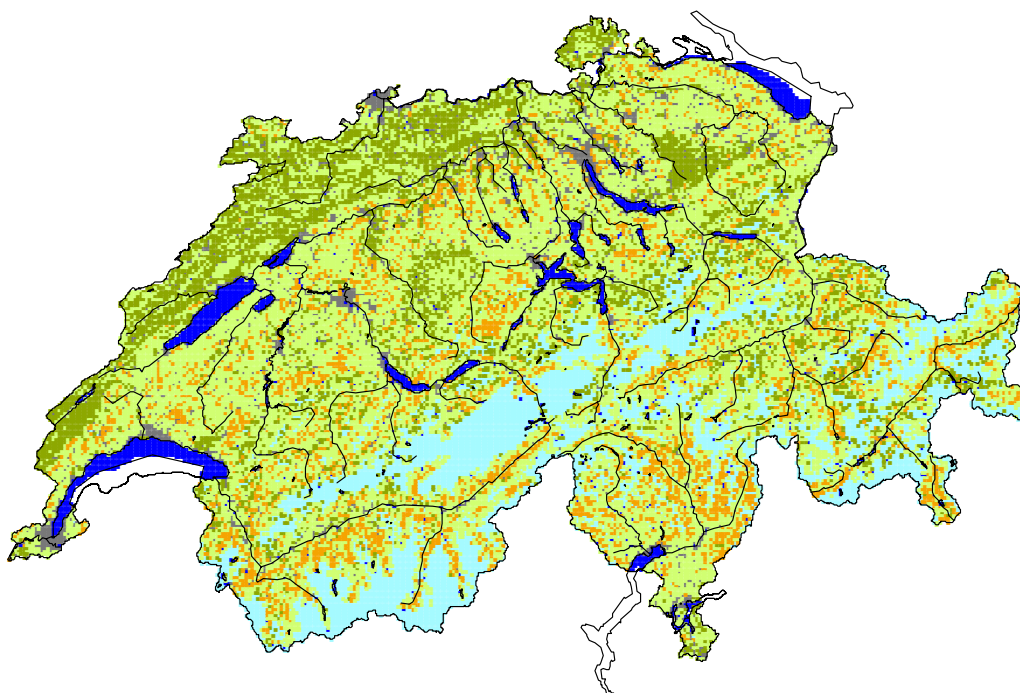


Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz

Th. Keller & A. Desaulles



November 2001

Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz

Beitrag zum UN/ECE Projekt Critical Loads für Schwermetalle

Th. Keller & A. Desaulles

November 2001

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau
Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture
8046 Zürich-Reckenholz

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Autoren	Thomas Keller und André Desaulles Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) CH-8046 Zürich-Reckenholz
Projektleitung	André Desaulles (FAL)
Begleitung	Beat Achermann und Johannes Dettwiler Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
NABO-Homepage	www.nabo.admin.ch
Bezugsquelle	Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) NABO CH-8046 Zürich-Reckenholz Fax ++41 (0)1 377 72 01 E-Mail: andre.desaules@fal.admin.ch Internet: www.admin.ch/sar/fal/

