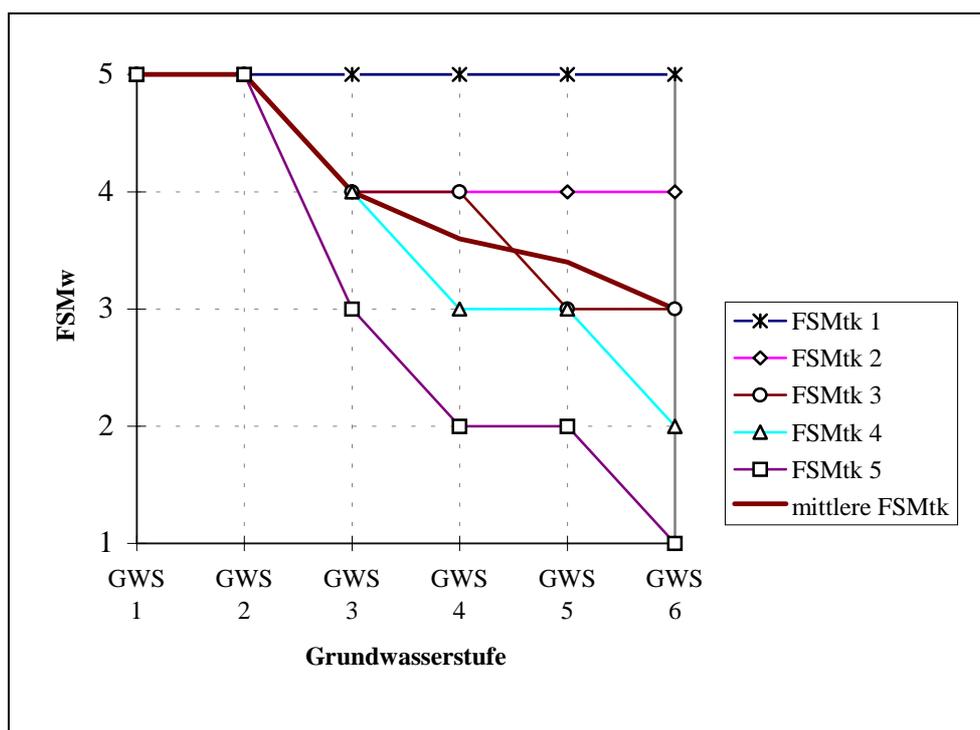


**Abb. 3.6:** Änderung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) unter Berücksichtigung der klimatischen Wasserbilanz (FSMtk)

### Grundwasserstufe

Die Grundwasserstufe (GWS) ist der bedeutendste Parameter der Methode FSMw. Sie ist neben dem pH-Wert der einzige Parameter, der eine Variation des Methodenergebnisses über dessen gesamten Wertebereich bewirken kann. Aufgrund der GWS erfolgt

eine Gewichtung der pedologischen und klimatischen Faktoren (FSMtk) entsprechend der Länge der Filterstrecke. Bei einem mittleren Grundwasser-Flurabstand  $> 2$  m (GWS 6) wird der potentielle Gefährdungsgrad des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen allein durch die pedologischen und klimatischen Faktoren bestimmt. Das Methodenergebnis FSMw kann in diesem Fall entsprechend der pedologisch/klimatischen Parameterkonstellation zwischen 1 und 5 variieren. Mit der Abnahme des Grundwasserflurabstandes verringert sich bei abnehmender Filterstrecke der Einfluß der Bindungsstärke des grundwasserfreien Bodenraumes. Ab einem mittleren Grundwasserstand von  $\leq 4$  dm (GW-Stufe 1&2) gilt grundsätzlich der höchste Gefährdungsgrad. **Abb. 3.7** zeigt die Abhängigkeit des FSMw Wertes von der GWS für Böden mit unterschiedlicher Bindungsstärke (FSMtk).



**Abb. 3.7:** Der Einfluß der Grundwasserstufe (GWS) auf die potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw) bei unterschiedlicher Bindungsstärke im grundwasserfreien Bodenraum (FSMtk)

### 3.3.2.3 Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter

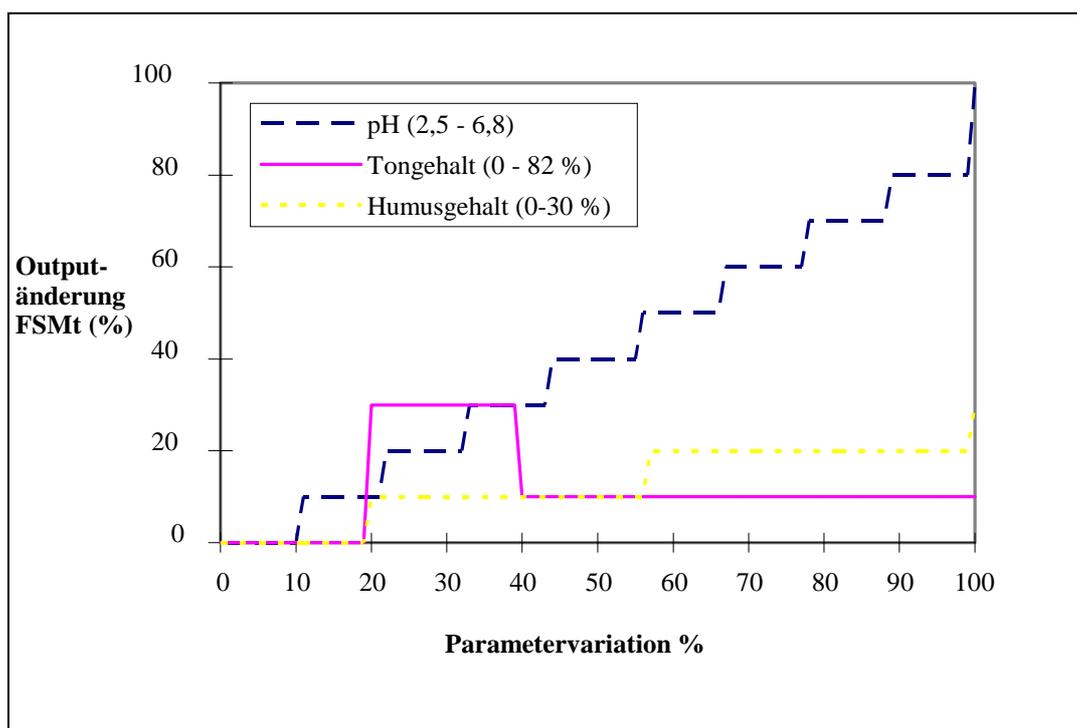
In **Tab 3.6** sind die Sensitivitätskennwerte der relevanten Methodeneingangsparameter zusammengestellt (vgl. **Kap. 3.3.2.2**). Die Parameter, die zu einer Änderung der KWBj führen (Nutzung, kf-Wert), sind wegen ihrer geringen Sensitivität nicht gesondert aufgeführt.

Der SKO  $(x_p, \Delta x_p)$ -Wert zeigt die Sensitivität der einzelnen Klassenwechsel. Deutlich erkennbar ist die unterschiedliche Sensitivität der pH-Wert-Klassenwechsel, die in der Reihenfolge  $Cd < Zn < Cu < Pb$  ansteigt. Weiterhin zeigt sich, daß die Klassenwechsel aufgrund der Bodenart und des Humusgehaltes im Unterboden besonders sensitiv sind. Dies ergibt sich aus dem Umstand, daß die Zuschläge für Unterbodeneigenschaften in nur einem einzigen Schritt erfolgen. Im Vergleich mit der relativ geringen Gesamtbedeutung dieser Parameter (vgl.  $SKOG(x_p, \Delta x_p)$ -Wert) wird hier ein Mißverhältnis in der Gewichtung der Klassenwechsel deutlich.

**Tab. 3.6: Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter (SKO( $x_p$ ,  $\Delta x_p$ )) der Methode "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)"**

Parameter	Element	$\Delta K$ ( $x_p$ )	$\Delta K$ ( $F(x_p)$ )	SKO ( $x_p, \Delta x_p$ )	SKOG ( $x_p, \Delta x_p$ )	SKOP ( $x_p, \Delta x_p$ )
pH	Cd	10	5	0,55	1,0	1,1
	Zn	9	5	0,63	1,0	1,25
	Cu	7	4	0,66	0,8	1,33
	Pb	5	4	1,0	0,8	2,0
Bodenart	Cd	2	0,5	0,5	0,1	
	-Oberboden	Zn	3	1,0	0,5	0,2
	Cu	3	1,0	0,5	0,2	
	Pb	4	1,5	0,5	0,3	
-Unterboden	Cd, Zn, Cu, Pb	2	1,0	1,0	0,2	
Tongehalt 5dm	Cd, Zn, Cu, Pb	2	-1,0	-1,0	-0,2	
Humusgehalt	Cd	4	1,5	0,5	0,3	
	-Oberboden	Zn	2	0,5	0,5	0,1
	Cu	4	2,0	0,66	0,4	
	Pb	4	2,0	0,66	0,4	
-Unterboden	Cd, Zn, Cu, Pb	2	1,0	1,0	0,2	
KWBj		4	1,5	0,5	0,3	
GWS		5	5	1,0	1,0	
FSMtk		5	5	1,0	1,0	

**Abb. 3.8** zeigt den Einfluß der pedologischen und klimatischen Parameter auf die FSMtk für Cadmium im Verhältnis zur relativen Änderung ihrer Ausgangswerte. Entsprechend der gesetzten Referenzbedingungen sind die Zuschläge aufgrund der Bodenart über das gesamte Profil zusammengefaßt dargestellt. Die Überlagerung der Ober- und Unterbodenzuschläge verstärkt in diesem Fall den Sensitivitätssprung zusätzlich, so daß hier eine geringfügige Änderung des Tongehaltes zu einer überproportionalen Änderung der Bindungsstärke führen kann. Im Verhältnis zur Sensitivität der pH-Klassenwechsel ist ein Wechsel der Bodenart in diesem Falle drei mal sensitiver und entspricht somit einem pH-Sprung um pH 1,5.



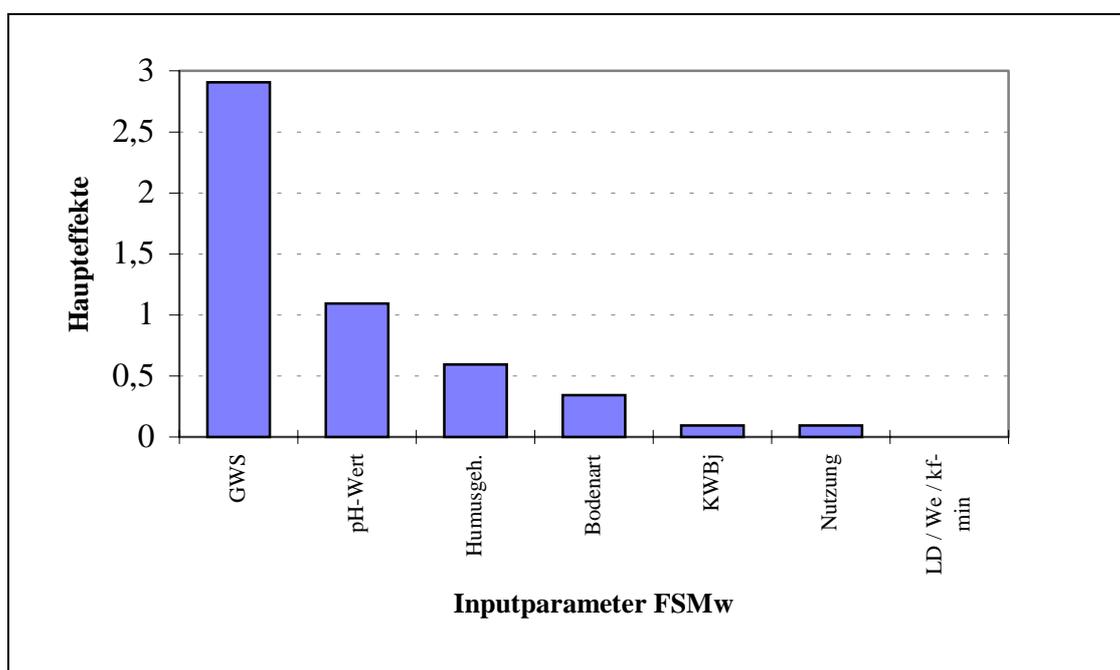
**Abb. 3.8:** Relative Änderung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) für Cadmium (%) bei Variation verschiedener Eingangsparameter in ihrem sensitiven Variationsbereich (%)

### 3.3.3 Multiparameter-Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw

Der in **Kapitel 3.1.1** beschriebene Ansatz der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse (MPSA) ist aufgrund des Skalenniveaus der Eingangsparameter nur mit eingeschränkter Interpretierbarkeit anwendbar.

Die Untersuchungslevel für die multiple Sensitivitätsanalyse können nur auf die absoluten Minima und Maxima der Eingangsparameter gesetzt werden, da es durch die auftretenden Sensitivitätssprünge nicht möglich ist andere, vergleichbare Level festzulegen. Durch diese Festlegung wird das Ergebnis stark beeinflusst.

Eine wesentliche Anwendungsvoraussetzung für die multiple Sensitivitätsanalyse ist ein monotonen Verhältnis der Eingangsparameter zum Ergebniswert. Bezogen auf den Tongehalt, ist dies bei der Bodenart nicht der Fall. Als Maximum-Level wird dementsprechend nicht die Bodenart mit dem höchsten Tongehalt (T) gesetzt, sondern "Slu", da bei dieser Bodenart die maximalen Zuschläge wirksam werden.



**Abb. 3.9: Haupteffekte der Inputparametersensitivität der Methode FSMw für Cadmium**

**Abb. 3.9** zeigt die Haupteffekte der multiplen Sensitivitätsanalyse für Cadmium. Das Ergebnis ist prinzipiell auf andere Elemente übertragbar. Änderungen ergeben sich lediglich in der Sensitivität der Bodenart und des Humusgehaltes, die sich elementspezifisch unterscheiden.

Das Ergebnis der Analyse zeigt die überragende Bedeutung der Grundwasserstufe (GWS) für die Ermittlung der FSMw. Der Haupteffekt der GWS ist mehr als doppelt so hoch wie der des pH-Wertes. Hier unterscheidet sich das Ergebnis der MPSA von dem

der ESA, das wesentlich durch die Festlegung der Referenzwerte geprägt ist. Es verdeutlicht die Abhängigkeit der Sensitivität der übrigen Parameter von der GWS. Bei niedriger Grundwasserstufe wird das Ergebnis durch Variation des pH-Wertes nicht verändert, während er bei hoher GWS hochsensitiv auf das Ergebnis wirkt (vgl. **Abb. 3.7**). Die Haupteffekte der übrigen Eingangsparameter treten demgegenüber deutlich in den Hintergrund. Die Summe der Haupteffekte dieser Eingangsparameter liegt mit 2,2 noch immer deutlich unter der Sensitivität der GWS. Die Sensitivität der klimatischen Wasserbilanz (KWBj) und der Nutzung sind vernachlässigbar gering. Die effektive Durchwurzelungstiefe (WE) und der kf-Wert erweisen sich als absolut robust gegenüber der FSMw.

### **3.3.4 Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw**

Sowohl nach ihrer Gesamtbedeutung als auch nach der Sensitivität der einzelnen Klassenwechsel ist die Grundwasserstufe (GWS) der sensitivste Eingangsparameter zur Bestimmung der Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum mit der Methode FSMw.

Die Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum (FSMt) wird als Zwischenergebnis aufgrund pedodologischer Eingangsparameter ermittelt. Hierunter ist der pH-Wert der bei weitem sensitivste Parameter. Während seine Gesamtwirkung bei allen Elementen nahezu identisch ist, zeigt die Sensitivität der Klassenwechsel starke elementspezifische Unterschiede. Sie ist bei Blei nahezu doppelt so hoch wie bei Cadmium, allerdings in einem eingeschränkten Wertebereich. (vgl. **Kap. 3.3.2.2**)

Die übrigen Eingangsparameter der Methode fallen dagegen in ihrer Bedeutung weit zurück. Bodenart und Humusgehalt modifizieren das Ergebnis in weit geringerem Maße. Ihre Gesamtbedeutung ist elementspezifisch unterschiedlich. Beide Parameter weisen aber eine z.T. sehr hohe Sensitivität der Klassenwechsel auf, die sich besonders im Unterboden auswirkt.

Die klimatische Wasserbilanz (KWBj) ist als gering sensitiv einzustufen. Unter ihr sind eine Reihe weiterer Eingangsparameter subsummiert (kf-Wert, Nutzung, effektive Durchwurzelungstiefe). Sie erweisen sich alle als außerordentlich robust.

Bei der Ableitung von Qualitätsanforderungen für Bodenübersichtskarten sind also die GWS und der pH-Wert von größter Bedeutung. Besonders der pH-Wert ist als problematisch anzusehen. Er ist in der Kulturlandschaft in hohem Maße abhängig von der Nutzung. Der pH-Wert liegt häufig nicht aus Laboranalysen vor, sondern wird als Sekundärmerkmal aus anderen Parametern geschätzt (vgl. **Kap. 3.5.3**). Bei Bodenart und Humusgehalt sollten vor allem die sensitiven Klassenwechsel berücksichtigt werden.

### **3.4 Sensitivitätsanalyse der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung unter Waldböden"(PVG)**

#### **3.4.1 Aufbau und Ablauf der Methode PVG**

Die Methode PVG ist ein einfaches empirisches Bemessungsverfahren zur langfristigen Prognose der Empfindlichkeit des Bodens gegen einen Verlust an basisch wirkenden Kationen. Sie wurde im Rahmen des BMFT-Vorhabens "Hypothesensimulation zum Waldsterben" entwickelt (LENZ 1991) und basiert auf statistischen Analysen von Waldökosystemen in NO-Bayern. Eingangsparameter sind metrisch und ordinal skalierte Boden- und Standortdaten. Das Ergebnis ist eine ordinal/nominal skalierte Kenngröße, die den Grad der Versauerungsgefährdung in Stufen von 0 bis 5 und den Reaktionstyp des Ökosystems angibt (AD-HOC-AG BODEN 1994).

Die Sorptionseigenschaften des Bodens (Basenspeicher: **BS**) und das standortspezifische Protonenbelastungsrisiko (Säureüberschußklassen: **BTS**) werden zunächst auf getrennten Verknüpfungspfaden ermittelt und im letzten Auswertungsschritt zur potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden (**PVG**) zusammengefügt (siehe **Abb. 3.10**).

Zur Ermittlung des Basenspeichers wird zunächst die horizontbezogene Sorptionskapazität (**SORP**; *VKR 19*) durch folgende multiple Regressionsgleichung aus Humus-, Ton- und Schluffgehalt (%) und mit einem pH-Wert-abhängigen Korrekturfaktor berechnet.

$$Sorp = \text{Korrekturfaktor} * (2 * (\text{Humus}) + 0,5 * (\text{Ton}) + 0,15 * (\text{Schluff})) \quad (12)$$

Zur Übertragung der Sorptionskapazität auf das Profil wird der Durchschnittswert aus der minimalen und maximalen SORP mit der effektiven Durchwurzelungstiefe (WE) multipliziert. Dieser Wert wird drei Ergebnisklassen zugeordnet (2-4) (**SORPWUSTU**; *VKR 20*). Um dem Sachverhalt Rechnung zu tragen, daß mit abnehmendem pH-Wert die Basenbelegung durch konkurrierende  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{H}^+$  - Ionen sinkt, wird ein Abschlag um eine Klasse vorgenommen, wenn der über das Profil gemittelte pH-Wert  $< 3,5$  ist. Liegt der mittlere pH-Wert über 4,5, so erfolgt ein Zuschlag um eine Klasse. Der Basenspeicher wird ordinal skaliert in den Stufen 1-5 angegeben. Er kennzeichnet die Basensättigung im effektiven Wurzelraum.

Der zweite Verknüpfungspfad leitet die Säureüberschußklassen aus luftgetragenen Stoffeinträgen (Protonenbelastungsrisiko: **BTS**; *VKR 68*) sowie der Nachlieferung von Mineralstoffen aus dem geologischen Substrat (Silikatverwitterungsrate: **SIVERW**; *VKR 22*) ab. Letztere wird in 4 Silikatverwitterungsklassen nach dem Mineralbestand des Ausgangsgesteins angegeben. Das Protonendepositionsrisiko (**HDEPOS**; *VKR 39*) wird in 5 Klassen aus der Realnutzung (Waldbestandsart), der Exposition des Standortes zur vorherrschenden Windrichtung und der Anzahl der jährlichen Nebeltage ermittelt.

Im letzten Schritt werden die ermittelten Säureüberschußklassen dem Basenspeicher gegenübergestellt. Die Verknüpfung der Kennwerte ergibt die potentielle Versauerungsgefährdung des Standortes (**PVG**). Sie wird ordinal in den Stufen von 0 (sehr geringe Gefährdung) bis 5 (sehr hohe Gefährdung) ausgewiesen. Als zusätzliche Information

wird der Reaktionstyp des Waldökosystems angegeben. Hierbei wird mit zunehmender Basensättigung zwischen "Ratentyp", "Mischtyp" und "Speichertyp" unterschieden.

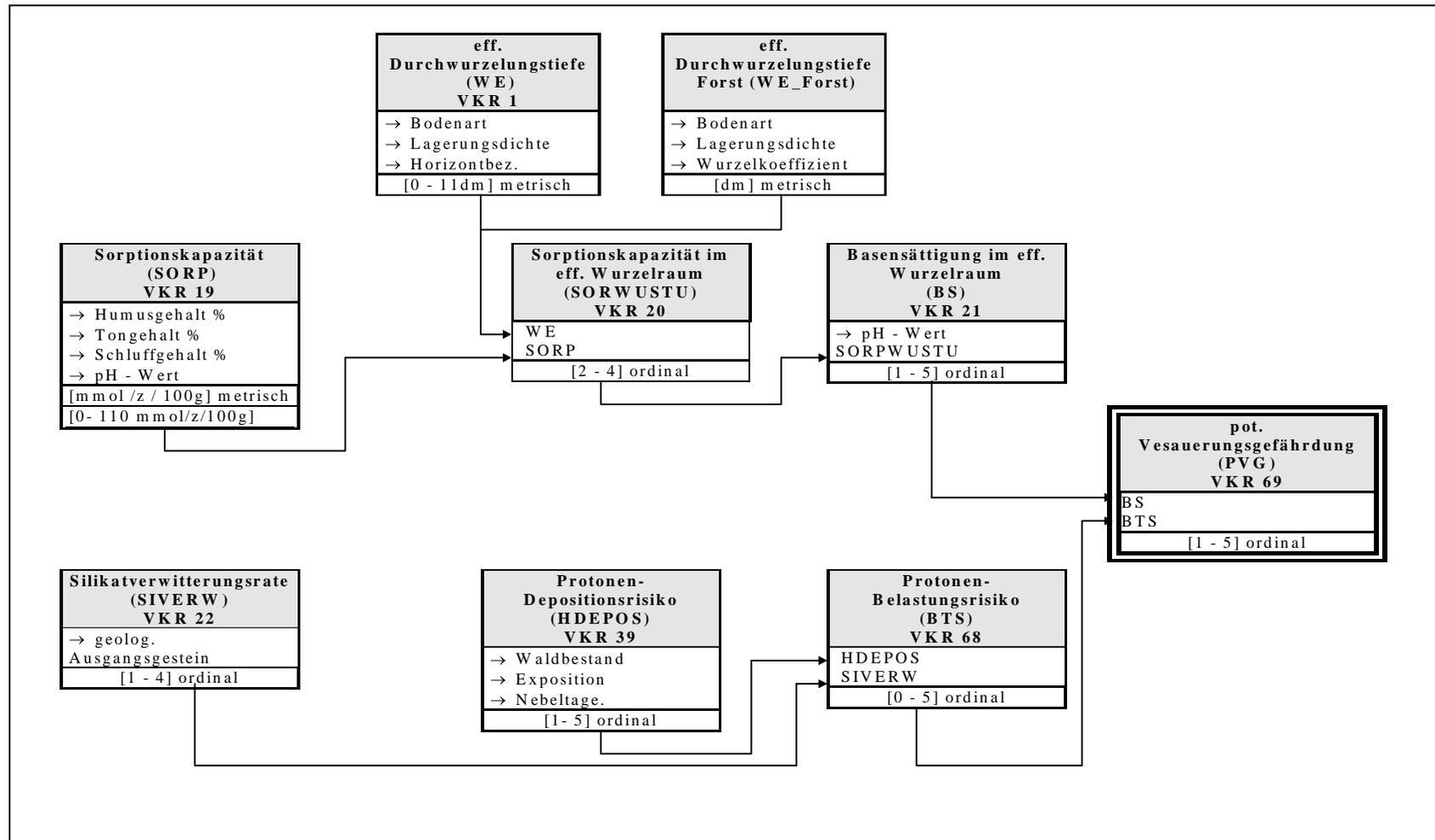


Abb. 3.10: Flußdiagramm der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden"

### 3.4.2 Einfache Sensitivitätsanalyse

#### 3.4.2.1 Parametrisierung und Rahmenbedingungen

Die Eingangsparameter für die einfache Sensitivitätsanalyse werden so gesetzt, daß die natürliche Variationsbreite im wesentlichen abgedeckt wird. Als Referenzprofil wird ein standardisiertes A- B - C - Profil mit jeweils 3 dm mächtigen Horizonten generiert. Die Input Parameter Ton- und Schluffgehalt werden einheitlich über das gesamte Profil variiert, während der Humusgehalt nur im A- Horizont eine Variation erfährt und im B und C Horizont konstant auf Null gesetzt wird. Tab. 3.7 zeigt die Referenzwerte und Variationsbereiche der Eingangsparameter.

**Tab. 3.7: Auswahl der Referenzwerte**

Input Parameter	Variation	Referenzwert	Schrittweite	Variablentyp
Ton %	0 - 90%	10% T	9	metrisch
Schluff %	0 - 90%	10% U	9	metrisch
Humus %	0 - 30%	1%	3	metrisch
pH Wert	2,5; 3,5; 4,5; 5,5 ;6,5; 7	4	-	diskret
eff. Durchwurzelungstiefe (We)	5 - 20 dm	10 dm	5	metrisch
geolog. Ausgangsgestein (= Silikatverwitterungsrate)	1; 2; 3; 4	1	-	diskret
Protonen- Depositionsrisiko	1; 2; 3; 4; 5	5	-	diskret

**Ton- und Schluffgehalt:** Die Variation des Ton- und Schluffgehaltes der Böden kann nicht unabhängig voneinander erfolgen. Die Parameter stehen über das Bodenartendreieck in Beziehung zueinander. Der Tongehalt (%) kann somit maximal

$$100 \% - \text{Referenzwert Schluffgehalt} (\%)$$

betragen und umgekehrt. Gleichzeitig muß bei der Festsetzung der Referenzwerte berücksichtigt werden, daß das Referenzergebnis der Sorptionskapazität  $> 0$  sein muß. Anderenfalls wird bei der Ermittlung der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum das Multiplikationsergebnis mit der effektiven Durchwurzelungstiefe

(WE) 0. Damit wäre für den Parameter WE keine Sensitivität auszuweisen. Die maximalen Ton- und Schluffgehalte können somit nicht in der Variation berücksichtigt werden, da hierfür ein Referenzwert 0 % U (T) erforderlich wäre. Sie werden zwischen 10% und 90% mit einer Schrittweite von 9% variiert.

**Humusgehalt:** Der Referenzwert wird so gewählt, daß der Outputparameter der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum in der Klassenmitte der unteren Klasse liegt. Die Variation erfolgt mit einer Schrittweite von 3.

**pH-Wert:** Der pH-Wert geht ordinalskaliert an zwei Punkten in die Berechnung der potentiellen Versauerungsgefährdung ein (s. **Kap. 3.4.1**). Der Referenz-pH-Wert wurde mit 4,0 so festgelegt, daß in *VKR 21* keine Zu- oder Abschläge erfolgen. Die Variationswerte sind so gesetzt, daß alle pH-bedingten Effekte beider Verknüpfungsregeln erfaßt werden.

**We :** Die effektive Durchwurzelungstiefe (We) kann nach *VKR 1* berechnet werden. Die Verknüpfungsregel ist für Forstflächen jedoch nicht ohne Modifikation anwendbar. Für die Durchführung der Sensitivitätsanalyse wird daher die effektive Durchwurzelungstiefe als Eingabeparameter gesetzt. Die Variation zwischen 5 und 20 dm entspricht einer unter Forst anzutreffenden Spannweite. Als Referenz wird 10 dm gesetzt. Damit ist gewährleistet, daß durch Variation der übrigen Parameter alle Klassen der Sorptionskapazität im eff. Wurzelraum durchschritten werden können.

**Silikatverwitterungsrate:** Die Silikatverwitterungsrate ist in 4 Klassen eingeteilt, die alle in der Variation berücksichtigt werden. Referenz ist Klasse 1.

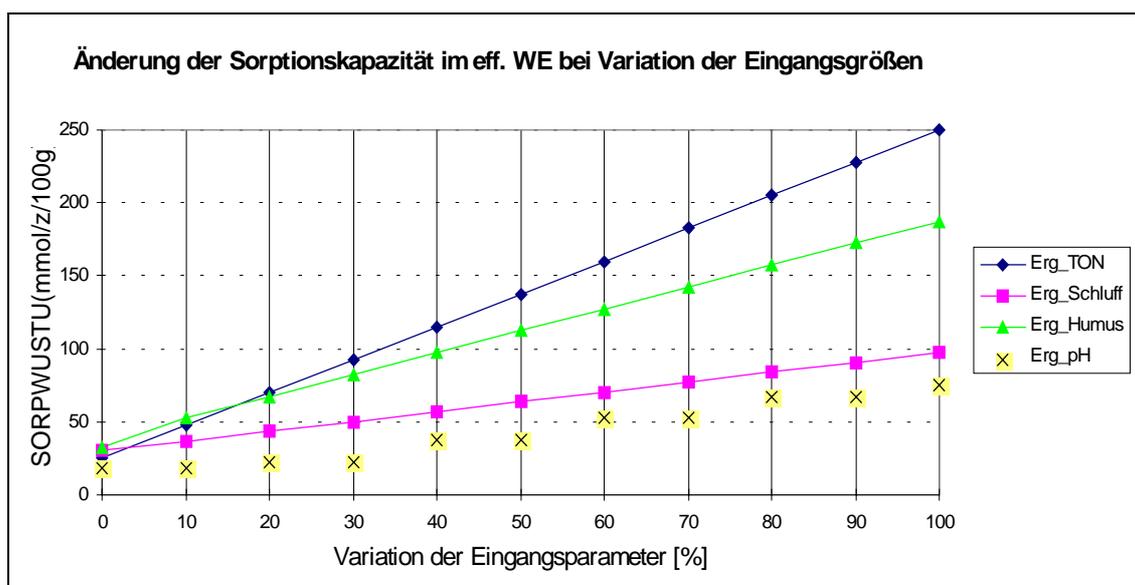
**Protonen- Depositionsrisiko:** Das Protonen-Depositionsrisiko (HDEPOS) wird nach *VKR 39* aus der Waldbestandsart, der Exposition und der durchschnittlichen Zahl der Nebeltage pro Jahr ermittelt. Für die Sensitivitätsanalyse werden nicht die Eingangsparameter, sondern der Kennwert variiert. HDEPOS kann Werte von 1-5 annehmen. Die Variation erfolgt über die gesamte Spanne. Als Referenzwert wird ein maximales Protonen-Depositionsrisiko (Stufe 5) gesetzt.

### 3.4.2.2 Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse

#### 3.4.2.2.1 Ableitung des Basenspeichers

##### Ton- und Schluffgehalt

Der Ton- und Schluffgehalt gehen als metrische Variablen in die Regressionsgleichung zur Bestimmung der horizontspezifischen Sorptionskapazität ein. Unter Referenzbedingungen, wenn alle übrigen Parameter konstant gehalten werden, ist die Sorptionskapazität eine lineare Funktion des jeweils variierten Parameters. Die Steigung dieser Funktion entspricht dann dem Sensitivitätskoeffizienten für den Parameter gegenüber der Sorptionskapazität. **Abb. 3.11** zeigt die Funktionsgeraden für die Parameter Ton-, Schluff- und Humusgehalt. In **Tab. 3.8** sind die entsprechenden Sensitivitätskoeffizienten aufgeführt.

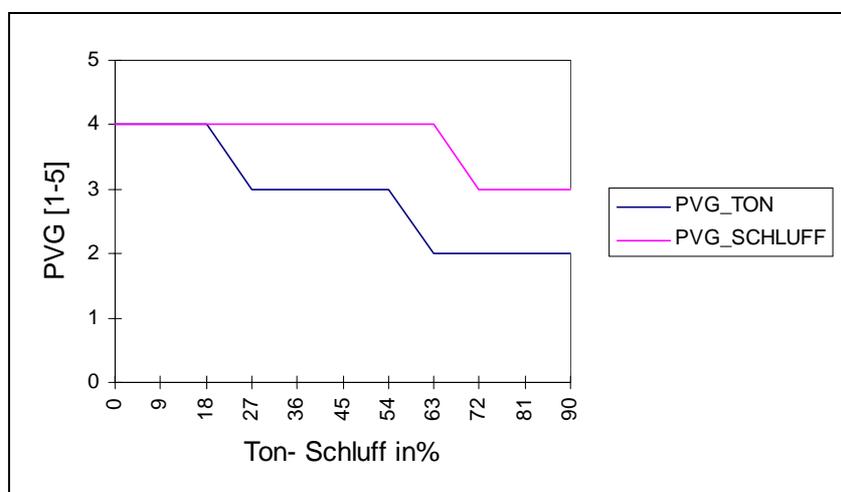


**Abb. 3.11:** Einfluß von Tongehalt, Schluffgehalt, Humusgehalt und pH-Wert in % auf die Sorptionskapazität (SORPWUSTU [mmol/z/100g])

**Tab. 3.8:** Sensitivitätskoeffizienten der Ton- Schluff- und Humusgehalte bezogen auf die Sorptionskapazität (SORP)

Parameter	Sensitivitätskoeffizient (Sk)
Tongehalt	2,25
Schluffgehalte	0,65
Humus	1,5

Für die weiteren Berechnungen zur Ermittlung des Basenspeichers werden die Werte der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum in Klassen unterteilt. Bezogen auf die Gesamtmethode ist daher die Zahl der möglichen Klassenwechsel aufgrund der Variation der Eingangsparameter aussagekräftiger als die auf die Sorptionskapazität bezogenen Sensitivitätskoeffizienten (siehe **Tab. 3.8**). Letztere beziehen sich lediglich auf die Regressionsgleichung zur Bestimmung der Sorptionskapazität.



**Abb. 3.12: Veränderung der pot. Versauerungsgefährdung (PVG) bei Variation des Ton- und Schluffgehaltes**

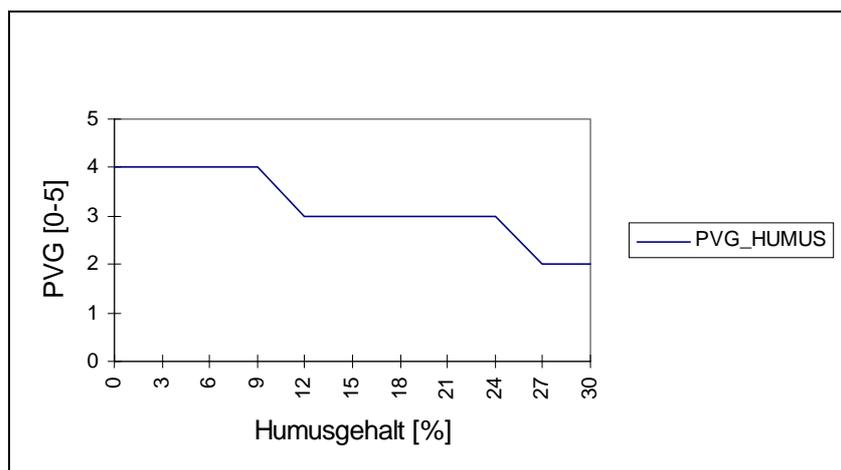
**Abb. 3.12** zeigt, daß die Änderung des Tongehaltes zu zwei Klassenwechseln der PVG führen kann, während die Variation des Schluffgehaltes maximal zu einer Ergebnisänderung von einer PVG-Klasse führt. Die Schwellenwerte für Klassenwechsel aufgrund von Änderungen des Ton- und Schluffgehaltes können durch Mächtigungsänderungen des effektiven Wurzelraumes verschoben werden. Die Zahl der möglichen Klassenwechsel der PVG wird dadurch jedoch nicht beeinflusst.

Beide Eingangsparameter sind miteinander verknüpft. In der Anwendung der Methode werden sie ohnehin häufig aus der Bodenart abgeleitet, da flächendeckende Körnungsanalysen nur selten vorliegen. Ein solches Vorgehen ist durchaus gerechtfertigt, insbe-

sondere auch, weil bei der Erstellung der Methode ebenfalls auf klassierte Körnungsgaben zurückgegriffen wurde (vgl. LENZ 1991).

### Humusgehalt

Der Humusgehalt geht wie der Ton- und Schluffgehalt in die Formel zur Berechnung der Sorptionskapazität ein. Im Prinzip gelten daher für die Darstellung seiner Sensitivität die gleichen Rahmenbedingungen. Die Sensitivität des Humusgehaltes gegenüber der horizontspezifischen Sorptionskapazität ist aus **Abb. 3.11** und **Tab. 3.8** ersichtlich. Der Einfluß variierender Humusgehalte auf die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden wird in **Abb. 3.13** dargestellt.



**Abb. 3.13: Veränderung der pot. Versauerungsgefährdung (PVG) bei Variation des Humusgehaltes**

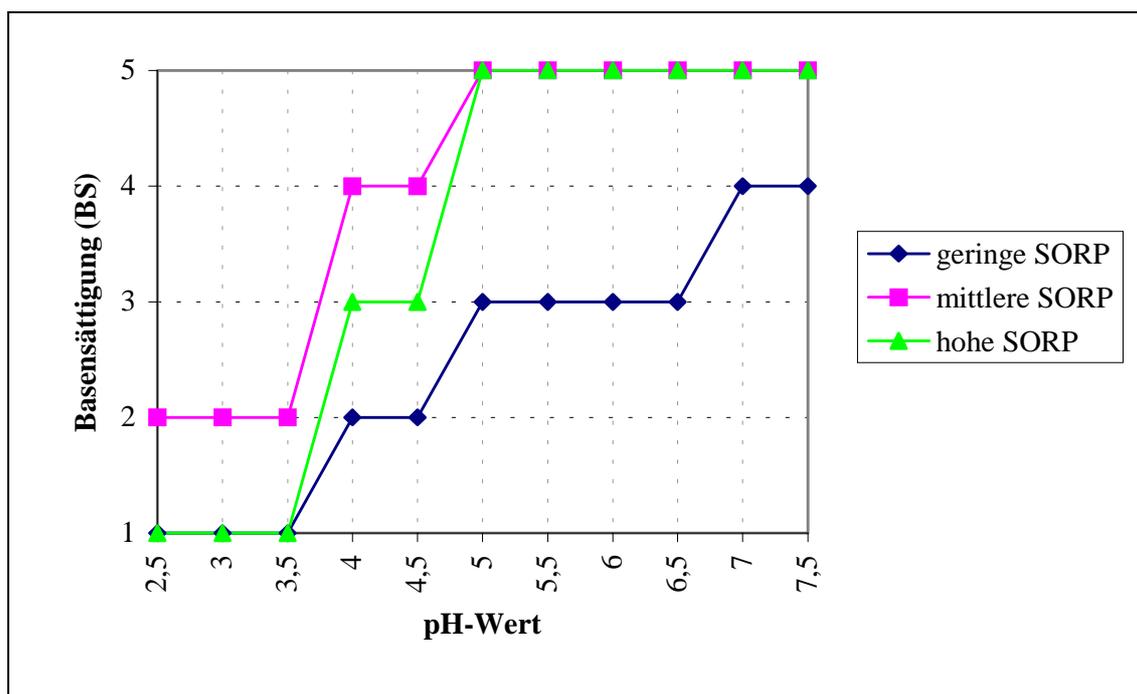
Unterschiedliche Humusgehalte in den A-Horizonten können unter Referenzbedingungen zwei Klassenwechsel der PVG bewirken. Wie beim Ton- und Schluffgehalt können die sensitiven Wertebereiche in Abhängigkeit von anderen Parametern verschoben werden.

### pH-Wert

Der pH-Wert geht zweimal in die Bestimmung der PVG ein. In der Gleichung zur Be-

rechnung der horizontspezifischen Sorptionskapazität (*VKR 19*) ist ein pH-Wert-abhängiger Korrekturfaktor enthalten. Dieser kann zwischen 0,25 (bei  $\text{pH} < 3$ ) und 1,0 (bei  $\text{pH} \square 7$ ) liegen. Die klassifizierte Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum (*SORPWUSTU*) wird in *VKR 21* zusätzlich nach dem mittleren pH-Wert des Profils auf- oder abgewertet. Dabei wird für mittlere pH-Werte  $< 3,5$  ein Abschlag um eine Klasse und für mittlere pH-Werte  $> 5,5$  ein Zuschlag um eine Klasse erteilt. Die mögliche Summierung der beiden Effekte ist unter den angegebenen Referenzbedingungen nicht in vollem Umfang darstellbar. Um eine Unterschätzung der Sensitivität des Parameters zu vermeiden, wird der Einfluß des pH auf die PVG für unterschiedliche Werte der Sorptionskapazität dargestellt.

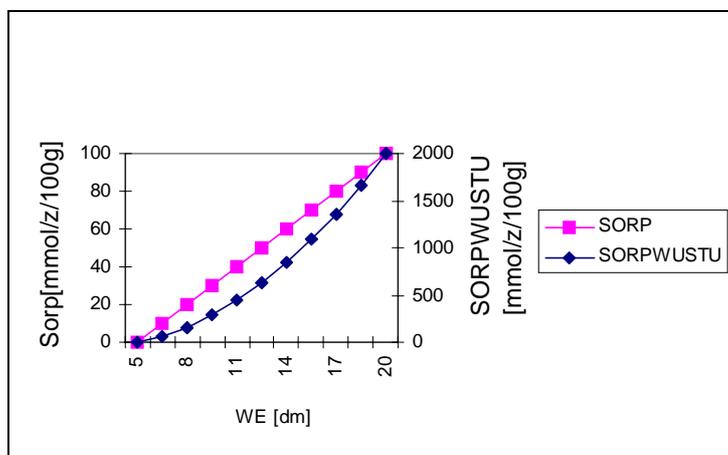
**Abb. 3.14** zeigt den Einfluß des pH-Wertes auf den Basenspeicher bei niedriger, mittlerer und hoher Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum. Die Werte wurden so gesetzt, daß sie bei pH 4 (Referenzwert) jeweils in der Mitte der möglichen Klassen der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum liegen. Die besondere Sensitivität des pH-Wertes für die Festlegung des Basenspeichers zeigt sich am deutlichsten bei mittlerer Sorptionskapazität (Klasse 1). Hier kann durch eine pH-Änderung zwischen 3,5 und 5 das gesamte Wertespektrum des Basenspeichers durchschritten werden. Auffällig ist auch die Sensitivität der einzelnen pH-Schritte, die bei relativ geringer pH-Variation jeweils eine Ergebnisänderung um 2 Klassen bewirken können. Bei hoher und niedriger Sorptionskapazität ist die Sensitivität des pH-Wertes dagegen abgeschwächt. Der sensitive Bereich des pH-Wertes beschränkt sich weitgehend auf das Intervall zwischen pH 3,5 und pH 5. Nur bei niedriger Sorptionskapazität führt eine weitere pH-Erhöhung zwischen pH 6,5 und pH 7 noch zu einer Ergebnisänderung um eine Klasse.