Dank

Wir danken der Firma Meteotest in Bern und besonders Herrn Beat Rihm für Überlassung der adaptierten Arealstatistik sowie die Einführung und dem BUWAL für die Übernahme der Druckkosten.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	5
RÉSUMÉ.....	7
1 EINLEITUNG	9
1.1 AUSGANGSLAGE UND ZIELE	9
1.2 RAHMENKONZEPT	10
2 KARTIERUNG DER RELATIVEN BINDUNGSSTÄRKEN.....	12
2.1 GRUNDLAGEN UND METHODE.....	12
2.1.1 Erweiterung der Bodeneignungskarte durch vier Nutzungsklassen	12
2.1.2 Erweiterung der Bodeneignungskarte durch pH-Wert, Humus- und Tongehalt	13
2.1.3 Klassierung und Kartierung der relativen Bindungsstärken	15
2.2 KARTENLEGENDE	17
2.3 ÜBERSICHTSKARTEN DER BINDUNGSSTÄRKEN.....	27
Pb, Hg (Figur 4)	28
Cd (Figur 5).....	29
Ni, Co (Figur 6).....	30
Zn (Figur 7)	31
Cu (Figur 8).....	32
Cr (Figur 9)	33
F (Figur 10).....	34
2.4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	35
3 KARTIERUNG DER GEOGENEN GRUNDGEHALTE	36
3.1 GRUNDLAGEN UND METHODE.....	36
3.2 KARTENLEGENDE	38
3.3 ÜBERSICHTSKARTEN DER GEOGENEN GRUNDGEHALTE	40
Pb (Figur 11)	41
Cd (Figur 12).....	42
Zn (Figur 13)	43
Hg (Figur 14).....	44
Cu (Figur 15).....	45
Ni (Figur 16).....	46
Cr (Figur 17)	47
Mo (Figur 18).....	48
F (Figur 19).....	49
Co (Figur 20).....	50
Tl (Figur 21).....	51
3.4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	52
4 KARTIERUNG DER BASEMPPFINDLICHKEIT GEGENÜBER ANORGANISCHEN SCHADSTOFFEINTRÄGEN.....	54
4.1 GRUNDLAGEN UND METHODE.....	54
4.2 ÜBERSICHTSKARTEN DER BASEMPPFINDLICHKEIT GEGENÜBER SCHADSTOFFEINTRÄGEN.....	55
Pb (Figur 22)	56
Cd (Figur 23).....	57
Zn (Figur 24)	58
Hg (Figur 25).....	59
Cu (Figur 26).....	60
Ni (Figur 26).....	61
Cr (Figur 28)	62
F (Figur 29).....	63
Co (Figur 30).....	64
4.3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	65

5	FOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	67
5.1	FOLGERUNGEN	67
5.2	AUSBLICK.....	68
6	LITERATUR.....	69
7	ANHANG.....	71
	<i>Tabelle A-1: Zusammenstellung der Nutzung für die Auswertung der Bindungsstärke</i>	<i>71</i>
	<i>Tabelle A-2: Zuteilung der Nutzungsklassen aus der Arealstatistik bzw. der modifizierten Arealstatistik auf die vier Hauptnutzungstypen.....</i>	<i>72</i>
	<i>Tabelle A-3: Flächenanteile der verschiedenen digitalen Karten der Schweiz.....</i>	<i>73</i>
	<i>Tabelle A-4: Bindungsstärkenanteile der verschiedenen Elemente gemessen an der jeweiligen Nutzung.....</i>	<i>74</i>
	<i>Tabelle A-5: Wahrscheinlichkeit von Richtwertüberschreitungen der einzelnen Lithofazies.....</i>	<i>75</i>
	<i>Tabelle A-6: Zuweisung zu den geotechnischen Einheitengeotechnischen Kartiereinheiten (GTK).....</i>	<i>76</i>
	<i>Tabelle A-7: ausführliche Legende der geogenen Grundgehalte der Schweiz.....</i>	<i>79</i>

KURZFASSUNG

Die Identifikation und Flächenschätzung von Regionen mit empfindlichen Böden gegenüber Schadstoffeinträgen ist ein wichtiger Beitrag für den chemischen Bodenschutz. Im Rahmen der "UN/ECE-Konvention über weiträumig grenzüberschreitende Luftverunreinigung" ist auch die Schweiz gefordert, landesweit die tolerierbaren Schadstoffeinträge (Critical Loads) zu kartieren. Diese Studie basiert ausschliesslich auf bereits verfügbarem Datenmaterial und liefert erstmals landesweit flächendeckende Kartengrundlagen für den Bodenschutz. Weil derzeit noch keine Kartierung der tatsächlichen Schadstoffgehalte der Schweiz vorliegt, wird in erster Näherung auf die Kartierung der gesteinsbedingten Grundgehalte zurückgegriffen. Daraus lassen sich Karten der naturnahen Basisempfindlichkeit ableiten, jedoch nicht der effektiven Bodenempfindlichkeit unter Berücksichtigung der tatsächlichen zivilisationsbedingten Schadstoffbelastung.

Das methodische Vorgehen beruht auf der digitalen Kartierung der relativen Bindungsstärken, der geogenen Grundgehalte und der Ableitung der Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen durch kartografische Überlagerung mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS). Die folgende Tabelle gibt elementspezifisch eine zusammenfassende Übersicht der kritischen Flächenanteile.

Elementspezifische Zusammenfassung kritischer Flächenanteile in % von Böden in der Schweiz bezogen auf die relative Bindungsstärke, die geogene Grundgehalte und die Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen

Element	Bindungsstärke (Tabelle 6) sehr gering - mittel	Grundgehalte (Tabelle 9) Richtwertüberschreitungen ¹⁾ häufig – gelegentlich	Basisempfindlichkeit (Tabelle 11) hoch - mittel
Blei (Pb)	0	0	0
Cadmium (Cd)	54	0	4
Zink (Zn)	44	0	0
Quecksilber (Hg)	0	0	0
Kupfer (Cu)	10	3	0
Nickel (Ni)	38	40	18
Chrom (Cr)	7	72	16
Molybdän (Mo)	nd	0	nd
Fluor (F)	48	6	6
Kobalt (Co)	38	20	13
Thallium (Tl)	nd	3	nd
Kartierte Fläche:	29'212 km² = 100 %	38'559 km² = 100 %	29'155 km² = 100 %

¹⁾ Gemäss VBBo (1998) und VSBo (1986) bei Co und Tl

nd = keine Daten

Die Erweiterung der Legende zur Bodeneignungskarte der Schweiz (1:200'000) mit vier Nutzungsklassen (Ackerbau, Dauergrünland, Laubwald, Nadelwald) und den Bodenkenngrossen pH-Wert, Humus- und Tongehalt, welche für das Verhalten der Schadstoffe von Bedeutung sind, liefert die räumliche Extrapolationsgrundlage für die Kartierung der relativen Bindungsstärken von neun anorganischen Schadstoffen im Oberboden. Die Bindungsstärke nimmt in der Reihenfolge Pb = Hg > Cr > Cu > Ni = Co > F > Zn > Cd ab und die Mobilität entsprechend zu. Für die Schwermetalle nimmt die Bindungsstärke in der Nutzungsreihenfolge Ackerbau > Dauergrünland > Laubwald > Nadelwald im Einklang mit den pH-Werten ab. Regional ist die Bindungsstärke für die Schwermetalle im Jura am höchsten, nimmt im Mittelland ab und ist in den kristallinen Zentral- und Südalpen am geringsten, um im Mendrisiotto wieder anzusteigen. Bei Fluor nimmt die Bindungsstärke im alkalischen Bereich ab und ist deshalb in karbonathaltigen, tonreichen Böden des Jura, des Mittellands und der nördlichen Voralpen am geringsten. Die Übersichtskarten der relativen Bindungsstärken (1:1.5 Mio.) geben regionale Hinweise für die Gefährdungsabschätzung von Schadstoffverlagerungen.

Die Übersichtskartierung (1:1.5 Mio.) der geogenen Grundgehalte in vier richtwertbezogenen Konzentrationsklassen - der oben aufgeführten Elemente und mit Mo und Tl ergänzt- erlaubt erstmals eine grobe Darstellung der Verbreitung potentieller Richtwertüberschreitungen natürlichen Ursprungs. Die verwendeten Grundlagen sind die digitale Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz (1:200'000) und Daten von Schadstoffanalysen in rund 350 Gesteinsproben. Relativ zu den Richtwerten nehmen die Grundgehalte in der Reihenfolge $Hg < Mo < Zn < Pb < Cd < Tl < Tl < Cu < F < Co < Ni < Cr$ zu. Regional erhöhte Gehalte mit gelegentlichen bis häufigen Richtwertüberschreitungen finden sich im Jura tendenziell bei Cd, Ni, Cr, im Mittelland deutlich bei Ni, Cr, in den Nordalpen bei Ni, Cr, F, (Cu, Co und Tl in der Ostschweiz) sowie in den Zentral- und Südalpen bei Ni, Cr und untergeordnet bei Cu, F, Co und Tl.

Die Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Schadstoffeinträgen in der Schweiz nimmt in der Reihenfolge $Hg < Pb < Cu < Zn < Cd < F < Co < Cr < Ni$ zu. Weil hohe Bindungsstärke und hohe geogene Gehalte selten aufeinandertreffen, weisen nur relativ kleine Flächenanteile der Elemente Ni, Cr, Co, F und Cd eine kritische Basisempfindlichkeit auf. Kritische Flächen für Schadstoffeinträge finden sich in folgenden Regionen [*kursiv = untergeordnete Bedeutung*]: Jura für Cd, F; Mittelland für Ni, Cr, Co, F, Zn, Cd; Nordalpen für Ni, Cr, F, Co, Cd; Zentral- und Südalpen für Ni, Cr, Co, F, Cd. Eine auffällige, kritische Zone erstreckt sich im höheren Mittelland zwischen Aarau und Emmental und wird der alters- (Böden vor der letzten Eiszeit) und nutzungsbedingten (Nadelwald) erhöhten Bodenversauerung zugeschrieben. Die Kartierung der Basisempfindlichkeit der Böden (1:1.5 Mio.) weist den grössten Generalisierungsgrad auf und ist ein erster grober Ansatz zur Identifikation kritischer Regionen gegenüber Schadstoffeinträgen. Das genaue Ausmass der effektiven Bodenempfindlichkeit unter Berücksichtigung der zivilisationsbedingten Bodenverunreinigung, kann nur aufgrund der flächendeckenden Kartierung tatsächlicher Schadstoffgehalte im Boden sowie unter Berücksichtigung empfindlicher Rezeptoren (z.B. Bodenfauna, Vegetation) erfasst werden.