**Abb. 3.14:** Die Sensitivität des pH-Wertes für die Basensättigung im effektiven Wurzelraum bei unterschiedlicher Sorptionskapazität

#### Effektive Durchwurzelungstiefe (WE)

Die effektive Durchwurzelungstiefe (WE) geht durch eine Multiplikation mit dem Durchschnitt aus minimaler und maximaler Sorptionskapazität in die Kennwertermittlung ein. Diese multiplikative Verknüpfung mit der Sorptionskapazität bedingt, daß die Steigung der Sensitivitätsfunktion nicht konstant ist. Der Sensitivitätskoeffizient ist also eine Funktion der Sorptionskapazität. **Abb. 3.15** zeigt den Verlauf der Sensitivitätsfunktion der effektiven Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit von der Sorptionskapazität. Ausgehend von einem Referenzwert der WE von 10 dm bewirkt die Variation der WE zwischen 5 dm und 20 dm bei mittlerer Sorptionskapazität eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Sorptionskapazität. Unter diesen Randbedingungen sind damit maximal zwei Klassenwechsel der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum verbunden. Bei sehr niedriger oder sehr hoher horizontbezogener Sorptionskapazität kann sich die Sensitivität der WE so weit verringern, daß durch ihre Variation kein Klassenwechsel erfolgt.

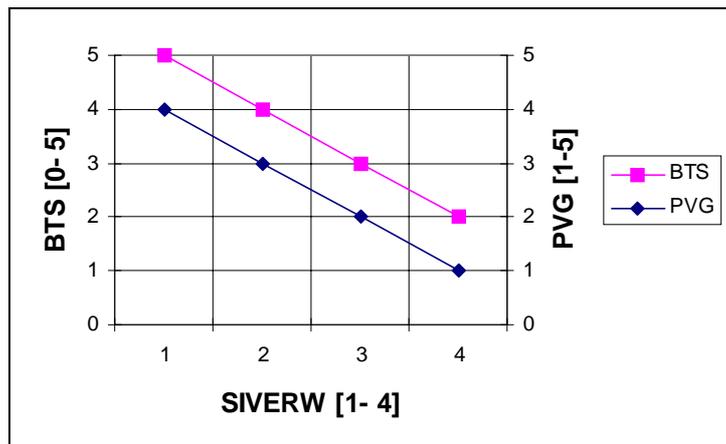


**Abb. 3.15:** Sensitivität der effektiven Durchwurzelungstiefe (WE) für die Ableitung des Basenspeichers bei unterschiedlicher Sorptionskapazität (SORP)

#### 3.4.2.2.2 Ableitung des Protonen-Belastungsrisikos

##### Silikatverwitterungsrate / geologisches Ausgangsmaterial

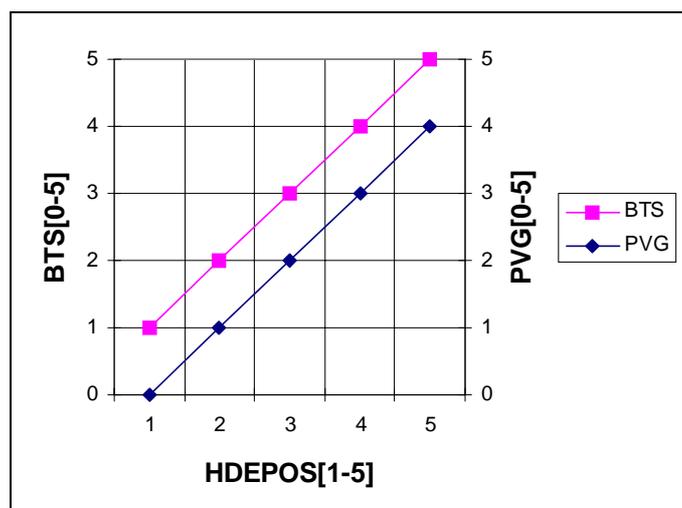
Die Silikatverwitterungsrate wird nach VKR 22 anhand des geologischen Ausgangsgesteins als ordinalskaliertes Wert zwischen 1 und 4 ermittelt. Bei der Ermittlung des Protonenbelastungsrisikos (VKR 68) wird das Protonendepositionsrisiko nach VKR 39 für jede Stufe der Silikatverwitterungsrate um eine Stufe vermindert. Unter Referenzbedingungen wird diese Änderung auch bei der Ermittlung der potentiellen Versauerungsgefährdung direkt umgesetzt. Bei steigender Silikatverwitterungsrate fällt die PVG um denselben Betrag ab (siehe **Abb. 3.16**).



**Abb. 3.16:** Veränderung der potentiellen Versauerungsgefährdung bei Variation der Silikatverwitterungsrate

#### **Waldbestandsart / Exposition / Nebeltage**

Das Protonen-Depositionsrisiko (HDEPOS) wird nach VKR 39 aus der Waldbestandsart, der Exposition zur Windrichtung und der mittleren Zahl der jährlichen Nebeltage ermittelt. Die Grundeinstufung erfolgt nach der Waldbestandsart (Laubwald; Nadel- bzw. Mischwald). Für die übrigen Parameter werden Zuschläge erteilt. Der Zuschlag aufgrund der Exposition kann maximal 1, derjenige aufgrund der Nebelhäufigkeit kann maximal 2 betragen. Die Sensitivität des Protonendepositionsrisikos kann im Verhältnis 1:1:2 auf diese Parameter zerlegt werden. Unter Referenzbedingungen wird eine Änderung des Protonenbelastungsrisikos direkt auf die PVG weitergegeben (siehe **Abb. 3.17**).



**Abb. 3.17: Veränderung der potentiellen Versauerungsgefährdung bei Variation des Protonenbelastungsrisikos**

### 3.4.2.3 Zusammenfassung der einfachen Sensitivitätsanalyse der Methode PVG

In **Tab. 3.9** sind die Sensitivitätskennwerte für alle Eingangsparameter der Methode PVG zusammengestellt. Der sensitivste Parameter ist demnach der pH-Wert. Ebenfalls hoch sensitiv ist die Silikatverwitterungsrate. Tongehalt, Humusgehalt, effektive Durchwurzelungstiefe und Zahl der jährlichen Nebeltage können als sensitiv eingestuft werden. Die Methode erweist sich als relativ robust gegenüber den Parametern Schluffgehalt, Exposition und Waldbestandsart.

Für die metrischen Eingangsparameter kann aufgrund des Fehlens von Eingangsklassenwechseln kein SKO-Wert berechnet werden. Die SKOG-Werte, die für diese Parameter angegeben sind, basieren auf der Annahme, daß die Zahl der Eingangsklassen und die maximale Ergebnisvariation identisch sind (Werte mit\*). Zu beachten ist, daß bei einem derartigen Methodenaufbau, bei dem alle Klassenwechsel von Eingangsparametern die gleiche Sensitivität aufweisen, die Gesamtbedeutung eines Parameters direkt aus dessen Klassenzahl ersichtlich ist.

**Tab. 3.9: Sensitivitätskoeffizienten für ordinal skalierte Parameter der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG)**

Verknüpfungspfad	Parameter	$\Sigma$ der Eingangsklassenwechsel	max. Ergebnisvariation.	SKO	SKOG
Ableitung des Basenspeichers (BS)	Ton %	-/-	2		0,5*
	Schluff %	-/-	1		0,25*
	Humus %	-/-	2		0,5*
	WE	-/-	2		0,5*
	pH (KCl)	2	4	1	1,0
Ableitung der Säureüberschuß-Klassen (BTS)	SIVERW(Silikatverwitterungsrate)	3	3	1	0,75
	Waldbestand	1	1	1	0,25
	Exposition	1	1	1	0,25
	Nebelhäufigkeit	2	2	1	0,5

\* Zahl der Eingangsklassen entspricht maximaler Variatoin

### 3.4.3 Multiparameter-Sensitivitätsanalyse (MPSA) der Methode PVG

Wie sich bereits bei der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse der Methode FSMw gezeigt hat (siehe **Kap. 3.3.3**), ist die Anwendung dieses Ansatzes auf Methoden mit überwiegend ordinal-skalierten Eingangsparametern mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Diese führen zu einer eingeschränkten Anwendbarkeit und Interpretierbarkeit der Methode und ihrer Ergebnisse.

Nach den Anwendungsvoraussetzungen der MPSA (vgl. **Kap. 3.1.3**) müssen die Parameter unabhängig voneinander variiert werden können. Formal ist diese Voraussetzung für die Eingangsparameter Ton- und Schluffgehalt nicht erfüllt. Sie werden daher zum Parameter Bodenart zusammengefaßt und gemeinsam variiert. Schwerer zu handhaben sind dagegen inhaltliche Abhängigkeiten von Parametern. Die Kombination aller möglichen +/- Level-Ausprägungen kann zu mehr oder weniger unplausiblen Parameterkonstellationen führen. Im vorliegenden Fall der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden" (PVG) korrelieren z.B. die Parameter "Bodenart" "Ausgangsgestein" und "pH-Wert" eng miteinander. In der Matrix der MPSA entstehen

z.B. Konstellationen der Bodenart "mS" mit dem Ausgangsgestein "Kst" oder das Ausgangsgestein "Sst" mit pH-Wert 7. Je mehr zusammenhängende Parameter in die MPSA eingehen und je stärker die Zusammenhänge sind, desto kritischer müssen die Ergebnisse der MPSA betrachtet werden.

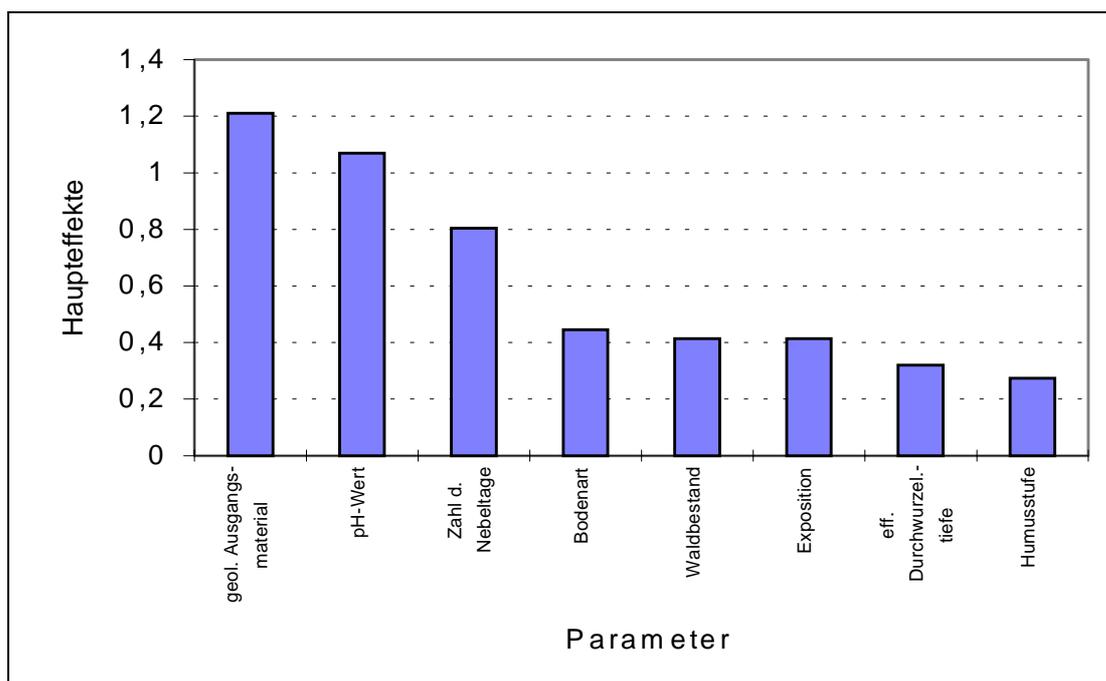
Die nachfolgend dargestellte MPSA der Methode PVG ist also mit Vorsicht zu interpretieren. In **Tab. 3.10** sind die Eingangsparameter und ihre +/-Level zusammengestellt.

**Tab. 3.10: Eingangsdaten der Multiparameter- Sensitivitätsanalyse der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung unter Waldböden**

Parameter	+ Level	- Level
Bodenart	T	mS
Humusstufe	h6	h1
pH-Wert	3	7
Waldbestandsart	Laubwald	Nadelwald
Exposition zur Windrichtung	nein	ja
Zahl der Nebeltage	50	220
geol. Ausgangsmaterial	Kalkstein (Kst)	Sandstein (Sst)
eff. Durchwurzelungstiefe	20 dm	5 dm

### Haupteffekte:

Die Haupteffekte der Parameter sind in **Abb. 3.18** dargestellt. Das Ergebnis stimmt im wesentlichen mit der einfachen Sensitivitätsanalyse (ESA) überein. Der Einfluß des geologischen Ausgangsmaterials wird in der MPSA gegenüber dem pH-Wert höher eingeschätzt als in der ESA. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Eingangsparameter nicht unabhängig voneinander variieren. Die Rangfolge und Relationen der übrigen Parameter entsprechen denen der ESA. Das stärkere Gewicht der Bodenart ergibt sich aus der Zusammenfügung der Parameter Ton- und Schluffgehalt.



**Abb. 3.18: Haupteffekte der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse der Methode "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden"**

#### 3.4.4 Zusammenfassung der Sensitivitätsanalyse der Methode PVG

Der pH-Wert und das geologische Ausgangsmaterial sind die weitaus sensitivsten Eingangsparameter zur Bestimmung der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden nach der Methode PVG.

Die Parameter "Bodenart", "Humusstufe" und "effektive Durchwurzelungstiefe (WE)" sind in ihrem Effekt auf die Basensättigung auf die mittleren Klassen (2-4) beschränkt. Darin begründet sich ihre gegenüber den erstgenannten Parametern geringere Sensitivität, wobei die Bedeutung der Ton-, Schluff- und Humusgehalte aufgrund der multiplikativen Verknüpfung mit steigender WE zunimmt.

Das Protonenbelastungsrisiko wird nach dem geologischen Ausgangsmaterial maßgeblich durch die Zahl der jährlichen Nebeltage bestimmt. Die Parameter "Waldbestandsart" und "Exposition zur Windrichtung" sind dagegen weniger sensitiv.

Sie können aber mit nur einem Klassenwechsel eine Ergebnisänderung um 25% bewirken. Kein Parameter der Methode PVG erwies sich als ausgesprochen robust.

Neben den pedologischen Parametern müssen zur Anwendung der Methode auch Klima-, Relief- und Nutzungsdaten in ausreichender räumlicher Auflösung vorliegen.

### **3.5 Schlußfolgerungen aus der Sensitivitätsanalyse für die Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragestellungen auf Bundesebene**

#### **3.5.1 Durchführung von Sensitivitätsanalysen**

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Sensitivitätsanalysen haben sich als wertvoll für die Beurteilung der Einsetzbarkeit der Auswertemethoden erwiesen. Auf ihrer Grundlage können einerseits Qualitätsanforderungen an die Eingangsparameter aufgestellt werden, und andererseits eignen sie sich ebenso als Ansatzpunkt für eine kritische Betrachtung der Methoden. Sie können ein erster Schritt zur dringend notwendigen Validierung der Auswertemethoden in Bodeninformationssystemen sein. Die Einfache- und Multiparameter-Sensitivitätsanalyse ergänzen sich in ihren spezifischen Aussagemöglichkeiten.

Die Mehrzahl der in bodenkundlichen Fachinformationssystemen verfügbaren Methoden sind empirische Methoden, die auf einer diskreten Zuweisung von Tabellenwerten beruhen. Ihre Eingangs- und Zielwerte sind überwiegend ordinal- bzw. nominal skaliert (siehe **Tab. 3.11**). Bei diesen Methoden sind die bisherigen Ansätze der Sensitivitätsanalyse nur mit deutlichen Einschränkungen anwendbar. Häufig lassen sie nur eine qualitativ-deskriptive Kennzeichnung der Parametersensitivität zu.

**Tab. 3.11: Skalenniveau der Eingangsdaten von Auswertemethoden in Bodenin-  
formationssystemen (zusammengestellt nach AD-HOC-AG BODEN, 1994)**

Thema	metrisch skaliert	ordinal- bzw. nomi- nalskaliert
Pot. Verdichtungsempfindlichkeit	2	1
Filtervermögen für Schwermetalle	-	4
Erosionsgefährdung	3	6
Grundwasserneubildung	-	5
Nitratrückhaltevermögen	-	3
Ackerbaul. Ertragspotential	-	1
Pot. Versauerungsgefährdung	1	-
$\Sigma$	6	20

Die einfache Sensitivitätsanalyse erfordert weniger strenge Voraussetzungen als die Multiparameter-Sensitivitätsanalyse. Sie kann daher besser an die methodischen Besonderheiten angepaßt werden. Es können Aussagen über die Gesamtbedeutung der Parameter abgeleitet und besonders sensitive Klassenwechsel identifiziert werden. Die Quantifizierung der Effekte kann bei ordinalskalierten Eingangs- und Zielparametern über die entsprechenden Sensitivitätskoeffizienten erfolgen (vgl. **Kap.3.1**).

Die Multiparameter-Sensitivitätsanalyse ist weniger flexibel. Die Haupteffekte können zur Absicherung der Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse herangezogen werden. Interaktionseffekte können bei den vorliegenden Auswertungsmethoden nicht sinnvoll interpretiert werden. Auf ihre Ausweisung wurde daher verzichtet.

Hier, wie an zahlreichen anderen Stellen, zeigen sich Ansatzpunkte zur Verfeinerung des methodischen Instrumentariums der Sensitivitätsanalyse, denen im zeitlich beschränkten Rahmen dieses F&E-Vorhabens nicht im einzelnen nachgegangen werden kann.

Sensitivitätsanalysen von empirischen Auswertemethoden erfordern in jedem Falle ein an die Methode angepaßtes Vorgehen. Eine Formalisierung des Vorgehens ist aufgrund der vielfältigen Verknüpfungsmöglichkeiten nur sehr eingeschränkt möglich.

### 3.5.2 Methodenkritik

Die im Projekt angewandten und analysierten Methoden sind bezüglich ihrer Eignung für die flächenhafte Auswertung von Bodenkarten bisher nicht validiert worden. Die Sensitivitätsanalysen können als ein erster Schritt in diese Richtung aufgefaßt werden.

Der Aufbau der Methoden ist an vielen Stellen schwer nachvollziehbar und teilweise unlogisch. Dies erschwert das Verständnis der Methodenabläufe und die Einschätzung der Qualität der Methodenergebnisse. Z. T. können die Methoden vereinfacht und transparenter gestaltet werden, ohne Abstriche an der Ergebnisqualität.

Einige der methodischen Mängel, die während der Untersuchungen zu Tage traten, sollen hier als Beispiele ohne weitere Erläuterung aufgeführt werden.

- Wechsel des Skalenniveaus
- unterschiedliche Klassenbreiten für denselben Parameter in einer Methode
- nicht nachvollziehbare Verknüpfungsschemata
- aufwendige Ermittlung von Zwischenergebnissen, die insgesamt sehr robust sind

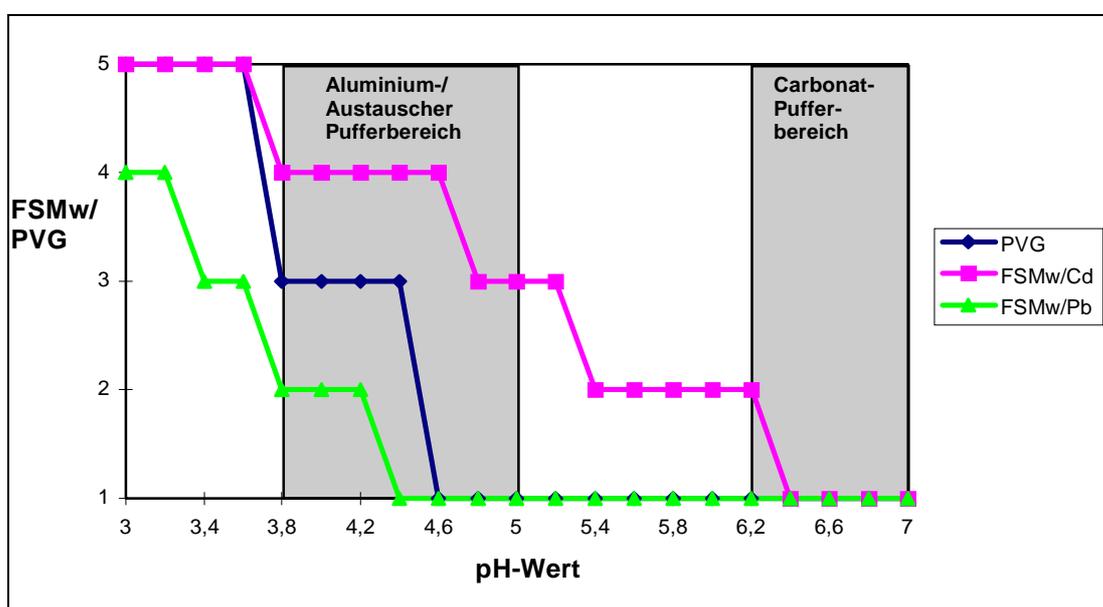
Es stellt sich allgemein die Frage, inwieweit formale Anforderungen an den Aufbau der Methoden formuliert werden müssen, die die Nachvollziehbarkeit und innere Logik der Methoden sicherstellen. Dies kann z. B. im Zuge einer Validierung und Überarbeitung der bestehenden Methoden geschehen. In jedem Fall sollte vor der routinemäßigen Anwendung eine Validierung einschließlich Sensitivitätsanalyse erfolgen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, insbesondere Angaben zur benötigten Datenqualität und zur Verlässlichkeit der Methodenergebnisse, sollten mit der Methode im FISBo verfügbar gemacht werden.

### 3.5.3 Parameterbedarf

In beiden Methoden ist der pH-Wert einer der bedeutendsten pedologischen Eingangsparameter. Die Ergebnisvariation erfolgt in halben pH-Stufen. In den Profilbeschreibungen der derzeit verfügbaren klein- und großmaßstäbigen Bodenkarten ist der pH-Wert in

der Regel nicht angegeben. Er muß daher aus Bodenparametern geschätzt werden. Die dazu vorliegenden Algorithmen erlauben in Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat der Bodenbildung lediglich für den Unterboden (ab ca. 80 cm Profiltiefe) die Ausweisung von pH-Wert-Intervallen auf der Basis von Pufferbereichen (vgl. MALESSA 1994). Die dabei möglichen Differenzierungen sind so grob, daß die Zuordnung auch anhand kleinmaßstäbiger Bodenkarten problemlos möglich ist. Im Oberboden ist die Bodenazidität so stark durch die Nutzung überprägt, daß aufgrund von Bodeneigenschaften keine differenzierte Ausweisung von pH-Werten möglich ist (ebenda).

Kennwerte zu deren Ermittlung der pH-Wert herangezogen wird, beinhalten somit eine große maßstabsunabhängige Ungenauigkeit. Bei den hier untersuchten Auswertemethoden sind innerhalb eines Pufferbereichs Ergebnisvariationen um bis zu zwei Ergebnis-klassen möglich (siehe **Abb. 3.19**).



**Abb. 3.19:** Die Schwermetall-Auswaschungsgefährdung (FSMw) und die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG) in Abhängigkeit von den geschätzten pH-Pufferbereichen im Unterboden (C-Horizont) unter Forst nach MALESSA (1994)

Eine Zuordnung der pH-Werte im Unterboden unter Forst ist nach MALESSA (ebenda) nur zu den grau hinterlegten Pufferbereichen möglich. Die anderen Bereiche werden durch die pH-Wert-Schätzung nicht abgedeckt.

Die übrigen sensitiven pedologischen Parameter (Bodenart, Humusstufe) gehen in stark vergrößerten Skalen in die Kennwertberechnung ein. Hier reicht in der Regel die Genauigkeit kleinmaßstäbiger Karten. Lediglich im Bereich einiger besonders sensibler Klassengrenzen kann u.U. eine differenziertere Betrachtung notwendig sein.

Ein weiterer hochsensitiver Einflußfaktor ist die Profiltiefe, die über die effektive Durchwurzelungstiefe bzw. die Grundwasserstufe in beide Methoden eingeht. Da dieser Faktor nur bedingt in die bodensystematischen Einheiten zur Ausgrenzung der Legendeneinheiten kleinmaßstäbiger Karten eingeht, ist an einigen Standorten (z.B. in Niederungsbereichen) mit einer kleinräumigen Variabilität zu rechnen, die auf kleiner Maßstabsebene u.U. nicht in der erforderlichen Genauigkeit abgebildet ist.

Insbesondere zur Ermittlung der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden sind eine Reihe klimatischer und reliefgebundener Parameter erforderlich. Inwieweit sich die methodenseitig erforderliche Genauigkeit mit bestimmten maßstabsabhängigen Darstellbarkeiten deckt oder nicht, kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Die Verschneidung von Boden- Klima- und Reliefdaten ist häufig aufgrund fehlender Datengrundlage nur auf dem Niveau sehr grober Schätzz raster möglich. Die für den Landkreis Oberhavel verfügbaren Daten führen daher vermutlich eher zur Nivellierung der Methodenergebnisse als zu ihrer Differenzierung.

## **4 Beispielhafte Bearbeitung bodenschutzrelevanter Themen auf zwei Maßstabsebenen**

Zur Klärung der Frage, inwieweit der Bearbeitungsmaßstab die Ergebnisse von Auswertungen auf Bundesebene beeinflusst, wurden am Beispiel des Landkreises Oberhavel die Themen:

- **potentielle Austragsgefährdung von Schwermetallen in das Grundwasser und**
- **potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden**

auf zwei Maßstabsebenen bearbeitet. Grundlage hierfür war das hierarchisch abgestufte Schema zur Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragestellungen (vgl. **Kap. 1**):

1. Darstellung der geogenen / pedogenen Grundausrüstung der Böden und deren Verbreitung
2. Ermittlung und Darstellung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden
3. Ermittlung und Darstellung aktueller Belastungszustände der Böden
4. Darstellung und Bewertung aktueller Gefährdungsgrade auf Grundlage der Punkte 1-3

Die Ergebnisse wurden zur Ableitung einer bevorzugten Maßstabsebene für Übersichtsdarstellungen auf Bundesebene verglichen.

### **4.1 Darstellung der geogenen / pedogenen Grundausrüstung**

Die Bereitstellung von Bodenkarten für den Landkreis Oberhavel im Maßstab 1:200.000 und 1:10.000 erfolgte im Unterauftrag durch das ZALF (HIEROLD et. Al 1996). Die Karten wurden als Arc/Info® Dateien übergeben. Die Flächeninhaltsbeschreibungen liegen als Access® - Datenbanken vor. Die Anbindung der Datenbanken an die digitalen Kartenwerke erfolgt durch Zuweisungsschlüssel.

### **Bodenübersichtskarte i.M. 1:200.000 (BÜK 200)**

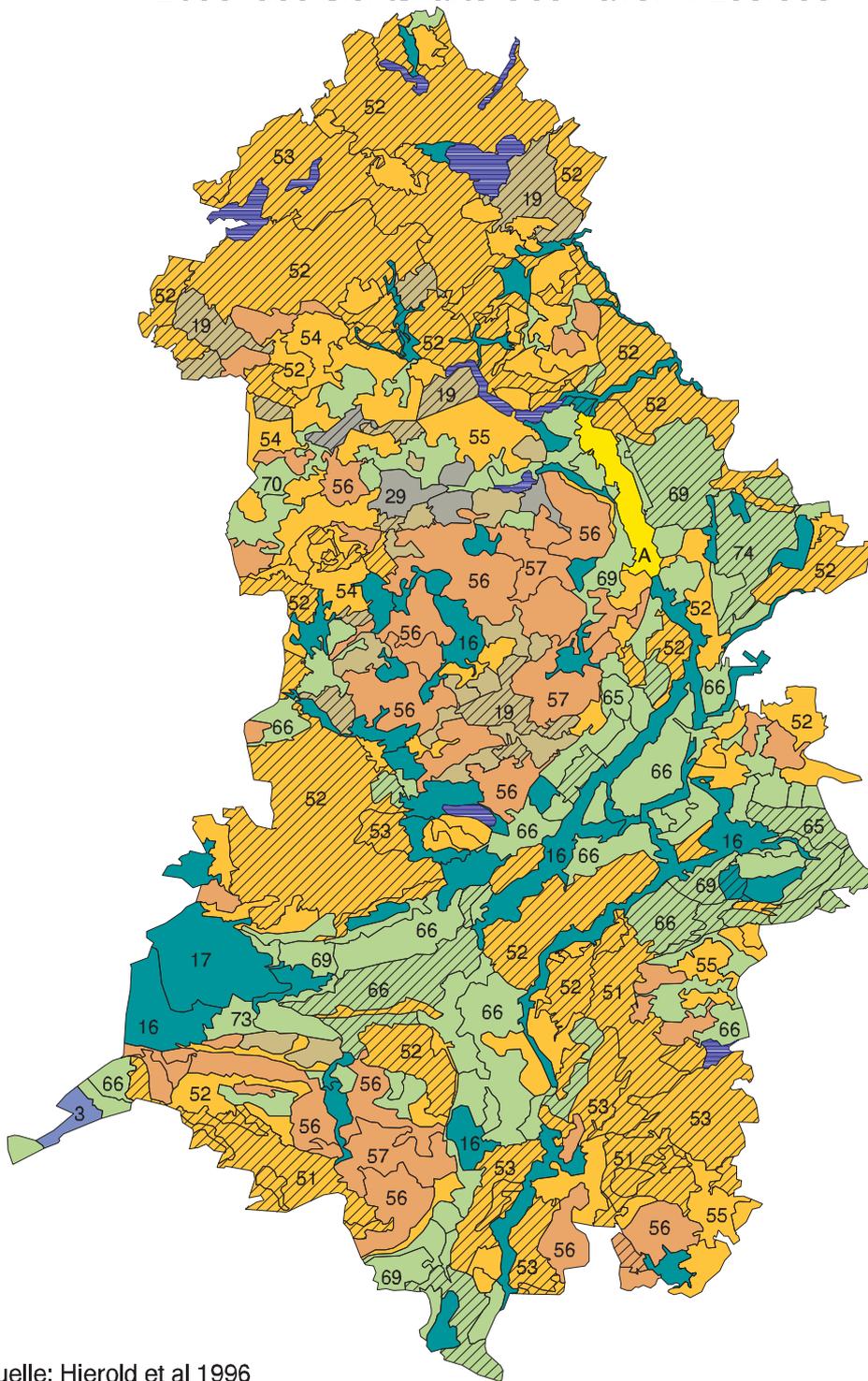
Die BÜK 200 (siehe **Karte 1**) wurde durch Aggregation von Legendeneinheiten der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) und der forstlichen Naturraummosaikkartierung (NATM) aufgrund eines Ähnlichkeitsmaßes der Flächeninhaltsbeschreibungen erstellt. Der verwendete Zuweisungsschlüssel wurde im Teilvorhaben erarbeitet (ebenda). Die BÜK 200 beinhaltet 24 Legendeneinheiten. Jede Legendeneinheit beschreibt eine Vergesellschaftung mehrerer Bodenformen, die unterschiedliche Flächenanteile einnehmen können. 42 Bodenformen sind mit nutzungsdifferenzierten Referenzprofilen hinterlegt, die insgesamt 200 Horizontdatensätze umfassen.

Bei der Übergabe an die BGR enthielt die BÜK 200 mehr als 1000 Kleinstflächen unterhalb der Mindestgröße von 100 ha (vgl. HARTWICH et al. 1995). Zur Bereinigung der Zwickelflächen entlang der ehemaligen Kreisgrenzen (Grannsee, Oranienburg) und zur Wahrung des Übersichtscharakter der Karte war eine Überarbeitung der BÜK 200 erforderlich.

Dazu wurden zunächst die Kleinstflächen < 1ha (Zwickelflächen) den jeweiligen Nachbarflächen mit der größten gemeinsamen Grenzlinie zugeordnet. Anschließend erfolgte eine Aggregation der Polygone > 1 < 100 ha nach dem von HIEROLD et al. (1996) entwickelten ordinalskalierten Ähnlichkeitsmaß der Legendeneinheiten [1 (geringe Ähnlichkeit) bis 6 (sehr ähnlich)].

Die technische Umsetzung erfolgte durch das Anhängen der Ähnlichkeitswerte an die Grenzlinien der Polygone. Die Linien weisen in Arc/Info® eine eigene Attributierung auf, welche die Information des rechts- und linksseitigen Polygons enthält. Hiermit sind alle notwendigen Informationen gegeben, um die Polygonpaare mit einem Ähnlichkeitsmaß zu attributieren. Die Aggregation erfolgte iterativ, d.h. es wurden zunächst nur Flächen mit einer größtmöglichen Ähnlichkeit zusammengefaßt, anschließend wurden neue Flächenpaare gebildet und Flächen mit geringerer Ähnlichkeit geschlossen. Den neu gebildeten Flächen wurde die Legendeneinheit von der jeweils größten Teilfläche zugewiesen.

# Bodenübersichtskarte Oberhavel 1: 200.000

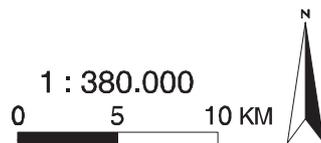


Quelle: Hierold et al 1996

## BÜK- Legendeneinheiten zu Standortgruppen zusammengefaßt

- |  |   |
|--|---|
|  Moorstandorte (16,17,18)                           |  anthropogen |
|  GW - ferne Tieflehm u. Lehmstandorte (19,20,21,43) |  Gewässer    |
|  staunasse Tieflehm u. Lehmstandorte (27, 29)       |  Waldfläche  |
|  Auenstandorte (3)                                  |   |
|  GW - ferne Sandstandorte (51, 52,53,54,55)         |   |
|  GW - ferne Sand - u. Tieflehmstandorte (56,57)     |   |
|  GW - Sandstandorte (65,66,67,69,70,73)             |   |

Karte 1: Bodenübersichtskarte 1: 200.000 (BÜK200) im Landkreis Oberhavel



Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

**BGR**



## Legendenentwurf zur Bodenübersichtskarte 1: 200.000 (BÜK200) Landkreis Oberhavel

Nr. der General- legende	<b>Leitbodengesellschaften</b>
3	überwiegend <b>Auengley-Vega</b> aus Auenlehm und Auenlehmsand, gering verbreitet <b>Gley-Tschernosem</b> und <b>Humusgley</b> aus (Auen)lehm
16	vorherrschend <b>Erd-, Mulm- und Murschniedermoor</b> aus Niedermoortorf über Fluvisand, gering verbreitet <b>Gley</b> aus Fluvisand
17	fast ausschließlich <b>Erd-, Mulm- oder Murschniedermoor</b> überwiegend aus Niedermoortorf, verbreitet aus Niedermoortorf über Fluvisand
18	fast ausschließlich <b>Erd-, Mulm- und Murschniedermoor</b> überwiegend aus Niedermoortorf über Mudde, gering verbreitet aus Niedermoortorf sowie gering verbreitet aus Niedermoortorf über Fluvisand
19	überwiegend <b>Braunerde</b> aus Moränensand und Lehmsand und verbreitet <b>Fahlerde</b> aus Moränensand über Lehm
20	vorherrschend <b>Fahlerde</b> aus Sand und Lehmsand über Moränenlehm, gering verbreitet <b>Parabraunerde</b> aus Moränenlehm
21	überwiegend <b>Fahlerde</b> und <b>Parabraunerde</b> , gering verbreitet <b>Pseudogley-Fahlerde</b> , vorherrschend aus Lehmsand über Moränenlehm
27	verbreitet <b>Gley-Braunerde</b> und gering verbreitet <b>Fahlerde</b> aus Sand über Moränenlehm, gering verbreitet <b>Parabraunerde</b> aus Moränenlehm
29	überwiegend <b>Braunerde-</b> und <b>Parabraunerde-Pseudogley</b> aus Lehmsand über Moränenlehm, verbreitet <b>Braunerde-Gley</b> aus Fluvi- und Moränensand
43	vorherrschend <b>Parabraunerde</b> und <b>Fahlerde</b> überwiegend aus Sandlöß, verbreitet Sandlöß über Moränenlehm
51	vorherrschend <b>Braunerde-Podsol</b> , gering verbreitet <b>Podsol</b> , vorherrschend aus Flugsand, gering verbreitet aus Kryo- und Fluvisand
52	überwiegend <b>Podsol-Braunerde</b> , gering verbreitet <b>Braunerde</b> sowie gering verbreitet <b>Gley-Braunerde</b> aus Kryo-, Fluvi- und Moränensand
53	vorherrschend <b>Braunerde</b> , gering verbreitet <b>Podsol-Braunerde</b> aus Kryo- und Moränensand

**Nr. der  
General-  
legende**

**Leitbodengesellschaften**

- 54 überwiegend **Braunerde** und verbreitet **Bänderparabraunerde**, vorherrschend aus Kryo- und Moränensand, gering verbreitet aus Sand über (tiefem) Moränenlehm
- 55 überwiegend **Braunerde**, gering verbreitet **Podsol-Braunerde** und gering verbreitet **Gley-Braunerde**, überwiegend aus Fluvisand und verbreitet aus Kryo- oder Moränensand
- 56 verbreitet **Braunerde** aus Kryo- und Moränensand und verbreitet **Para-braunerde** und **Fahlerde** aus Sand über Moränenlehm
- 57 verbreitet **Fahlerde** und gering verbreitet **Gley-Braunerde** aus Sand und Lehmsand über Moränenlehm, verbreitet **Braunerde** aus Sand über tiefem Moränenlehm,
- 65 überwiegend **Gley-Braunerde** und verbreitet **Podsol-Braunerde** fast ausschließlich aus Fluvisand
- 66 überwiegend **Braunerde-Gley** und gering verbreitet **Gley-Podsol** fast ausschließlich aus Fluvisand
- 67 verbreitet **Gley-Braunerde** und verbreitet **Braunerde** aus Fluvi- und Moränensand und gering verbreitet **Fahlerde** aus Sand über Moränenlehm
- 69 vorherrschend **Gley** und gering verbreitet **Gley-Braunerde** fast ausschließlich aus Fluvisand
- 70 vorherrschend **Gley** aus Fluvisand, gering verbreitet aus Fluvisand über Lehm und gering verbreitet **Niedermoor** aus Niedermoororf über Lehm oder Sand
- 73 verbreitet **Anmoorgley**, gering verbreitet **Gley** sowie gering verbreitet **Gley-Braunerde** aus Fluvisand und gering verbreitet **Erd-, Mulm- und Murschniedermoor** aus Niedermoororf
- 74 verbreitet bis überwiegend **Gley** aus Fluvilehmsand und Fluvilehmsand über tiefem Moränenlehm, gering verbreitet **Gley-Braunerde** aus Fluvisand über Moränenlehm und gering verbreitet **Braunerde** aus Fluvisand
- A überwiegend **anthropogen überprägt** (Abbauland), d. h. verbreitet **Gewässerfläche**, verbreitet **Gley** und gering verbreitet **Gley-Braunerde** aus verbreitet umgelagertem Fluvilehmsand und Fluvisand

**Bodenkarte i.M. 1:10.000 (BK10)**

Die Bodenkarte 1:10.000 wurde auf der Grundlage von Daten der Bodenschätzung und der forstlichen Standortkartierung 1:10.000 erstellt. Die analogen Datenbestände wurden z.T. im Vorhaben digitalisiert. Die Zuweisung von der Flächeninhaltsbeschreibung erfolgte für die landwirtschaftlich genutzten Böden z.T. aus vorhandenen Profilbeschreibungen oder aus Analogieschlüssen für identische Klassenzeichen. Die Referenzprofile für die forstliche Standortkartierung wurden durch Prof. Dr. D. KOPP erstellt (vgl. HIEROLD et al. 1996).

Die an die BGR übergebene Flächendatenbank der forstlichen Standortkartierung bestand aus 518 Profilen mit insgesamt 3516 Horizonten. Die Bodenschätzungsdatenbank beinhaltete 203 Profile mit 636 Horizonten. Die Geometrie der Forstlichen Standortkarte bestand aus insgesamt 7488 Polygonen, von denen eine große Anzahl Kleinstflächen  $< 0,5 \times 0,5$  cm (entspricht: 2500 m<sup>2</sup>) waren. Die Bodenschätzungskarte (17991 Polygone) enthielt ebenfalls eine große Anzahl nicht abbildbarer Kleinstflächen. Auch die Bodenkarte 1:10.000 mußte vor der Nutzung überarbeitet werden.

Die getrennt vorliegenden Karten mußten zunächst zusammengefügt werden. Dabei wurden bei Überschneidungen die Grenzen der Forstlichen Standortkartierung übernommen, da diese auf einer jüngeren Kartierung beruht.

Die bestehenden Zwickel- und Kleinstflächen ( $< 2500$  m<sup>2</sup>) wurden an die jeweiligen Nachbarflächen mit der längsten gemeinsamen Trennlinie angehängt, wobei die Flächeninhaltspunkte der jeweils größten Fläche übernommen wurden. Eine Zuordnung unter Berücksichtigung bodenkundlich inhaltlicher Aspekte erfolgte hierbei nicht. Die so generierte BK 10 weist lediglich eine Flächendeckung von 56% der Kreisfläche auf.

## 4.2 Ermittlung und Darstellung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährigungsgraden

Die vom ZALF erstellten Bodenkarten i.M. 1:200.00 (BÜK 200) und i.M. 1:10.000 (BK 10) (vgl. **Kap. 4.1**) dienten als Datengrundlage für die Anwendung und die Maßstabsvergleiche der Auswertungsmethoden:

- "Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)"
- Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG)"  
(beide Methoden nach AD-HOC-AG BODEN 1994, siehe **Anhang 2 & 3**)

Im Folgenden werden zunächst die umfangreichen DV-technische Arbeiten beschrieben, die mit den Maßstabsvergleichen verbunden waren. Diese umfassen neben der Programmierung der Auswertungsmethoden und der Anbindung der Methodenmodule vor allem die GIS-technische Umsetzung der Maßstabsvergleiche durch Verschneiden der verschiedenen Informationsebenen. Im Anschluß werden die Ergebnisse der Maßstabsvergleiche erörtert.

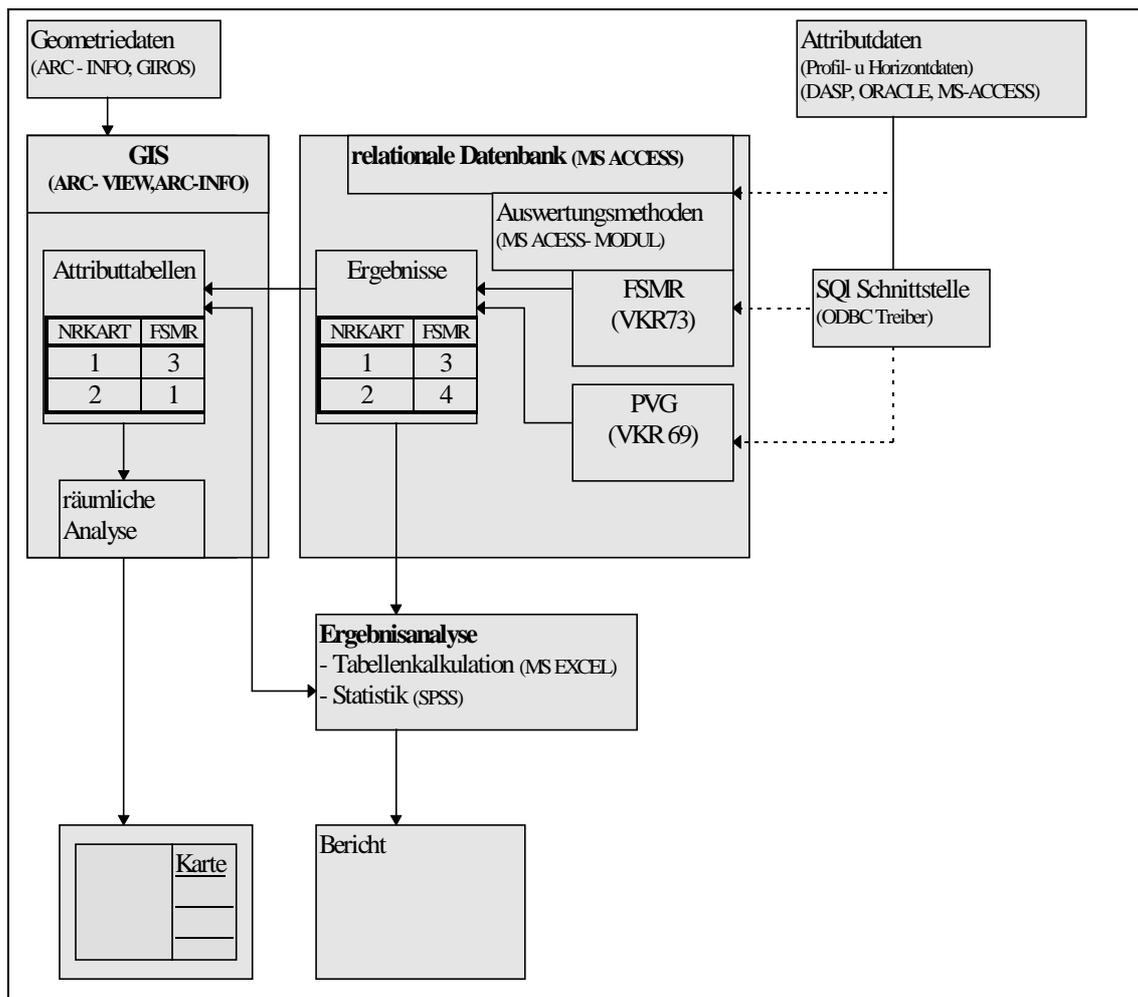
### 4.2.1 DV-Konzept zur Umsetzung der Maßstabsvergleiche

#### 4.2.1.1 Programmierung der Auswertungsmethoden und deren Anwendung zur Erstellung thematischer Karten

Die digitale Umsetzung der Auswertungsmethoden erfolgte unter weitgehender Beibehaltung der modularen Methodenstrukturen. Die einzelnen aufeinander aufbauenden Verknüpfungsregeln sind im Programm als Unterprogramme (Funktionen) organisiert. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Eingangsdaten in Horizont - und Profiltabellen vorliegen. Entsprechend der Vorgaben der Datenbank gliedert sich der Programmablauf an die relationale Verknüpfung von Profil- und Horizontdaten in Form einer 1: n Beziehung. Da einige Verknüpfungsregeln sowohl horizont - auch profilspezi-

fische Eingangsdaten verlangen, kann diese hierarchische Struktur im Programmablauf nicht immer konsequent beibehalten werden.