Die im vorliegenden Bericht präsentierten Kartengrundlagen (1:1.5 Mio) basieren auf bereits verfügbaren Daten ermöglichen in erster Näherung die Identifikation und Abschätzung der Grössenordnung kritischer Regionen gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen aus der Luft aber auch durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe wie Pflanzenschutzmittel, Abfall-, Hof- und Mineraldünger. Bei entsprechender Ergänzung der Daten erlaubt die dargelegte Methodik Kartierungen bis zu einem maximalen Massstab von 1:200'000 und kann somit auch dem chemischen Bodenschutz für regionale Beurteilung und Massnahmenplanung dienen.

RÉSUMÉ

L'identification et la délimitation de régions ayant des sols sensibles aux apports de métaux lourds est un instrument important pour la protection chimique des sols. Dans le cadre de la convention « UN/ECE sur les contaminations atmosphériques à large échelle », la Suisse est également tenue d'établir la cartographie nationale des apports tolérables en polluants (Critical Loads). Cette étude repose principalement sur des données existantes et permet d'établir les bases cartographiques pour la protection des sols. Une cartographie suisse des teneurs effectives en polluants n'existant pas, nous avons donc utilisé en première approche les teneurs de fond des roches. A partir de là, il a été possible d'établir des cartes de vulnérabilité de base en conditions naturelles, mais pas de la vulnérabilité effective des sols en conditions d'apports de polluants dus à la civilisation.

La méthode de travail procède de la cartographie numérique des capacités de fixation des sols, des teneurs géogènes de fond, de la vulnérabilité de base aux apports de polluants inorganiques obtenue par superpositions cartographiques à l'aide d'un système d'information géographique (GIS). Le tableau suivant donne une vue d'ensemble des surfaces critiques par élément.

Résumé des surfaces critiques par élément en % des sols suisses, par rapport à la capacité de fixation, aux teneurs géogènes et à la vulnérabilité de base aux apports de polluants inorganiques

Eléments	Capacité de fixation (Tableau 6) très faible - moyenne	Teneurs de fond (Tableau 9) Dépassement de la valeur indicative ¹⁾ régulière - occasionnelle	Vulnérabilité de base (Tableau 11) élevée - moyenne
Plomb (Pb)	0	0	0
Cadmium (Cd)	54	0	4
Zinc (Zn)	44	0	0
Mercure (Hg)	0	0	0
Cuivre (Cu)	10	3	0
Nickel (Ni)	38	40	18
Chrome (Cr)	7	72	16
Molybdène (Mo)	nd	0	nd
Fluor (F)	48	6	6
Cobalt (Co)	38	20	13
Thallium (Tl)	nd	3	nd
Surface cartographiée	29'212 km² = 100 %	38'559 km² = 100 %	29'155 km² = 100 %

¹⁾ Selon VBBo (1998) et VSBo (1986) pour le Co et Tl

nd = pas de valeurs

En complétant la carte d'aptitude des sols suisses (1:200'000) avec quatre classes d'utilisation (cultures, prairie permanente, forêt de feuillus, forêt de conifères) et les paramètres du sol pH, humus et teneur en argile, importants pour le comportement des polluants dans le sol, nous avons la base d'extrapolation pour la cartographie des capacités de fixation relatives de neuf polluants inorganiques de la couche supérieure du sol. La capacité de fixation décroît dans l'ordre suivant: Pb = Hg > Cr > Cu > Ni = Co > F > Zn > Cd, inversement à la mobilité. Par rapport à l'utilisation du sol, la capacité de fixation décroît dans l'ordre suivant: cultures > prairie permanente > forêt de feuillus > forêt de conifères, en relation avec le pH. Au niveau régional, la capacité de fixation des métaux lourds est la plus élevée dans le Jura, elle diminue sur le Plateau, est la plus basse dans les roches cristallines des Alpes centrales et du sud, puis remonte dans le Mendrisiotto. Pour le fluor, la capacité de fixation diminue en conditions alcalines, c'est donc dans les sols argileux et carbonatés

du Jura, du Plateau et des Préalpes du nord qu'elle est la plus basse. Les cartes de capacité de fixation relatives (1:1.5 mi.) renseignent sur le danger potentiel de migration des métaux lourds.

La cartographie globale (1:1.5 mi.) des teneurs géogènes de fond, classées en quatre classes de concentration selon les valeurs indicatives pour les éléments cités ci-dessus et complété par le Mo et Ti, permet pour la première fois d'estimer l'ampleur des dépassements des valeurs indicatives potentielles d'origine naturelle. Les données utilisées sont la carte géotechnique simplifiée de la Suisse (1:200'000) et des données provenant d'analyses de 350 échantillons de roches. Par rapport aux valeurs indicatives les teneurs de fond augmentent dans l'ordre suivant: $Pb = Hg > Cr > Cu > Ni = Co > F > Zn > Cd$. Des teneurs régionales élevées avec des dépassements occasionnels à fréquents des valeurs indicatives se rencontrent dans le Jura plutôt pour le Cd, Ni, Cr, sur le Plateau indiscutablement pour le Ni et Cr, au nord des Alpes pour le Ni, Cr, F, (Cu, Co et Tl en Suisse orientale) et dans les Alpes centrales et du sud pour le Ni, Cr et dans une moindre mesure pour le Cu, F et Tl.

La vulnérabilité de base de la couche supérieure du sol par rapport aux apports de polluants augmente dans l'ordre suivant : $Hg < Pb < Cu < Zn < Cd < F < Co < Cr < Ni$. Les capacités de fixation élevées et les teneurs de fond élevées se cumulant rarement, seules de petites surfaces des éléments Ni, Cr, Co, F et Cd présentent une vulnérabilité de base critique. Les surfaces critiques relatives aux apports de polluants se trouvent dans les régions suivantes [*italique = moindre importance*]: Jura pour le Cd, F; Plateau pour le Ni, Cr, Co, F, Zn, Cd; nord des Alpes pour Ni, Cr, F, Co, Cd; Alpes méridionales et centrales pour le Ni, Cr, Co, F, Cd. Une zone critique surprenante s'étend dans le Haut Plateau entre Aarau et l'Emmental, elle s'explique par une acidité élevée provenant de sols âgés (avant la dernière glaciation) et de leur utilisation (forêt de conifères). La cartographie de la vulnérabilité de base des sols (1 :1.5 mi.) est la plus générale, mais elle permet une première identification des régions sensibles aux apports de polluants. L'appréciation précise de la vulnérabilité des sols en prenant compte des pollutions dues à la civilisation, ne peut être effectuée que sur la base d'une cartographie globale des teneurs en polluants effectives, de même qu'en tenant compte des récepteurs sensibles (p. ex. faune du sol, végétation).

Les bases cartographiques présentées dans ce rapport (1:1.5 mi.), fondées sur les données disponibles, permettent en première approche l'identification et l'estimation de régions critiques vis-à-vis des apports en polluants inorganiques de l'air, mais aussi des intrants agricoles comme les produits phytosanitaires et les différents engrais minéraux, de ferme et à base de déchets. Après complément des données, la méthode présentée permet la cartographie jusqu'à une échelle de 1:200'000 et peut aussi servir à la protection chimique des sols au niveau régional pour l'appréciation et la planification de mesures.

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage und Ziele

Der Auftrag der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) umfasst die landesweite räumliche und zeitliche Erfassung einschliesslich der Früherkennung und Prognose von Bodenbelastungen sowie deren Beurteilung im Hinblick auf die Planung und Erfolgskontrolle von Bodenschutzmassnahmen. Ein wichtiger Beitrag dazu ist die Identifikation von Regionen in der Schweiz mit empfindlichen Böden gegenüber Schadstoffeinträgen. Zudem ist im Rahmen der „UN/ECE-Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung“ im Jahr 1998 ein Protokoll zur Reduktion von Schwermetallemissionen von Pb, Cd und Hg unterzeichnet worden, das vorerst noch auf dem Vorsorgeprinzip der bestmöglichen Emissions-Verminderungstechniken beruht (Gregor et al. 1998 und 1999). In Zukunft wird aber ein wirkungsorientierter Ansatz mit der Kartierung tolerierbarer Schadstoffeinträge (Critical Loads) angestrebt.