Als DV -technisch aufwendig erwies sich vor allem die Umsetzung der vielen verbal beschriebenen Ausnahmeregelungen. Hierzu sind bodenkundliche Fachkenntnisse erforderlich.



**Abb. 4.20: DV-technische Gesamtstruktur zur Generierung von thematischen Karten**

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus den unterschiedlichsten Skalenniveaus der Eingangsdaten. Es werden neben metrischen Eingangsdaten nominale und ordinale Skalen verwendet, welche in der digitalen Umsetzung besonders schwierig zu handhaben sind. Als Beispiel sei hier die Kurzzeichen - Schreibweise der Bodenart genannt.

Kommt es nur zu geringsten Abweichung von der vorgegebenen Schreibweise (z.B. S 12 statt SI2) ist eine korrekte Identifikation nicht mehr möglich. Da sich jedoch innerhalb größerer Datensätze in der Regel Schreibfehler dieser Art befinden, ist das Programm so erstellt, daß Profile mit nicht erkannten Eingangsdaten im Ergebnis mit dem Wert -99 versehen werden und nicht zu einem Programmaustieg führen. Somit lassen sich Fehler in der Datengrundlage relativ leicht identifizieren.

#### **4.2.1.1.1 Erstellung der Methodenmodule**

Als Entwicklungsumgebung wird die relationale Datenbank MS ACCESS ® genutzt. Diese ermöglicht strukturierte Datenbankabfragen (SQL: structured query language) und die Weiterverarbeitung der Ergebnisse von Abfragen mit Hilfe von in Access - Basic geschriebenen Modulen. Die Datenverbindung zu bestehenden Datenbanken (DASP, ORACLE..) ist durch eine SQL- Schnittstelle gewährleistet. Die Visualisierung der Ergebnisse in Form von thematischen Karten erfolgt durch das Anhängen der Ergebnisse an die jeweiligen Attributtabelle der Auswertekarten. Diese Verbindung kann sowohl statisch als auch dynamisch (SQL - Schnittstelle) erfolgen.

#### **Programmablauf**

Durch das Starten der Berechnung werden zunächst zwei DYNASETS (SQL- Abfragen) erstellt. Die erste Abfrage enthält alle für die Berechnung notwendigen Daten der Profildatei. Diese wird bis zum Tabellenende sequentiell durchlaufen.

Die zweite Abfrage wird innerhalb der ersten Programmschleife generiert und enthält die dem jeweiligen Profil zugeordneten Horizontdaten. Die einzelnen Verknüpfungsregeln bilden jeweils Funktionen, welche bei Übergabe der Eingangsparameter die Berechnung durchführen und das Ergebnis zurückliefern.

Die Funktionen werden je nachdem, ob profil- oder horizontspezifische Berechnungen durchgeführt werden, in der inneren (Horizontschleife) oder äußeren Schleife (Profildaten) aufgerufen. Die berechneten Zwischen - und Endergebnisse werden in Form einer Ergebnistabelle abgespeichert. Durch die Ausgabe der Zwischenergebnisse ist eine

Kontrolle des Programmablaufs gewährleistet. Die Ausgabe der Zwischenergebnisse ist im Hinblick auf die Methodenprüfung (z.B. Plausibilitätstests; Sensitivitätsanalysen) von elementarer Bedeutung.

#### **4.2.1.1.2 Einbindung der Ergebnistabellen in ArcInfo**

Die Einbindung der Ergebnistabellen erfolgt durch einen vorgegebenen Zuweisungsschlüssel. Die Ergebnisdaten werden über eine Zuordnungsnummer den Attributtabellen der raumbezogenen Daten angehängt und können für eine Visualisierung bzw. geographische Analyse weiterverarbeitet werden.

Die Struktur der BÜK 200 erfordert es, die Methodenergebnisse unter Berücksichtigung der vergebenen Anteile (Leit- und Begleitbodenkonzept) auf einen flächenhaft gewichteten Wert umzurechnen. Dieser kann nachfolgend mit Hilfe des Legendenschlüssels der Karte zugeordnet werden. Der Quellcode der programmierten Methoden ist in der digitalen Berichtsversion abgelegt.

#### **4.2.1.2 GIS-technische Umsetzung der Maßstabsvergleiche nach dem "Region Prinzip"**

Um einen Vergleich der Auswertungsergebnisse durchführen zu können, wurden die beiden Maßstabsebenen miteinander verschnitten. Zum Ausschluß von Fehlinterpretationen aufgrund widersprüchlicher Nutzungszuweisungen wurden nur Flächen berücksichtigt, die auf beiden Maßstabsebenen identische Nutzungsinformationen aufwiesen. Die Anbindung der Flächendatenbank an die Auswertungskarten erfolgte nach dem "Region Prinzip"

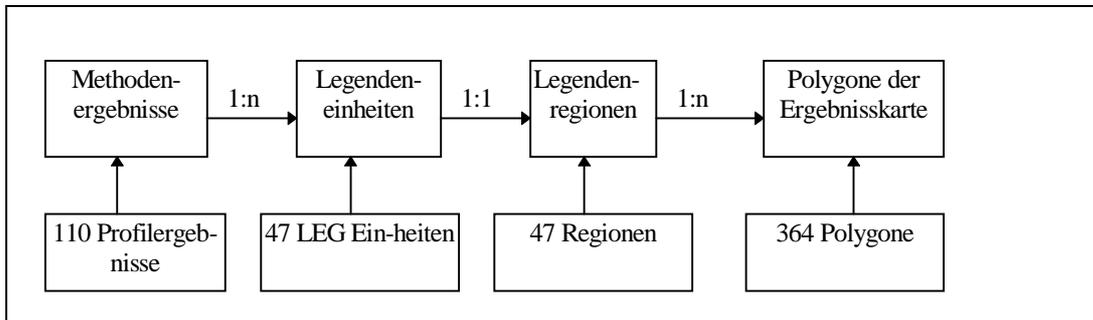
### **Anwendung des "Region Prinzips" innerhalb einer Maßstabsebene**

Da sich durch die Verschneidung beider Kartenebenen die Anzahl der Flächen potenziert, führt eine Anbindung der Flächendaten an die Polygonattribute (PAT) zu einer großen Datenredundanz. Hierdurch wird die statistische Auswertung erheblich erschwert.

Die Datenredundanz wurde vermindert, indem die Polygone der einzelnen Kartenebenen zu Regionen zusammengefaßt werden. So erhält die Geometrie BÜK 200 die Regionen der BÜK- Legende. Diese Regionen stellen inhaltlich die zusammengefaßten Legendeneinheiten dar, welche jeweils in einer 1 : n Relation zu den einzelnen Polygonen der BÜK 200 stehen. Alle inhaltlichen Zuordnungen und Auswertungen erfolgen im Bereich der Regionen der BÜK Legende. Entsprechend werden für die BK10 Maßstabsebene die Regionen der Zuordnungsschlüssel der BK10 generiert, die ebenfalls als Grundlage für die weitere Auswertung dient. Mit dieser Methode wird das relationale Datenbankprinzip konsequent auf die Geometriedaten übertragen, wodurch eine in sich raumstrukturierte, relationale Datenbank generiert wird. Neben DV -technischen Vorteilen ergibt sich eine hierarchisch strukturierte Übersichtlichkeit bei der Durchführung und anschließenden statistischen Analyse der Auswertemethoden.

### **Anwendung der "Region Prinzips" zwischen den Maßstabsebenen**

Zur weiteren Auswertung der vorliegenden Ergebnisse in den verschiedenen Maßstabsebenen wurde ebenfalls das Region Prinzip angewendet. Praktisch umgesetzt bedeutet dies, daß die Inhalte der Regionen der oberen Maßstabsebene mit denen der unteren Maßstabsebene in einer hierarchisch relationalen Struktur gebracht wurden. Hierdurch kann z.B. die flächenhafte Verteilung der zugeordneten Ergebniswerte auf der unteren Maßstabsebene mit dem räumlichen Verteilungsmuster der Ergebniswerte auf der oberen Maßstabsebene verglichen werden. Die **Abb. 4.1** zeigt die Anwendung des "Region Prinzips" bei Anbindung der Flächendatenbank.



**Abb. 4.1: Anbindung der Methodenergebnisse nach dem "Region Prinzip" an die Ergebniskarten**

#### 4.2.1.3 Generalisierung der großmaßstäbigen Auswertungsergebnisse

Neben den bereits beschriebenen Maßstabebenen wurde unter alleiniger Mitführung des Ergebniswertes aus der BK10 Maßstabsebene eine generalisierte Ergebniskarte erstellt, die von ihrer Mindestflächengröße der einzelnen Polygone mit der BÜK 200 vergleichbar ist.

Die Generalisierung der BK10 Ergebniskarte erfolgte dergestalt, daß zunächst alle benachbarten Polygone mit identischem Ergebnis zusammengefaßt wurden. Anschließend wurden die Polygone unterhalb der Mindestfläche von 100 ha den jeweils größten Nachbarflächen mit der längsten gemeinsamen Trennlinie zugeordnet. Ausgeschlossen hiervon sind nicht belegte "Null - Flächen". Nicht belegte Kleinstflächen mit einer Größe von maximal der Hälfte der Flächenmindestgröße werden an belegte Nachbarflächen angehängt, Nullflächen, die größer als die Hälfte der Mindestfläche sind, konnten dagegen belegte Nachbarflächen "verschlucken", welche kleiner als die Hälfte der Mindestgröße sind. Hierdurch bleibt die Flächenbilanz etwa gleich, und es kommt nicht zu einem "Wachsen" der Nullflächen.

Für jedes Methodenergebnis wird eine eigenständige Generalisierung durchgeführt.

#### 4.2.2 Der Einfluß der räumlichen Variabilität von Bodeneigenschaften auf Übersichtsdarstellungen von Bodenfunktionen

Die Qualität von Auswertungskarten zur Darstellungen von Bodenfunktionen durch Anwendung standardisierter Auswertungsmethoden in Bodeninformationssystemen wird im wesentlichen durch das Zusammenwirken zweier Faktoren bestimmt:

- der Sensitivität der Eingangsparameter und
- deren räumlicher Variabilität.

Jede Auswertemethode erfordert eine spezifische Kombination von Eingangsparametern, die mit unterschiedlicher Sensitivität in das Ergebnis eingehen. Jeder dieser Parameter zeigt ein eigenes räumliches Verteilungsmuster, das in unterschiedlicher Qualität in Bodenkarten abgebildet ist (Repräsentanz). Je sensibler ein Parameter für eine Methode ist, desto höher sind die Anforderungen an die Qualität der Ausgangsdaten. Abhängig von der Sensitivität wirkt sich also die räumliche Variabilität der Eingangsparameter unterschiedlich auf die Qualität des Ergebnisses aus.

Zur Beurteilung der Eignung einer Kartengrundlage für die Anwendung einer bestimmten Auswertungsmethode sind Kennwerte der Sensitivität (vgl. **Kap. 3**) mit solchen der räumlichen Variabilität zu verbinden. Die räumlichen Variabilität von Bodeneigenschaften sowie deren Erfassung und flächenhafte Darstellung in Bodenkarten auf verschiedenen Maßstabsebenen berührt eines der Grundprobleme der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten. Die dementsprechend umfangreiche Literatur kann im Rahmen dieses Berichtes nicht eingehend gewürdigt werden. HENNINGS (1991) hat im Rahmen einer vergleichenden Untersuchung von Bodenmerkmalen in Bodenkarten der Maßstäbe 1:5000 und 1:25.000 mit Felduntersuchungen den aktuellen Stand der Diskussion anschaulich und übersichtlich zusammengetragen. Eine leicht verständliche Einführung in das Thema bietet auch HORNIG (1990). Zahlreiche Arbeiten zu diesem Themenkreis sind am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel entstanden (z.B. LAMP 1972, KNEIB 1979, MUTERT 1978 und OTTE 1988). Einen Überblick über die Forschungsarbeiten auf internationaler Ebene geben z.B. DAHIA et al. (1984) und WILDING & DRESS (1983). Grundlegende Arbeiten sind auch im Zusam-

menhang mit der Bodenkartierung in der ehemaligen DDR entstanden (z.B. HAASE 1968, HAASE & SCHMIDT 1970). Auch KLEEBERG (1992) gibt zahlreiche Anregungen, die z.T. auf bodenkundliche Fragestellungen übertragbar sind.

In kleinmaßstäbigen Bodenübersichtskarten sind in der Regel Bodeneinheiten auf hoher bodensystematischer Aggregierungsstufe ausgewiesen. Diese werden durch eine typische Vergesellschaftung von Leit- und Begleitbodenformen charakterisiert. Je stärker die ausgewiesenen Bodeneinheiten zusammengefaßt sind, desto größer wird tendenziell die Spanne der Bodeneigenschaften innerhalb der Einheiten (**intraspezifische Variabilität**). Bleibt der betrachtete Raumausschnitt unverändert, so verringert sich gleichzeitig die Variabilität zwischen den Raumeinheiten (**interspezifische Variabilität**). Hinzu kommt, daß die Aggregation von Bodeneinheiten nach allgemeinen bodensystematischer Gesichtspunkten nicht für jeden Parameter die bestmögliche Gruppierung (=Minimierung der intraspezifische Variabilität und Maximierung der interspezifische Variabilität) ergeben kann. Es kommt also durch die Aggregation der Bodeneinheiten auf Parameterebene zu einer mehr oder minder starken "Verwischung der Konturen". Dies gilt um so mehr, je weniger die Parameter mit den Aggregierungskriterien übereinstimmen oder ähnliche räumliche Muster aufweisen.

Wird dagegen eine kleinmaßstäbige Übersichtskarte der Bodenfunktionen durch Generalisierung auf der Basis großmaßstäbig ermittelter Bodenfunktionen durchgeführt, ist die intraspezifische Variabilität des abgeleiteten Kennwertes in den Raumeinheiten der Auswertungskarte i.d.R. geringer, da hierbei lediglich eine darstellungsbedingte Vereinfachung der Konturen erfolgt. Die Interpretierbarkeit einer solchen Karte wird aber dadurch erheblich eingeschränkt, daß bei der Generalisierung anhand der Bodenfunktionen das Mitführen weiterer Bodenmerkmale schon technisch nur sehr beschränkt möglich ist. Die mitgeführten Parameter können zudem in den neuen funktionalen Raumeinheiten eine erhebliche intraspezifische Variabilität aufweisen, was die Interpretation zusätzlich erschwert. Die Information der funktionalen Karte wird also "flacher". Sie beschränkt sich weitgehend auf eine einzige Dimension, die dafür mit der größtmöglichen Genauigkeit dargestellt wird.

Welchem der beiden Auswertungswege der Vorzug zu geben ist, hängt ausschließlich von der Fragestellung ab, die der Methodenanwendung zugrunde liegt. Für konkrete Vollzugsaufgaben wird häufig eine möglichst flächenscharfe Ausweisung der Gefährdungsgrade benötigt. Dafür sind großmaßstäbige Potentialdarstellungen am besten geeignet. Auf Bundesebene liegt der Schwerpunkt dagegen häufig eher auf der Übersichtsdarstellung großräumiger Verteilungsmuster, der Abschätzung gefährdeter Flächenanteile, z.B. zur Einschätzung der Dringlichkeit bundesweiter Regelungen oder der Darstellung kausaler Zusammenhänge. Hierfür ist meist die bodenkundliche Interpretierbarkeit der Auswertungskarten von großer Bedeutung, während Ungenauigkeiten bei der kleinräumigen Ausweisung der Gefährdungsgrade eher hingenommen werden können.

#### 4.2.2.1 Fragestellung im F&E Vorhaben

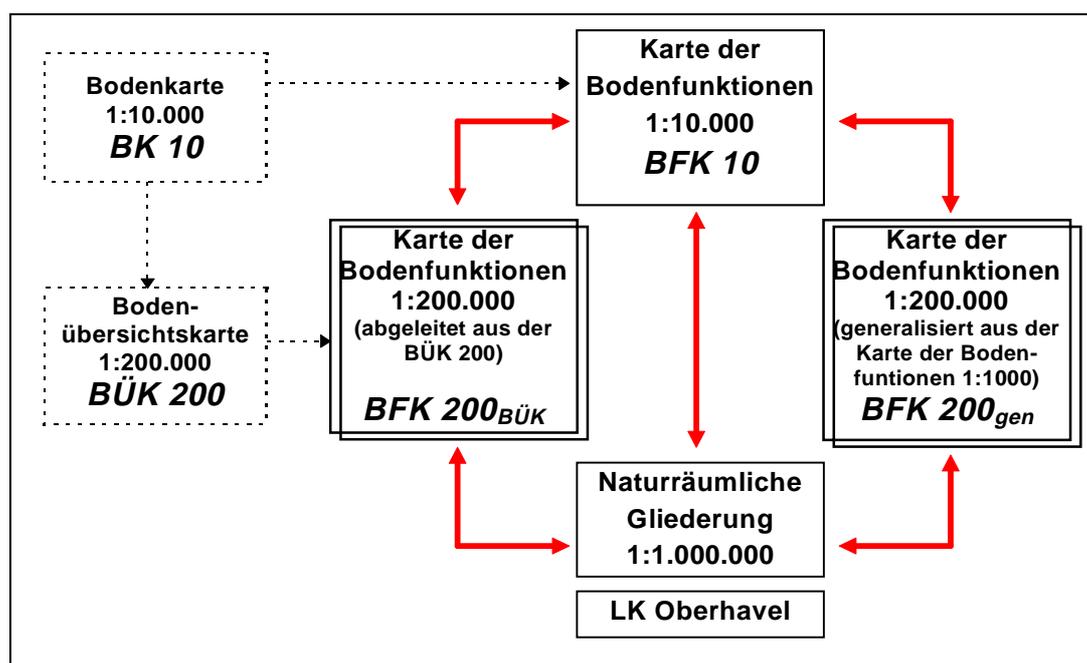
Im F&E-Vorhaben wurden vergleichenden Untersuchungen anhand zweier, unterschiedlich generierter Übersichtskarten der potentiellen Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen (FSMw) und der Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG) für den Landkreis Oberhavel durchgeführt:

1. Die Methoden wurden auf der großmaßstäbige Bodenkarten (1:10.000) angewendet. Das Ergebnis wurde anschließend auf den Zielmaßstab (1:200.000) generalisiert.
2. Die Anwendung der Methoden erfolgte direkt auf der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000.

Aufgrund der spezifischen Bedingungen im Beispielgebiet (vgl. **Kap.4.1**) sind die Ergebnisse nur eingeschränkt verallgemeinerbar. Es können aber exemplarisch die wesentlichen Voraussetzungen und Kriterien zur Beurteilung der Eignung von Bodendaten verschiedener Maßstabsebenen zur Ableitung kleinmaßstäbiger Aussagen zu Bodenfunktionen bzw. potentiellen Gefährdungsgraden aufgezeigt werden.

Die Untersuchung der kleinmaßstäbigen Übersichtsdarstellungen i.M. 1:200.000 der potentiellen Gefährdungsgrade erfolgt durch den Vergleich mit der entsprechenden Po-

tentialdarstellung aufgrund der großmaßstäbigen Datenbasis i.M. 1:10.000. Als räumliche Bezugsebenen dienen das gesamte Kreisgebiet, ausgewählte naturräumliche Einheiten und die Legendeneinheiten der BÜK 200 bzw. die Raumeinheiten gleicher Gefährdungstufen der generalisierten Bodenfunktionskarte 1:200.000 (**BFK 200<sub>gen</sub>**). Das Vergleichskonzept ist in **Abb. 4.2** dargestellt. Die Abweichungen zwischen der Bodenfunktionskarte 1:10.000 (**BFK 10**) und der BFK 200<sub>gen</sub> sind ausschließlich auf die kartographische Generalisierung zurückzuführen. Beim Vergleich der BFK 10 und der Bodenfunktionskarte auf Grundlage der BÜK 200 (**BFK 200<sub>BÜK</sub>**) können dagegen neben den systematischen Abweichungen als Folge der Aggregation und Generalisierung der Legendeneinheiten auch zufällige Fehler durch die unterschiedliche Datenherkunft auftreten.



**Abb. 4.2:** Vergleichskonzept zur Ableitung der bevorzugten Maßstabebene für Ausweisung von Bodenfunktionen zur Übersichtsdarstellung auf Bundesebene

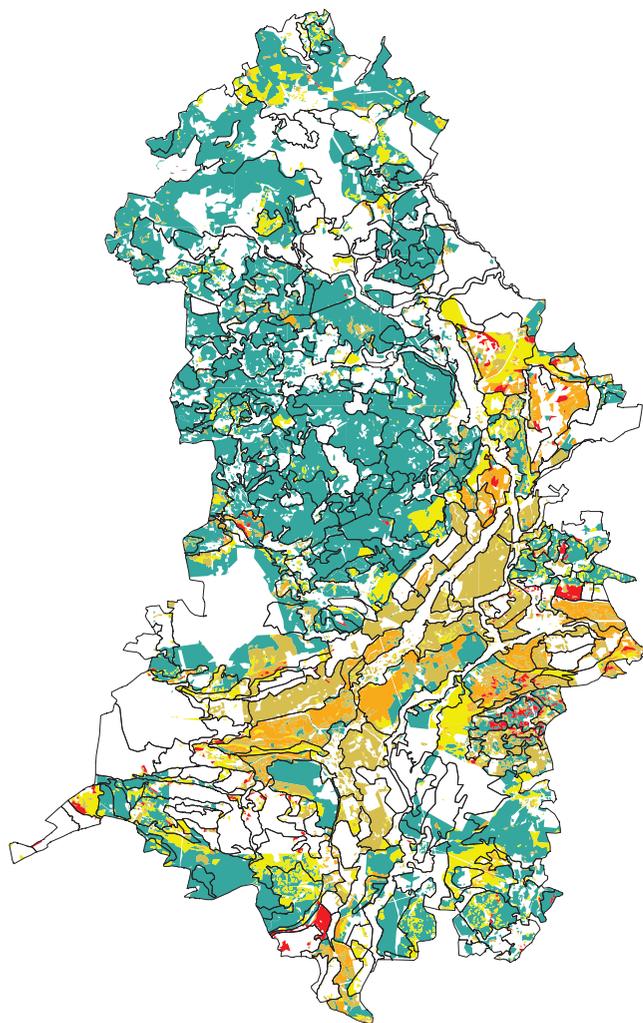
Die vergleichenden Analysen werden unter folgenden Leitfragestellungen durchgeführt:

1. Wie unterscheiden sich die ausgewiesenen Bodenfunktionen in ihren großräumigen Dimensionen und Verteilungsmustern?
2. In wieweit stimmt die mittlere oder flächenhaft vorherrschende Aussage der kleinmaßstäbigen Karten mit der großer Maßstabsebene überein?
3. Wie groß ist die Variabilität der Bodenfunktionen, mit der innerhalb der Raumeinheiten auf kleiner Maßstabsebene gerechnet werden muß und wieweit wird die großmaßstäbig ausgewiesene Variabilität in den kleinmaßstäbigen Karten abgebildet.

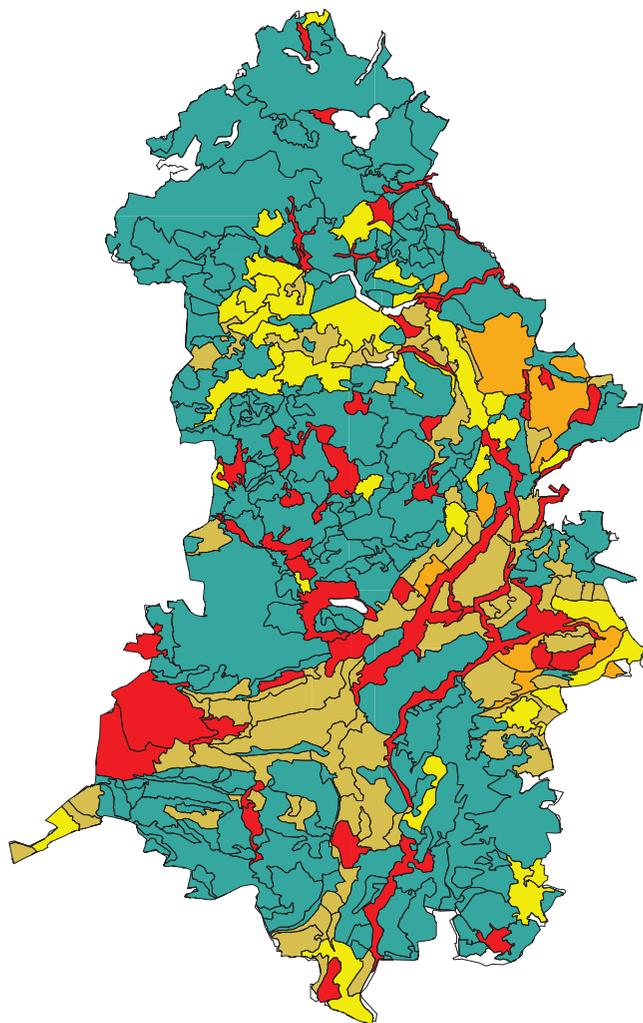
#### **4.2.3 Vergleich der potentiellen Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Cadmium**

Als kartographische Grundlage der vergleichenden Untersuchungen zur maßstabsabhängigen Darstellbarkeit der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium ins Grundwasser dienen die **Karten 2a** und **2b**. Zum besseren Verständnis der Interpretation ist zusätzlich die räumliche Verteilung der sensitivsten pedologischen Eingangsparemeter der Methode FSMw (Grundwasserstufe und pH-Wert) (vgl. **Kap. 3**) aus der BK 10 und der BÜK 200 dargestellt (**Karten 3 & 4**). Die Karte der Grundwasserstufe zeigt deutliche Bezüge zum Relief des Untersuchungsgebietes. Die pH-Werte orientieren sich weitgehend an der Bodennutzung.

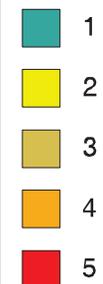
BFK10 ( 1 : 10.000)



BFK200(BÜK) ( 1 : 200.000)



FSMW - Stufen für Cadmium



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 2: Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)  
2a: Vergleich BFK10 - BFK200(BÜK)

Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

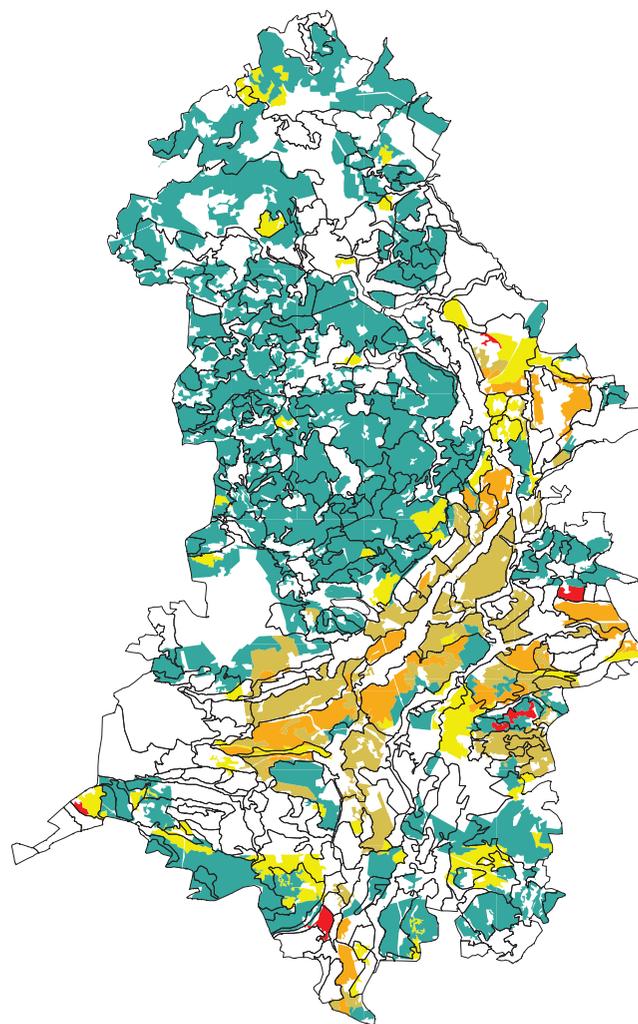
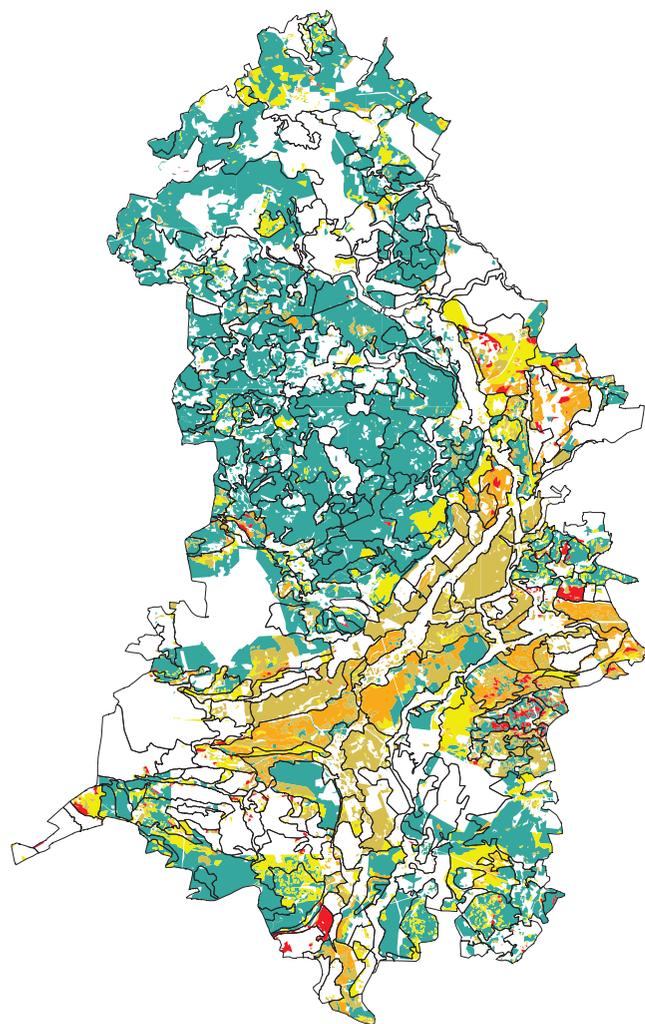
J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

**BGR**

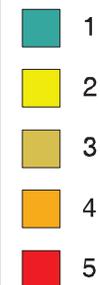


BFK10 ( 1 : 10.000)

BFK200/gen ( 1 : 200.000)



FSMW - Stufen für Cadmium



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 2: Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)  
2b: Vergleich BFK10 - BFK200/gen

Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

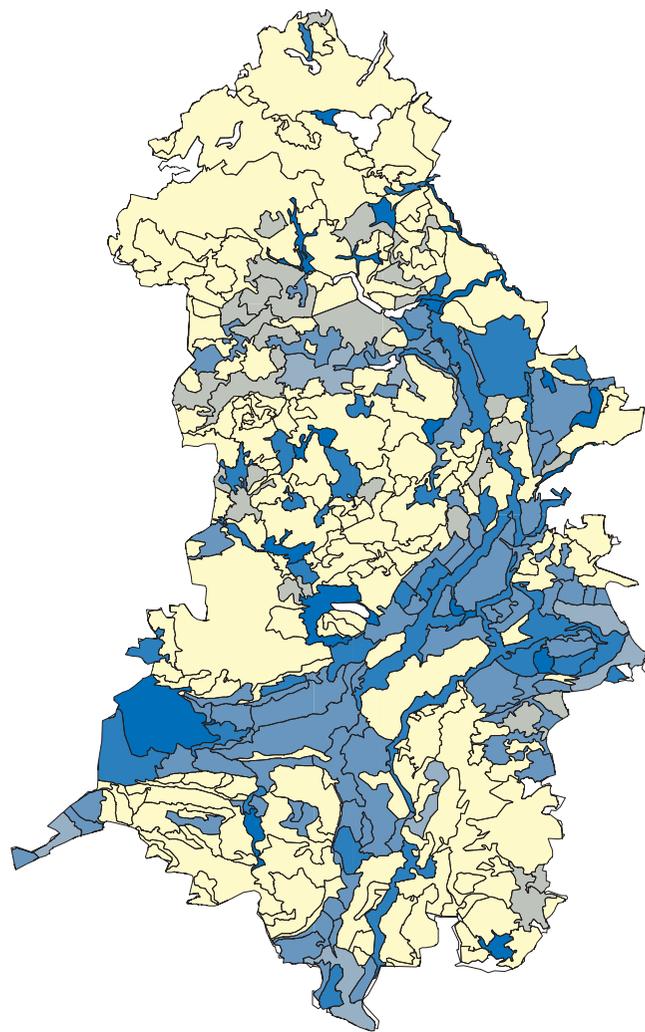
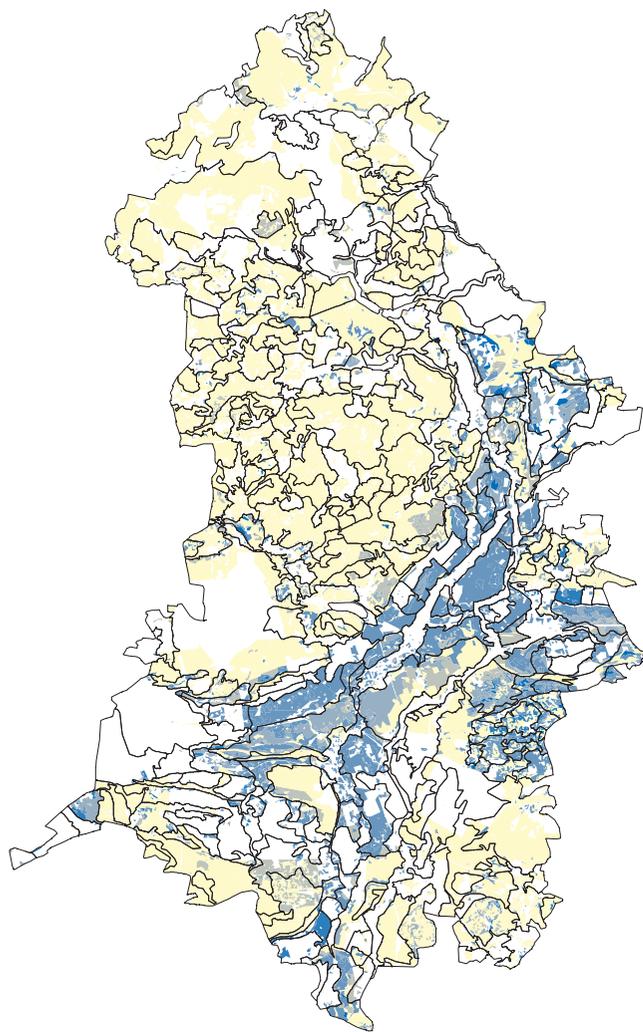
J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

**BGR**



BK10 ( 1 : 10.000)

BK200BÜK ( 1 : 200.000)



Grundwasserstufen

-  GWS 1
-  GWS 2
-  GWS 3
-  GWS 4
-  GWS 5
-  GWS 6



1: 550.000

0 5 10 15Km

Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

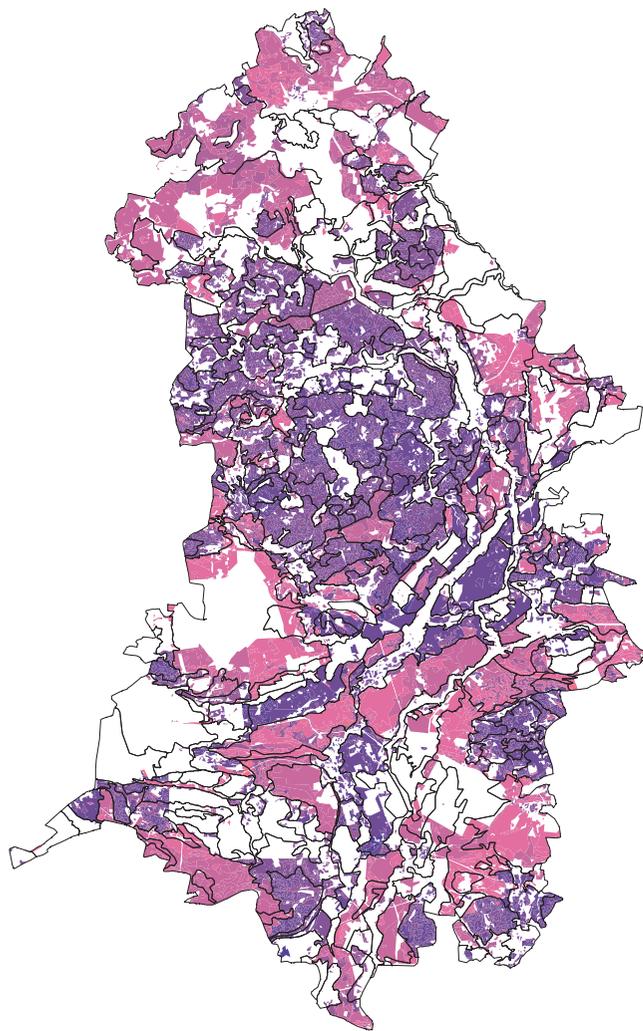
Karte 3: Grundwasserstufen (GWS) in der BÜK200 und der BK10

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

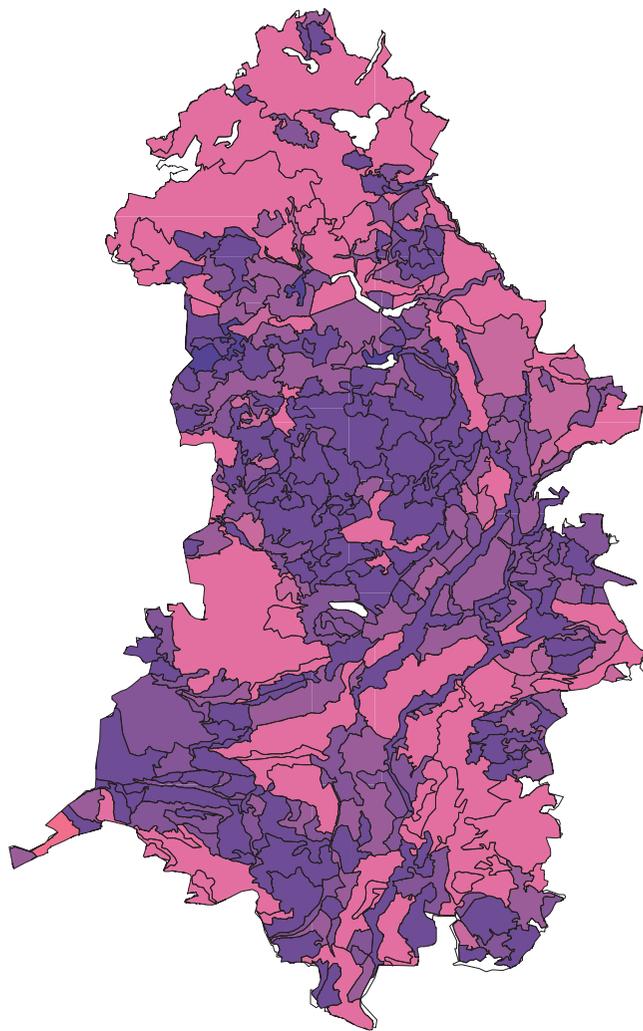




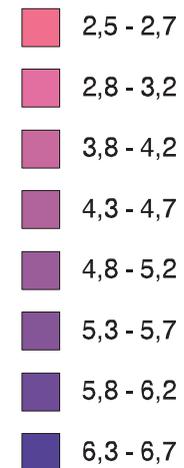
BK10 ( 1: 10.000)



BK200BÜK ( 1: 200.000)



PH(CaCl<sub>2</sub>) Werte



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 4: PH(CaCl<sub>2</sub>) Werte in der BÜK200 und BK10

Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

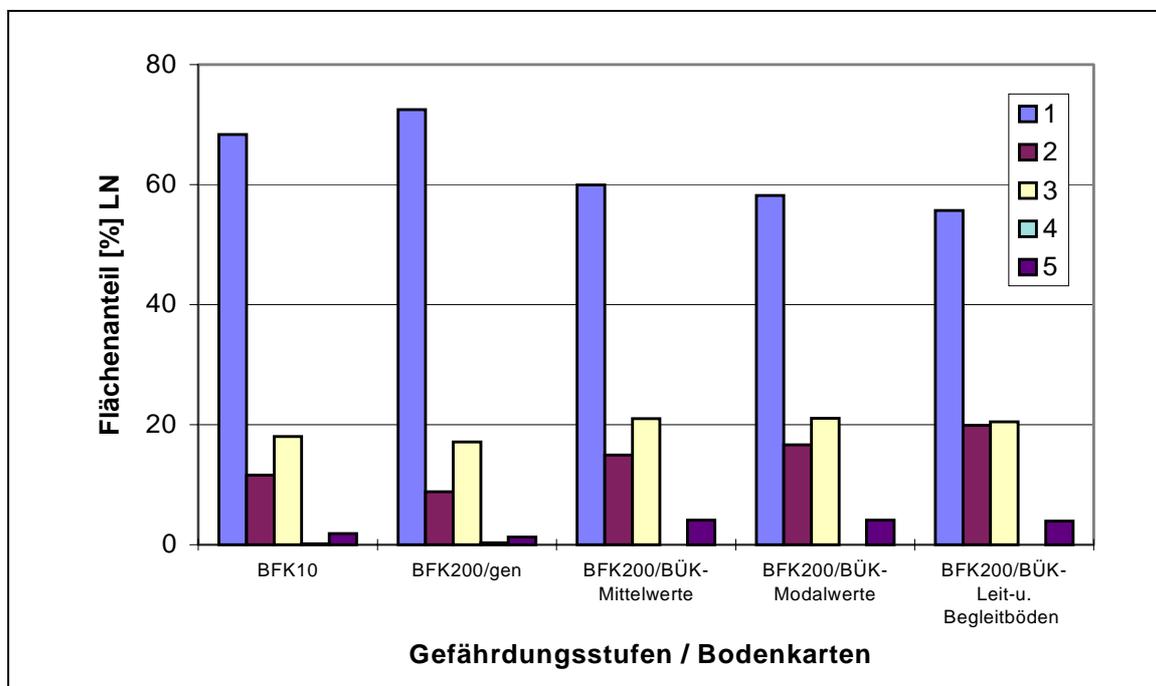
J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld





### 4.2.3.1 Vergleich der großräumigen Muster

Großräumige Verteilungsmuster von Bodenfunktionen können z.B. durch wechselndes Ausgangsmaterial der Bodenbildung oder klimatische Gradienten bedingt sein. Das Untersuchungsgebiet ist für solche Abstufungen im Prinzip zu klein und zu homogen. Daher muß sich der großräumige Vergleich der Darstellung von Bodenfunktionen auf die naturräumliche Gliederung beschränken. Als weitere großräumige Bezugsebene wird die gesamte Kreisfläche untersucht. Sie kann als Ausschnitt einer höheren Gliederungsebene aufgefaßt werden. Grundlage der Untersuchungen sind Flächenanteilsverteilungen der Austragsgefährdungsstufen für Cadmium (FSMw/Cd) in den Legendeneinheiten bzw. Raumeinheiten gleicher Gefährdungsstufe der unterschiedlichen Auswertungskarten. Diese sind nutzungsdifferenziert über das gesamte Kreisgebiet bzw. die drei größten naturräumlichen Haupteinheiten des Landkreises Oberhavel zusammengefaßt dargestellt.

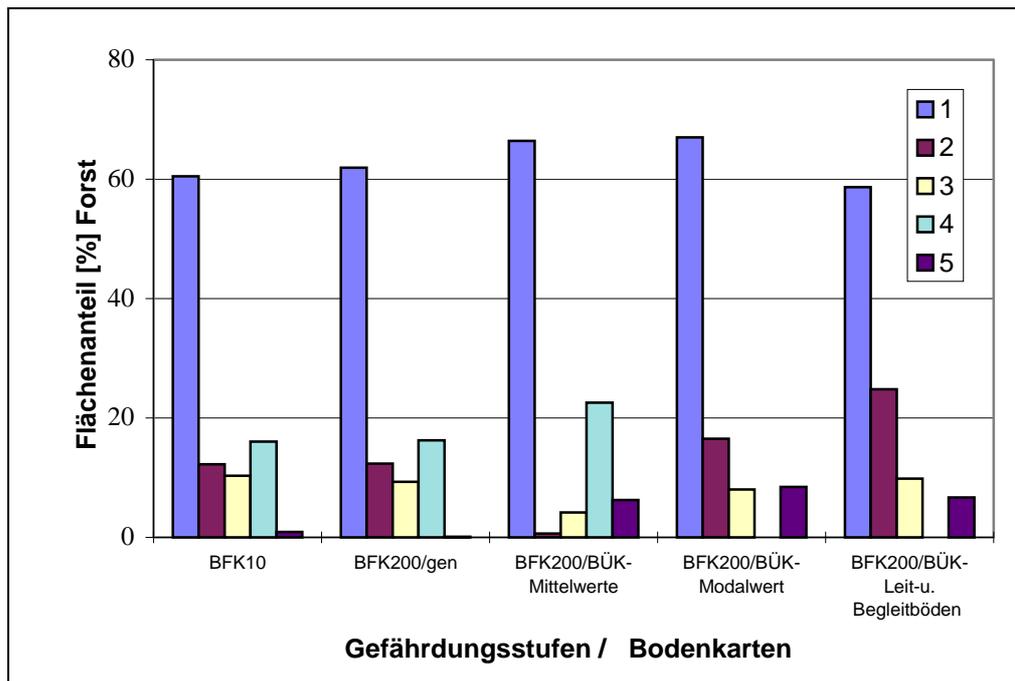


**Abb. 4.3:** Flächenanteilsverteilung der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Landkreis Oberhavel

**Vergleich auf Kreisebene:**

**Abb. 4.3** zeigt die flächenanteilsgewichteten Häufigkeitsverteilungen der FSMw/Cd-Werte auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Landkreis Oberhavel in den Auswertungskarten. Die Verteilung der Gefährdungsstufen in der generalisierten Bodenfunktionskarte 1:200.000 (**BFK 200<sub>gen</sub>**) und der Bodenfunktionskarte 1:10.000 (**BFK 10**) stimmen erwartungsgemäß weitestgehend überein. Die Verteilung der FSMw/Cd-Werte in der Bodenfunktionskarte aufgrund der BÜK 200 (**BFK 200<sub>BÜK</sub>**) wird durch verschiedene Kennwerte dargestellt. Die Häufigkeitsverteilung der mittleren FSMw/Cd-Werte in den BFK 200<sub>BÜK</sub>-Legendeneinheiten weist die geringsten Abweichungen zur großmaßstäbigen Darstellung auf. Größere Unterschiede zeigen sich dagegen bei Gefährdungsstufen aufgrund der flächenhaft vorherrschenden Werte (Modalwert) und der flächenanteilig gewichteten Werte der Leit- und Begleitböden der BFK 200<sub>BÜK</sub>.

Unter Forstnutzung sind die Unterschiede zwischen der Verteilung der Gefährdungsstufen in der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 etwas deutlicher (siehe **Abb. 4.4**). Auffällig ist hier insbesondere der deutlich höhere Anteil der Gefährdungsstufe 5 in der BFK 200<sub>BÜK</sub>, sowie das völlige Fehlen der Stufe 4 bei den Gefährdungsstufen der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Modalwerte und der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Leit- und Begleitböden. Dennoch zeigen auch die flächenanteilsgewichteten Häufigkeitsverteilungen der FSMw/Cd-Werte der forstlich genutzten Böden auf großer und kleiner Maßstabsebene bezogen auf das gesamte Kreisgebiet deutliche Ähnlichkeiten.



**Abb. 4.4:** Flächenanteilsverteilung der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf Forststandorten im Landkreis Oberhavel

Zur Prüfung inwieweit die Häufigkeitsverteilungen der Gefährdungsstufen in den verschiedenen kleinmaßstäbigen Bodenkarten mit der großmaßstäbigen Verteilung übereinstimmen, werden der  $\chi^2$ - und KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Tests auf Gleichheit der Verteilungen durchgeführt. Getestet wurde die Nullhypothese

**H<sub>0</sub>:** Die flächengewichtete Häufigkeitsverteilung der Gefährdungsstufen im Landkreis Oberhavel in der BFK 200<sub>BÜK</sub> stimmt mit der Verteilung der Gefährdungsstufen in der BFK 10 überein.

Die Alternativhypothese lautete:

**H<sub>A</sub>:** Die Verteilungen der Gefährdungsstufen stimmen nicht überein.

Die Tests werden auf einem Signifikanzniveau von 5% durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Tab. 4.1** aufgeführt (pos. = Übereinstimmung; neg. = keine Übereinstimmung der Verteilungen). Die statistischen Voraussetzungen für die Annahmen einer Übereinstimmung der Verteilungen durch den  $\chi^2$ -Test sind strenger als durch den

KOLMOGOROFF SMIRNOFF-Test. Daher ergibt sich die Möglichkeit eine abgestufte Aussage zur Übereinstimmung der Verteilungen zu machen. Die landwirtschaftlich genutzten Böden weisen mit Ausnahme der BFK 200<sub>BÜK</sub> Leit- u. Begleitböden Übereinstimmung nach beiden Tests auf. Bei den Forstböden dagegen kann eine Übereinstimmung nur nach dem KOLMOGOROFF SMIRNOFF-Test angenommen werden. Der Chi<sup>2</sup>-Test dagegen zeigt keine statistisch abgesicherte Übereinstimmung.

**Tab. 4.1: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen im gesamten Kreisgebiet des LK-Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen**

Datengrundlage	LN				Forst			
	Ges.-mittelwert.	Chi <sup>2</sup> -Test 5%*	K-S Test 5%*	durchschn. Abw.	Ges.-mittelwert.	Chi <sup>2</sup> -Test 5%*	K-S Test 5%*	durchschn. Abw.
BFK 10	1,7				1,8			
BFK 200 <sub>gen</sub>	1,6	pos.	pos.	1,7%	1,8	pos.	pos.	0,7
BFK 200 <sub>BÜK</sub> Mittelwerte	1,9	pos.	pos.	3,4%	2,0	neg.	pos.	7,1%
BFK 200 <sub>BÜK</sub> Modalwerte	1,7	pos.	pos.	4,1%	1,7	neg.	pos.	7,3%
BFK 200 <sub>BÜK</sub> Leit/Begleitböden	1,7	neg.	pos.	5,1%	1,7	neg.	pos.	7,3%

\*Chi<sup>2</sup> / K-S-Test = pos.: Übereinstimmung der Verteilungen kann angenommen werden.

\*Chi<sup>2</sup> / K-S-Test = neg.: Übereinstimmung der Verteilungen kann nicht angenommen werden

In **Tab. 4.1** sind die flächenanteilsgewichteten Gesamtmittelwerte FSMw/Cd-Werte der verschiedenen Bodenkarten aufgeführt. Die Unterschiede zwischen den Maßstabsebenen betragen maximal 0,3 Stufen und würden somit durch Rundung auf ganzzahlige Parameterwerte entfallen. Alle Verteilungen weisen außerdem für das gesamte Kreisgebiet denselben flächenhaft vorherrschenden Wert (Modalwerte) auf. Als ein weiterer anschaulicher Parameter zum Vergleich der Verteilung der Gefährdungsstufen in den unterschiedlichen Karten sind in **Tab. 4.1** die durchschnittlichen Abweichungen der Gefährdungsstufen aufgeführt. Sie ermöglichen zusätzlich eine abgestufte Beurteilung der Ähnlichkeit anhand eines vergleichbaren Parameters.

Als einfaches Streuungsmaß, das die Extremwerte unberücksichtigt läßt, kann die Wertespanne zwischen dem zehnten und neunzigsten Perzentil herangezogen werden. Auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen des Kreises Oberhavel umfaßt sie in allen vergli-

chenen Karten die Gefährdungsstufen 1 bis 3. Unter Forst liegt sie in der BFK 10 zwischen den Stufen 1 und 4. In der BFK 200<sub>BÜK</sub> wird diese Spanne nur durch die Verteilung der Mittelwerte der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Legendeneinheiten abgedeckt. In den Karten der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Modalwerte und der Flächenanteile der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Leit- und Begleitböden dagegen wird der obere Wert um eine Klasse unterschätzt.

Sowohl unter landwirtschaftlicher als auch unter forstlicher Nutzung sind demnach die flächengewichteten BÜK 200-Mittelwerte der bestgeeignete Parameter der BFK 200<sub>BÜK</sub> für Aussagen über das gesamte Kreisgebiet. Die geringste Übereinstimmung mit der großmaßstäbigen Verteilung zeigen die BÜK 200-Modalwerte und die Flächenanteile der BÜK 200-Leit- und Begleitböden unter Forst.

Insgesamt kann aufgrund der vielfältigen Übereinstimmungen davon ausgegangen werden, daß die BÜK 200 für Aussagen zur Austragsgefährdung von Cadmium, die das gesamte Kreisgebiet betreffen, geeignet ist. Unter landwirtschaftlicher Nutzung kann von einer statistisch abgesicherten Übereinstimmung der klein- und großmaßstäbigen Darstellung der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen ausgegangen werden. Auch unter Forst stimmen die Darstellungen weitestgehend überein.

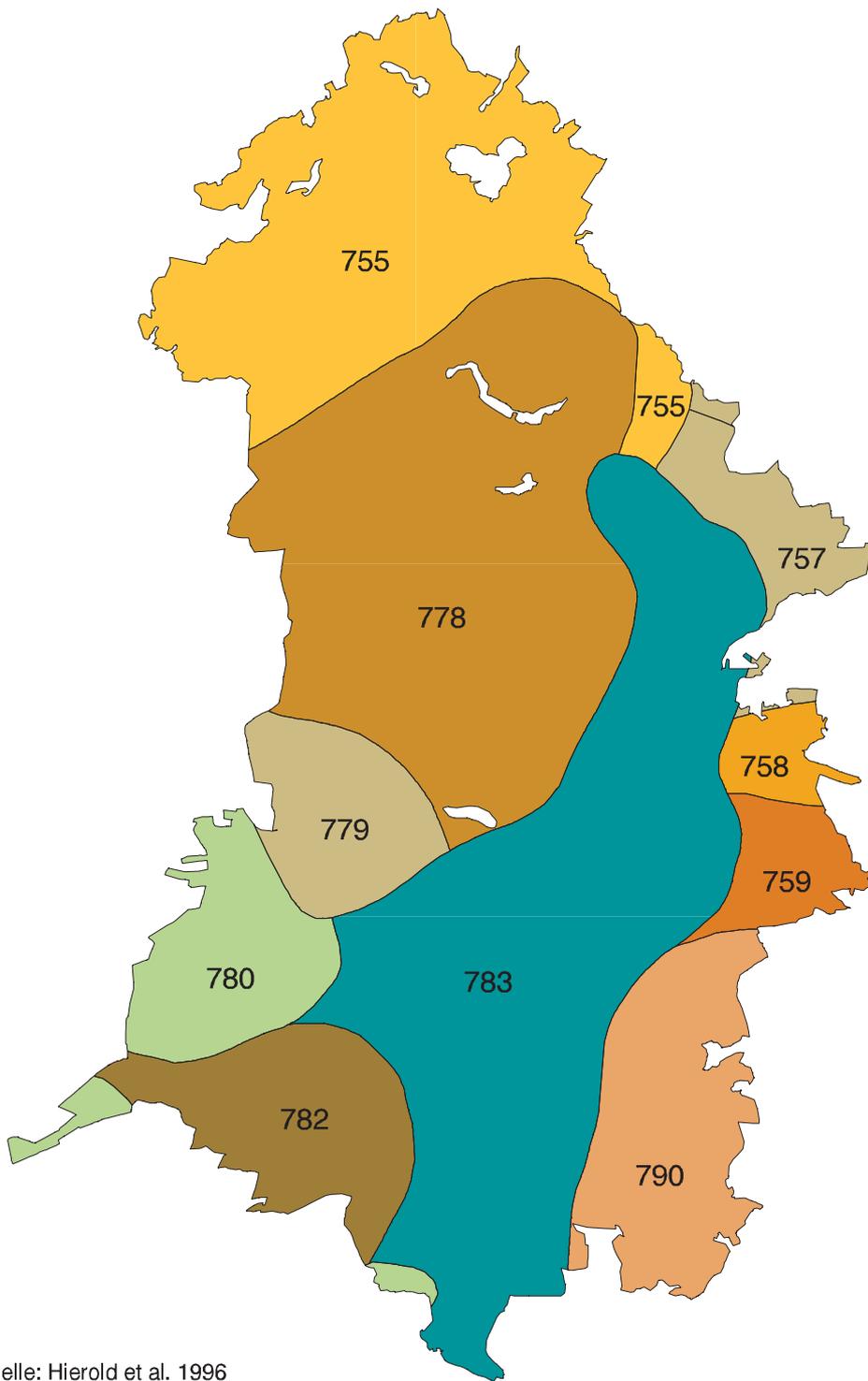
### Vergleich auf der Ebene der naturräumlichen Einheiten

Die zweite räumliche Bezugsebene für den Vergleich der großräumigen Verteilungsmuster der Bodenfunktionen ist die naturräumliche Gliederung des Landkreises Oberhavel. Hierzu werden beispielhaft die flächenanteilsgewichteten Häufigkeitsverteilungen der FSMw/Cd-Stufen in den drei größten Naturräumen des Landkreises untersucht (siehe **Tab. 4.2**, u. **Karte 5**). Die ausgewählten Naturräume decken zusammen ca. 75% des Kreisgebietes ab (vgl. HIEROLD et al. 1996).

**Tab. 4.2: Naturräumliche Einheiten des LK Oberhavel für den Vergleich der großräumigen Muster der Austragsgefährdung von Cadmium**

Naturräumliche Haupteinheit	Nr.	Anteil Kreisfläche OHV	Nutzung	
			LN	Forst
Neustrelitzer Kleinseenland	755	20%	21%	79%
Granseer Platte	778	25%	83%	17%
Zehdenick-Spandauer Havelniederung	783	30%	45%	55%





Quelle: Hierold et al. 1996

#### Haupteinheiten

- |   |  |
|---|--|
|  Neustrelitzer Kleinseenland (755) |  Havelländisches Luch (780)     |
|  Schorfheide (756)                 |  Ländchen Glien (782)           |
|  Britzler Platte (758)             |  Spandauer Havelniederung (783) |
|  Eberwalder Tal (759)              |  Westbarnin (790)               |
|  Granseer Platte (778)             |  |

1 : 380.000

0 5 10 KM



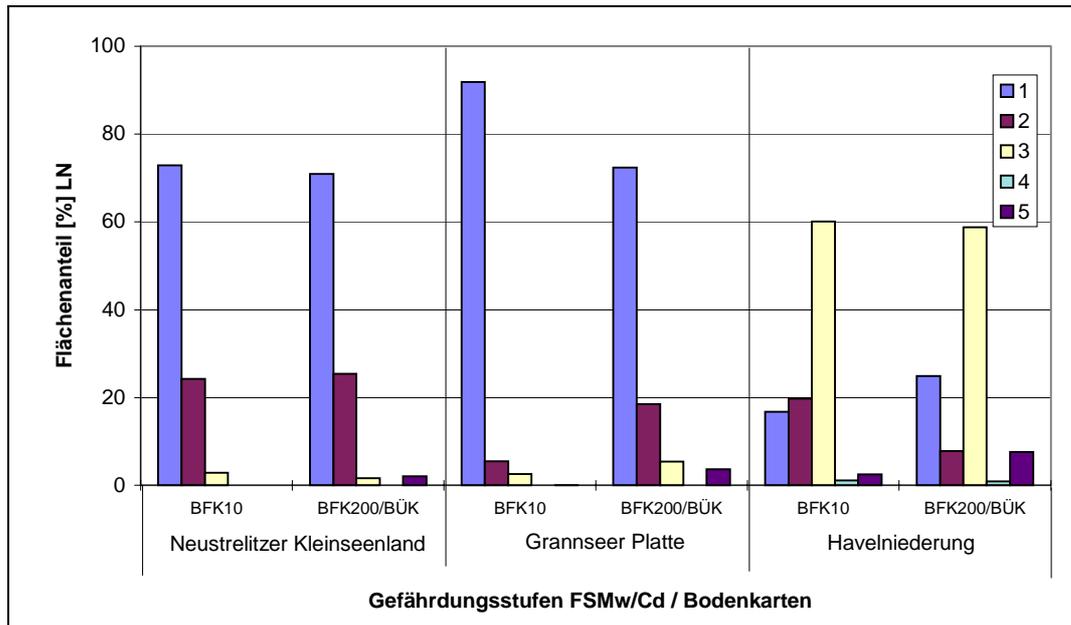
Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

**BGR**

Karte 5: Haupteinheiten der naturräumlichen Gliederung im Landkreis Oberhavel





**Abb. 4.5:** Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf landwirtschaftlich genutzten Böden in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel

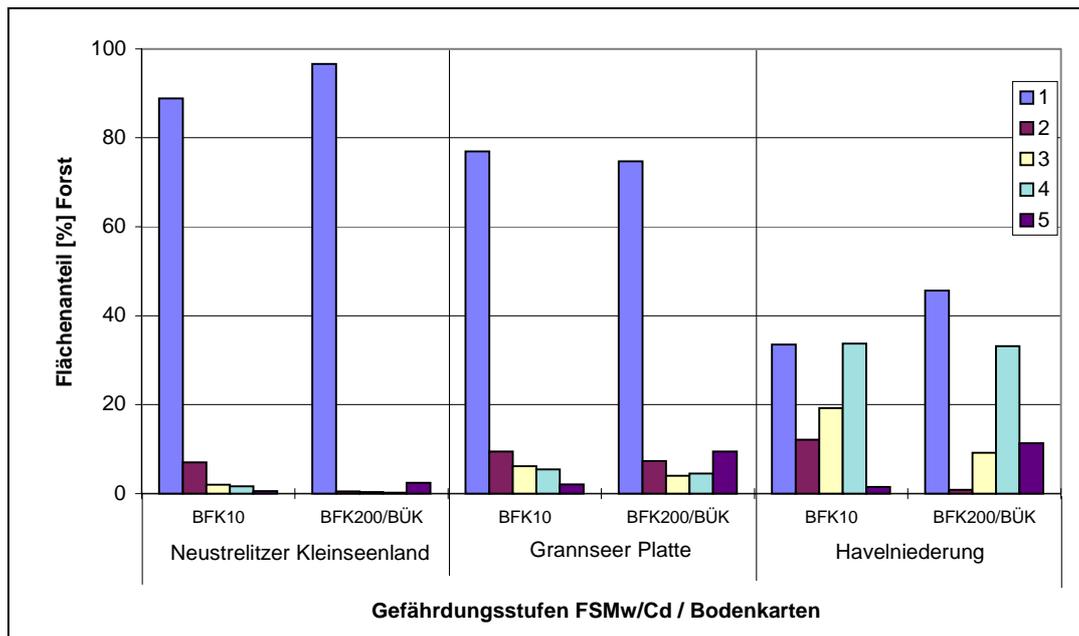
**Abb. 4.5** zeigt die Verteilungsdiagramme der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen der landwirtschaftlich genutzten Böden in den untersuchten naturräumlichen Haupteinheiten. Die statistischen Vergleichsparameter sind in **Tab. 4.3** aufgeführt. Die grundwasserfernen Böden des Neustrelitzer Kleinseenlandes und der Grannseer Platte zeigen auf beiden Maßstabsebenen überwiegend sehr geringe Gefährdungsgrade. Die Flächenmittelwerte liegen in beiden Landschaftsräumen unter 1,5. Jeweils über 70% der Fläche weisen die geringste Gefährdungsstufe (1) auf. Ebenso ist die Streuung der Werte sehr gering: über 90% der Fläche entfallen auf die Gefährdungsstufen 1 und 2.

**Tab. 4.3: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen**

Naturräumliche Haupteinheit	Landwirtschaftliche Nutzfläche				
	Mittel BFK 10	Mittel BFK 200 <sub>BÜK</sub>	Chi <sup>2</sup> -Test	K-S Test5%*	durchschn. Abw.
Neustrelitzer Kleinseenland	1,3	1,4	pos.	pos.	1,3%
Granseer Platte	1,1	1,4	neg.	neg.	7,8%
Zehdenick-Spandauer Havelniederung	2,5	2,6	neg.	pos.	5,3%

Die statistischen Tests auf Gleichheit der Verteilungen der FSMw/Cd-Werte in der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> zeigen für das Neustrelitzer Kleinseenland keine signifikanten Unterschiede der Flächenanteilsverteilungen aufgrund des Auswertungsmaßstabes. Auf der Grannseer Platte dagegen unterscheiden sich die Verteilungen der Gefährdungsstufen erheblich. Insbesondere in den Klassen 1 und 2 treten Abweichungen auf. Auch die statistischen Tests zeigen hier keine Übereinstimmung der Maßstabebenen. Dennoch kann auch hier davon ausgegangen werden, daß die Gefährdungssituation aufgrund der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Werte nicht grob fehlerhaft eingeschätzt wird. Hierfür sprechen die Übereinstimmung der vorherrschenden Werte und der Streuungsparameter ebenso wie die geringe Abweichung der Mittelwerte, die im ganzzahligen Rundungsbereich der Gefährdungsstufen liegt.

Die landwirtschaftlich genutzten Böden der Havelniederung zeigen aufgrund der höheren Grundwasserstände deutlich höhere FSMw/Cd-Gefährdungsstufen. Die Mittelwerte liegen bei 2,5 in der BFK 10 und 2,6 in der BFK 200<sub>BÜK</sub>. Flächenhaft vorherrschender Wert ist jeweils 3. Die Verteilungen der Werte aus der BFK 10 und BFK 200<sub>BÜK</sub> stimmen nur nach dem KOLOMOGOROFF-SMIRNOFF-Test überein. Der Chi<sup>2</sup>-Test zeigt dagegen keine Übereinstimmung. Die Spanne der Perzentile (10-90) liegt in beiden Karten zwischen den Gefährdungsstufen 1 und 3.



**Abb. 4.6: Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium (FSMw/Cd) auf forstlich genutzten Böden in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel**

Die Flächenanteilsdiagramme der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen für forstlich genutzte Böden sind in **Abb. 4.6** dargestellt. Die dazugehörigen statistischen Parameter können **Tab. 4.4** entnommen werden. Im Neustrelitzer Kleinseenland und auf der Granseer Platte entsprechen die Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen der Forststandorte etwa denen der landwirtschaftlich genutzten Böden, wobei der Anteil der geringsten Gefährdungsstufe etwas höher ausfällt. In der Havelniederung sind die Gefährdungsstufen der Forstböden bei gleichen Mittelwerten breiter gestreut, als die der landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Flächenanteilsverteilungen der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> können aufgrund des KOLOMOGOROFF-SMIRNOFF-Tests in allen drei Landschaftsräumen als übereinstimmend angesehen werden. Im Neustrelitzer Kleinseenland ist auch der  $\chi^2$ -Test positiv.

**Tab. 4.4: Gesamtmittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungsstufen auf Forststandorten in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel und Ergebnisse der statistischen Tests auf Übereinstimmung der Verteilungen**

Naturräumliche Haupteinheit	Forstfläche				
	Mittel BK 10	Mittel BÜK 200	Chi <sup>2</sup> -Test Test5%*	K-S Test5%*	durchschn. Abw
Neustrelitzer Kleinseenland	1,2	1,1	pos.	pos.	3,8%
Granseer Platte	1,5	1,7	neg.	pos.	2,9%
Zehdenick-Spandauer Havelniederung	2,6	2,6	neg.	pos.	8,8%

Insgesamt zeigen die durchgeführten Untersuchungen auf beiden Maßstabsebenen nur geringfügige Unterschiede in der Abbildung der großräumigen Muster der Austragsgefährdung von Cadmium. Ein signifikanter Qualitätsvorsprung der großmaßstäbigen Auswertungskarten ist aufgrund der im Landkreis Oberhavel durchgeführten Analysen nicht erkennbar. Die Flächenanteilsverteilungen der Gefährdungsstufen in der BFK 200<sub>BÜK</sub> zeigen in den untersuchten Raumeinheiten überwiegend statistisch abgesicherte Übereinstimmung mit denen in der BFK 10. Vor diesem Hintergrund erscheint die BÜK 200 als Datengrundlage für Darstellungen großräumiger Verteilungsmuster der Bodenfunktionen uneingeschränkt geeignet.

#### **4.2.4 Vergleich der Bodenfunktionen auf der räumlich/inhaltlichen Ebene der BÜK 200 Legendeneinheiten**

Ein Maßstabsvergleich der Darstellung der Bodenfunktionen auf der räumlich/inhaltlichen Ebene der BÜK 200-Legendeneinheiten erfordert andere Untersuchungsstrategien, als die bisher durchgeführten Vergleiche auf der Basis von Flächenanteilsverteilungen in den größeren räumlichen Einheiten (Naturräume, gesamte Kreisfläche). Auf der Ebene der BÜK 200-Legendeneinheiten sind keine vergleichbaren Flächenanteilsverteilungen von Parameterwerten der Bodenfunktionen mehr ausweisbar. Zwar werden den vergesellschafteten Leit- und Begleitbodenformen jeweils geschätzte Flächenanteile zugewiesen, diese sind jedoch auf einen wesentlich größeren räumlichen Bezugsrahmen zugeschnitten. In kleineren Raumausschnitten wie dem untersuchten

Landkreis Oberhavel können erhebliche Abweichungen von den großräumig geschätzten Flächenanteilen auftreten. Die vergleichenden Untersuchungen auf der Ebene der BÜK 200-Legendeneinheiten im Landkreis Oberhavel können sich daher nicht auf diese Flächenanteilsverteilungen beziehen. Untersucht werden können auf dieser räumlich / inhaltlichen Ebene lediglich die mittlere bzw. vorherrschende Flächenaussage sowie die ermittelten Wertespannen der Gefährdungstufen.

#### 4.2.4.1 Vergleich der mittleren und vorherrschenden Flächenaussage der BFK 200<sub>BÜK</sub>-Legendeneinheiten

Die Unterschiede der mittlere Flächenaussage der BKK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 200<sub>gen</sub> werden anhand der arithmetischen Mittelwerte der FSMw/Cd Gefährdungstufen untersucht. Dazu werden zunächst die Mittelwerte der Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> mit denen der zugehörigen Polygone der BFK 10 verglichen. Dies kann auf zwei räumlich abgestuften Betrachtungsebenen geschehen:

1. Vergleich der flächengewichteten arithmetischen Mittelwerte aller Polygone einer Legendeneinheit im gesamten Kreisgebiet → Gesamtmittelwert der BÜK 200 Legendeneinheit (siehe **Karte 6a**)
2. Vergleich der flächengewichteten arithmetischen Mittelwerte der Einzelpolygone der BÜK 200 Legendeneinheiten → Polygonmittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheit (siehe **Karte 6c**)

Zur Interpretation der Unterschiede wird zusätzlich ein Vergleich der flächengewichteten arithmetischen Mittelwerte der Polygone einer BÜK 200 Legendeneinheit innerhalb der drei großen naturräumlichen Einheiten durchgeführt

→ Mittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten in den naturräumlichen Einheiten (siehe **Karte 6b**)

In **Karte 6d** sind zusätzlich die absoluten Abweichungen zwischen den BFK 200<sub>BÜK</sub> Gefährdungstufen und den Gefährdungstufen der BFK 10 Polygone dargestellt.

Die mittlere Flächenaussage der BFK 200<sub>BÜK</sub> ist in allen Polygonen einer Legendeneinheit identisch. In der BFK 10 dagegen liegt in jedem Polygon eine individuelle Verteilung von Flächenanteilen der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen vor. Daher ergeben sich auf den Untersuchungsebenen aufgrund der unterschiedlichen Zusammenfassung der Polygone verschiedene Vergleichsmittelwerte.

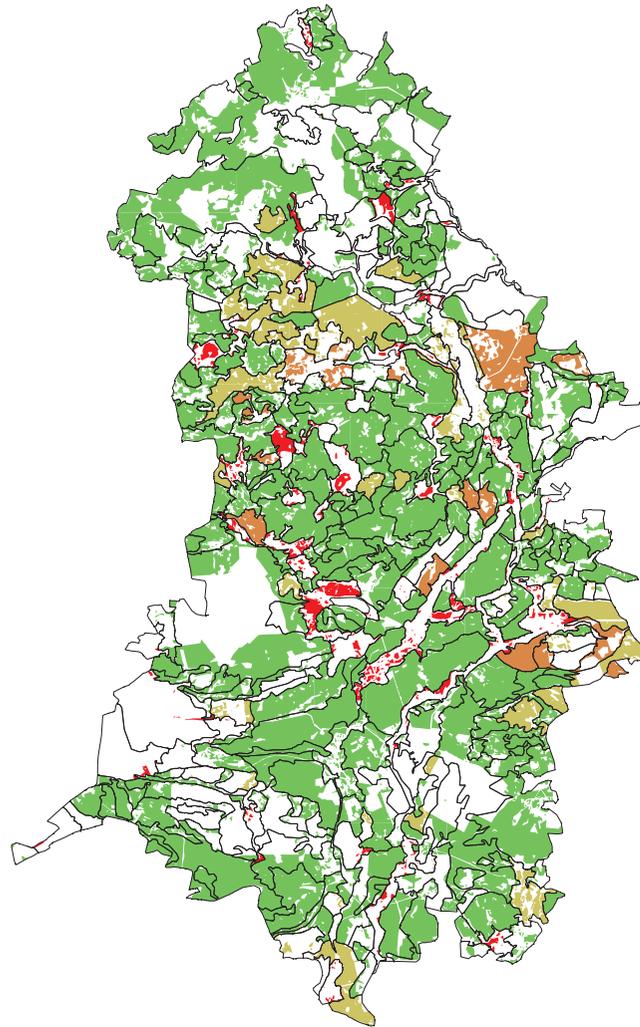
Zur Quantifizierung der Mittelwertabweichungen zwischen den Maßstabsebenen werden die Absolutwerte der Differenzen der Mittelwerte der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen in den BÜK 200- Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 in Abweichungsklassen zusammengefaßt. In den folgenden Auswertungstabellen sind die Flächenanteile der Abweichungsspannen im Landkreis Oberhavel bzw. in den naturräumlichen Einheiten dargestellt.

**Tab. 4.5: Flächenanteile der Abweichungen der Gesamtmittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel**

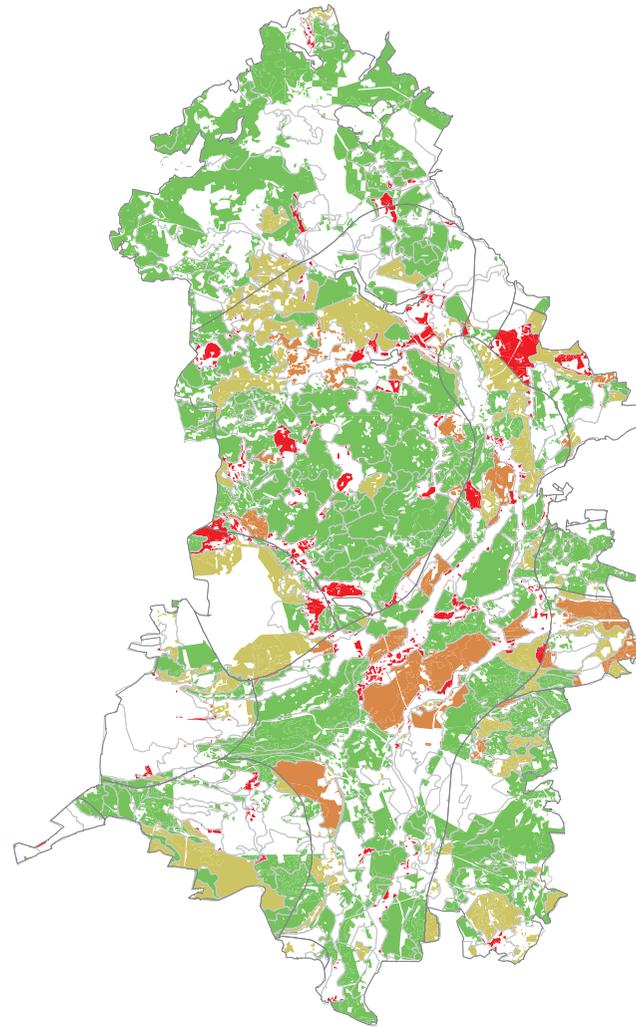
Nutzung			Abweichung der Gesamtmittelwerte der Legendeneinheiten (FSMw-Stufen)			
			0-<0,5	0,5-<1	1-<1,5	≥1,5
Fächen anteil	LN	55%	79%	14%	1%	6%
	Forst	45%	86%	5%	9%	-
LK Ohv.	Gesamt	100%	82%	10%	4%	4%

Erwartungsgemäß ist die Abweichung der Gesamtmittelwerte (siehe **Tab. 4.5**) am geringsten. Die mittleren Gefährdungsgrade in den BÜK 200 Legendeneinheiten weichen zwischen den beiden Maßstabsebenen auf über 80% der Kreisfläche um weniger als 0,5 Stufen voneinander ab. Durch Rundung auf ganzzahlige Parameterwerte werden diese Unterschiede somit überwiegend aufgehoben.

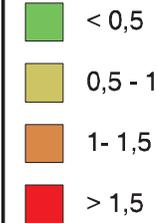
Karte 6a



Karte 6b



Abweichung



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 6: Vergleich der pot. Austragsgefährdung von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (Erläuterung siehe Text)  
6a: Abweichung der Gesamtmittelwerte in den BÜK200 Legendeneinheiten berechnet aus der BFK200(BÜK) und der BFK10  
6b: Abweichung der Gesamtmittelwerte der BÜK200 Legendeneinheiten berechnet aus den naturräumlichen Einheiten zwischen der BFK200(BÜK) und der BFK10

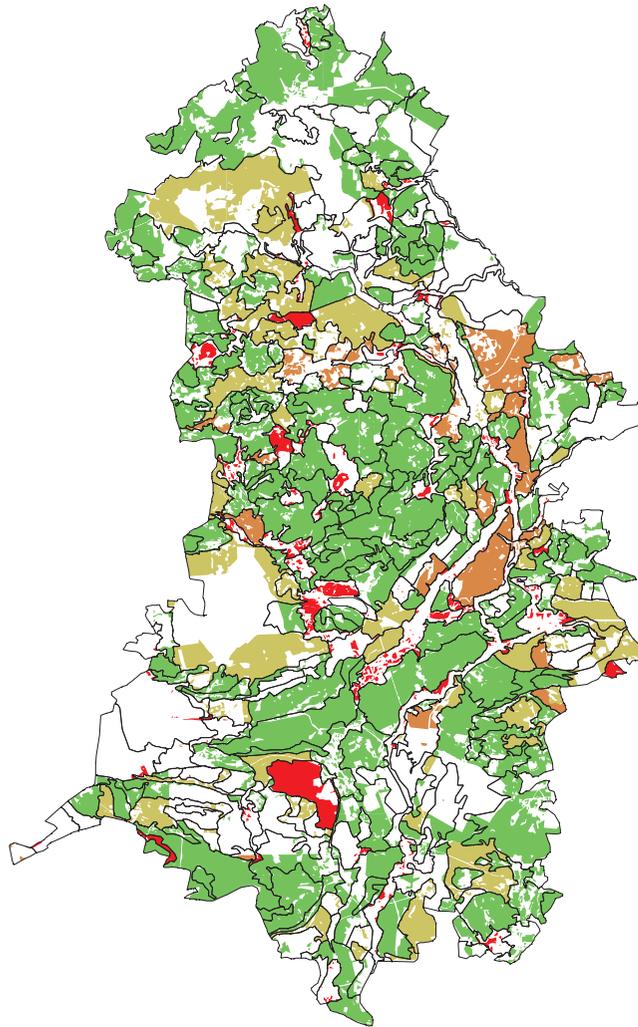
Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

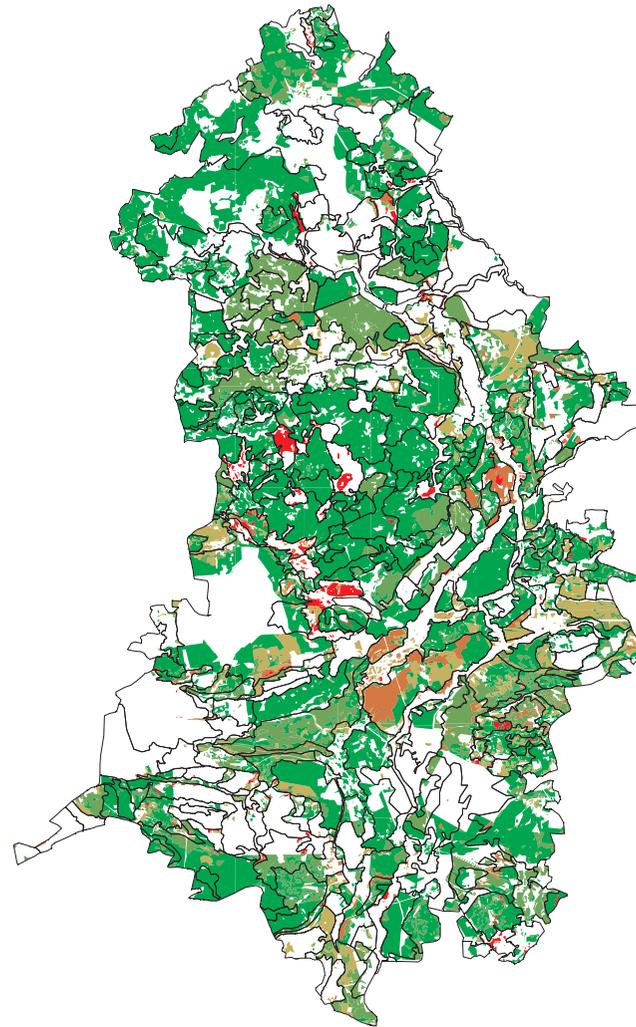




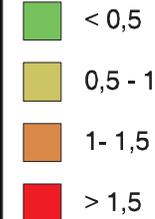
Karte 6c



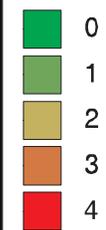
Karte 6d



Abweichung (Karte 6c)



Abweichung (Karte 6d)



1: 550.000



Karte 6: Vergleich der pot. Austragsgefährdung von Cadmium aus dem grundwasserfreien Bodenraum auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (Erläuterung siehe Text)  
6c: Abweichung der Polygonmittelwerte der BÜK200 Legendeneinheiten berechnet aus der BFK200(BÜK) und der BFK10  
6d: Abweichung zwischen der BÜK200 Legendeneinheiten und der BFK10 Polygone

Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld





**Tab. 4.6: Flächenanteile der Abweichungen der Polygonmittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel**

Nutzung			Abweichung der Polygonmittelwerte der Legendeneinheiten (FSMw-Stufen)			
			0-<0,5	0,5-<1	1-<1,5	≥1,5
Fächen anteil	LN	55%	73%	16%	4%	7%
	Forst	45%	68%	20%	7%	4
LK Ohv.	Gesamt	100%	71%	18%	5%	5%

Bei den Polygonmittelwerten der BÜK 200 Legendeneinheiten weisen immer noch ca. 70% der Kreisfläche Mittelwertabweichungen < 0,5 Gefährdungsstufen auf (siehe **Tab. 4.6**). Die deutlichste Änderung gegenüber den Gesamtmittelwerten zeigt sich bei den Forstböden. Auffällig ist vor allem die überproportional große Verringerung des Flächenanteils in der geringsten Abweichungsklasse (-18%), gegenüber nur -6% bei den landwirtschaftlich genutzten Böden. Die größte Zunahme ist in der Abweichungsklasse 0,5 -1 Gefährdungsstufen zu verzeichnen. Die Änderungen in den höheren Abweichungsklassen sind relativ gering.

Für kleinmaßstäbige Übersichtsdarstellungen von potentiellen Gefährdungsgraden können Mittelwertabweichungen bis zu einer Gefährdungsstufe als akzeptabel angenommen werde. Diese Schwelle wird von den Gesamt- und Polygonmittelwerten der Legendeneinheiten auf ca. 90% der Kreisfläche nicht überschritten. Auffällig hohe Abweichungen der Gesamtmittelwerte treten zum großen Teil auf Moorstandorten auf (LE 16, 17, 18, 73). Auf diesen Standorten sind in der BFK 200<sub>BÜK</sub> aufgrund hoher Grundwasserstufen sehr hohe FSMw/Cd-Werte berechnet worden. In der BK 10 dagegen sind die Grundwasserstände niedriger ausgewiesen. Eine mögliche Ursache hierfür ist, daß in der BK 10 nur ackerbaulich genutzte Böden ausgewiesen sind. Daher handelt es sich hier vermutlich um trockengelegte Moore, während die Flächeninhaltsbeschreibung der BÜK 200 schwerpunktmäßig auf naturnahe Moorstandorte im nordostdeutschen Tiefland abzielt. Das Beispiel zeigt, daß insbesondere für kleinräumige Sonderstandorte, deren Eigenschaften durch die Nutzung stark veränderbar sind, bei ausschließlicher Betrachtung einzelner Nutzungsformen, die Parameterwerte der BFK 200<sub>BÜK</sub> sehr stark von den tat-

sächlichen Standortverhältnissen abweichen können. Eine abschließende Bewertung ist anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich. Der Befund im Landkreis Oberhavel kann aber als Hinweis dienen, die kleinmaßstäbige Ausweisung von potentiellen Gefährdungsgraden auf Moorstandorten mit besonderer Vorsicht vorzunehmen.

Aufschlußreich ist auch die Betrachtung der Mittelwertabweichungen der BÜK 200 Legendeneinheiten in der großen naturräumlichen Einheiten (siehe **Tab. 4.7**). Es zeigen sich sowohl im Vergleich der naturräumlichen Einheiten untereinander, als auch in Abhängigkeit von der Bodennutzung deutliche Unterschiede. Besonders anschaulich wird dies beim Vergleich der Mittelwertabweichungen der Legendeneinheiten der Forstböden im Neustrelitzer Kleinseenland und in der Havelniederung.

**Tab. 4.7: Flächenanteile der Abweichungen der Mittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten in den Naturräumlichen Einheiten (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200<sub>gen</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel**

Naturräumliche Einheit	Abweichung der Mittelwerte (FSMw-Stufen)					
	Nutzung	Flächenanteil	0-<0,5	0,5-<1	1-<1,5	>1,5
Neustrelitzer Kleinseenland	LN	20%	65%	29%	-	6%
	F	80%	99%	-	-	1%
Grannseer Platte	LN	87%	71%	16%	5%	8%
	F	13%	83%	6%	10%	1%
Havelniederung	LN	48%	78%	13%	1%	9%
	F	52%	54%	8%	36%	2%

Die Ursachen für die großen Abweichungen der Legendenmittelwerte in den naturräumlichen Einheiten werden deutlicher, wenn man die Mittelwerte einzelner Legendeneinheiten betrachtet. Neben den bereits erwähnten Moorstandorten, sind die Abweichungen der Mittelwerte dort besonders groß, wo die Standortgruppe der Legendeneinheit im Widerspruch zum Auftreten der Einheit in der naturräumlichen Einheit steht (z.B. grundwasserferne Standorte (LE 52, 54) in der Havelniederung oder grundwasser-nahe Standorte auf den Endmoränenplatten (LE 66, 69). In **Tab. 4.8** sind die Legendenmittelwerte ausgewählter Legendeneinheiten mit relevanten Flächenanteilen in den

naturräumlichen Einheiten gegenübergestellt. Über 2/3 des Flächenanteils der Havelniederung mit Mittelwertabweichungen von 1 - 1,5 Gefährdungsstufen sind allein auf die hohen Abweichungen des Mittelwertes der Legendeneinheit 52 unter Forst zurückzuführen. Derartige Abweichungen sind nicht in der Maßstabsebene sondern in einer fehlerhaften Zuordnung einzelner Flächen zu Legendeneinheiten der BÜK 200 begründet. Sie können durch Plausibilitätskontrollen bei der Erstellung der Datengrundlage minimiert werden.

**Tab. 4.8:** Mittelwerte der BÜK 200 Legendeneinheiten in den naturräumlichen Einheiten (FSMw/Cd) ausgewählter BÜK 200-Legendeneinheiten in der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 in den großen Naturräumen des LK Oberhavel

Legendeneinheit	Mittelwert BFK 200 <sub>BÜK</sub>	Mittelwerte BFK 10		
		Neustrelitzer Kleinseenland	Grannseer Platte	Havelniederung
52 W	1,2	1,2	1,6	2,5
54 W	1,0		1,1	3,1
66LN	3,0		1,5	2,9
69 LN	2,8	1,3	1,3	2,3

**Tab. 4.9** zeigt zum Vergleich der kleinmaßstäbigen Auswertungskarten die Abweichungen der Gesamtmittelwerte im Vergleich der BFK 200<sub>gen</sub> mit der BFK 10. Erwartungsgemäß findet sich eine Übereinstimmung von nahezu 100%. Eine weitere Differenzierung bringt keine nennenswerten Ergebnisveränderungen. Auf eine Darstellung der Abweichung von Polygonmittelwerten der BFK 200<sub>gen</sub> Raumeinheiten wird daher verzichtet.

**Tab. 4.9:** Flächenanteile der Abweichungen der Gesamtmittelwerte der BFK 200<sub>gen</sub> Polygone gleicher Gefährdungsstufe (FSMw/Cd) zwischen der BFK 200<sub>gen</sub> und der BFK 10 im Landkreis Oberhavel

Nutzung			Abweichung der Gesamtmittelwerte der BFK 200 <sub>gen</sub> Polygone (FSMw-Stufen)			
			0-<0,5	0,5-<1	1-<1,5	>1,5
Flächenanteil	LN	55%	99%	1%	-	-
	Forst	45%	100%	-	-	-
LK Ohv.	Gesamt	100%	99%	1%	-	-

Neben den Mittelwerten können auch die flächenhaft vorherrschenden Werte (Modalwerte) für die Ausweisung von potentiellen Gefährdungsgraden in Bodenübersichtskarten genutzt werden. Ein Vergleich der Modalwerte zwischen der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10 zeigt, daß die flächenhaft vorherrschenden Gefährdungsstufen auf ca.  $\frac{3}{4}$  der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landkreises Oberhavel identisch sind. Unter Forstnutzung ist dieser Anteil etwas geringer.

**Tab. 4.10: Vergleich der Flächenanteile der vorherrschenden FSMw/Cd-Gefährdungsstufen (Modalwerte) in der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 10**

Standort	Flächenanteil	identische Modalwerte	BFK 10 Modalw. liegt in BFK 200 <sub>BÜK</sub> -Spanne
LN	55%	77%	77%
Forst	45%	65%	74%
Gesamt	100%	72%	75%

#### 4.2.4.1.1 Vergleich der Variabilität innerhalb der Raumeinheiten

Die Variabilität der potentiellen Gefährdungsgrade für die Auswaschung von Cadmium (FSMw/Cd) in den Raumeinheiten der kleinmaßstäbigen Auswertungskarten wird anhand der Streuung der Parameterwerte untersucht. Wesentliche Kriterien für den Maßstabsvergleich sind die großmaßstäbige Streuung der Gefährdungsstufen in den Raumeinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 200<sub>gen</sub> sowie die Frage inwieweit diese durch die auf kleiner Maßstabsebene dargestellte Ergebnisspanne wiedergegeben wird.

Hierzu werden für jede Raumeinheit der kleinmaßstäbigen Auswertungskarten die Flächenanteile der BFK 10 bestimmt, deren Werte durch die dargestellte Wertespanne abgedeckt sind. In **Tab. 4.11** sind die Anteile der Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 200<sub>gen</sub> jeweils flächengewichtet zusammengefaßt. Die räumliche Darstellung ist **Karte 7** zu entnehmen. Ca. 70% der Gesamtfläche des Landkreises Oberhavel weisen demnach in der großmaßstäbigen Auswertungskarte Gefährdungsstufen auf, die innerhalb der durch die BFK 200<sub>BÜK</sub> dargestellten Wertespanne liegen. Bei der BFK 200<sub>gen</sub> liegt der Anteil erwartungsgemäß deutlich höher. Immerhin liegen aber allein

durch die geometrische Generalisierung schon ca.10% der großmaßstäbigen Wertespanne außerhalb des kleinmaßstäbig dargestellten Wehrbereiches. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß in der BFK 200<sub>BÜK</sub> Wertespannen von 1,5 bis 1,7 ausgewiesen sind, während die Raumeinheiten der generalisierten BK 10 nur eine Gefährdungsstufe darstellen.

**Tab. 4.11: Flächenanteile der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen nach BK 10 innerhalb der Wertespannen der kleinmaßstäbigen Bodenfunktionskarten**

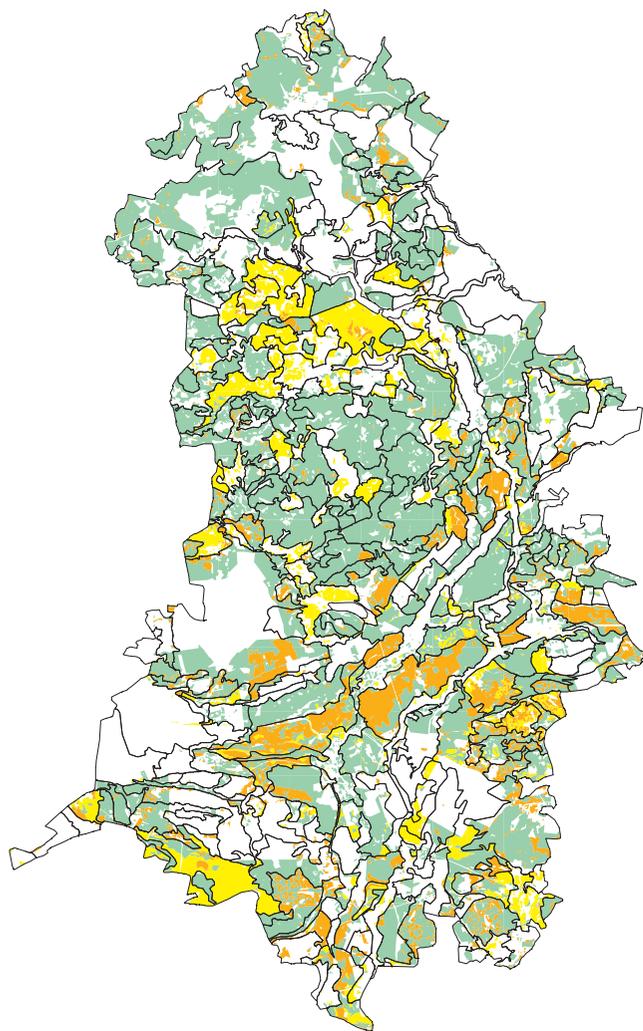
Standort	Flächenanteil	innerhalb der BFK 200 <sub>BÜK</sub> Spanne	innerhalb der Spanne der BFK 200 <sub>gen</sub>
LN	55%	69%	91%
Forst	45%	70%	88%
Gesamt	100%	69%	90%

In **Tab. 4.12** sind die durchschnittlichen Wertespannen der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen der BFK 200<sub>BÜK</sub>- und der BFK 200<sub>gen</sub>-Einheiten flächengewichtet den zugehörigen Wertespannen der BFK 10 gegenübergestellt. In der BFK 200<sub>BÜK</sub> beträgt die durchschnittliche Wertespanne in den Legendeneinheiten 1,5 (LN) bis 1,7 (Forst) Gefährdungsstufen. In denselben Einheiten sind die Wertespannen der BFK 10 im Durchschnitt um knapp eine Stufe größer.

Die Raumeinheiten der BFK 200<sub>gen</sub> weisen jeweils genau eine Gefährdungsstufe aus. Auf landwirtschaftlich genutzten Böden zeigen die Werte der BFK 10 nur geringfügige Abweichungen. Unter Forst dagegen nimmt die Wertespanne der BFK 10 deutlich zu. Auch der Flächenanteil der Abweichung ist unter Forst höher als auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (siehe **Tab 4.4**).

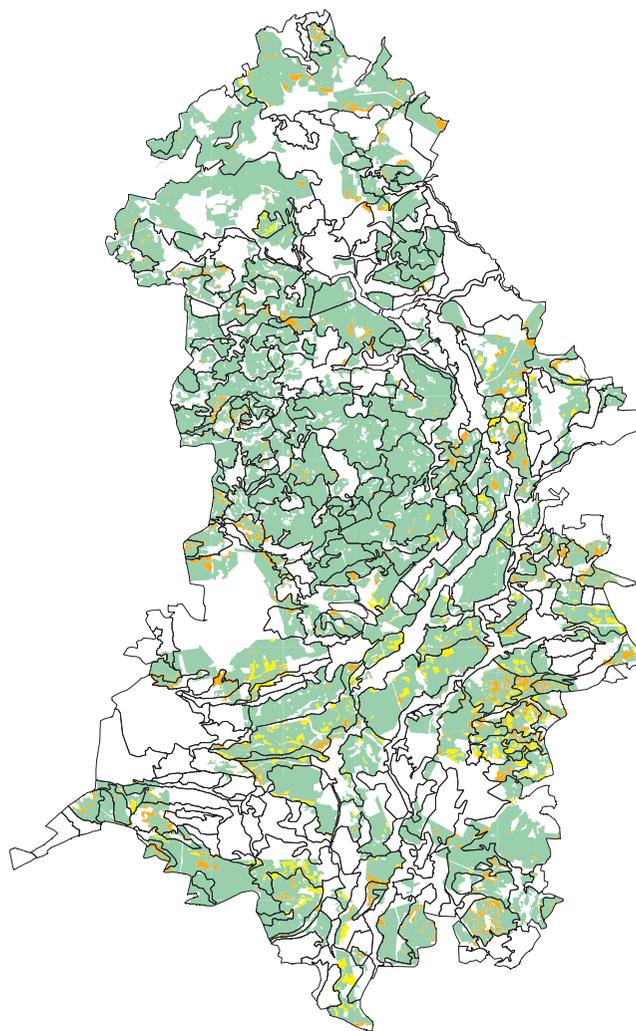


Karte 7a



Karte 7: Vergleich der FSMw - Wertespannen (Cadmium)  
7a: Wertespannen zwischen BFK200(BÜK) und der BFK10  
7b: Wertespanne zwischen BF200/gen und der BFK10

Karte 7b



Vergleich Wertespannen

-  unterhalb
-  innerhalb
-  oberhalb

unterhalb: BFK10 - Wert liegt unterhalb der BFK200BÜK Wertespanne

innerhalb: BFK10 - Wert liegt innerhalb der BFK200BÜK Wertespanne

oberhalb: BFK10 - Wert liegt oberhalb der BFK200BÜK Wertespanne



1: 550.000

0 5 10 15Km

Realisationskonzept für bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene (Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld





**Tab. 4.12: Durchschnittliche flächengewichtete Wertespanne zwischen Perzentil 10 und 90 in den kleinmaßstäbigen Karten der potentiellen Austragsgefährdung von Cd und den zugrundeliegenden großmaßstäbigen Auswertungskarten**

Standort	Flächenanteil	BFK 200 <sub>BÜK</sub>	BFK 10 in BFK 200 <sub>BÜK</sub>	BFK 200 <sub>gen</sub>	BFK 10 in BFK 200 <sub>gen</sub>
LN	55%	1,5	2,4	1	1,1
Forst	45%	1,7	2,5	1	1,5
Gesamt	100%	1,5	2,4	1	1,3

Auf der Ebene der Legendeneinheiten nehmen die Unterschiede in der Darstellung der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen in den kleinmaßstäbigen Auswertungskarten gegenüber der Ebene der Naturräumlichen Einheiten deutlich zu. Aufgrund der hohen Übereinstimmung der mittleren- und flächenhaft vorherrschenden FSMw/Cd-Werte ist die Verwendung der BÜK 200 als Datengrundlage für Übersichtsfragestellungen in vielen Fällen vertretbar. Die vergleichsweise hohen Abweichungen der Gefährdungsstufen auf Moorstandorten und die relativ große Variabilität innerhalb der Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> verdeutlichen aber die Grenzen der Ableitung thematischer Karten auf Grundlage kleinmaßstäbiger bodenkundlicher Basiskarten wie der BÜK 200. Diese Aspekte müssen bei der Auswahl der Datengrundlage anhand der jeweiligen Einzelfragestellung berücksichtigt werden.

#### 4.2.5 Ergänzender Untersuchungsansatz: two level factorial design

Ein weiterer, relativ einfach durchführbarer Untersuchungsansatz zur Beurteilung der maßstabsabhängigen Eignung einer Datengrundlage für die Anwendung von Auswertungsmethoden in Bodeninformationssystemen ist das "two level factorial design" (Box et al. 1978). Die Grundlagen dieses Untersuchungsaufbaus sind bereits in **Kapitel 3.2.3** dargelegt. Die Analyse erfolgt nach dem Prinzip der Multiparameter - Sensitivitätsanalyse. Als "+/-"-Level werden die unteren und oberen Eckwerte der Methodeneingangsparametervariation innerhalb von Raumeinheiten der untersuchten Bodenkarte verwendet.

Das Ergebnis beschreibt die maximale Ergebnisvariation bei der gegebenen Variabilität der Methodeneingangsparameter. Durch die Berechnung von Haupteffekten kann darüber hinaus der Einfluß der Variation jedes einzelnen Eingangsparameter ermittelt werden. Hierin liegt der größte Vorzug dieses Ansatzes gegenüber den häufigkeitsstatistischen Auswertungen auf Ergebnisebene. Zudem sind die Ergebnisse unmittelbar mit der Multiparameter-Sensitivitätsanalyse vergleichbar. Ebenso wie dort ist auch hier die Einhaltung der Anwendungsvoraussetzungen von großer Bedeutung für die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Dabei ist die unabhängige Variierbarkeit der Eingangsparameter die wichtigste und zugleich problematischste Bedingung. Da die meisten verwendeten Parameter mehr oder weniger stark korrelieren, ist das Ergebnis nur unter dieser Einschränkung zu interpretieren.

**Tab. 4.13: Untersuchungslevel (+/-) für ausgewählte Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200.00 (BÜK 200) im Landkreis Oberhavel**

Legendeneinheit	Parametervariation (+ / -)					
	Nutzung	Grundwasserstufe	pH-Wert	Bodenart Oberboden	Bodenart Unterboden	Humusstufe
21	LN	6	5,5 / 6,0	SI2 / SI3	mS	h2 / h3
	F	3 / 7	3,5 / 4,5	fSms	SI4 / mS	h3 / h5
55	LN	6	5,0 / 6,0	SI2 / Su2	mS	h2
	F	3 / 7	3,0 / 4,0	fSms	mS	h2 / h5
66	LN	3 / 5	5,5 / 6,0	Su2	mS	h2 / h3
	F	3 / 7	3,0 / 5,0	fSms	mS	h3 / h5
74	LN	2 / 6	5,5 / 6,0	Su2 / mS	mS	h2 / h3
	F	2 / 5	3,5 / 5,0	fSms	mS	h3 / h5

Im Folgenden soll der Ansatz beispielhaft an ausgewählten Legendeneinheiten der BÜK 200 erprobt werden. Als Untersuchungslevel für die Methodenläufe werden das zehnte und neunzigste Perzentil der Flächenanteilsverteilung der Eingangsparameterwerte der BK 10 in den BÜK 200 Legendeneinheiten verwendet. Sofern über 80% der Fläche einer Legendeneinheit in der selben Parameterklasse liegen, wird keine weitere Klasse berücksichtigt. Die mit dem two level factorial design errechneten maximalen Variationen der Schwermetall-Austragsgefährdung können anhand der empirischen Verteilung

der Ergebnisse in den untersuchten Legendeneinheiten überprüft werden. Die Untersuchungslevel sind in **Tab. 4.13** zusammengefaßt.

In **Tab. 4.14** sind die berechneten Spannweiten der Austragsgefährdung in den Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> den Spannen zwischen dem zehnten und neunzigsten Perzentil aufgrund der Verteilung der BK 10 gegenübergestellt. In den Legendeneinheiten 21, 55 und 74 zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der Werte. In der Legendeneinheit 66 stimmen nur die Werte für Cd unter landwirtschaftlicher Nutzung überein. Die übrigen Werte zeigen Abweichungen um maximal eine Gefährdungsstufe.

**Tab. 4.14: Spannweiten der Austragsgefährdung von Cd und Pb (FSMw) in ausgewählten Legendeneinheiten der BFK 200<sub>BÜK</sub> aufgrund der Berechnung mit dem two level factorial design und der BFK 10**

Spannweite der Austragsgefährdung (FSMw)								
Legendeneinheit	Nutzung	Metall	berechnete Werte			BFK 10		
			Min	Max	Spanne	Perz. 10	Perz. 90	Spanne
21	LN	Cd	1	1	1	1	1	1
		Pb	1	1	1	1	1	1
	F	Cd	1	4	4	1	4	4
		Pb	1	3	3	1	3	3
55	LN	Cd	1	1	1	1	1	1
		Pb	1	5	5	1	3	3
	F	Cd	1	4	4	1	4	4
		Pb	1	3	3	1	3	3
66	LN	Cd	2	3	2	2	3	2
		Pb	2	4	3	1	3	3
	F	Cd	1	3	3	1	4	4
		Pb	1	5	5	1	3	3
74	LN	Cd	1	5	5	1	5	5
		Pb	1	5	5	1	5	5
	F	Cd	2	5	4	3	5	3
		Pb	2	5	4	2	5	4

Die Haupteffekte der Austragsgefährdung sind in **Tab. 4.15** zusammengestellt. Der größte Anteil der Ergebnisvariation läßt sich auf die Variation der Grundwasserstufe innerhalb der Legendeneinheiten zurückführen. Dies entspricht den Erwartungen auf-

grund der Sensitivitätsanalyse. Den nächstgroßen Anteil an der Ergebnisvariation hat der pH-Wert. Die pH-Werte der landwirtschaftlich genutzten Böden liegen relativ hoch, so daß ihre Variation die Variation der Austragsgefährdung von Blei in keiner Legendeneinheit beeinflußt. Bei Cadmium wirkt die pH-Wert-Variation nur in der Legendeneinheit 55 sensitiv auf die Variation des Ergebnisses. Demgegenüber liegen die pH-Werte der Forstböden auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Ihr Einfluß auf die Ergebnisvariation ist dementsprechend größer. Auffällig ist, daß auch hier der Einfluß bei Cadmium höher liegt als bei Blei, obwohl unterhalb eines pH-Wertes von 4,5 die Sensitivität des pH-Wertes bei Blei doppelt so hoch liegt wie bei Cadmium. Dieser Effekt ist vor allem auf die niedrige klimatische Wasserbilanz im Landkreis Oberhavel (<100 mm) zurückzuführen, die einen Zuschlag auf die Bindungsstärke von bis zu 1,5 Stufen bewirkt, so daß der maximale Wert der Bindungsstärke (FSMtk) bei Blei schon ab einem pH-Wert von 3,8 erreicht wird, bei Cadmium aber erst bei pH 5,3.

**Tab. 4.15: Haupteffekte der Austragsgefährdung von Cd und Pb (FSMw) in ausgewählten Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200.00 (BÜK 200) im Landkreis Oberhavel**

Haupteffekte der Austragsgefährdung (FSMw)								
Legendeneinheit	Nutzung	Metall	GWS	pH-Wert	Bodenart O.-boden	Bodenart Unteroden	Humusstufe	Summe
21	LN	Cd	-	0	-	0	0	0
		Pb	-	0	-	0	0	0
	F	Cd	2,375	0,375	-	0,375	0,375	3,5
		Pb	2	0	-	0	0	2
55	LN	Cd	-	1	0	-	-	1
		Pb	-	0	0	-	-	0
	F	Cd	2	1	-	-	1	4
		Pb	2,25	0,25	-	-	0,25	2,75
66	LN	Cd	1	0	-	-	0	1
		Pb	1	0	-	-	0	1
	F	Cd	1,75	1,25	-	-	0,25	3,25
		Pb	2	0	-	-	0	2
74	LN	Cd	4	0	-	-	0	4
		Pb	4	0	-	-	0	4
	F	Cd	2,5	0,5	-	-	0	3
		Pb	3	0	-	-	0	3

(- Parametervariation in der Legendeneinheit ist liegt innerhalb einer Klasse der Auswertungsmethode)

Da der Untersuchungsansatz relativ geringe Anforderungen an die Eingangsdaten stellt, kann er auch für eine grobe Abschätzung der Variabilität von Bodenfunktionen eingesetzt werden, wenn nur wenige Daten auf großer Maßstabsebene zur Verfügung stehen. Voraussetzung ist lediglich eine möglichst genaue Schätzung der Parameterspannen. Diese können auch aus anderen Datenquellen, etwa den Profilbeschreibungen von Leit- und Begleitböden aus Bodenübersichtskarten oder geostatistischen Untersuchungen abgeleitet werden. Wie gut eine solche Schätzung ist, hängt entscheidend von der Qualität der Eingangsdaten ab.

#### 4.2.6 Maßstabsvergleich der potentiellen Versauerungsgefährdung

Die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (**PVG**) (siehe **Karte 8**) wird durch das Verhältnis der Basensättigung im effektiven Wurzelraum (**BS**) und des Protonen-Belastungsrisikos (**BTS**) bestimmt. Die BS wird aus pedologischen Eingangsparametern abgeleitet, das BTS wird anhand geologischer, klimatischer und Nutzungsinformationen ermittelt. Im Landkreis Oberhavel sind aufgrund seiner geringen Ausdehnung alle Standortparameter zur Ableitung des BTS konstant (siehe **Tab. 4.16**)

**Tab. 4.16: Methodeneingangsparameter zur Bestimmung der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden**

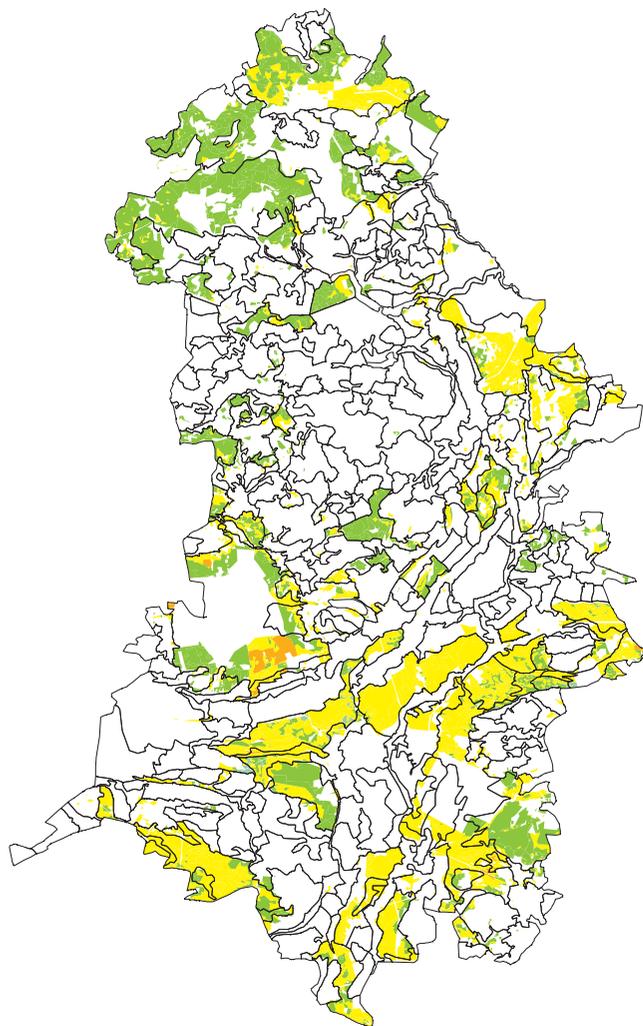
Basensättigung im effektiven Wurzelraum (BS)		Protonen-Belastungsrisiko (BTS)	
Bodenart/Korngrößenanteile	var.	Ausgangsmaterial der Bodenbildung	konstant
Humusgehalt	var.	Waldbestandsart	konstant
PH-Wert	var.	Exposition	konstant
Lagerungsdichte	var.	Zahl der Nebeltage	konstant
Horizontbezeichnung	var.		
Wurzelkoeffizient	var.		

Das BTS liegt im gesamten Kreisgebiet einheitlich bei Stufe 2. Dadurch ist die mögliche Ergebnisspanne der PVG stark eingeschränkt: Von sechs möglichen ordinalen Gefähr-

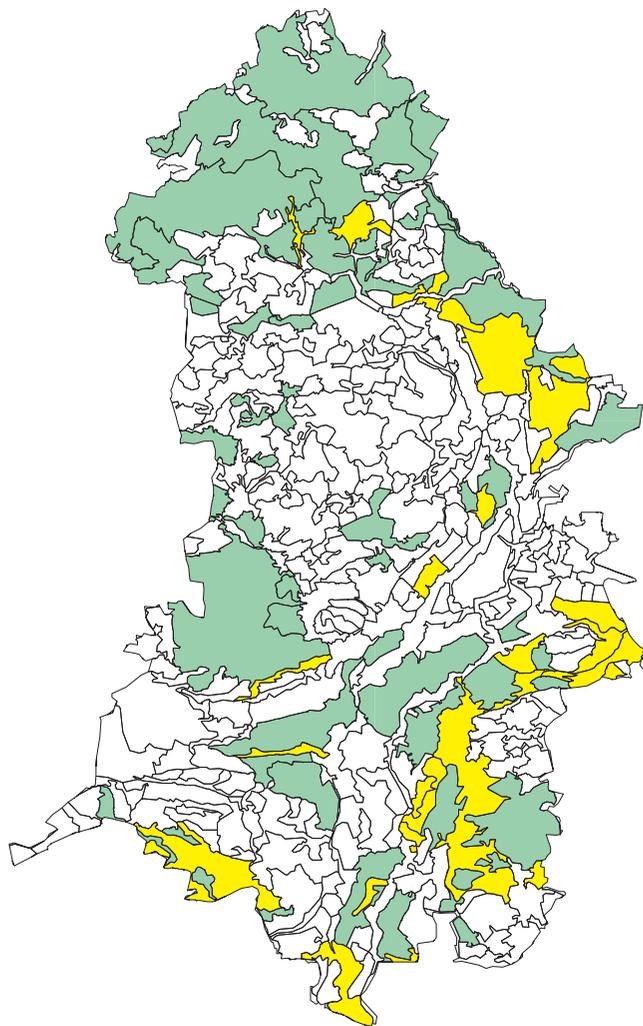
dungsstufen, die durch drei nominale Zusätze insgesamt zwölf Kombinationen ergeben können, kommen im Landkreis Oberhavel nur drei ordinale Stufen vor (0, 1, 2), wobei die Stufe 0 mit den Kennbuchstaben p (Speichertyp) und m (Mischtyp) vorkommt.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Auswertung ergibt sich aus der Kombination ordinaler und nominaler Merkmale zur Bezeichnung der PVG-Gefährdungsstufen, da letztere nicht verrechnet werden können. Da die potentielle Versauerungsgefährdung im Landkreis Oberhavel allein durch Variation der ordinalskalierten Basensättigung im eff. Wurzelraum (BS) bestimmt wird, kann in der folgenden Auswertung auf die BS zurückgegriffen werden. Dadurch ist es möglich auch Aussagen über mittlere Werte zu machen, die aufgrund der nominalen Kennzeichnung für die PVG-Werte nicht möglich wären. Aufgrund der konstanten BTS von 2 besteht im Landkreis Oberhavel ein eindeutiges Verhältnis zwischen BS- und PVG-Stufe. Dadurch sind die Ergebnisse der Vergleiche auf Basis der BS direkt auf die PVG übertragbar (BS-Stufe 1. = PVG-Stufe 2r, BS-Stufe 2 = PVG Stufe 1r, BS Stufe 3 = PVG Stufe 0m, BS-Stufe 4 = PVG Stufe 0p)

BFK10 (1 : 10.000)



BFK200(BÜK) (1 : 200.000)



Potentielle Versauerungsgefahrung PVG(Stufe 0 - 5 + Kennbuchstabe des Reaktionstyps)

- 0m (BS3)
- 0p (BS4)
- 1r (BS2)
- 2r (BS1)

Die Buchstaben r, m und p liefern die Zusatzinformation, welcher Reaktionstyp von Waldökosystemen vorliegt:  
 r = "Raten" - Typ  
 p = "Speicher" - Typ  
 m = "Misch" - Typ  
 BS = Basenspeicher im eff. Wurzelraum



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 8: Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG)

Realisationskonzept für bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene (Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld

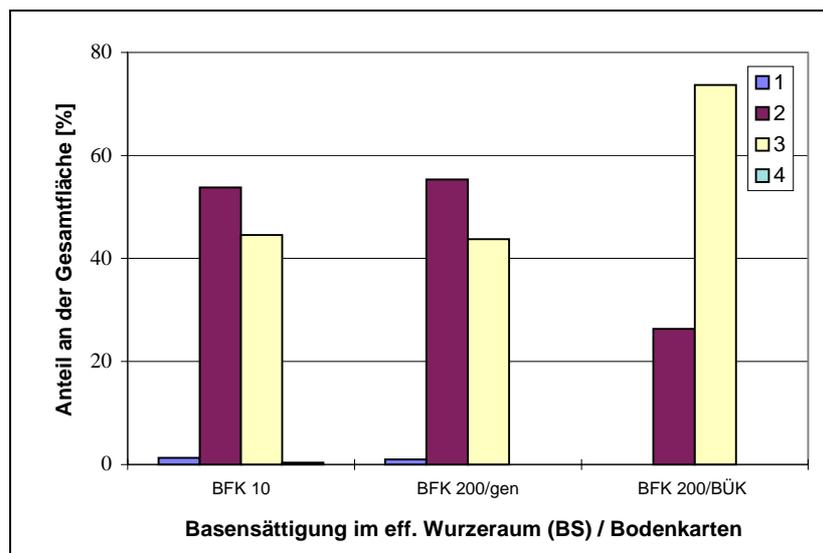




#### 4.2.6.1 Vergleich der großräumigen Muster

##### Vergleich auf Kreisebene

**Abb. 4.7** zeigt die Flächenanteilsverteilungen der BS-Stufen im gesamten Kreisgebiet des Landkreises Oberhavel in der Bodenfunktionskarte 1:10.000 (**BFK 10**), der generalisierten Bodenfunktionskarte 1:200.000 (**BFK 200<sub>gen</sub>**) und der Bodenfunktionskarte auf Grundlage der Bodenübersichtskarte 1:200.000 (**BKF 200<sub>BÜK</sub>**). In allen drei Karten weisen über 98% der Fläche die BS-Stufen 2 und 3 auf. Die Flächenanteile der Stufen unterscheiden sich zwischen der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> erheblich. Da die Verteilungen offensichtlich nicht übereinstimmen, kann auf die statistischen Tests verzichtet werden.



**Abb. 4.7: Flächenanteilsverteilung der Basensättigung (BS) von Waldböden im gesamten Kreisgebiet des Landkreises Oberhavel**

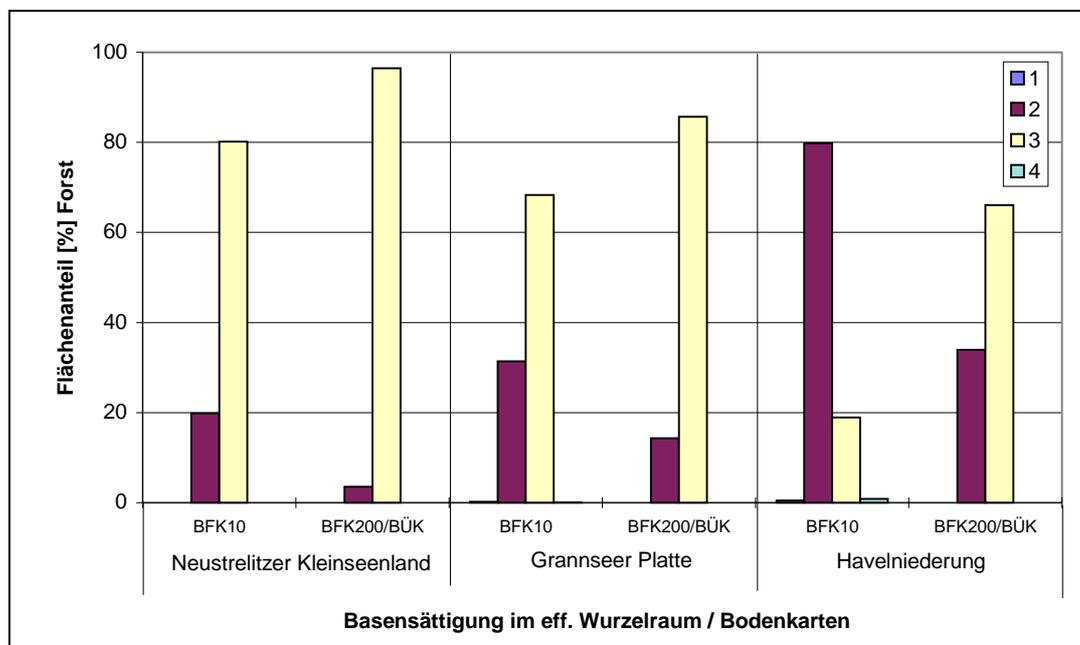
Die mittlere Basensättigung im gesamten Kreisgebiet unterscheidet sich in der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> nur um 0,3 Stufen. Die flächenhaft vorherrschenden BS-Werte in den beiden Auswertungskarten liegen um eine Stufe auseinander.

**Tab. 4.17: Flächengewichtete Gesamtmittelwerte der Basensättigung im eff. Wurzelraum und durchschnittliche Abweichungen der BS-Klassen im Landkreis Oberhavel**

Datengrundlage	mittlere Basensättigung im eff. Wurzelraum (BS)	durchschnittl.-Abweichung
BFK 10	2,4	
BFK 200 <sub>gen</sub>	2,4	0,5%
BFK 200 <sub>BÜK</sub>	2,7	11,6%

### Vergleich auf der Ebene der naturräumlichen Einheiten

Die Flächenanteilsverteilungen der BS in den drei größten naturräumlichen Einheiten sind in Abb. 4.8 dargestellt. Auf den Grundmoränenstandorten (Neustrelitzer Kleinseeland, Granseer Platte) zeigen die Verteilungen der BS-Stufen auf den unterschiedlichen Maßstabsebenen große Ähnlichkeit. Auf diesen Standorten sind die flächenhaft vorherrschenden Werte in der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> identisch. Die Mittelwerte weichen hier nur um 0,2 Stufen voneinander ab (siehe **Tab. 4.18**).



**Abb. 4.8: Flächenanteilsverteilungen der Basensättigung im eff. Wurzelraum in ausgewählten Naturräumen des Landkreises Oberhavel**

In der Havelniederung umfaßt die Verteilung auf beiden Maßstabsebenen zwar dieselbe Wertespanne (BS-Stufen 2u.3), jedoch mit nahezu umgekehrten Flächenanteilen. Entsprechend ist hier auch die Abweichung der Mittelwerte und die durchschnittliche Abweichung der BS-Stufen größer (siehe **Tab. 4.18**).

**Tab. 4.18: Vergleich der Basensättigungsstufen (BS) in ausgewählten naturräumlichen Einheiten des LK Oberhavel**

Naturräumliche Haupteinheit	Mittel BFK 10	Mittel BFK 200 <sub>BÜK</sub>	durchschn. Abw
Neustrelitzer Kleinseenland	2,8	3,0	6,5%
Granseer Platte	2,7	2,9	7,0%
Zehdenick-Spandauer Havelniederung	2,2	2,7	18,9%

Die Darstellung der großräumigen Verteilungsmuster der Basensättigung in den groß- und kleinmaßstäbigen Auswertungskarten stimmt weniger gut überein, als im Falle der potentiellen Auswaschungsgefährdung von Cadmium. Statistisch gesicherte Übereinstimmungen der Verteilungen finden sich weder im gesamten Kreisgebiet, noch in den naturräumlichen Einheiten. In allen untersuchten Raumeinheiten zeigen 98% der Fläche BS-Stufen von 2 oder 3. Die mittleren und flächenhaft vorherrschenden BS-Werte stimmen im Neustrelitzer Kleinseenland und auf der Granseer Platte weitgehend überein. In der Havelniederung dagegen muß mit größeren Abweichungen gerechnet werden.

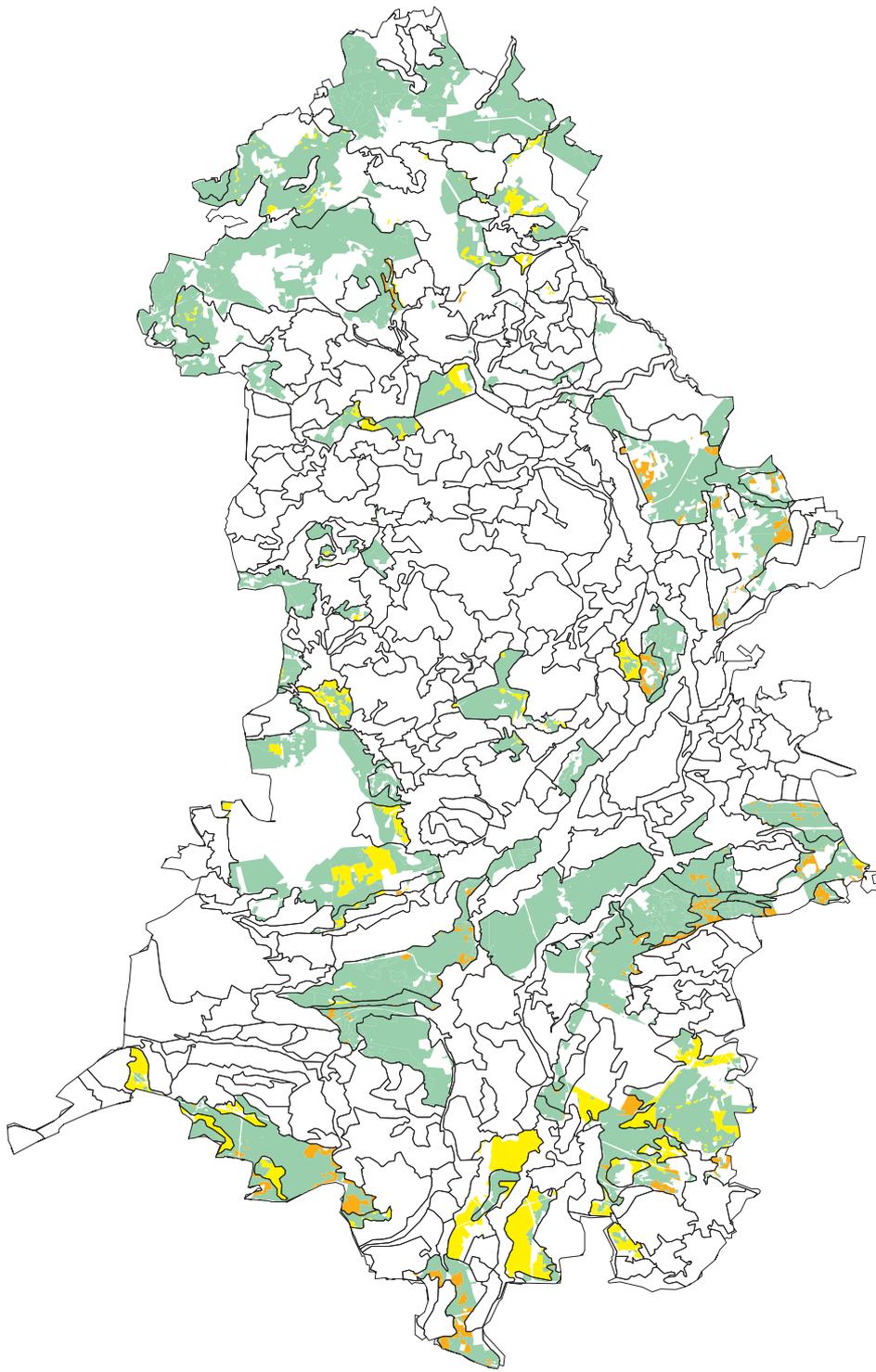
#### 4.2.6.2 Vergleich der potentiellen Versauerungsgefährdung auf der Ebene der BÜK 200 Legendeneinheiten

Die Vergleiche auf der Ebene der BÜK 200-Legendeneinheiten ergeben aufgrund der geringen Gesamtvariation der BS im Landkreis Oberhavel nur wenig zusätzliche Erkenntnisse. Sie werden hier daher nur kurz beschrieben.

Die mittleren BS-Stufen in den Legendeneinheiten der BÜK 200 weichen zwischen der BFK 10 und der BFK 200<sub>BÜK</sub> auf über 99% der Fläche um weniger als 0,5 Stufen von-

einander ab. Hier liegt somit fast vollständige Übereinstimmung vor. Dabei muß allerdings die geringe Gesamtvariation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die flächenhaft vorherrschenden BS-Werte in den BÜK 200-Legendeneinheiten stimmen auf ca. 75% der Kreisfläche überein, auf weiteren 10 % der Fläche liegen die vorherrschenden Werte der BFK 10 innerhalb der Wertespanne der BFK 200<sub>BÜK</sub>. Auf den verbleibenden 15% der Fläche gibt es keine Übereinstimmung der flächenhaft vorherrschenden Werte. Auf 85% der Fläche der Legendeneinheiten liegt der BS-Wert der BFK 10 innerhalb der Wertespanne der BFK 200<sub>BÜK</sub> (siehe **Karte 9**).



**Basenspeicher Wertespinnen**

- BFK10 Wert liegt unterhalb der BFK200 Wertespanne
- BFK10 Wert liegt innerhalb der BFK200 Wertespanne
- BFK10 Wert liegt oberhalb der BFK200 Wertespanne

1 : 380.000

0 5 10 KM



Realisationskonzept für  
bodenschutzrelevante  
Datenhaltung auf Bundesebene  
(Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld



Karte 9: Vergleich der Basenspeicher - Wertespinnen  
zwischen BFK200(BUK) und der BFK10



#### 4.2.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Maßstabsvergleiche

Für großräumige Fragestellungen, bezogen auf gesamte Kreisgebiet und die naturräumlichen Einheiten des Landkreises Oberhavel konnten statistisch abgesicherte Übereinstimmungen der Flächenanteilsverteilungen der FSMw/Cd-Werte aufgrund der BÜK 200 und der BK 10 nachgewiesen werden. Hier kann demnach von einer uneingeschränkten Eignung der BÜK 200 zur Ableitung der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium ausgegangen werden.

Die großräumigen Vergleiche der potentiellen Versauerungsgefährdung erbringen keine statistisch absicherbaren Übereinstimmungen der Auswertungskarten. Aufgrund der identischen Spannweiten sowie der weitgehend übereinstimmenden mittleren und flächenhaft vorherrschenden Werte kann die BÜK 200 aber auch für die Ableitung großräumiger Muster der potentiellen Versauerungsgefährdung als geeignet angesehen werden.

Bezogen auf die Legendeneinheiten der BÜK weichen auf über 80% der Kreisfläche die FSMw/Cd-Mittelwerte der BFK 200<sub>BÜK</sub> weniger als 0,5 Stufen von den Mittelwerten der BFK 10 ab. Die flächenhaft vorherrschenden Werte stimmen auf ca.  $\frac{3}{4}$  der Fläche überein. Bei der Darstellung der intraspezifischen Variabilität zeigen sich die deutlichsten Qualitätsunterschiede zwischen der BFK 200<sub>BÜK</sub> und der BFK 200<sub>gen.</sub>. Die durchschnittliche großmaßstäbige Spanne der FSMw/Cd-Gefährdungsstufen (Perzentil 10-90) liegt in der BFK 200<sub>BÜK</sub> mit ca. 2,4 Gefährdungsstufen deutlich höher als in der BFK 200<sub>gen.</sub> (1,3 Gefährdungsstufen). Die kleinmaßstäbig dargestellte Spanne der BFK 200<sub>BÜK</sub> umfaßt dagegen durchschnittlich nur 1,5 Stufen (gegenüber genau einer Stufe in der BFK 200<sub>gen.</sub>).

Aufgrund der geringen Ergebnisvariation im Landkreis Oberhavel ist der Vergleich der potentiellen Versauerungsgefährdung bzw. der Basensättigung auf der Ebene der Legendeneinheiten weniger aussagekräftig. Es werden im wesentlichen die Ergebnisse der Maßstabsvergleiche der potentiellen Austragsgefährdung von Cadmium bestätigt.

Insbesondere aufgrund der großräumigen Übereinstimmungen der potentiellen Gefährdungsgrade in den kleinmaßstäbigen Auswertungskarten aber auch aufgrund der geringen Abweichungen der mittleren bzw. flächenhaft dominierenden Auswertungsergebnisse in den Legendeneinheiten kann die BÜK 200 für Übersichtsdarstellungen der Bodenfunktionen auf Bundesebene ohne wesentliche Einschränkungen herangezogen werden. Einzig für Fragestellungen, die auf die kleinräumige Variabilität innerhalb der Legendeneinheiten abzielen, bestehen Restriktionen aufgrund der Untersuchungen im Landkreis Oberhavel. Hier muß die Eignung der BÜK 200 anhand der konkreten Fragestellung kritisch überprüft werden. Es scheint jedoch fraglich, inwieweit derartige Fragestellungen auf Bundesebene von Bedeutung sind. In jedem Fall ist auch hier der Informationsverlust durch eine Generalisierung der Auswertungsergebnisse, besonders die mangelnde Rückführbarkeit auf die Eingangsparameter gegen die Verbesserung der Darstellung der kleinräumigen Variabilität abzuwägen.

### 4.3 Ermittlung und Darstellung der aktuellen Bodenbelastung

Als Beispiel für die Ermittlung und Darstellung aktueller Bodenbelastungen wurden im Unterauftrag durch das LUA-Brandenburg Hintergrundgehalte für Schwermetalle in Oberböden ausgewiesen (HIEROLD et al. 1996) (siehe **Karte 10**). Für den Landkreis Oberhavel wurden auf Grundlage von 253 Untersuchungsstandorten Median- und Perzentil<sub>90</sub>-Werte der Elementgehalte von Cadmium, Kupfer, Blei und Zink berechnet. Das methodische Vorgehen orientierte sich weitgehend an den Empfehlungen der LABO zur Ableitung von Hintergrundwerten (1995). Aufgrund der z.T. lückenhaften Datengrundlage wurde in einigen Punkten von diesen Vorgaben abgewichen:

**Stichprobenumfang:** Der Mindeststichprobenumfang für jede Kategorie wurde auf  $n = 10$  festgelegt (LABO:  $n = 20$ ). Sofern im Landkreis Oberhavel nicht genügend Werte vorlagen, wurden weitere Untersuchungsstandorte aus dem Land Brandenburg einbezogen.

**Nutzung:** Die Hintergrundwerte wurden für Acker-, Grünland- und Waldböden getrennt ausgewiesen.

**Substratbezug:** Zur Differenzierung nach den geogen/pedogenen Grundgehalten wurden die Hintergrundgehalte der Acker- und Grünlandböden nach acht Ausgangssubstraten der Bodenbildung unterteilt. Grundlage hierfür waren Standortgruppen der MMK, denen die Legendeneinheiten der BÜK 200 im Landkreis Oberhavel mit einem eindeutigen Schlüssel zugewiesen wurden (siehe Tab. 4.19). Für die Waldböden konnte keine Substratdifferenzierung vorgenommen werden, da zu wenig Werte vorlagen.

**Vergleichbarkeit:** Es wurden Daten aus verschiedenen Untersuchungsprogrammen verwendet. Diese basieren auf unterschiedlichen Probenahme und Analysemethoden. Die Beprobung erfolgte horizont- oder tiefenstufenbezogen. Außerdem wurden unterschiedliche Aufschlußverfahren verwendet ( $\text{HNO}_3$ /Königswasser). Ein weiterer wesentlicher Unterschied liegt in den Probenahmestrategien und der räumlichen Verteilung der Datensätze. Aufgrund dieser Tatbestände kommen SCHMIED & SCHOLZ (1995) nach statistischen Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß die Vergleichbarkeit der Datensätze nicht gegeben ist. Das LUA Brandenburg sieht jedoch nach einer Eliminierung von Extremwerten und der Umrechnung der Gehalte nach verschiedenen Aufschlußmethoden den Datensatz für die Ausweisung von Hintergrundgehalten als geeignet an.

**Tab. 4.19 Standortgruppen der MMK und BÜK 200-Legendeneinheiten zur Substratdifferenzierung der Schwermetall-Hintergrundgehalte von Ackerböden im Landkreis Oberhavel (aus HIEROLD et al. 1996)**

MMK Standortgruppe	Nr.	BÜK 200 Legendeneinheit
Grundwasserferne Sandstandorte	1	51, 52, 53, 54, 55
Grundwasserferne Sand- und Tieflehmstandorte	2	56, 57
Grundwasserferne Tieflehm und Lehmstandorte	3	19, 20, 21, 43
Stauanasse Tieflehm und Lehmstandorte	4	27, 29
Auenstandorte	5,6	3
Moorstandorte	7	16, 17, 18
Grundwassersandstandorte	8	65, 66, 67, 69, 70, 73

Die Hintergrundgehalte (siehe **Tab. 4.20**) sind für die A-Horizonte der landwirtschaftlich genutzten Böden und für die A-Horizonte und Humusauflagen der Forstböden ohne Berücksichtigung weiterer Faktoren, wie Mächtigkeit, Trockenraumdichte oder Skelettanteil ausgewiesen. Die Klassierung und Bewertung erfolgte anhand der Orientierungswerte der UVP-Verwaltungsvorschrift (1994, **Anhang 1**)(**Tab. 4.21**). In **Karte 10** sind die Hintergrundgehalte von Cd und Pb für Acker- und Forstböden im Landkreis Oberhavel dargestellt. Es zeigen sich nur geringe Abstufungen. Die Cadmium-Hintergrundgehalte liegen alle in der geringsten Bewertungsstufe (20% von UVP Wert I). 90% der Blei-Hintergrundgehalte liegen in Bewertungsstufe 2 (40% von UVP-Wert I), die übrigen 10% liegen in Stufe 1.

**Tab. 4.20: Median und Perzentil 90-Werte (Hintergrundgehalte) für Cadmium und Blei der Oberböden im Landkreis Oberhavel (aus HIEROLD et al. 1996)**

Standortgruppe	Cd (mg/kg)		Pb (mg/kg)		
		Acker	Grünland	Acker	Grünland
<b>1</b>	Median	0,0	0,1	17,0	12,4
	Perzentil <sub>90</sub>	0,2	0,4	23,5	26,1
<b>2</b>	Median	0,1	0,1	12,0	13,0
	Perzentil <sub>90</sub>	0,2	0,3	20,4	24,0
<b>3</b>	Median	0,2	0,1	11,5	10,0
	Perzentil <sub>90</sub>	0,2	0,1	14,0	15,6
<b>4</b>	Median	0,1	0,1	12,5	13,0
	Perzentil <sub>90</sub>	0,3	0,3	21,0	24,0
<b>5,6</b>	Median	0,1	0,1	14,5	13,0
	Perzentil <sub>90</sub>	0,3	0,2	23,8	20,0
<b>7</b>	Median	0,0	0,1	21,0	16,8
	Perzentil <sub>90</sub>	0,1	0,5	27,4	42,8
<b>8</b>	Median	0,0	0,1	12,8	11,9
	Perzentil <sub>90</sub>	0,2	0,3	23,1	20,6

Forst		A-Horizont	H-Horizont	A-Horizont	H-Horizont
<b>1-8</b>	Median	0,0	0,1	29,8	77,0
	Perzentil <sub>90</sub>	0,1	0,6	48,0	182,9

**Tab. 4.21: Bewertungsstufen für die Schwermetall-Hintergrundwerte in Anlehnung an den UVP-Orientierungswert I (mg/kg) (aus HIEROLD et al. 1996)**

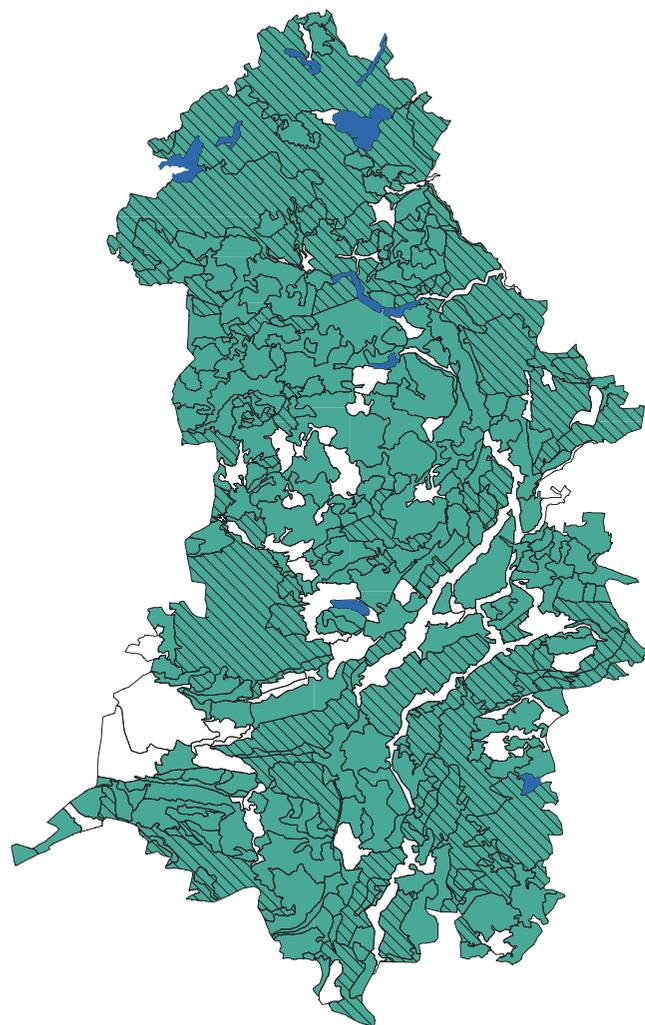
Element	Bewertungsstufe				
	1 20% v. UVP I	2 40% v. UVP I	3 60% v. UVP I	4 80% v. UVP I	5 UVP I
Cd	0,3	0,6	0,9	1,2	<b>1,5</b>
Cu	12,0	24,0	36,0	48,0	<b>60,0</b>
Pb	20,0	40,0	60,0	80,0	<b>100,0</b>
Zn	40,0	80,0	120,0	160,0	<b>200,0</b>

Die vom LUA Brandenburg durchgeführte Ausweisung von Schwermetall-Hintergrundwerten ist primär unter exemplarisch-methodischen Gesichtspunkten zu sehen. Die ausgewiesenen Werte sind aufgrund der weiter oben aufgeführten Umstände mit Unsicherheiten behaftet. Auch das Bewertungskonzept ist nicht allgemeingültig. Es

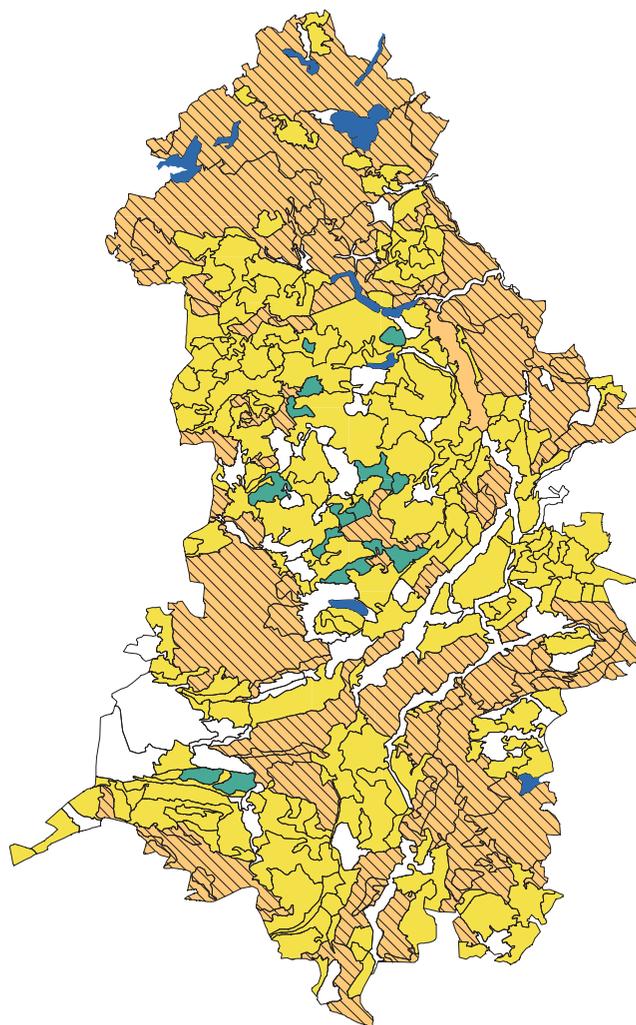
wurde vor allem unter dem Gesichtspunkt entwickelt, die relativ geringen Streuungen der Werte für die Darstellung in differenzierbare Klassen zu unterteilen.

Das Beispiel des Landkreises Oberhavel ist trotz der sehr spezifischen Datenlage in vieler Hinsicht zumindest auf weite Gebiete der neuen Bundesländer übertragbar. Dies gilt insbesondere für die räumliche und inhaltliche Heterogenität der Datenbestände. Im F&E-Vorhaben waren mehrere intensive Abstimmungsgespräche notwendig, um die Kriterien für die Prüfung der Vergleichbarkeit der Datenbestände festzulegen. Aus Bundessicht offenbart sich hier ein wesentlicher fachlicher Abstimmungsbedarf, mit dem Ziel jeweils fragestellungsbezogen bundesweit einheitliche Anforderungen an die methodische Vergleichbarkeit und standörtlichen Repräsentanz von Daten zur Darstellung aktueller Bodenbelastungen zu definieren. Bezüglich der Ableitung von Hintergrundwerten gibt es hierzu erste Ansätze (UTERMANN et al. 1996), die im Rahmen eines geplanten F&E-Vorhabens weiterentwickelt werden sollen.

### Cadmium



### Blei



### Hintergrundgehalte

- 20 Proz. UVP
- 40 Proz. UVP
- 60 Proz. UVP
- Gewässer
- Forstflächen

20 Proz. UVP: Bewertungsstufe 1  
CD 0,2 mg/kg  
PB 20,0 mg/kg  
40 Proz. UVP: Bewertungsstufe 2  
CD 0,6 mg/kg  
pb 40,0 mg/kg  
60 Proz. UVP: Bewertungsstufe 3  
CD 0,9 mg/kg  
pb 60,0 mg/kg



1: 550.000

0 5 10 15Km

Karte 10: Hintergrundgehalte für Cadmium und Blei in Oberböden des Landkreises Oberhavel (Perzentil 90)

Realisationskonzept für bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene (Hannover 1997)

J. Utermann  
U. Johannsen  
M. Höckesfeld





#### 4.4 Darstellung und Bewertung aktueller Gefährdungsgrade

Die Darstellung und Bewertung aktueller Gefährdungsgrade erfolgt i.d.R. pfad- und schutzgutbezogen anhand von Bodenqualitätszielen (vgl. BACHMANN 1996). Hiermit sind eine Reihe bisher nicht abschließend gelöster Fragen verbunden (z.B. Flächenrepräsentativität, Zeithorizonte bei Stoffakkumulationen u.a.) Die Bewertung wird unter Einbeziehung aller relevanten und verfügbaren Informationsebenen vorgenommen. Um das räumliche Zusammentreffen bestimmter günstiger oder ungünstiger Faktorenkombinationen sichtbar zu machen, kann hierzu eine Verschneidung der Informationsebenen 1 bis 3 vorgenommen werden.

Im F&E-Vorhaben kann dieser Schritt nicht ausgeführt werden. Die als Beispiel für aktuelle Belastungszustände der Böden durch das LUA Brandenburg ermittelten Schwermetall-Hintergrundwerte (HIEROLD et al. 1996, vgl. **Kap. 4.3**) sind bereits bei der Erstellung substrat- und nutzungsdifferenziert ausgewiesen worden. Eine erneute Verschneidung der Hintergrundwerte mit pedologischen Grunddaten oder aus diesen abgeleiteten potentiellen Gefährdungsgraden erübrigt sich daher. Auch eine Bewertung der Hintergrundgehalte ist bereits durch das LUA vorgenommen worden (ebenda).

Die nutzungs- und substratbezogenen diffus-ubiquitären Hintergrundgehalte für Schwermetalle sind also in diesem Sinne nicht mehr als Bodenbelastungsdaten aufzufassen, sondern als abgeleitete und aggregierte Kennwerte. Zudem bleiben die hochbelasteten Standorte bei der Ausweisung von Perzentil 90-Werten unberücksichtigt.

Auch für die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden ist eine Ausweisung aktueller Gefährdungsgrade nicht möglich. Hierfür fehlen die aktuellen Belastungsdaten. Die pH-Werte der Bodenprofile sind keine gemessenen Werte, sondern wurden aufgrund von Substrat- und Standorteigenschaften durch Expertenschätzung zugewiesen.

## **5 Realisationskonzept für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene und den Datenaustausch zwischen Bund und Ländern**

Die Ergebnisse des F&E-Vorhabens sollen im Folgenden zu einem Realisationskonzept für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene sowie den Datenaustausch zwischen Bundes- und Länderbehörden zusammengefaßt werden. Dabei wird zunächst auf die fachlichen Schlußfolgerungen aus den Projektarbeiten eingegangen werden. Im Anschluß folgt ein administrativer Vorschlag für die Umsetzung des Datentransfers zwischen Bundes- und Länderbehörden.

Grundsätzlich liegen die Vollzugsaufgaben des Bodenschutzes, wie die Umsetzung und Überwachung von Vorsorge- und Schutzbestimmungen im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer. Bodenschutzrelevante Aufgaben des Bundes beziehen sich hauptsächlich auf übergeordnete und länderübergreifende Fragestellungen. Hierfür werden in der Regel keine neuen Daten erhoben, sondern vorhandene Daten und Auswertemethoden in Bodeninformationssystemen genutzt. Arbeitsmaßstab auf Bundesebene ist 1:200.000 und kleiner. Sofern die bei Bundesbehörden vorliegenden Datenbestände nicht ausreichen, ist vorgesehen, daß der Bund auf vorhandene Daten aus den Bodeninformationssystemen der Länder zurückgreifen kann (§19 BBodschG-E). Ein fachlich sinnvoller und effizienter Datenaustausch zwischen Landes- und Bundesbehörden sowie von Bundesbehörden untereinander ist somit von zentraler Bedeutung für bundesweite Arbeiten im Bodenschutz.

### **5.1 Fachliche Aspekte**

Aus fachlicher Sicht können aufgrund der im F&E-Vorhaben durchgeführten Arbeiten zu folgenden Punkten Aussagen getroffen werden, die Auswirkungen auf die Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragestellungen auf Bundesebene und den Datenaustausch zwischen Bundes- und Länderbehörden haben:

## **1. Darstellung der geogenen/pedogenen Grundausrüstung der Böden und deren räumlicher Verbreitung**

- Verfügbarkeit sowie Arbeitsaufwand zur Bereitstellung flächendeckender Daten zur geogenen / pedogenen Grundausrüstung und deren räumlichen Verteilung auf den bearbeiteten Maßstabsebenen

## **2. Ermittlung und Darstellung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden**

- Parameterbedarf sowie Anforderungen an die Datenqualität aufgrund der Sensitivität der eingesetzten Auswertungsmethoden
- Maßstabseignung und Validität der eingesetzten Auswertungsmethoden
- Bevorzugter Auswertungsmaßstab für Potentialdarstellungen auf Bundesebene

## **3. Ermittlung und Darstellung aktueller Belastungszustände der Böden**

- Anforderungen an die Datenqualität und den Dokumentationsumfang bei der Übergabe von Bodenzustandsdaten
- Vorgehen bei der Übertragung von punktuellen Bodenbelastungsdaten auf die Fläche

## **4. Darstellung und Bewertung aktueller Gefährdungsgrade auf Grundlage der Punkte 1-3**

- Ermittlung aktueller Gefährdungsgrade durch Verschneiden der potentiellen Gefährdung mit der aktuellen Belastung

### **5.1.1 Geogene/pedogene Grundausrüstung**

#### **5.1.1.1 Verfügbarkeit bzw. Aufwand zur Bereitstellung einer flächendeckenden Datenbasis auf den bearbeiteten Maßstabsebenen**

Für das Untersuchungsgebiet lag zu Beginn des Vorhabens auf beiden Maßstabsebenen keine digitale Datengrundlage vor. Sie wurde durch das ZALF erarbeitet (HIEROLD et. al 1996). Dabei wurde deutlich, daß insbesondere die Erschließung der großmaßstäbi

gen Daten im Maßstab 1:10.000 aus analog vorliegenden Datenbeständen der Bodenschätzung und der forstlichen Standortkartierung mit erheblichem Arbeitsaufwand verbunden ist. Es konnte nur eine Flächendeckung von 56% des Untersuchungsgebietes erreicht werden. Die Bereitstellung einer flächendeckenden Datenbasis im Maßstab 1:10.000 ist in Brandenburg in absehbarer Zeit nicht realisierbar. Das LGR-Brandenburg erstellt daher zunächst flächendeckende Bodenübersichtskarten i.M. 1:50.000, die für Auswertungen auf Landesebene genutzt werden sollen (KÜHN 1996).

Für Auswertungen auf Bundesebene hat sich die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK 200) als ausreichend erwiesen. In Brandenburg soll als flächendeckende, kleinmaßstäbige Datengrundlage zunächst eine Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:300.000 auf Grundlage des Basismaterials der MMK erstellt werden, die bezüglich der räumlichen und inhaltlichen Differenziertheit im wesentlichen der untersuchten Bodenübersichtskarte 1:200.000 entsprechen wird.

Bundesweit flächendeckend liegt bisher nur die Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK 1000) vor (HARTWICH et al. 1995). Die Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) soll in den nächsten Jahren in Zusammenarbeit zwischen BGR und der Geologischen Landesämter herausgegeben werden. Die inhaltlichen Konzepte hierfür sind weitgehend erstellt. Der zeitliche Rahmen wird mit ca. 10 Jahren veranschlagt. Damit wird in absehbarer Zeit eine Datenbasis der geogenen/pedogenen Grundausrüstung der Böden vorliegen, die den Anforderungen für bodenschutzrelevante Fragestellungen auf Bundesebene entspricht.

## **5.1.2 Bodenfunktionen/potentielle Gefährdungsgrade**

### **5.1.2.1 Parameterbedarf, sowie Anforderungen an die Datenqualität aufgrund der Sensitivität der Auswertungsmethoden**

Die mit Abstand sensitivsten Parameter der hier untersuchten Auswertungsmethoden sind die Grundwasserstufe, das Ausgangsmaterial der Bodenbildung und der pH-Wert. Die

beiden erstgenannten Parameter können in der methodenseitig geforderten Genauigkeit relativ problemlos aus groß- und kleinmaßstäbigen Bodenkarten abgeleitet werden. Die Ableitung von pH-Werten aus Bodenkarten führt jedoch i.d.R. nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Verschiedene Untersuchungen (z.B. MALESSA 1994) haben gezeigt, daß die räumliche Variabilität von pH-Werten in Oberböden weniger durch pedologische Faktoren, als durch die Bodennutzung und die Protonenbelastungssituation bedingt ist. Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen wird der pH-Wert i.d.R. auf einem für das Pflanzenwachstum günstigen Niveau gehalten. Hier kann daher mit einiger Sicherheit davon ausgegangen werden, daß der pH-Wert des Oberbodens sich im Bereich des Ziel-pH-Wertes bewegt (vgl. Ad-hoc-AG Boden 1994, VKR 18). Unter forstlicher Nutzung und auf Brachflächen ist diese Möglichkeit nicht gegeben. Hier sind die Böden überwiegend tiefgründig versauert. Die pH-Werte variieren z.T. extrem kleinräumig. Erst ab einer Tiefe von ca. 80 cm zeigen sie eine schwache Abhängigkeit vom Ausgangsgestein der Bodenbildung (MALESSA 1994).

Das Problem der Zuweisung von pH-Werten besteht für beide Maßstabsebenen gleichermaßen. Die bisher vorliegenden Ansätze zur Ableitung von pH-Werten aus Bodenkarten basieren auf Parametern, die großräumig variieren und für ausgewählte Ausgangssubstrate eine Zuweisung von pH-Spannen in den Grenzen von Pufferbereichen nach RASTIN & ULRICH (1988) ermöglichen (vgl. MALESSA 1994). Die so erreichbare Differenzierung der pH-Werte ist für die verfügbaren Auswertemethoden zur Darstellung der potentiellen Austragsgefährdung von Schwermetallen und der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden nicht ausreichend. Für die Auswertungen im F&E-Vorhaben wurden den Legendeneinheiten daher durch Expertenwissen geschätzte pH-Werte zugewiesen. Es wäre zu prüfen, ob unter Einbeziehung anderer Datengrundlagen (z.B. Nutzung aus topographischen Karten, Relief, Klimadaten, Siedlungsstruktur) die Ableitung von pH-Werten verbessert werden kann.

### **5.1.2.2 Maßstabseignung und Validität der eingesetzten Auswertungsmethoden**

Die Maßstabseignung von Auswertungsmethoden ist abhängig von der räumlichen Variabilität der sensitiven Methodeneingangsparameter und deren Darstellung in den Einheiten der Bodenkarten. Die beiden im Projekt beispielhaft angewandten Methoden (FSMw, PVG) sind demnach prinzipiell auf großen und kleinen Maßstabsebenen einsetzbar. Dieses Projektergebnis kann auf die meisten z.Z. verfügbaren Auswertemethoden übertragen werden, die überwiegend ordinalskalierte Eingangsparameter mit relativ grober Klasseneinteilung erfordern.

Die Problematik der pH-Werte (s.o.) ist weitgehend unabhängig von der Maßstabsebene. Auswertungsmethoden die auf sensitiven Parametern beruhen, die nicht in der geforderten Qualität aus Bodenkarten oder anderen thematischen Karten abzuleiten sind, sind grundsätzlich in ihrer Anwendung zu hinterfragen. Sie beinhalten die Gefahr, daß mit unsicheren Schätzwerten operiert wird, so daß die Qualität der Ergebnisse deutlich herabgesetzt wird.

Bei zukünftigen Entwicklungen von Auswertungsmethoden muß daher verstärkt darauf geachtet werden, daß die sensitiven Eingangsparameter auch tatsächlich in ausreichender Qualität als Flächeninformation verfügbar oder aus geeigneten Kartenwerken ableitbar sind. Bestehende Methoden (z.B. AD-HOC-AG BODEN 1994) sollten systematisch auf diese Frage hin überprüft, und gegebenenfalls modifiziert werden. In methodischer Hinsicht sind die im Vorhaben durchgeführten Sensitivitätsanalysen hierfür ein geeigneter Ansatzpunkt.

### **5.1.2.3 Bevorzugter Auswertungsmaßstab für Potentialdarstellungen auf Bundesebene**

Die Vergleiche der potentiellen Austragsgefährdung von Schwermetallen und der potentiellen Versauerungsgefährdung von Waldböden im Landkreis Oberhavel auf unterschiedlichen Maßstabsebenen haben ergeben, daß die maßstabsbedingten Qualitätsun-

terschiede deutlich unterhalb der für Übersichtsdarstellungen vertretbaren Toleranz liegen. Insbesondere die großräumigen Verteilungsmuster der potentiellen Gefährdungsgrade stimmen weitgehend überein. Auch die mittleren und flächenhaft vorherrschenden Werte zeigen ausreichende Übereinstimmung.

Für den Landkreis Oberhavel ist daher eine großmaßstäbige Ausweisung von Bodenfunktionen und potentiellen Gefährdungsgraden für Übersichtsdarstellungen weder erforderlich, noch im Hinblick auf die Datenlage mit vertretbarem Aufwand leistbar.

Da das Beispielgebiet u.a. wegen der vergleichsweise guten Datenlage ausgewählt wurde, kann dieser Befund zumindest auf die neuen Bundesländer, in denen ähnliche Datenbestände vorliegen, übertragen werden. In einigen alten Bundesländern (z.B. NRW und NS) liegen dagegen zumindest auf mittlerer Maßstabsebene (1:50.000) flächendeckende Daten vor. Länderübergreifend ist aber auch hier kein einheitliches Kartenwerk verfügbar. Zudem wäre zu prüfen, inwieweit die Verwendung mittlerer Maßstabsebenen für Übersichtsdarstellungen auf Bundesebene überhaupt von Vorteil wäre. Der ohnehin großräumig relativ geringe Qualitätsvorteil ist in jedem Fall geringer als in großmaßstäbigen Auswertungen. Zu erwarten ist überwiegend eine Verbesserung der kleinräumigen Lagegenauigkeit der Ergebnisse. Im Gegensatz zur Landesebene ist dieser Aspekt aus Bundessicht jedoch eher zweitrangig. Hinzu kämen die mit einer Generalisierung der Ergebnisse verbundenen Informationsverluste an mitgeführten bodenkundlichen Daten.

### **5.1.3 Aktuelle Bodenbelastungen**

#### **5.1.3.1 Dokumentationsumfang bei der Übergabe von Bodenzustandsdaten**

Die Nutzbarkeit von Bodenzustandsdaten der Länder für Arbeiten auf Bundesebene ist in hohem Maße abhängig von einer umfassenden und nachvollziehbaren Dokumentation der übergebenen Daten. Ein Vorschlag für eine Begleitdokumentation wurde vom Landesumweltamt Brandenburg erarbeitet (HIEROLD et al. 1996). Dieser Vorschlag basiert

weitgehend auf etablierten Vorlagen (SAG-Mindestdatensatz, Verwaltungsvereinbarung zum Datenaustausch im Umweltbereich). Ergänzend ist die Möglichkeit zur Bewertung der Eignung der Daten für die jeweilige Anfrage des Bundes durch die übergebende Landesbehörde vorgesehen.

Aus Bundessicht ist neben der Eignung der Einzel-Datenbestände auch die Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Ländern von entscheidender Bedeutung. Daher sollte die Bewertung von Datenbeständen möglichst nach abgestimmten Kriterien erfolgen. Ist dies nicht der Fall, müssen die Kriterien der Bewertung ausführlich dokumentiert sein. Ebenso ist bei abgeleiteten bzw. aggregierten Daten eine präzise Beschreibung aller durchgeführten Aggregierungsschritte, ggf. mit Angabe weiterer statistischer Parameter (z.B. Stichprobenumfang, Verteilung, Streuungsmaße, Korrelationskoeffizienten o.ä.), von großer Wichtigkeit. Wenn z.B. Extremwerte aus dem Datenkollektiv ausgesondert wurden, ist dies unter Nennung der Gründe anzugeben.

#### **5.1.3.2 Vorgehen bei der Übertragung von punktuellen Bodenbelastungsdaten auf die Fläche**

Auch bei der Übertragung von Punktdaten auf die Fläche ist ein einheitliches Vorgehen von großer Bedeutung. Für großräumige Auswertungen wird es zudem häufig zweckmäßig sein, auf überregionale Datengrundlagen (wie z.B. kleinmaßstäbige Karten der Bodenausgangsgesteine o.ä.) zurückzugreifen. Dabei ergeben sich auf Bundesebene z.T. andere Kriterien der Repräsentanz als auf Landesebene. Die Übertragung von Punktdaten auf die Fläche sollte daher nach abgestimmten Methoden und auf einheitlicher kartographischer Grundlage erfolgen. Flächenhaft ausgewiesene Daten sollten vollständige bodenkundliche Profilinformationen und Angaben zur aktuellen Bodennutzung enthalten. Daneben sind vor allem Angaben zur Variabilität der Daten in den ausgewiesenen Raumeinheiten von Bedeutung.

#### 5.1.4 Aktuelle Gefährdungsgrade

Die Verschneidung potentieller Gefährdungsgrade und aktueller Belastungsdaten sollte auf der gleichen Maßstabsebene erfolgen, wie die Potentialdarstellung und die Übertragung der Bodenbelastungsdaten auf die Fläche. Die Bewertung aktueller Gefährdungsgrade erfolgt pfad- bzw. schutzgutbezogen u.a. auf der Grundlage von Bodenqualitätszielen. Dieser Schritt erfolgt auf Bundesebene, hierzu werden keine zusätzlichen bodenschutzrelevanten Daten benötigt.

#### 5.2 Administrativer Vorschlag für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene und den Datenaustausch zwischen Bund und Ländern

Der folgende administrative Vorschlag für die Datenhaltung auf Bundesebene und den Datenaustausch zwischen Bund und Ländern ist aufgrund der Ergebnisse sowie zahlreicher Diskussionen und der im Vorhaben gemachten Erfahrungen entstanden. Er soll eine effektive und sachgerechte Bearbeitung der zunehmenden Fachaufgaben im Bodenschutz sicherstellen. Dabei sollen inhaltliche und strukturelle Erfordernisse und Defizite gleichermaßen berücksichtigt werden. Das Realisationskonzept für die bodenschutzrelevante Datenhaltung auf Bundesebene muß sich an den allgemeinen Rahmenbedingungen der Zusammenarbeit und Aufgabenteilung von Bundes- und Landesbehörden orientieren und auf dieser Grundlage praktikable Wege des Informationstransfers aufzeigen.

##### **Prämissen:**

Ausgangspunkt der Überlegungen sind zwei grundsätzliche Prämissen, die sich während der seit einiger Zeit auf verschiedenen Ebenen geführten Diskussion um die Organisation bodenschutzrelevanter Fachaufgaben und die Zusammenarbeit von Bundesbehörden im Bodenschutz herausgebildet haben:

1. Die Bearbeitung bodenschutzrelevanter Aufgaben auf Bundesebene erfolgt derzeit bereits in verschiedenen Behörden, die unterschiedlichen Ressorts zugeordnet sind. Die Auswertung von Datenbeständen soll daher grundsätzlich bei der jeweils datenhaltenden Stelle erfolgen. Diese dezentrale Bearbeitungsstruktur stellt die Nutzung des breit angelegten Fachwissens aus unterschiedlichen Bereichen und somit eine

sachgerechte Bearbeitung auf hohem Qualitätsniveau sicher. Es wird daher nicht angestrebt, die Bearbeitung zentral bei einer Behörde zu bündeln.

2. Der Bund nutzt zur Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragestellungen auf Bundesebene vorrangig die bei Bundesbehörden gehaltenen Datenbestände. Bei Bedarf kann nach §19 BBodSchG-E auch auf Daten aus den Bodeninformationssystemen der Länder zurückgegriffen werden. In diesem Fall formuliert der Bund seinen Datenbedarf für die jeweilige Aufgabe und stellt eine entsprechende Anfrage an die Länder. Ein regelmäßiger anlaßunabhängiger Datenaustausch zwischen Bund und Ländern ist schon wegen der Vermeidung redundanter Datenhaltung nicht sinnvoll.

### 5.2.1 Zuständige Behörden auf Bundesebene / Datenstrukturen

Die auf Bundesebene schwerpunktmäßig mit bodenschutzrelevanten Aufgaben befaßten Bundesbehörden sind in **Kap. 2.** aufgeführt, soweit dies aus der Fragebogenaktion und weiterer einbezogener Informationen ersichtlich war. Ebenfalls in **Kap. 2.** wurde bereits auf die heterogenen Strukturen der Datenhaltung eingegangen. Die meisten der aufgeführten Behörden verfügen zur Erfüllung ihrer Amtsaufgaben über Informationssysteme (oder planen deren Aufbau), in denen auch die jeweils benötigten bodenschutzrelevanten Daten vorgehalten werden. Von zentraler Bedeutung sind hier vor allem das FISBO BGR und das FISBOSCH, das beim UBA aufgebaut wird. Die Vereinheitlichung der Datenstrukturen und die verbindliche Festlegung gemeinsamer Mindeststandards für Datenumfang, Datenqualität und Dokumentation sind wesentliche Voraussetzungen für eine effiziente Zusammenarbeit der Behörden. Hierzu liegen bereits umfangreiche Vorgaben von Arbeitsgruppen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenforschung (BLABO) vor. Es ist zu prüfen, inwieweit diese Vorgaben für Bundesaufgaben spezifiziert werden müssen. Anzustreben ist die Übernahme dieser fachlich begründeten Vorgaben auch für bodenschutzrelevante Daten, die bei fachfremden Bundesbehörden erhoben und gehalten werden.

### **5.2.2 Zusammenarbeit und Koordination auf Bundesebene**

Die Vorteile der dezentralen, fachlich weit gefächerten Bearbeitungsstruktur bodenschutzrelevanter Aufgaben auf Bundesebene können nur voll zum Tragen kommen, wenn der Informationsfluß auf der Arbeitsebene gewährleistet ist. Vor diesem Hintergrund besteht insbesondere in der derzeitigen Konzept- und Aufbauphase der Arbeitsstrukturen ein erhöhter Kommunikations- und Koordinationsbedarf.

Der sich stetig weiterentwickelnde Sachstand erschwert dem einzelnen Bearbeiter den Überblick über die bodenschutzrelevanten Arbeiten auf Bundesebene. Zur Sicherstellung der Transparenz, zum Abbau unproduktiver Konkurrenzen und zur Vermeidung unnötiger Doppelarbeit sollte der fachliche ressortübergreifende Austausch auf Arbeitsebene stärker gesucht werden (z.B. in Form gemeinsamer Projekte). Kommunikations- und Koordinationsbedarf auf Bundesebene besteht vor allem bezüglich der Harmonisierung von Datenbeständen und Auswertemethoden.

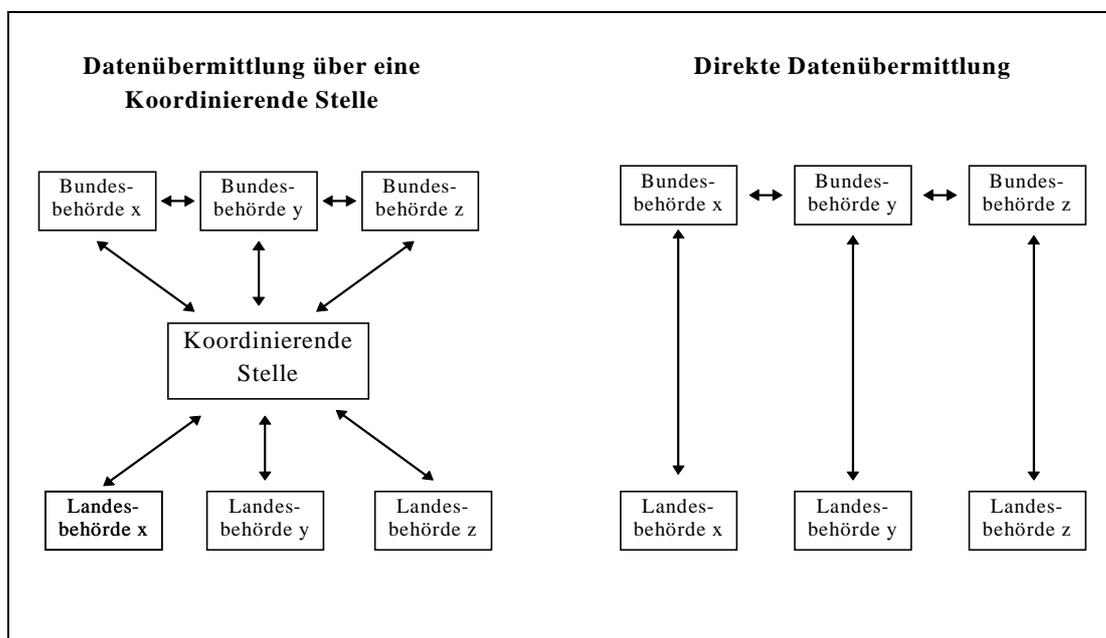
### **5.2.3 Bund/Länder Koordination**

Die länderübergreifende Koordination zu bodenschutzrelevanten Themen wird in Bund/Länder-Ausschüssen (u.a. LABO, BLABO, BZE) und deren Arbeitsgruppen geregelt. Hier sind bereits wesentliche Arbeiten zur Abstimmung und Harmonisierung von Inhalten und Strukturen der Bodeninformationssysteme auf Länder- und Bundesebene geleistet worden. Aus Bundessicht wäre es wünschenswert, wenn die Koordination im Zusammenhang mit der Datenübermittlung nach §19 BBodschGE in diesen Gremien abgewickelt würde. Dies betrifft z.B. die Abstimmung von Bewertungskriterien oder methodischen Vorgaben für Vorauswertungen auf Länderebene. Die technischen Systeme sind mittlerweile weitgehend kompatibel, so daß hier kein grundsätzlicher Koordinationsbedarf besteht. Diesbezügliche Einzelfragen können am besten direkt zwischen den jeweiligen Bearbeitern geklärt werden.

## 5.2.4 Datenaustausch zwischen Bundes und Landesbehörden

Die dezentrale Bearbeitungsstruktur bodenschutzrelevanter Fragestellungen auf Bundesebene hat auf Landesebene weitgehend ihre Entsprechung. Die Ressortzuordnung der Fachbehörden ist in den Ländern unterschiedlich geregelt. Für den bodenschutzrelevanten Datenaustausch zwischen Bundes- und Länderbehörden wurden im F&E-Vorhaben zwei Wege diskutiert:

1. direkte Datenübermittlung zwischen den jeweiligen Fachbehörden unter Nutzung der bestehenden fachlichen Kommunikationsstränge
2. Datenübermittlung unter Einschaltung einer koordinierenden Stelle auf Landesebene bei der die Daten verschiedener Landesbeörden vor der Weitergabe an den Bund gebündelt werden (siehe **Abb. 5.1**).



**Abb. 5.1: Modelle der Datenübermittlung zwischen Landes- und Bundesbehörden**

Im F&E-Vorhaben hat sich der direkte Weg der Datenübermittlung bewährt. Die Klärung aller fachlichen Fragen sowie die konkrete Datenübergabe erfolgten direkt zwi-

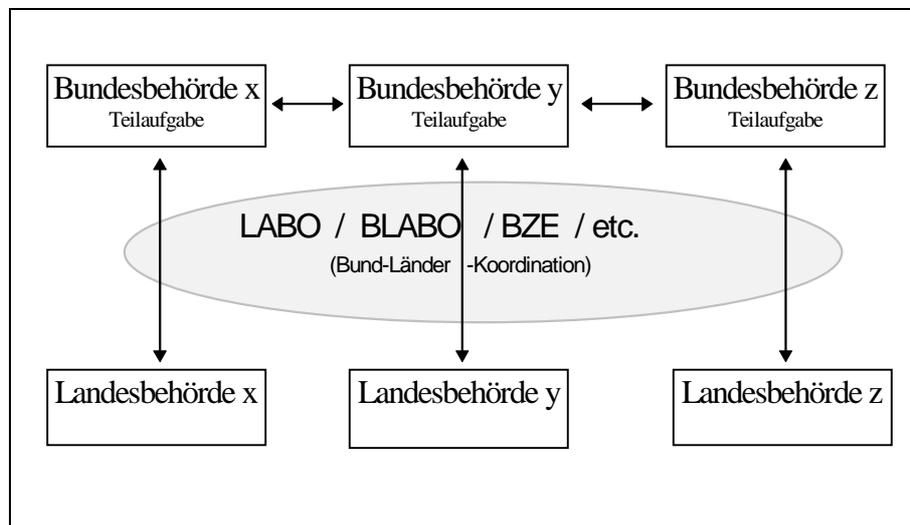
schen den Bearbeitern auf Bundes- und Landesebene. Lediglich bei der Freigabe von Daten anderer Landesbehörden (LGRB, LAFoP) wurde die generellen Aspekte durch das Landesumweltamt geregelt. Der direkte fachliche Kontakt zwischen den Bearbeitern auf Bundes- und Landesebene erwies sich als vorteilhaft. Es hat sich gezeigt, daß mit der Datenübergabe eine große Zahl von Detailfragen verbunden ist, die am besten direkt zwischen den Bearbeitern zu klären sind. Das Konzept der direkten Datenübergabe innerhalb fachlicher Stränge ist, wie Abstimmungsgespräche auf Landesebene gezeigt haben, in Brandenburg konsensfähig. Die Einrichtung einer koordinierenden Stelle für die Datenübermittlung zwischen Landes- und Bundesbehörden wird derzeit nicht als sinnvoll betrachtet (vgl. HIEROLD et al. 1996).

Aus der Sicht einer Bundesbehörde ist der direkte Weg der Datenübermittlung zwischen den bearbeitenden Fachbehörden eindeutig vorzuziehen. Er hält die Zahl der fehlerträchtigen Übermittlungsschritte gering und erleichtert den direkten Kontakt der Bearbeiter (z.B. bei Nachfragen). Er entspricht zudem am ehesten der dezentralen fachlichen Bearbeitungsstruktur auf Bundes- und Landesebene.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der für die direkte Datenübergabe spricht, ist, daß zwischen den Fachbehörden auf Landes- und Bundesebene bereits gut funktionierende Kommunikationsstrukturen vorhanden sind, die für die Datenübergabe genutzt werden können. Eine koordinierende Stelle müßte dagegen erst eingerichtet werden und würde personelle und sachliche Ressourcen binden.

Sofern also auch auf Landesebene das Prinzip verfolgt wird, daß die Bearbeitung von Bundesanfragen durch die jeweils datenhaltenden Fachbehörden erfolgen soll, ist die Einrichtung koordinierender Stellen auf Landesebene für den Datenaustausch mit Bundesbehörden nicht notwendig. Davon unbenommen bleibt eine Entscheidung der Länder, für die Wahrnehmung ihrer eigenen Aufgaben solche Stellen zu bilden.

**Abb. 5.2** verdeutlicht die vorgeschlagene administrative Struktur zur Bearbeitung und Koordination bodenschutzrelevanter Aufgaben auf Bundesebene und für den Datenaustausch zwischen Landes- und Bundesbehörden.



**Abb. 5.2: Konzept zur Organisation des Datenaustausches für bodenschutzrelevante Aufgaben auf Bundesebene und zwischen Bund und Ländern**

### 5.2.5 Zusammenfassung des administrativen Vorschlags zur Datenübermittlung nach § 19 BBodschGE

1. Der Bund formuliert und begründet seinen genauen Datenbedarf anhand des Auswertungsziels und der Methode. z.B:
  - vorausgewertete Daten (z.B. Hintergrundwerte),
  - Einzeldaten (z.B. Dioxine/Furane) mit oder ohne Raumbezug, (evtl. Art der räumlichen Aggregierung) etc..
2. Bund und Länder stimmen inhaltliche Fragen im Zusammenhang mit der Datenübermittlung ab (z.B. Vorauswertungen auf Landesebene, Bewertungskriterien).
3. Die Datenübergabe erfolgt direkt zwischen den bearbeitenden Behörden auf Bundes- und Länderebene.
4. Technische Fragen werden direkt zwischen den Bearbeitern geklärt.
5. Nach Fertigstellung der Auswertungen übergibt der Bund den Ländern die jeweils auf ihr Gebiet bezogenen Ergebnisse.

**Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe**

Im Auftrag

Projektleiter:

(Prof. Dr. M. Langer)

(Dr. J.Utermann)

Sachbearbeiter:

(U. Johannsen)

(M. Höckesfeld)

**Hannover im März 1997**

## 6 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (1994): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. - Geol. Jb. F 31, Hannover.
- ANONYM (1994): Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich; Anhang II 1 "Austausch von Gewässerdaten" (1994); Anhang II 2 "Austausch von Luftgütedaten" (1994); Anhang II 3 "Austausch von Daten zu polyhalogenierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen sowie weiterer chlororganischer Stoffe (1996).
- BACHMANN, G. (1996): Bodenqualitätsziele des vorsorgenden Bodenschutzes, Stand der Überlegungen. In: FORTBILDUNGSZENTRUM GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) Stand und Perspektiven des Bundes-Bodenschutzgesetzes, künftige Rahmenbedingungen zur Altlastensanierung. 56-71, Berlin.
- BARTSCH, H.-U., SBRESNY, J., DEGEN, C., MÜLLER, U., OELKERS, K.H. (1993): Ein Vorschlag zur Einrichtung von Methodenbanken beim Aufbau von Bodeninformationssystemen. – UBA-Bericht FKZ 10706/001/81.
- BLUME, H.-P. & BRÜMMER, G. (1991) Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple field tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 22: 164-174.
- BOOLTING, H.W.G., BOUMA, J. (1993): Sensitivity analysis on processes affecting bypass flow. – *Hydrological processes*, Vol. 7, No. 1, pp. 33-43.
- BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J.G. (1978): *Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building.* – New York, Chichester, u.a.
- DAHIA, I., RICHTER, J., MALIK, R.S. (1984): Soil spatial variability: a review. - *Intern. J. Trop. Agric.*, II: 1-102.

- DÖRING, P., KOITZSCH, R. (1988): Sensitivitätsuntersuchungen am Modell BOWA zur Simulation der Dynamik des Bodenwassers. – Archiv f. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde. Vol. 32, Nummer 6, pp. 349-353.
- DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblatt 212; Hamburg (Parey).
- ECKELMANN, W. (1996): Geowissenschaftliche Grundlagen, Bodeninformationssysteme bei Bund und Ländern. In: FORTBILDUNGSZENTRUM GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) Stand und Perspektiven des Bundes-Bodenschutzgesetzes, künftige Rahmenbedingungen zur Altlastensanierung. 111-128, Berlin.
- FIEBER, B. KUES, J. OELKERS, K.-H. (1993): Konzept zur Nutzung des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS. Teil: Fachinformationssystem Bodenbunde. Geol. Jb. A 142, 7-38, Hannover.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT DES SAARLANDES (1991): Nutzungsanalyse für den Aufbau des Bodeninformationssystems des Saarlandes (SAAR-BIS). Dateninventur, Bedarfsanalyse und Aufbau von Fachinformationssystemen.-Abschlußbericht UBA-F&E-Vorhaben 107 06 001/07, Saarbrücken.
- HAASE, G. & SCHMIDT, R. (1970): Die Struktur der Bodendecke und ihre Kennzeichnung. Albrecht Thaer Archiv, 14: 399-412.
- HAASE, G. (1968): Pedon und Pedotop. Petermanns Geographische Mitteilungen Ergänzungsband 271: 57-76.
- HARTWICH, R. (1995): Vorschlag zur Generallegende der BÜK 200. Hannover. (unveröffentlicht)

- HARTWICH, R., ADLER, G.-H., BEHRENS, J., ECKELMANN, W., RICHTER, A. (1995 a): Die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000, Z. angew. Geol.,41, Stuttgart.
- HARTWICH, R., BEHRENS, J., ECKELMANN, W., HAASE, G., RICHTER, A., ROESCHMANN, G., SCHMIDT, R. (1995 b): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000) Karte, Erläuterungen und Textlegende. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- HARTWICH, R., KRUG, D. ECKELMANN, W. (1995c): Anleitung zur Erarbeitung der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK 200). Berlin. (unveröffentlicht)
- HEIDERMANN, H. (1986): Datenfehler bei math.-numerischen Grundwassermodellen Input-Sensitivität und Kalman-Filter. – In: Mitt. Institut f. Wasserbau und Wasserwirtschaft, Bd. 61. Aachen.
- HEINEKE, H.J., FILIPINSKI, M., DUMKE, I. (1995): Vorschlag zum Aufbau des Fachinformationssystems Bodenkunde -Profil-, Flächen- und Labordatenbank - Methodenbank. Geol. Jb. F 30, Hannover.
- HENNING, I., SCHMIDT, F. (1991): Datenaufbereitung und modellbasierte Analyse. Neue Funktionalitäten im Umwelt-Führungs-Informationssystem (UFIS) des Umwelthinformationssystems (UIS) des Landes Baden-Württemberg. – In: HÄLKER, M., JAESCHKE, A. (Hrsg.): Informatik für den Umweltschutz. 6. Sympios. München, Dezember 1991. Gesellschaft für Informatik (GI) Berichte 296, 256-266.
- HENNINGS, V. (1991): Die Bedeutung der räumlichen Variabilität bodenkundlicher Basisdaten für aktuelle und zukünftige Kartiertechniken, dargestellt an einem Beispielgebiet im nördlichen Harzvorland. Geol. Jb. F 28, Hannover.
- HENNINGS, V. (1992):Auswertung einer Bedarfsanalyse für Informationsgrundlagen zum länderübergreifenden Bodenschutz, Hannover. (unveröffentlicht)

- HIEROLD, W., LORENZ, S., SCHULTZ-STERNBERG, R., STANELLE, S., WYSUJACK, R.  
 (1996): Erstellung eines Konzeptes zur Durchführung der §19  
 "Datenübermittlung an den Bund" in der Fassung vom 22.03.1996 - Bericht zum  
 Teilvorhaben "Brandenburg" im Forschungsvorhaben 107 06 001/15  
 (UFOPLAN- Bodenschutz). Berlin.
- HORNIG, (1990): Methoden der Bodenkartierung. - in Petermanns Geographische Mittei-  
 lungen 3/1991: 201-208.
- JAKEMAN, A.J., GHASSEMI, F., DIETRICH, C.R., MUSGROVE, T.J., WHITEHAD, P.G.  
 (1990): Calibration and reliability of an aquifer system model using generalized  
 sensitivity analysis. - In: Calibration and reliability in groundwater modelling.  
 (K. KOVAR ed.). Wallingford 1990.
- KABALA, Z.J., MILLY, P.C.D. (1990): Sensitivity analysis of flow in unsaturated hetero-  
 geneous porous media; theory, numerical model, and its verification. - Water re-  
 sources research, Vol. 26, No. 4.
- KABALA, Z.J., MILLY, P.C.D. (1991): Sensitivity analysis of infiltration, exfiltration, and  
 drainage in unsaturated Miller-similar porous media. - Water resources research,  
 Vol. 27, No. 10, pp. 2655-2666.
- KEITEL, A. (1991): Inhaltliche, technische und organisatorische Elemente des Informati-  
 onsmanagements im Umweltinformationssystem (UIS) des Landes Baden-  
 Württemberg. - In: HÄLKER, M., JAESCHKE, A. (Hrsg.): Informatik für den Um-  
 weltschutz. 6. Sympios. München, Dezember 1991. Gesellschaft für Informatik  
 (GI) Berichte 296, 247-255.
- KETTUNEN, J., PAASONEN-KIVEKÄS, M., KARVONEN, T. (1992): Sensitivity of a soil-  
 water flow model. - Aqua Fennica, Vol. 22,2 pp. 91-103.
- KIESERLING, U. (1996): Empfindlichkeitsanalyse und Einsatzmöglichkeiten der Aus-  
 wertungsmethode "Ackerbauliches Ertragspotential" im Rahmen von Landes-

planungen (LROP, RROP) in Niedersachsen. (Teil: Empfindlichkeitsanalysen). – Diplomarbeit am Institut f. Physische Geographie und Landschaftsökologie der Universität Hannover. [unveröff.]

KNEIB, W. (1979): Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung - dargestellt an einem Landschaftsausschnitt der niederen Geest Schleswig Holsteins. Diss., Agrarwissensch. Fak. d. Christian Albrechts-Univ. Kiel.

KÜHN, D. (1996) Anleitung zur Erarbeitung einer Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 (BÜK 50) für das Land Brandenburg. Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg - Dezernat Bodengeologie, Kleinmachnow.

LABO (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. Bodenschutz Heft 4.

LAMP, J. (1972): Untersuchungen zur numerischen Taxonomie von Böden - durchgeführt an einem Bodenareal der Hohen Geest Schleswig-Holsteins. Diss., Agrarwissensch. Fak. d. Christian Albrechts-Univ. Kiel.

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen NO-Bayerns. Eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80. Göttingen.

LIEBSCHER, H.-J. (1987): Anwendung der Zuverlässigkeitstheorie in der Hydrologie. – Mitteilungen IX der Senatskommission für Wasserforschung, DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft; 9, pp. 49-54.

MALESSA, V., KIESERLING, U., MÜLLER, U., SBRESNY, J., UTERMANN, J. (1997) Sensitivitätsanalysen bodenkundlicher Auswertungsmethoden in Fachinformationssystemen. Methodische Grundlagen - Geol. Jb. , Hannover. (im Druck)

MALESSA, V. (1994): Entwicklung forstlicher Auswertungsmethoden im Rahmen des Fachinformationssystems Boden des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). Hannover. (unveröffentlicht)

- MALESSA, V.; MÜLLER, U. (1994): Sensitivitätsanalyse der im Fachinformationssystem Boden des Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) angewandten Methoden am Beispiel der Grundwasserneubildungsrate. – Zeitschrift f. Agrar-informatik, 2/1994: 29-35.
- MALESSA, V.; MÜLLER, U. (1995): Sensitivitätsanalyse der im Fachinformationssystem Boden des Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) II (Potentielle Bindungsstärke von Böden für Schwermetalle und potentielle Grundwassergefährdung durch Schwermetalle). – Zeitschrift f. Agrar-informatik, 2/95: 31-36.
- MAUCH, S., KELLER, M. (1992): Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhalung. – Forschungsauftrag 46/90. Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Zürich.
- MÜLLER, U. ECKELMANN, W., HEINEKE, H.J. (1993): Zum Aufbau der Methodenbank im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS). – Geol. Jb. F 27: 185-196, Hannover.
- MÜLLER, U., DEGEN, C., JÜRGING, C. (1992): Dokumentation zur Methodenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde (FIS BODEN). – Technische Berichte zum NIBIS, H.3. Niedersächsisches Landesamt f. Bodenforschung Hannover.
- MUTERT, E. (1978): Untersuchungen zur regionalen Gruppierung von Böden - durchgeführt an einer kleinlandschaft im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. Diss., Agrarwissensch. Fak. d. Christian Albrechts-Univ. Kiel.
- OELKERS, K.-H. (1993): Aufbau und Nutzung des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS - Fachinformationssystem Bodenkunde (FIS-Boden) –Geol. Jb. F 2: 5-38, Hannover.
- OTTE, F. (1988): Über die quantitative Erfassung der Bodenvariabilität und Gütemaße für großmaßstäbige Karten. - Schriftenreihe d. Inst. F. Pflanzenernähr. u. Bodenk. d. Univ. Kiel, 2.

- PECK, A., GORELICK, S., DEMARSILY, G., FOSTER, S., KOVALEVSKY, V. (1990): Consequences of spatial variability in aquifer properties and data limitations for groundwater modeling practice. – Wallingford, IAHS-Press.
- RABINOWITZ, N., STEINBERG, D.M. (1991): Seismic hazard sensitivity analysis: A multi parameter approach. – Bulletin of the Seismolog. Soc. of America, Vol. 81, No.3, 796-817.
- RACHIMOW, C. (1985): Parameteridentifikation durch Optimierung und Sensitivitätsanalyse am Beispiel eines Einzugsgebietes. – Mittlgn. d. Inst. f. Wasserwirtsch., Berlin (O), pp. 92-102.
- RAJAGOPALAN, S.P., LAKSHMINARAYANA, V.L. (1980): Sensitivity analysis of input parameters in regional groundwater flow. – Proc. Internat. Sympos. on water resources systems at University of Roorkee, India, Dec., Vol. I, 1980 pp.VI-3-13 - IV-3-18 Sarita Prakashan, Meerut, Delhi.
- RASTIN, N. & ULRICH, B. (1988): Chemische Eigenschaften von Waldböden im Nordwestdeutschen Pleistozän und deren Gruppierung nach Pufferbereichen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 151, 229-235.
- SAG (1991): Mindestdatensatz Bodenuntersuchungen. Abschlußbericht des Arbeitskreises Mindestdatensatz Bodenuntersuchungen der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz vom 5.9.1991. Bodenschutzzentrum des Landes Nordrhein Westfalen, Oberhausen.
- SBRESNY, J. (1995): Fehlerquellen in raumbezogenen Informationssystemen. Quantifizierung und Minimierung am Beispiel des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. – Dissertation TU Berlin, Fb. 7.
- SCHMIDT, R. (1994): Erarbeitung eines Regelwerkes zur bundesweit einheitlichen Zuordnung der Böden zu den Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) (Wissenschaftliche Konzeption), Hannover (unveröff.).

- SPERR, T., ENGEL, T., PRIESACK, E. (1993): Expert-N - Aufbau, Bedienung und Nutzungsmöglichkeiten des Prototyps. In: ENGEL, T., BALDIOLI, M. (Hrsg.): Expert-N und Wachstumsmodelle. Referate des Anwenderseminars im März 1993 in Weihenstephan. – Agrarinformatik, Bd. 24. 41-59.
- UTERMANN, J., ADLER, G., DÜWEL, O., HARTWICH, R., HINDEL, R., (1996): On the pedo-regional representivness of site specific data refering to small scale soil maps.-Proc. of the EU Workshop `Land-Information Systems - Developments for planning the sustainable use of land resources´, Hannover. (im Druck)
- VILLENEUVE, J.P., LAFRANCE, P., BANTON, O., FRECHETTE, P., ROBERT, C. (1988): A sensitivity analysis of adsoption and degradation parameters in the modeling of pesticide transport in soils. – Journal of Contaminat Hydrology, 3, pp. 77-96.
- WILDING, L. P. & DRESS, L. R. (1983): Spatial Variability and pedology. - in WILDING, L. P. & SMECK, N. E. & HALL, G. F. (Eds.): Pedogenesis and soil taxonomy. - 83-113, Elsevier, Amsterdam.
- ZIESCHANK, R. (1992): Bodeninformationssysteme: Ressourcen und Restriktionen einer nationalen Umweltberichterstattung - zur informatorischen Basis von Umweltpolitik in der Bundesrepublik, den Niederlanden und der Schweiz -. – Zeitschr. f. angewandte Umweltforschung. Jg. 5, H.4, S. 486-489.

## 7 Anhang

**Anhang 1:** Fragebögen zur Ermittlung der prioritären bodenschutzrelevanten Fragestellungen auf Bundesebene sowie des Datenbedarfes und bei Bundesbehörden vorliegender Datenbestände

**Anhang 2:** Dokumentation der Auswertungsmethode: "Potenzielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)"

**Anhang 3:** Dokumentation der Auswertungsmethode: "Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG)"

# Fragebogen 1

Darstellung der pedogenen/geogenen Grundaussattung der Böden und deren räumlicher Verbreitung (= bodenkundliche / geowissenschaftliche u. a. raumbezogene Basisdaten)

Darstellung der pedogenen/geogenen Grundaussattung der Böden und deren räumlicher Verbreitung (= bodenkundliche / geowissenschaftliche u. a. raumbezogene Basisdaten)	Interesse ja   nein	Daten:										
		Datentypen mit unterschiedlicher inhaltlicher / räumlicher Auflösung					Datentypen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung					
		10 gew. <sup>x</sup> bearb. <sup>y</sup>	11 gew. <sup>x</sup> bearb. <sup>y</sup>	12 gew. <sup>x</sup> bearb. <sup>y</sup>	13 gew. <sup>x</sup> bearb. <sup>y</sup>	14	15	16	17	18		
<b>[ 1a ] Bodenkarten</b> M.: 1: 200.000 M: 1: 200.000 - 1.000.000 M: < 1: 1.000.000												
<b>[ 1b ] Flächeninhaltsbeschreibungen für Bodenkarten</b>												
<b>Bodentyp</b> (horizontweise Angabe von):												
- Bodenart / Körnung												
- Carbonatgehalt												
- Bodenreaktion (pH)												
- Kationenaustauschkapazität (pot./eff.)												
- organische Substanz												
- Porenvolumen, Lagerungsdichte												
- Kennwerte der Wasserbindung												
- Wasserdurchlässigkeit												
<b>Ausgangsmaterial der Bodenbildung</b>												
- Stratigraphie												
- Geogenese												
- Zusammensetzung und Herkunft												
<b>bodenlandshaftliche Zuordnung</b>												
- Bodenregion												
- Bodengroßlandschaft												
- Bodenlandschaft												
- Leitbodenassoziation												
- Leitbodengesellschaft												
- Bodenformengesellschaft												
- Bodenformen												

Grau unterlegte Felder bitte nicht ausfüllen

x = gewünschte Datentypen  
y = Datentypen, mit denen bereits gearbeitet wird

14 täglich  
15 monatlich  
16 jahreszeitlich  
17 jährlich  
18 anders (bitte gesondert vermerken)

10 Mittelwerte und Spannweiten für Leit- und Begleitböden  
11 Mittelwerte und Spannweiten für Leitböden  
12 Mittelwerte Leitböden  
13 anders (bitte gesondert vermerken)

Fortsetzung .....

# Fragebogen 1

Darstellung der pedogenen/geogenen Grundausrüstung der Böden und deren räumlicher Verbreitung (= bodenkundliche / geowissenschaftliche u. a. raumbezogene Basisdaten)

## Daten:

Datentypen mit unterschiedlicher inhaltlicher / räumlicher Auflösung

Datentypen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung

Interesse	Datentypen mit unterschiedlicher inhaltlicher / räumlicher Auflösung								Datentypen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung									
	10 gew. bearb. y	11 gew. bearb. y	12 gew. bearb. y	13 gew. bearb. y	14 gew. bearb. y	15 gew. bearb. y	16 gew. bearb. y	17 gew. bearb. y	18 gew. bearb. y	10 gew. bearb. y	11 gew. bearb. y	12 gew. bearb. y	13 gew. bearb. y	14 gew. bearb. y	15 gew. bearb. y	16 gew. bearb. y	17 gew. bearb. y	18 gew. bearb. y
Verteilungsmuster	10	11	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16	17	18
- Flächenanteil der Böden																		
- Verteilungsmuster																		
<b>Reliefinformation</b>																		
- Neigung																		
- Wölbung																		
- Exposition																		
- Reliefentyp																		
- Lage im Relief																		
- Höhe über NN																		
- DGM (Digitales Geländemodell)																		
- Wasserstand unter GOF																		
<b>Nutzungsinformation</b>																		
<b>Klimainformation</b>																		
- Niederschlag																		
- Evapotranspiration																		

Grau unterlegte Felder bitte nicht ausfüllen

10 Mittelwerte und Spannweiten für Leit- und Begleitböden  
 11 Mittelwerte und Spannweiten für Leitböden  
 12 Mittelwerte Leitböden  
 13 anders (bitte gesondert vermerken)  
 14 täglich  
 15 monatlich  
 16 jahreszeitlich  
 17 jährlich  
 18 anders (bitte gesondert vermerken)

x = gewünschte Datentypen  
 y = Datentypen, mit denen bereits gearbeitet wird



Fragebogen 2: Darstellung von Bodenfunktionen	Interesse		Eigene damit verknüpfte Fragestellungen		Eigene damit verknüpfte Arbeiten		Eigener Auswertungs-/Bewertungs- Maßstab	Benutzte Auswertungsmethoden	
	ja	nein	ja, welche?	nein	ja, welche?	nein		NL/B/* BGR	andere, welche?
[2a] aus bodenkundlichen Eingangsdaten abgeleitete Gefährdungspotentiale: - pot. Erosionsgefährdung durch Wasser oder Wind - pot. Verdichtungsgefährdung - pot. Auswaschungsgefährdung von NO <sub>3</sub> , Schwermetallen, Pflanzenschutzmitteln, sonstigen (an-)organischen Stoffen			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 1</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 2</b> der Anmerkungstabelle				
[2b] aus bodenkundlichen Eingangsdaten abgeleitete Nutzungspotentiale: - Ertragspotentiale (forstlich, landwirtschaftlich)			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 3</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 4</b> der Anmerkungstabelle				
[2c] aus bodenkundlichen Eingangsdaten und zusätzlichen Eingangsdaten abgeleitete Nutzungspotentiale: - Grundwasserneubildungsrate - Fragen der Grundwasserabsenkung			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 7</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 8</b> der Anmerkungstabelle				
[2d] Entscheidungshilfen für agrar- und raumordnungspolitische Maßnahmen: - Nutzungspotentiale für die Raumordnung: z.B. potentielle Standorte zur Verbringung von Klärschlämmen, Gülle etc. für die Wasserversorgung, Landschaftspflege und Naturschutz, Erholung etc.; ... - Potentielle Vorranggebiete für Rohstoffabbau - Potentielle Vorranggebiete für nachwachsende Rohstoffe			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 9</b> der Anmerkungstabelle Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 11</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 10</b> der Anmerkungstabelle Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 12</b> der Anmerkungstabelle				
			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 13</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 14</b> der Anmerkungstabelle				
			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 15</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 16</b> der Anmerkungstabelle				
			Anmerkungen hierzu bitte in <b>Feld Nr. 17</b> der Anmerkungstabelle		Anmerkungen bitte in <b>Feld Nr. 18</b> der Anmerkungstabelle				

\* NL/B = MÜLLER, U. & DEGEN, C. & JURGING, C. (1992): Dokumentation zur Methodenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde (FIS BODENKUNDE). Technische Berichte zum NIBIS, H.3. Hrsg.: Niedersächsisches Landesamt f. Bodenforschung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

# Ergänzungsblatt zu Fragebogen 2 (Anmerkungstabelle)

Fragebogen 2 : Darstellung von Bodenfunktionen	Eigene damit verknüpfte Fragestellungen	Eigene damit verknüpfte Arbeiten
[2a] aus bodenkundlichen Eingangsdaten abgeleitete Gefährdungspotentiale:		
– pot. Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind	Feld Nr. 1	Feld Nr. 2
– pot. Verdichtungsgefährdung	Feld Nr. 3	Feld Nr. 4
pot. Auswaschungsgefährdung von NO <sub>3</sub> , Schwermetallen, Pflanzenschutzmitteln, sonstigen (an-)organischen Stoffen	Feld Nr. 5	Feld Nr. 6
[2b] aus bodenkundlichen Eingangsdaten abgeleitete Nutzungspotentiale: – Ertragspotentiale (forstliche, landwirtschaftlich)	Feld Nr. 7	Feld Nr. 8
[2c] aus bodenkundlichen Eingangsdaten und zusätzlichen Eingangsdaten abgeleitete Nutzungspotentiale:		
– Grundwasserneubildungsrate	Feld Nr. 9	Feld Nr. 10
– Fragen zur Grundwasserabsenkung	Feld Nr. 11	Feld Nr. 12
[2d] Entscheidungshilfen für agrar- und raumordnungspolitische Maßnahmen:		
– Nutzungspotentiale für die Raumordnung: z.B. potentielle Standorte zur Verbringung von Klärschlämmen, Gülle etc, für die Wasserversorgung, Landschaftpflege und Naturschutz, Erholung etc, ...	Feld Nr. 13	Feld Nr. 14
– Potentielle Vorranggebiete für Rohstoffabbau	Feld Nr. 15	Feld Nr. 16
– Potentielle Vorranggebiete für nachwachsende Rohstoffe	Feld Nr. 17	Feld Nr. 18

Fortsetzung .....



Fragebogen 3: Ermittlung, Bewertung und Darstellung aktueller Stoffgehalte / Belastungen von Böden	Interesse ?		Eigene damit verknüpfte Fragestellungen		Eigene damit verknüpfte Arbeiten		Eigener Auswertungs-Bewertungs- Maßstab		Daten: gewünscht vorliegend									Eigen- daten welche?	Fremd- daten welche?
	ja	nein	ja, welche?		ja, welche?		nein		zeitliche Auflösung			räuml. Auflösung							
			analog/ digital	1	2	3			4	5	6	7	8	9					
[ 3 a ] Gehalt an Nährstoffen, Schwermetal- len, Pflanzenschutzmitteln und (anderen) (an-) orga- nischen Schadstoffen			Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 1 der Anmerkungstabelle	nein	Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 2 der Anmerkungstabelle	nein												Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 3 der Anmerkungstabelle	Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 4 der Anmerkungstabelle
[ 3 b ] Nitratgehalte im flurnahen Grundwasser			Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 5 der Anmerkungstabelle		Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 6 der Anmerkungstabelle													Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 7 der Anmerkungstabelle	Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 8 der Anmerkungstabelle
[ 3 c ] aktuelle Bodenver- sauerung			Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 9 der Anmerkungstabelle		Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 10 der Anmerkungstabelle													Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 11 Anmerkungstabelle	Anmerkungen hierzu bitte in Feld Nr. 12 Anmerkungstabelle

- 1 täglich
- 2 monatlich
- 3 jahreszeitlich
- 4 jährlich
- 5 anders (bitte auf dem Ergänzungsblatt [ 3 ] vermerken)
- 6 m<sup>2</sup>
- 7 ha
- 8 km<sup>2</sup>
- 9 anders (bitte auf dem Ergänzungsblatt [ 3 ] vermerken)

# Ergänzungsblatt zu Fragebogen 3 (Anmerkungstabelle)

<b>Fragebogen 3 :</b> <b>Ermittlung, Bewertung und Darstellung aktueller Stoffgehalten und Belastungen von Böden</b>	<b>Eigene</b> <small>damit verknüpfte</small> <b>Fragestellungen</b>	<b>Eigene</b> <small>damit verknüpfte</small> <b>Arbeiten</b>	<b>Eigendaten</b> <small>welche?</small>	<b>Fremddaten</b> <small>welche?</small>
<b>[ 3 a ]</b> Gehalt an Nährstoffen, Schwermetallen, Pflanzenschutzmitteln und (anderen) (an-)organischen Stoffen	Feld Nr. 1	Feld Nr. 2	Feld Nr. 3	Feld Nr. 4
<b>[ 3 b ]</b> Nitratgehalte im flurnahen Grundwasser	Feld Nr. 5	Feld Nr. 6	Feld Nr. 7	Feld Nr. 8
<b>[ 3 d ]</b> aktuelle Bodenversauerung	Feld Nr. 9	Feld Nr. 10	Feld Nr. 11	Feld Nr. 12

Fortsetzung ....





## Fragebogen zur Erhebung von Bodenbelastungsdaten

Bitte für jeden Teildatenbestand einen gesonderten Fragebogen ausfüllen!

<b>Institution:</b>						
<b>Anschrift:</b>						
<b>Ansprechpartner:</b>					Telefon:	
<b>Bezeichnung des Datenbestandes / der Datenbank:</b>						
<b>Inhalt / Merkmale:</b>						
<b>untersuchtes Material</b>	organische Auflage	* <sup>1)</sup>	Bemerkungen:			
	Mineralboden					
	oberflächennahes Grundwasser					
	sonstiges (bitte angeben)					
<b>bodenkundliche Aufnahme</b>	Bodenart / Körnung					
	pH-Wert					
	org. Substanz					
	Kationenaustauschkap.					
	sonstige (bitte angeben)					
<b>Bodenbelastungen:</b>	Bitte untersuchte Parameter angeben					
<b>stoffliche Belastungen:</b>	Schwermetalle					
	Pflanzenschutzmittel					
	Nitrat					
	Bodenversauerung					
	sonstige (bitte angeben)					
<b>nichtstoffliche Belastungen</b>	Versiegelung					
	Erosion					
	Verdichtung					
	sonstige (bitte angeben)					
<b>Datenform, Datentyp u. -umfang:</b>	digital		Betriebssystem:			
			Datenbanksystem:			
	analog		Form (Tab., Karte ...):			
	Anzahl der Datensätze:					
	Speicherbedarf: (MB)					
<b>Verfügbarkeit:</b>	uneingeschränkt	*	Einschränkungen:			
	eingeschränkt					
<b>Datenquellen:</b>	eigene Erhebung		Angaben zu Literatur / Fremddaten:			
	Literatur					
	Fremddaten					
<b>Entstehungsart der Daten:</b>	Messungen		Bemerkungen:			
	Digitalisierung					
	Erhebung					
	sonstiges					
<b>zeitliche Auflösung / zeitlicher Bezug:</b>	einmaliger Erhebungszeitraum		von:		bis:	
	fortlaufende Erhebung		von:		bis:	
	regelmäßige Intervalle					
	unregelmäßige Intervalle					
	Daten werden fortgeführt					

\*<sup>1)</sup> hellgrau unterlegte Felder bitte ankreuzen

<b>räumliche Abdeckung:</b>	gesamte BRD *)		Bemerkungen:		
	bundesländerübergreifend				
	Bundesland				
	Landkreis				
	kleinerer Untersuchungsraum				
	nicht zusammenhängende Untersuchungsräume				
	sonstige				
<b>räumlicher Bezug:</b>	Punktdaten		Bitte ggf. Angaben zur Maßstabsebene machen		
	Flächendaten				
	Daten ohne räuml. Bezug				
<b>räumliche Zuordnung:</b>	Hoch- & Rechtswerte				
	Nr. d. Topograph. Karte				
	sonstige (z.B. Schlag, Gemeinde)				
<b>Aggregation:</b>	Einzeldaten				
	Mittelwerte				
	Spannweiten				
	sonstiges				
Angaben im Datensatz vorhanden		ja	teilweise	nein	
<b>Standortdaten:</b>	Nutzung				Bemerkungen:
	bodenkundl. Profilsprache				
	Geologie				
	Klima				
	Vegetation				
	sonstiges				
<b>Probenahme:</b>	Aufschlußart				
	Art der Entnahme				
	gestörte / ungestörte Probe				
	Einzelprobe / Mischprobe				
	Anzahl der Parallelentnahmen				
	Tiefenangabe				
	Horizontgrenzen				
Probenahmegerät					
<b>Probentransport &amp; Lagerung:</b>	Gefäßmaterial				
	Transportbed. z.B. Kühlung				
	Transportdauer				
	Zwischenlagerung				
<b>Proben- vorbereitung:</b>	Trocknung				
	Fraktionstrennung (z.B. Siebung)				
	Zerkleinern (z.B. Mahlen)				
	Konservieren				
<b>Untersuchungs- ergebnis:</b>	Aufschlußverfahren				
	Analyseverfahren				
	Parameter				
	Meßwert / Dimension				
	Ergebnisbezug (z.B. Feinboden)				
	Meßgenauigkeit				
	Bestimmungsgrenze				
	Qualitätssicherung				

\*) hellgrau unterlegte Felder bitte ankreuzen

Bei Fragen: U. Johannsen Tel. 0511/643-2841

## Anhang 2

**KENNWERT:** 2.4 Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)

**QUELLEN:**

DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblatt 212; Hamburg (Parey).

BLUME, H.-P. & BRÜMMER, G. (1991): Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple field tests. - Ecotoxicology and Environmental Safety, 22: 164-174.

**INGANGSDATEN:**

- Horizontsymbol
- Bodenart
- effektive Lagerungsdichte
- Humusgehalt
- pH-Wert
- bei Podsolen: Verfestigungsgrad des B(h,s)-Horizonts
- Grundwasserstandsdaten: MHGW, MGW oder MNGW; alternativ: Tiefenlage der Go- oder Gr-Obergrenze
- Jahresniederschlag
- jährliche potentielle Evapotranspiration ETpot nach HAUDE;
- alternativ: detaillierte Klimadaten, die die Ableitung der ETpot nach HAUDE erlauben
- Nutzung

bei fehlendem pH-Wert: gleiche Eingangsdaten wie oben

**VERKNÜPFUNGS-  
REGELN:**

12, 15, 30, 72, 73;  
bei fehlendem pH-Wert: 12, 15, 18, 30, 72, 73;  
bei fehlenden Daten für ETpot nach HAUDE, aber Verfügbarkeit detaillierter Klimadaten zusätzlich Verknüpfungsregel 23

**ERLÄUTERUNG:**

Zunächst Ermittlung des Kennwerts FSMt gemäß Methodenbeschreibung. Anschließend unter Einbeziehung von Klima- und Grundwasserstandsdaten Ermittlung des Kennwerts FSMw.

Da die Zwischengröße FSMt separat für bis zu 11 Schwermetalle ermittelt wird (Cd, Mn, Ni, Co, Zn, Al, Cu, Cr<sup>III</sup>, Pb, Hg, Fe<sup>III</sup>), existieren auch vom Kennwert FSMw 11 schwermetallspezifische Varianten. Für jedes betrachtete Metall wiederholt sich der unter Verknüpfungsregel 72 beschriebene Verfahrensgang.

**ERGEBNIS:**

Ordinal skaliert Kennwert (z.B. "4" = "hoch")

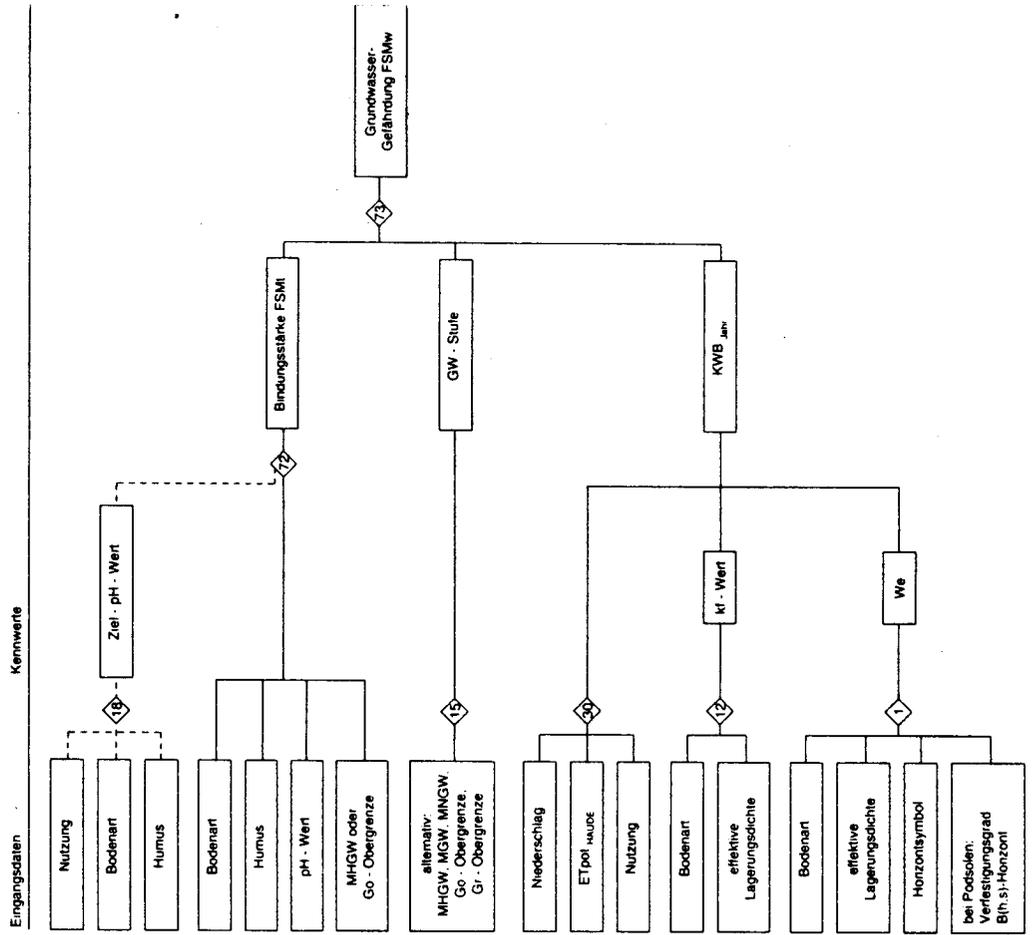
**MAßSTABSEIGNUNG:** Für alle Maßstäbe

**EINSCHRÄNKUNGEN:**

- Für FSMt Verwendung des Ziel-pH-Wertes nur zur näherungsweise Beurteilung der Bodenazidität in Abhängigkeit von der Nutzungsart.
- Für FSMt Ziel-pH-Werte bei forstlicher Nutzung (Verknüpfungsregel 18, Tab. 18.3) ohne Differenzierung nach bestandbildenden Baumarten.
- Für FSMt keine Berücksichtigung erhöhter Eisenoxidgehalte als Eingangsgröße für Verknüpfungsregel 72.
- Einfluß kleinräumiger Reliefdifferenzierung auf Klimatische Wasserbilanz (KWB), Verknüpfungsregel 30) bleibt unberücksichtigt.
- Vom DVWK genannter Effekt lateral abziehenden Stauwassers wird nur näherungsweise nach dem kf-Wert des Unterbodens beurteilt.
- Obiger Kennwert FSMw erlaubt eine Einschätzung des Filtervermögens des Bodens bis in maximal 2 m Profiltiefe. Das Potential längerer Filterstrecken bei großen Grundwasserflurabständen bleibt unberücksichtigt. Gleiches gilt für das Potential carbonathaltiger Gr-Horizonte.

**DATUM:** Oktober 1993

**STATUS:** Im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung und im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen programmiert und zur digitalen Erstellung bodenkundlicher Auswertungskarten eingesetzt.



Anmerkung: mit durchgezogenen Linien ist die Kennwertmittlung gemäß DVWK (1988) dargestellt; gestrichelte Linien zeigen eine alternative Vorgehensweise, falls gemessene pH-Werte als Eingangsdaten nicht zur Verfügung stehen.

Abbildung 7: Flussplandiagramm zur Ableitung des Kennwertes „potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)“

## Verknüpfungsregel 7 2

### INHALT:

Ermittlung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum

### EINGANGSDATEN:

- pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) je Horizont
- Bodenart je Horizont
- Humusgehalt je Horizont (in Klassen)
- mittlerer Grundwasserhochstand MHGW oder alternativ Co-Obergrenze

### KENNWERT:

FSMt (Stufe 0 - 5)  
(nur ordinal skaliert)

### KENNWERTERMITTLUNG:

Der Kennwert FSMt wird schwermetallspezifisch ermittelt. Für jedes individuell betrachtete Schwermetall wiederholt sich der gesamte im folgenden beschriebene Verfahrensgang.

Für die Einschätzung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum werden bis maximal 2 m Tiefe alle Horizonte eines Profils bis zum mittleren Grundwasserhochstand bzw. bis zur Obergrenze des Co-Horizonts betrachtet. Ober- und Unterbodeneigenschaften werden zu einem gemeinsamen Kennwert aggregiert, in den jedoch nicht alle Horizonte des Profils in gleicher Weise eingehen. In einem ersten Schritt wird das 30 cm-Intervall ausgewählt, das allein nach dem pH-Wert die höchste relative Bindungsstärke aufweist. Weitere Zuschläge sind ton- und humusgehaltsabhängig. Dabei werden die obersten 30 cm (= Oberboden) und der verbleibende Unterboden getrennt bewertet. Für beide Bereiche wird jeweils ein Zuschlag erteilt, sofern Ton- und Humusgehalt die dafür erforderlichen Schwellenwerte erreichen.

1. Nach Vorgabe des Schwermetalls und dem Eingangsdatum pH-Wert wird aus Tabelle 72.1 für jeden Horizont die relative Bindungsstärke des betreffenden Metalls (FSM) ermittelt. Derjenige Horizont, der den höchsten Wert aufweist und zugleich mächtiger als 30 cm ist, wird ausgewählt. Beträgt die Mächtigkeit des Horizontes maximaler relativer Bindungsstärke weniger als 30 cm, so wird mit dem angrenzenden Horizont ein gewichtetes Mittel gebildet. Zwischen darüber- und darunterliegendem Horizont entscheidet ggf. wieder der FSM-Wert:  
→ 1. Wert.

2. Bei der Berücksichtigung des Einflusses von Ton und Humus werden Ober- und Unterboden separat bewertet.

a) Oberboden

Bevor nach jeweiliger Bodenart und jeweiligem Humusgehalt eventuelle weitere Zuschläge zum 1. Wert erteilt werden können, sind aus Tabelle 72.2 für das gegebene Metall

die substratbedingten Bindungsstärken durch Ton und Humus zu entnehmen. Diese beiden Werte fungieren gemeinsam mit individueller Bodenart und Humusgehalt als Eingangsdaten für Tabelle 72.3 und 72.4.

Der Wert der substratbedingten Bindungsstärke durch Humus und der Humusgehalt werden gemäß Tabelle 72.3 zum Humuszuschlag Oberboden verknüpft. Modifikation: Für O-Horizonte gilt Humusgehaltsstufe 6. Bei Of-Horizonten ist der Zuschlag bei Bindungsstärke 2 um 0.5, bei Bindungsstärken 3 bis 5 um 1 zu vermindern.

Der Wert der substratbedingten Bindungsstärke durch Ton und die Bodenart werden gemäß Tabelle 72.4 zum Tonzuschlag Oberboden verknüpft.

### b) Unterboden

Bemessungsgrundlage ist ein Horizont mit mindestens 30 cm Mächtigkeit, der die in Tabelle 72.5 genannten Voraussetzungen für humus- oder tonbedingte Zuschläge erfüllt.

Für den Unterboden gelangt direkt Tabelle 72.5 zur Anwendung.

Gemäß Tabelle 72.5 beträgt der maximale Zuschlag aufgrund der Einflußgroßen Bodenart und Humusgehalt jeweils 1.

Zum 1. Wert werden beide Humuszuschläge für Ober- und Unterboden addiert → 2. Wert.

Zum 2. Wert werden beide Tonzuschläge für Ober- und Unterboden addiert → 3. Wert.

3. In stark quellenden/schrumpfenden Böden kann die relative Bindungsstärke für Schwermetalle durch vertikal orientierte Grobporen zusätzlich vermindert werden. Kriterium ist der Tongehalt in 5 dm Tiefe. Beträgt er mehr als 35 %, so wird ein weiterer Abschlag von 1 vorgenommen.

4. Ein Ergebnis > 5 wird auf 5 abgerundet, da die Klassifizierung nur 6 Stufen (0-5) umfaßt → 4. Wert = FSMt.

Tabelle 72.1: Einfluß der Bodenazidität auf die relative Bindungsstärke von Metallen (FSM) bei sandigen Böden (Bodenart S, Su2) mit geringem Humusgehalt (< 2%)

Metall	Relative Bindungsstärke FSM bei pH(CaCl2)-Werten von										
	2.5-2.7	2.8-3.2	3.3-3.7	3.8-4.2	4.3-4.7	4.8-5.2	5.3-5.7	5.8-6.2	6.3-6.7	6.8-8.0	
Cd	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Mn	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0
Ni	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0
Co	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0
Zn	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0
Al	1.0	1.5	2.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cu	1.0	1.5	2.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cr(III)	1.0	1.5	2.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Pb	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Hg	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Fe(III)	1.5	2.5	3.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Tabelle 72.2: Relative Bindungsstärke für Metallionen in Abhängigkeit von Bodenbestandteilen bei gegebenem Grenz-pH

Metall	Grenz-pH	Substratbedingte Bindungsstärke unterhalb Grenz-pH durch Sesquioxide (3)	
		Humus	Ton
Cd	6.0	4.0	2.0
Mn	5.5	2.0	3.0
Ni	5.5	3.5	2.0
Co	5.5	3.0	2.0
Zn	5.5	2.0	3.0
Al	5.0	5.0	4.0
Cu	4.5	5.0	3.0
Cr(III)	4.5	5.0	4.0
Pb	4.0	5.0	4.0
Hg	4.0	5.0	4.0
Fe(III)	3.5	5.0	5.0

Tabelle 72.3: Zuschläge zur Berücksichtigung des Einflusses des Humusgehaltes auf die relative Bindungsstärke für Schwermetalle

Humusgehalt (h) %	Bindungsstärke des Humus				
	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0
1-2	52	0	0	0	0
3-4	>2-8	0	0.5	0.5	1.0
5	>8-15	0.5	0.5	1.0	1.5
6	>15	0.5	1.0	1.0	1.5
					2.0

Tabelle 72.4: Zuschläge zur Berücksichtigung des Einflusses des Tongehaltes bzw. der Bodenart auf die relative Bindungsstärke für Schwermetalle

Tongehalt (% *)	Bodenart	Bindungsstärke des Tonens				
		2.0	3.0	4.0	5.0	5.0
≤5	S, Su2	0	0	0	0	0
>5-12	St2, St12, St13, Su3+4, Us, U	0	0	0.5	0.5	0.5
>12-25	St14, Ut2+3, Ut12+3, Ut13, Ut4, Ut14, Lt3+4, Lu, Lu, St3, Tt4	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
>25-65	Tt1, Tt2+3, Tu2-4, Lt6, Lt2+3, Lt4	0.5	0.5	1.0	1.5	1.5
>65	T	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0

\*) je 25 Gew.-% Kies bzw. Steine ist der Zuschlag um 0.5 zu erniedrigen

Tabelle 72.5: Zuschläge zur Berücksichtigung höherer Humus- und Tongehalte des Unterbodens

Unterbodeneigenschaft	Zuschlag
h 3-6 bzw. > 2 % Humus	1.0
U1, Ut, St3, St14, LL, TT	1.0

LL, TT = alle Bodenarten der Hauptgruppen Lehm und Ton

- In Tab. 72.4 und 72.5 Bodenarten nach 3. Aufl. der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODENKUNDE 1982) -

**BEISPIEL:**  
 Kennwertermittlung am Beispiel des Schwermetalls Kupfer (Cu) an einem Profil mit 5 Horizonten nachfolgender Eigenschaften:

cm u. COF	Horizont	Bodenart	Humus	PE	FSM	Zuschlag Humus	Zuschlag Ton	Abschlag >15% Ton
0 - 15	Ah	U2	h4	6,0	5,0	(1)	(0 5)	
15 - 60	M	U2	h3	5,0	4,5	(1)	(0 5)	
60 - 140	Go	S14	h2	4,0	3,0	0	1	
140 - 200	Gr	S14	h1	4,0	3,0	0	1	
				4,0	3,0	0	1	
				4,75	4,75	1	1,5	0
				4,75	5,75	2	7,25	5
				1. Wert	2. Wert	3. Wert	4. Wert	5. Wert

Erläuterungen zum

- 1. Wert: FSM nach Tabelle 72.2; gewichtetes Mittel über 30 cm.
- 2. Wert: für den Oberboden nach Tabelle 72.3, für den Unterboden nach Tabelle 72.5. Die Oberbodenhorizonte Ah und M besitzen einzeln eine zu geringe Mächtigkeit (< 30 cm), um einen Humuszuschlag zu erhalten. Werden beide zusammen als Oberboden betrachtet, so beträgt der Zuschlag 1.
- 3. Wert: für den Oberboden nach Tabelle 72.4, für den Unterboden nach Tabelle 72.5 kein Zuschlag für den Go- und Gr-Horizont, da nur der grundwasserfreie Bodenraum herangezogen wird.
- 4. Wert: Rundung auf ganze Zahlen, maximaler Wert = 5.

März 1992

STAND:

QUELLEN:

DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. - DVWK-Merkblatt 212: Hamburg (Parey).

BLUME, H.-P. & BRUMMER, G. (1991): Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple field tests. - Ecotoxicology and Environmental Safety, 22: 164-174.

INHALT:

Ermittlung der potentiellen Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum

EINGANGSDATEN:

- relative Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum FSMt nach VKR 72
- jahresbezogene Klimatische Wasserbilanz KWBj nach VKR 30
- Grundwasserstufe nach VKR 15
- kf-Wert je Horizont nach VKR 12
- effektive Durchwurzelungstiefe We nach VKR 1

KENNWERT:

FSMw [Stufe 1 - 5]  
 (nur ordinal skaliert)

KENNWERTERMITTLUNG:

Da das Eingangsdatum FSMt für ein bestimmtes Schwermetall ermittelt wurde, besitzt auch der Kennwert FSMw einen schwermetallspezifischen Aussagewert. Die relative Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum und die jahresbezogene klimatische Wasserbilanz werden gemäß der Matrix in Tabelle 73.2 zur Zwischengröße FSMtk verknüpft.

FSMtk und Grundwasserstufe werden gemäß der Matrix in Tabelle 73.3 zur Zielgröße FSMw verknüpft.

An Standorten ackerbaulicher Nutzung wird die nach VKR 30 ermittelte jahresbezogene klimatische Wasserbilanz KWBj vor Anwendung von Tabelle 73.2 in Abhängigkeit von der gesättigten Wasserdurchlässigkeit im Unterboden modifiziert. Maßgebend von allen Horizonten bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraums ist der Unterbodenhorizont mit dem geringsten kf-Wert. Gemäß Tabelle 73.1 werden gegebenenfalls folgende Zuschläge erteilt:

**Tabelle 73.1: Zuschläge zur jahresbezogenen klimatischen Wasserbilanz in Abhängigkeit vom minimalen kf-Wert im Unterboden**

Kurzzeichen	Bezeichnung	kf in cm/d	Zuschläge zur KWBj
kf 1	sehr gering	≤ 1	---
kf 2	gering	> 1 - 10	---
kf 3	mittel	>10 - 40	---
kf 4	hoch	>40 - 100	+ 50 mm
kf 5	sehr hoch	>100 - 300	+ 100 mm
kf 6	äußerst hoch	> 300	+ 150 mm

**Tabelle 73.2: Relative Bindungsstärke für Schwermetalle im grundwasserfreien Bodenraum unter Berücksichtigung der klimatischen Wasserbilanz (FSMtk)**

KWBj	Kurzzeichen	B i n d u n g s s t r e k e F S M t										
		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	mm/Jahr	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
1	0-100	0.5	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0
2	>100-200	0	1.0	1.5	2.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0
3+4	>200-400	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0
5+6	>400	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

**Tabelle 73.3: Potentielle Gefährdung des Grundwassers durch Austrag von Schwermetallen aus dem grundwasserfreien Bodenraum (FSMw)**

FSMtk	G r u n d w a s s e r s t u f e						
	1	2	3	4	5	6	7
0-1	5	5	5	5	5	5	5
1.5-2	5	4	4	3	3	3	2
2.5-3	5	4	3	3	2	2	1
4.5-5	5	3	2	2	1	1	1

**BEISPIEL:** Kennwertermittlung am Beispiel des Schwermetalls Kupfer (Cu). KWB<sub>1</sub>-Stufe 2 und Grundwasserstufe 4 an einem Profil mit 5 Horizonten:

cm u. GDF	Bodenart	Baumtiefe	pH	FSM	tschlag Baum	tschlag Ton	Abschlag 13% Ton	FSM	OWS
0-15	U2	h4	6.0	5.0	1.1	(0.5)			
15-30	U2	h3	5.0	4.5	(2.1)	(1.5)			
30-90	M	h2	4.0	3.0	0				
90-110	Go	h1	4.0	3.0					
110-200	Go	...	4.0	3.0					
				4.75	-1	-1.5	0		
				4.75	5.35	7.25	5		
				1. Wert	2. Wert	3. Wert	4. Wert	5. Wert	6. Wert

Erläuterungen zum

- 1. Wert: nach VKR 72.
- 2. Wert: nach VKR 72.
- 3. Wert: nach VKR 72.
- 4. Wert: nach VKR 72.
- 5. Wert: FSMtk nach Tabelle 73.2.
- 6. Wert: FSMw nach Tabelle 73.3.

STAND:

März 1992

**QUELLEN:**

DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. - DVWK-Merkblatt 212; Hamburg (Parey).

BLUME, H.-P. & BRÜMMER, G. (1991): Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple field tests. - Ecotoxicology and Environmental Safety, 22: 164-174.

## Anhang 3

## 8 Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden

### DEFINITION:

Empfindlichkeit des Bodens gegenüber langfristiger Einwirkung atmodgen eingetragener Säurebildner und daraus resultierender Verluste an basischen Kationen: ohne exakte Abschätzung stoffhaushaltlicher Veränderungen näherungsweise nach dem Risiko einer Ökosystemveränderung zu beurteilen.

An Methodenrecherche, -abstimmung und -dokumentation beteiligte Experten der GLÄ:  
Dr. Kues (Niedersachsen),  
Dr. Pahlke (Nordrhein-Westfalen)

### AUSWERTUNGSMETHODE:

8.1 Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden, gemessen an "Fichtenökosystem-Reaktionstypen" bzw. am Risiko der Veränderung von Waldböden

### ERLÄUTERUNG:

Die Methodendokumentation zum Thema "potentielle Versauerungsgefährdung" umfaßt in der vorliegenden ersten Fassung nur ein Bemessungsverfahren. Weitere Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Versauerungsgefährdung sind zwar in Ansätzen bekannt, aber noch nicht als Algorithmen formulierbar.

### EINSCHRÄNKUNGEN:

Für die Methode nach LENZ gelten die im folgenden unter 8.1 aufgeführten Einschränkungen, die verdeutlichen, daß in die Ableitung der Zielgröße nicht alle Einflußfaktoren integriert werden, die am komplexen Prozeßgeschehen neuartiger Waldschäden ursächlich beteiligt sind. Die ordinal skalierte Zielgröße liefert daher nur eine Raumgliederung nach relativen Gefährdungsklassen, die keine quantitativen Aussagen über konkrete Stoffumsätze erlauben.

Methode	Bodenkundliche Eingangsdaten		Maßstabseignung		Kennwert		
	metrisch skaliert	ordinal skaliert	1: 5.000 - 1: 10.000	1: 25.000 und 1: 50.000	1: 200.000 und kleiner	metrisch skaliert	ordinal skaliert
8.1 potentielle Versauerungsgefährdung nach LENZ (1991)	...				...		...

Tabelle 8: Einstufung der Auswertungsmethode zum Thema "potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden" nach den Kriterien Eingangsdatenbedarf, Maßstabseignung und Art des Ergebnisses

### KENNWERT:

8.1 Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden (PVG), gemessen an "Fichtenökosystem-Reaktionstypen" bzw. am Risiko der Veränderung von Waldböden

### QUELLE:

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldböden in Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldböden, Reihe A, Bd. 80; Göttingen.

### EINGANGSDATEN:

- Tongehalt
- Schluffgehalt
- Humusgehalt
- pH-Wert
- effektive Lagerungsdichte
- Horizontsymbol
- bei Podsohlen:
- Verfestigungsgrad des B(h,s)-Horizonts
- geologisches Ausgangsmaterial
- Exposition
- Zahl der jährlichen Nebeltage
- Waldbestandsart

VERKNÜPFUNGS- 1, 19, 20, 21, 22, 39, 68, 69

### REGELN:

### ERLÄUTERUNG:

Das Verfahren von LENZ (1991) beurteilt die potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden nach der langfristig zu kalkulierenden, gemittelten Basenverluste aus dem durchwurzelbaren Solum. Die Zielgröße klassifiziert dazu in drei "Fichtenökosystem-Reaktionstypen", die jeweils nach dem Risiko der Ökosystemveränderung untergliedert werden. Die Zielgröße wie auch die Mehrzahl der laut Flußplandiagramm zu ermittelnden Zwischengrößen werden nur ordinal skaliert ausgewiesen.

Das Verfahren von LENZ (1991) versucht eine grobe stoffhaushaltliche Bilanzierung atmodgener Einträge von Säurebildnern, indem dem Protonenbelastungsrisiko der Speicher austauschbarer basischer Kationen im durchwurzelbaren Solum gegenübergestellt wird. Maßzahl dieser ordinal skalierten "Bodenqualität" ist die Basensättigung, die vereinfachend als Indikator des aktuellen Versauerungsgrades angesehen wird, jedoch auch als Risiko eines Säurestress aufgefäßt werden könnte.

Dem von bodenkundlichen Parametern bestimmten Basenspeicher steht auf der anderen Seite der Bilanz das Säurebelastungsrisiko gegenüber, das seinerseits

- Verknüpfungsregel 39 nimmt grundsätzlich nur eine Einstufung des kleinräumigen, relativen Depositionsrisikos von Säurebildnern vor, ohne vorhandene Kenntnisse über die großräumige Variabilität absoluter Stoffeinträge in das Modell zu integrieren.

- Verknüpfungsregel 39 klassifiziert das Risiko einer Deposition von Protonen allein nach niederschlagsgebundenen Einträgen und vernachlässigt die trockene Deposition. Ebenso bleibt der Einfluß historischer Nutzungen unberücksichtigt.

- Die Einstufung geologischer Ausgangsmaterialien nach ihrer Silikatverwitterungsrates (Verknüpfungsregel 22) gilt für Lockergesteine (Sand, Kies) nur unter der Voraussetzung, daß die Einzelkomponenten ausschließlich aus Quarz bestehen.

- Die Zielgröße bewertet das Risiko einer Ökosystemveränderung von Fichtenbeständen und ist auch auf Kieferbestände, nicht aber auf Laubwälder übertragbar.

- Eine direkte Umsetzung der gemäß Verknüpfungsregel 69 ermittelten Reaktions- oder "Beständigkeitstypen" in langfristige Basenverlustraten ist nicht zulässig.

- Ein Verlust basisch wirkender Kationen unter dem Einfluß saurer Deposition kennzeichnet nur einen Teilprozeß der Bodenversauerung, der für die meisten Waldökosysteme bereits überschritten sein dürfte. An diesen Standorten kann der Bestand an Kationenbasen nicht mehr durch Silikatverwitterung ergänzt, aber auch nicht mehr nennenswert vermindert werden. Bei niedriger Basensättigung und mittlerer oder hoher Protonenbelastung kann sich dennoch mit der Pufferung durch Aluminium-Hydroxide oder Aluminium-Hydroxopolymeren ein hohes ökologisches Gefährdungspotential ergeben, ohne daß das Verfahren von LENZ (1991) noch eine weitere Differenzierung des Risikos der Ökosystemveränderung erlaube.

- Das Verfahren von LENZ (1991) wurde für die geologischen und morphologischen Standortbedingungen der Waldökosysteme Nordost-Bayerns bzw. für ein Kristallinebiet mit präkambrischen und altpaläozoischen Gesteinen entwickelt. Die Algorithmen der Verknüpfungsregeln 39 und 68 zur Einstufung des Protonendepositions- und -belastungsrisikos bedürfen außerhalb der Mittelgebirge noch einer Überprüfung.

DATUM: März 1993

STATUS: Im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung teilweise zur analogen Erstellung bodenkundlicher Auswertungskarten eingesetzt.

aus Depositionsrisiko und Silikatverwitterungsrates abgeleitet wird. Carbonatische Standorte erfahren bei dieser sehr groben und langfristigen Abschätzung erst sehr spät eine stoffhaushaltlich nachteilige Veränderung, da selbst die höchsten Depositionsrates noch unter den ökosysteminternen möglichen Umsätzen liegen können. Der Ansatz von LENZ (1991) erlaubt auf der Seite der Belastungsfaktoren hinsichtlich des Depositionsrisikos von Säurebildnern nur eine relative Einstufung. Eine Weiterentwicklung des Verfahrens könnte darin bestehen, absolute Stoffeinträge im Mittel über größere Waldgebiete zu schätzen und mit Hilfe von Verknüpfungsregel 39 zu kleinräumig differenzierten Aussagen zu gelangen. Auf diese Weise sollte langfristig eine direkte Übersetzung der (Ökosystem-) Reaktionstypen in Basenverlustraten möglich sein.

Verknüpfungsregel 19 berechnet gemäß Flußplandiagramm in Abb. 26 die Sorptionskapazität je Horizont aus Ton- und Schluffgehalt. Um eine Anwendung der Methode auf die Inhalte der Flächendatenbanken bodenkundlicher Fachinformationssysteme zu ermöglichen, sollte Regel 19 so modifiziert werden, daß nur die Bodenart als Eingangsdatum fungiert.

In Abweichung von der Originalarbeit von LENZ wird für Verknüpfungsregel 20 ein eventueller Grund- oder Stauwassereinfluß nicht berücksichtigt. Stattdessen führt bei Gleyen die Existenz der Horizonte Go oder Gr bereits über Verknüpfungsregel 1 zu einer Verkürzung des durchwurzelbaren Solums.

ERGEBNIS: Ordinal skaliertes Kennwert (z.B. "4" = "hoch")

MAßSTABSEIGNUNG: Für kleinmaßstäbige Übersichtsdarstellungen ( $\leq 1 : 200\,000$ )

#### EINSCHRÄNKUNGEN:

- Die Gleichung zur Ermittlung der Sorptionskapazität unter Verknüpfungsregel 19 besitzt nur dann Gültigkeit, wenn die bodenchemischen Zustandsvariablen sich nahe dem Gleichgewichtszustand befinden. Unter dem Einfluß der sauren Deposition akut versauernde Böden können so weit von diesem Gleichgewichtszustand entfernt sein, daß keine gesicherte Beziehung zwischen pH, AK<sub>v</sub>/AK<sub>s</sub> oder Basensättigung besteht. Daher kann die verwendete Formel für den Al-Pufferbereich eine Überschätzung der Sorptionskapazität und damit insgesamt eine Unterschätzung der Versauerungsgefährdung bedeuten.

- Bei der Ableitung der Basensättigung können sich Fehler in den Ergebnissen der Verknüpfungsregeln 19 und 21 bei ungünstiger Faktorenkonstellation potenzieren.

- Verknüpfungsregel 1 ist zur Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe für einjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen konzipiert. Eine Abschätzung der Versauerungsgefährdung von Waldböden erforderte eine Anpassung des Bemessungsrahmens an die Standortansprüche mitteleuropäischer Laub- und Nadelbäume.

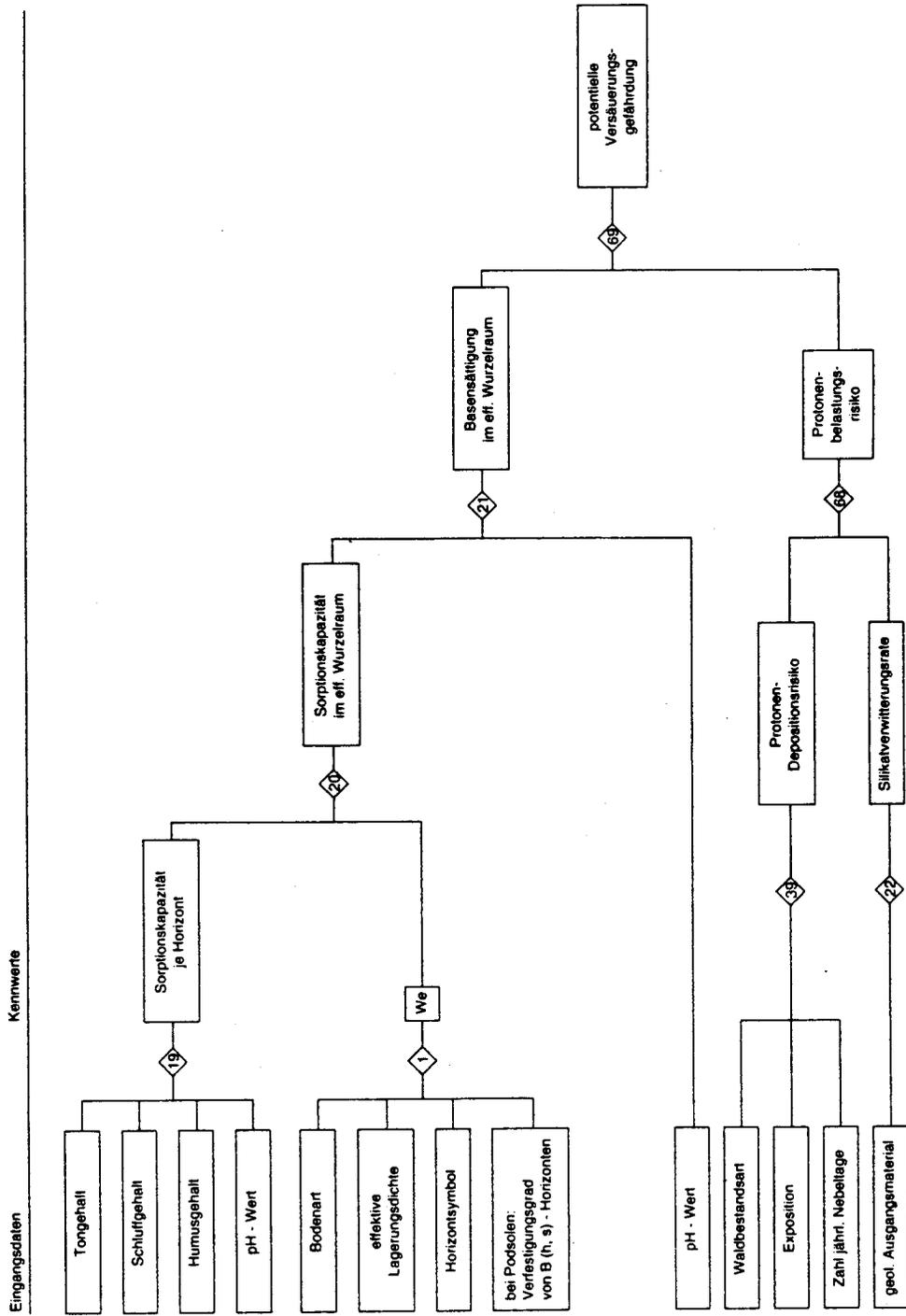


Abbildung 26: Flußplandiagramm zur Ableitung des Kennwertes „potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden“

Verknüpfungsregel 19

INHALT: Ermittlung der horizontbezogenen Sorptionskapazität

- EINGANGSDATEN:
- Humusgehalt
  - Tongehalt
  - Schluffgehalt
  - pH-Wert

KENNWERT: SORP [mmol/z/100g]

KENNWERTERMITTLUNG:

Berechnung der Zielgröße gemäß folgender Gleichung:

$$\text{SORP} = \text{Korrekturfaktor} \cdot (2 \cdot (\text{Humus}) + 0.5 \cdot (\text{Ton}) + 0.15 \cdot (\text{Schluff}))$$

(Humus) = Humusgehalt in Gew.-%

(Ton) = Tongehalt in Gew.-%

(Schluff) = Schluffgehalt in Gew.-%

Der Korrekturfaktor wird in Abhängigkeit vom pH-Wert (KCl) ermittelt:

Tabelle 19.1

pH-Wert	Korrekturfaktor
<3	0,25
3-3,9	0,3
4-4,9	0,5
5-5,9	0,7
6-6,9	0,9
≥7	1,0

ANMERKUNGEN:

STAND: März 1993

QUELLEN:

AK STANDORTSKARTIERUNG (1980): Forstliche Standortsaufnahme. - Landwirtschaftsverlag: Münster-Hiltrup.

ULRICH, B. (1966): Kationenaustausch - Gleichgewichte in Böden. - Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 113: 141-159.

Verknüpfungsregel 1

INHALT: Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe

- EINGANGSDATEN:
- Bodenart je Horizont
  - effektive Lagerungsdichte je Horizont (in Klassen)
  - Horizontsymbol je Horizont
  - bei Podsolen: Verfestigungsgrad von B(h,s)-Horizonten

KENNWERT: We [dm]

KENNWERTERMITTLUNG:

Die Grundwerte der effektiven Durchwurzelungstiefe (We) sind gemäß AG BODENKUNDE (1982) nach der vorherrschenden Boden- bzw. Torfart festgelegt und können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden. Bodentypologische Besonderheiten, die das Wurzelwachstum positiv oder negativ beeinflussen, werden durch folgende Modifikationen berücksichtigt:

1. Bei hoher Lagerungsdichte (Ld4) vermindert sich die We um 1 dm, bei sehr hoher (Ld5) um 2 dm.

2. Bei Grundwasserböden endet die We spätestens an der Obergrenze des Gr-Horizontes.

3. Bei Auenböden, Kolluvien, Pflagenschen:

Reicht der M- oder E-Horizont tiefer als es dem zu ermittelnden We-Wert für die vorherrschende Bodenart entspricht, dann gilt:

We = Untergrenze M- oder E-Horizont + 1 dm.

4. Bei Podsolen:

Beginnt der Bs-, Bsh-, Bh-, Bhs-Horizont mehr als 2 dm über der ermittelten We, dann gilt bei Verfestigungsgrad 1 - 3 (Orterde): We = Obergrenze Bhs + 2 dm, bei Verfestigungsgrad 4 - 5 (Ortstein): We = Obergrenze Bhs + 1 dm.

5. Bei geschichteten Profilen:

a) Bei Schichten mit geringer We (a) über Schichten höherer We (b) [Sg = Schichtgrenze] gilt:

$$\text{Sg} \leq \text{We (a)} \rightarrow \text{We} = \text{We (b)}$$

$$\text{Sg} \geq \text{We (a)} \rightarrow \text{We} = \text{We (a)}$$

b) Bei Schichten mit geringer We (a) unter Schichten höherer We (b) gilt:

$$\text{Sg} \leq \text{We (a)} \rightarrow \text{We} = \text{We (a)}$$

$$\text{We (a)} < \text{Sg} < \text{We (b)} \rightarrow \text{We} = \text{Sg} + 1$$

$$\text{Sg} \geq \text{We (b)} \rightarrow \text{We} = \text{We (b)}$$

**Tabelle 1.1**

Bodenart		Me Eff. Durchwurzelungstiefe bei einjährigen landw. Nutzpflanzen in Trockenjahren	dm
Hauptgruppe	Unterguppe		
	Sande		
	SS	S12	7
		S13	8
		S14	9
		S1U	9
		SL2	8
		SU2	7
		SU3	8
		SU4	9
		ffS	7
		fs	7
		fSms	6
		msfs	6
		msS	6
		msSg	5
		gSms	5
		gS	5
Schluffe	UU	U	10
		Us	10
		U1s	11
		U12	11
		U13	11
		U14	11
		U2	11
		U23	11
		U24	11
Lehme	LL	Lu	10
		LuU	10
		L2	10
		L22	10
		L23	10
		L24	10
		L25	10
		L26	10
		L27	10
		L28	10
		L29	10
		L3	10
		L34	10
Tone	TT	T	10
		T1	10
		T2	10
		T3	10
		T4	10
		T22	10
		T23	10
		T24	10

**Tabelle 1.2**

Bodenart		Me Eff. Durchwurzelungstiefe bei einjährigen landw. Nutzpflanzen in Trockenjahren	dm
Hauptgruppe	Unterguppe		
	Sande	SS	10
		extrem humose (15 - 30% organische Substanz)	
Schluffe	UU		
	LL		10
Tone	TT		

**Tabelle 1.3**

Torfart, Muddart		dm	
Haupttorfart	Unterguppe		
	Hh		
	Hh.21	2	
	Hh.22	2	
		Hh.23	2
		Hh.24	2
		Hh.25	2
Niedermoor-torf	Rh		
	Rh.21	4	
	Rh.22	4	
	Rh.24	4	
	Rh.25	4	

**Tabelle 1.4**

Bodenart bei Festgestein festgesteinersatz		Me Eff. Durchwurzelungstiefe bei einjährigen landw. Nutzpflanzen in Trockenjahren	dm
Bezeichnung	Unterguppe		
	Festgestein		
	Sandstein	Sst	1
	Kalksandstein	Kst	1
	Dolomitsandstein	Dst	1
	Kalkmergelstein	Kkt	1
	Mergelstein	Mst	1
	Sandmergelstein	SMst	1
	Tonmergelstein	TMst	1
	Tonstein	Tst	1
	Schluffstein	Yst	1
	Gipsstein	Yst	1

c) Übersteigt die obere Schichtmächtigkeit 11 dm, wird die Schichtung nicht mehr berücksichtigt.

**ANMERKUNGEN:**

Effektive Durchwurzelungstiefen > 11 dm sind im allgemeinen nicht zu erwarten.  
Die Werte der Bodenart "Grobboden" und "Festgesteinersatz" beruhen z.T. auf Schätzungen bzw. Ableitungen, die nur durch wenige Messungen belegt sind.

Der Kennwert We (dm) bezieht sich auf die effektive Durchwurzelungstiefe bei einjährigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Trockenjahren; für Forst- und Grünlandnutzung müssen die Kennwerte modifiziert werden.

STAND: Juni 1989

**QUELLE:**

ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung - 3. Auflage: Hannover.

Verknüpfungsregel 20

**INHALT:** Ermittlung der Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum

**EINGANGSDATEN:** - Sorptionskapazität SORP je Horizont nach VKR 19  
- effektive Durchwurzelungstiefe We nach VKR 1

**KENNWERT:** SORPWUSTU [mmol/z/100g bzw. Stufe 2 - 4]

**KENNWERTMITTLUNG:**

Für alle Horizonte des effektiven Wurzelraums wird die Variable SORP (horizontbezogene Sorptionskapazität) gemäß Verknüpfungsregel 19 berechnet.

Aus dem maximalen und minimalen Wert für SORP wird der Mittelwert gebildet.

Dieser Mittelwert wird mit der effektiven Durchwurzelungstiefe (in dm) multipliziert.

$$\text{SORPWUSTU} = (\text{SORP}_{\text{max}} + \text{SORP}_{\text{min}}) / 2 * \text{We}$$

**KENNWERTKLASSIFIZIERUNG:**

**Tabelle 20.1**

Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum [mmol/z/100g]	Klasse
0 - <82	2
82 - <164	3
≥164	4

**ANMERKUNGEN:**

Der Kennwert SORPWUSTU wird nur in klassifizierter Form als Eingangswert für VKR 21 benötigt.

**STAND:** März 1993

**QUELLEN:**

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80; Göttingen.

HABER, W., LENZ, R., SCHALL, P., BACHHUBER, R., GROSSMANN, W. D., TOBIAS, K. & KERNER, H. F. (1991): Prüfung von Hypothesen zum Waldsterben mit Einsatz dynamischer Feedbackmodelle und flächenbezogener Bilanzierungsrechnung für vier Schwerpunktforschungsräume der Bundesrepublik Deutschland. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 20; Göttingen.

Verknüpfungsregel 21

**INHALT:** Ermittlung der Basensättigung im effektiven Wurzelraum

**EINGANGSDATEN:** - Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum nach VKR 20  
- pH-Wert je Horizont

**KENNWERT:** BS [Stufe 2 - 4]  
(nur ordinal skaliert)

**KENNWERTMITTLUNG UND -KLASSIFIZIERUNG:**

**Tabelle 21.1**

Sorptionskapazität im effektiven Wurzelraum	pH-Wert (KCL)				
	<3,5	<4,5	<5,5	<6,5	>7,5
2	1	2	3	3	3
3	2	3	4	4	4
4	3	4	5	5	5

Als pH-Wert wird ein Mittelwert aus allen Horizonten des effektiven Wurzelraums eingesetzt, die nach Mächtigkeiten gewichtet werden.

**ANMERKUNGEN:**

**STAND:** März 1993

**QUELLE:**

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80; Göttingen.

Verknüpfungsregel 2.2

ANMERKUNGEN:

Der Klasseneinteilung liegt folgende angenommene jährliche Silikatverwitterungsrate zugrunde:

INHALT: Ermittlung der Silikatverwitterungsrate

Klasse 1 : < 0,5 kmol ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

EINGANGSDATEN: - geologisches Ausgangsmaterial

Klasse 2 : 0,5 - 1,5 kmol ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

KENNWERT: SIVERW (Klasse 1 - 5)  
(nur ordinal skaliert)

Klasse 3 : 1,5 - 2,0 kmol ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

KENNWERTMITTLUNG UND -KLASSIFIZIERUNG:

Klasse 4 : 2,0 - 5,0 kmol ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

Tabelle 22.1

Der Kennwert SIVERW wird nur in klassifizierter Form als Eingangsdatum für VKR 68 benötigt.

STAND: März 1993

QUELLE:

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80: Göttingen.

Geologisches Ausgangsmaterial	Kurzzeichen	Silikatverwitterungsrate
Sand, Schluff, Lehm, Ton		1
Kies, Steine		*1
Sandstein	Sst	1
Schluffstein	Ust	1
Tonstein	Tst	1
Mergelstein	Mat	3
Tonmergelstein	TMat	2
Kalkmergelstein	KMat	4
Sandmergelstein	SMat	2
Kalkstein	Kst	4
Dolomitstein	Dst	4
Gipsstein	Yst	4
Granit	Gt	2
Basalt	Ba	3
Diabas	Dl	3
Diorit	Dr	2
Gabbro	Gb	3
Trachyt	Tr	2
Quarzit	Qu	1
Orthogneis	Gn	2
Grünschiefer	Cg	1
Quarzschiefer	Cq	1
Glimmerschiefer	Gl	1
Tonschiefer	Ts	1

## Verknüpfungsregel 68

**INHALT:** Ermittlung des Protonen-Belastungsrisikos

**EINGANGSDATEN:**  
- Protonen-Depositionsrisiko HDEPOS nach VKR 39  
- Silikatverwitterungsrate SIVERW nach VKR 22

**KENNWERT:** BTS [Klasse 0 - 5]  
(nur ordinal skaliert)

### KENNWERTERMITTLUNG:

Verknüpfung beider Eingangsgrößen gemäß folgender Matrix:

**Tabelle 68.1**

HDEPOS	SIVERW			
	1	2	3	4
1	1	0	0	0
2	2	1	0	0
3	3	2	1	0
4	4	3	2	1
5	5	4	3	2

### ANMERKUNGEN:

**STAND:** März 1993

### QUELLE:

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80; Göttingen.

**INHALT:** Ermittlung der potentiellen Versauerungsgefährdung, gemessen an "Fichtenökosystem-Reaktionstypen"

**EINGANGSDATEN:** - Basensättigung im effektiven Wurzelraum BS nach VKR 21  
- Protonen-Belastungsrisikos BTS nach VKR 68

**KENNWERT:** potentielle Versauerungsgefährdung PVG  
[Stufe 0-5 + Kennbuchstabe des Reaktionstyps]  
(nur ordinal skaliert)

**KENNWERTMITTLUNG:**

Verknüpfung beider Eingangsgrößen gemäß folgender Matrix:

Tabelle 69.1

BS	BTS					
	0	1	2	3	4	5
1	0r	1r	2r	3r	4r	5r
2	0r	0r	1r	2r	3r	4r
3	0m	0m	0m	1m	2m	3m
4	0p	0p	0p	0p	1p	2p
5	0p	0p	0p	0p	0p	1p

**ANMERKUNGEN:**

Der Zahlwert der Zielgröße bezeichnet das Risiko eines weiteren Basenverlusts bzw. der Versauerungsgefährdung des Standorts.

Die Buchstaben r, m und p liefern die Zusatzinformation, welcher Reaktionstyp von Waldökosystemen vorliegt:

r = "Raten"-Typ  
p = "Speicher"-Typ  
m = "Misch"-Typ

**STAND:** März 1993

**QUELLE:**

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80: Göttingen.

**INHALT:** Ermittlung des Protonen-Depositionsrisikos

**EINGANGSDATEN:** - Waldbestandsart  
- Exposition  
- durchschnittliche Zahl der Nebeltage pro Jahr

**KENNWERT:** HDEPOS (1 - 5)  
(nur ordinal skaliert)

**KENNWERTMITTLUNG UND -KLASSIFIZIERUNG:**

Eine erste Einstufung wird nach der Waldbestandsart vorgenommen; nach Exposition und Nebelhäufigkeit werden weitere Zuschläge erteilt.

(1) Einstufung nach der Waldbestandsart

Nadelwald : 2  
Mischwald : 2  
Laubwald : 1

(2) Einstufung nach der Exposition bzw. Windrichtungshäufigkeit

Unterschieden werden 8 Himmelsrichtungen (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Expositionen, die im langjährigen Mittel an mehr als 20 % der Tage eines Jahres Luv-Lagen repräsentieren, erfahren einen Zuschlag von +1.

(3) Einstufung nach der Nebelhäufigkeit

Bei mehr als 150 Nebeltagen/Jahr: Zuschlag von +1,  
Bei mehr als 200 Nebeltagen/Jahr: Zuschlag von +2.

**ANMERKUNGEN:**

**STAND:** März 1993

**QUELLE:**

LENZ, R. (1991): Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen Nordost-Bayerns - eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 80: Göttingen.

# Navigieren



Mit Hilfe der inneren Pfeiltasten navigieren sie ein Seite vor oder zurück, mit den äußeren springen sie zur ersten oder zur letzten Seite



Das Programm merkt sich Ihren Weg durch das Dokument, welchen Sie mit diesen Tasten zurückverfolgen und wieder vorgehen können.



Die Hand dient zum Navigieren auf der Seite. Sie können das Blatt damit verschieben, wenn Sie die Maustaste gedrückt halten oder mit einem Klick Verknüpfungen anwählen, wenn die Hand zum Zeigefinger wird.



Mit der abc-Taste können Sie Text auswählen um ihn zu kopieren. Mit der Strg-Taste läßt sich eine Region auswählen.

# Ansicht



Die Lupe erlaubt es im Dokument frei zu zoomen. Ein Klick verdoppelt die Vergrößerung, wenn Sie die Maustaste gedrückt halten, können Sie eine Region zur Vergrößerung wählen. In Kombination mit der Strg-Taste können Sie auch wieder herauszoomen.



Die drei Seiten-Tasten ermöglichen Ihnen zwischen verschiedenen Seitenansichten zu wechseln. Dies bietet sich je nach Seiteninhalt (Text, Karte, Bild) an. Von links nach rechts:  
Seitenansicht mit Zoom 100%; Seitenansicht der gesamten Seite;  
Seitenansicht mit der maximaler Seitenbreite



Hiermit können Sie zusätzliche Hilfselemente zur Seitennavigation einblenden. Von links nach rechts: Zeigt nur die Seite allein an; Anzeige von Lesezeichen und Seite; Anzeige von Seite und einer kleinen Seitenübersicht.

# Suche

Achten sie auch auf die Verknüpfungen im Inhaltsverzeichnis und am Ende des Dokuments, sie ermöglichen schnellen Zugriff auf vielseitige Suchfunktionen.



Ermöglicht eine einfache Textsuche innerhalb des Dokuments



Ermöglicht eine Volltextsuche innerhalb des Dokuments

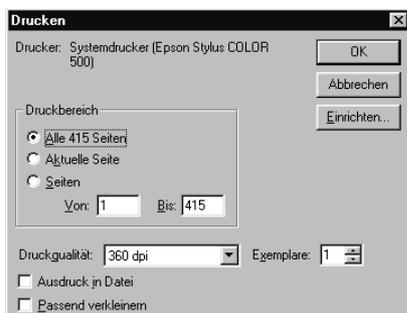


Diese Taste blendet die Suchergebnisse ein



Die Pfeiltasten lassen Sie zwischen den gefunden Textstellen vor- und zurückspringen

# Drucken



Sie können Texte und Bilder auch ausdrucken, indem Sie aus dem Menü *Datei* den Punkt **Drucken...**wählen. Achten Sie darauf, daß Sie den richtigen Druckbereich ausgewählt haben, denn standardmäßig ist das gesamte Dokument zum Druck vorgesehen.