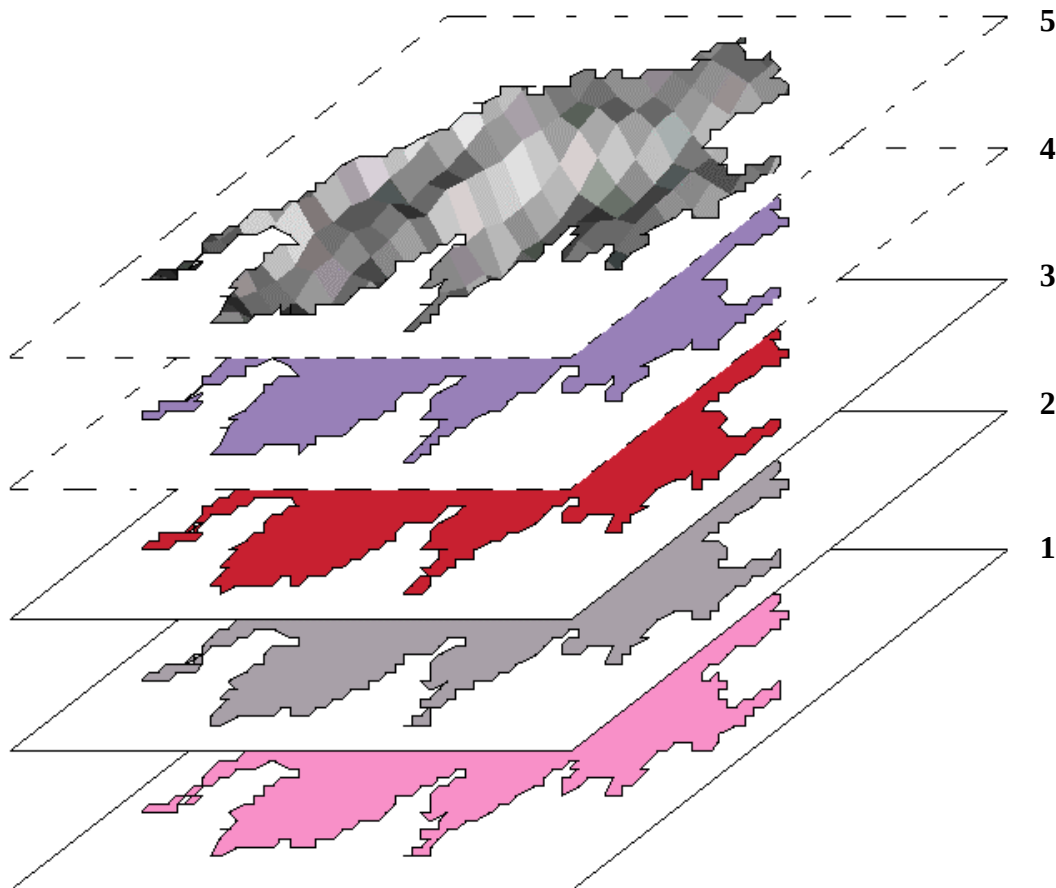
Während die Entwicklung der Methodik zur Ableitung kritischer Grenzkonzentrationen (Critical Limits) Sache der internationalen Forschungsgemeinschaft ist, müssen die räumlichen Extrapolationsgrundlagen zur Kartierung der Critical Loads für jedes Land separat erarbeitet werden. Diese Studie will allein gestützt auf bereits vorliegende Informationen und Daten mit den nachstehenden vier für den chemischen Bodenschutz relevanten Kartiergrundlagen in erster Näherung landesweit eine flächendeckende Übersicht liefern. Die Kartierung der naturnahen Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen als Verknüpfung der relativen Bindungsstärken und geogenen Grundgehalte ist ein Zwischenziel, solange keine Karten der tatsächlichen Schadstoffgehalte im Boden und wissenschaftlich gesicherte wirkungsorientierte Critical Limits vorliegen. Folgende Kartiergrundlagen wurden erarbeitet:

1. Die Erweiterung der Legende zur Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BRP et al. 1980) mit den Bodenkenngrössen pH-Wert, Humus- und Tongehalt. Damit wird erstmals eine landesweit flächendeckende Extrapolationsgrundlage vorgelegt, die vor allem für den chemischen Bodenschutz von Bedeutung ist.
2. Die Kartierung der relativen Bindungsstärken für anorganische Schadstoffe. Sie ist eine der möglichen Ableitungen der erweiterten Bodeneignungskarte und dient der regionalen Gefährdungsabschätzung von Schadstoffverlagerungen.
3. Die Übersichtskartierung der geogenen Grundgehalte von Schadstoffen. Sie zeigt erstmals eine landesweit flächendeckende Darstellung der Häufigkeit gesteinsbedingter, d.h. natürlicher Richtwertüberschreitungen gemäss VBBo (1998).
4. Die Kartierung der Basisempfindlichkeit der Oberböden (0-20 cm) gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen. Sie gibt einen ersten groben räumlichen Überblick der entsprechenden Empfindlichkeit bei vorherrschenden bindungsrelevanten Bodeneigenschaften und angenähert natürlichen Schadstoffgehalten (geogene Grundgehalte) ohne zusätzliche anthropogene Zusatzbelastung.

1.2 Rahmenkonzept

Die Kartierung der Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffen ist in ein Rahmenkonzept eingebettet, welches als Schichtmodell abgebildet werden kann (Figur 1) und letztlich die kartografische Darstellung der tolerierbaren Schadstoffeinträge (Critical Loads) zum Ziel haben kann.

Figur 1: Das Kartenschichtmodell mit Grundlagen



- 1 Kartierung der relativen Bindungsstärke von Böden für Schadstoffe
 - Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BRP et al. 1980)
 - pH- Werte, Humus- und Tongehalte (NABO-Datenbank & WSL 1999)
 - Relative Bindungsstärken-Klassen (DVWK 1988 und Desales & Dahinden 1997)
- 2 Kartierung der geogenen Grundgehalte
 - Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 (BFS/Geostat 1999b)
 - Schadstoffgehalte von Gesteinstypen (Tuchschmid 1995)
- 3 Kartierung der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen
 - Kartierung der geogenen Grundgehalte (Ebene 2)
 - Kartierung der relativen Bindungsstärken (Ebene 1)

Folgeprojekte:

- 4 Kartierung der effektiven Schadstoffgehalte im Boden
 - NABO-Schadstoff-Datenbank
 - Ergänzungserhebungen
- 5 Kartierung der tolerierbaren Schadstoffeinträge (Critical Loads)
 - Kartierung der Schadstoffgehalte im Boden (Ebene 4)
 - Kritische Grenzgehalte (Critical Limits)

Ebene 1: Kartografische Grundlage ist die Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BRP et al. 1980). Es handelt sich um eine Naturraumgliederung, welche auch flächendeckende Angaben über geomorphologische und bodenkundliche Eigenschaften enthält. Durch die Erweiterung der Kartenlegende mit den bindungsrelevanten Bodenkenngrossen pH-Wert, Humus- und Tongehalt sowie der Berücksichtigung der Nutzung (NABO-Datenbank & WSL 1999) und einer Klassifikation der relativen Bindungsstärken (DVKW 1988 und Desaulles & Dahinden 1997) sind die Voraussetzungen für die Kartierung der relativen Bindungsstärken gegeben (Kap. 2).

Ebene 2: Auf der Grundlage der digitalen Vereinfachten Geotechnischen Karte der Schweiz 1:200'000 (BFS/Geostat 1999b) und Schadstoffgehalten von Gesteinstypen (Tuchschmid 1995 und Benitez Vasquez 1999) werden die geogenen Grundgehalte mit Bezug auf die entsprechenden Richtwerte der VBBo (1998) in vier Klassen kartiert (Kap. 3).

Ebene 3: Aus der Kombination der relativen Bindungsstärken mit den geogenen Grundgehalten wird die Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen abgeleitet (Kap. 4).

Die verbleibenden zwei Ebenen können aus folgenden Gründen derzeit noch nicht bearbeitet werden:

Ebene 4: Für eine landesweit flächendeckende Kartierung der effektiven Schadstoffgehalte in Böden - einschliesslich der anthropogenen Zusatzbelastung - ist die Datenlage noch ungenügend und vor allem räumlich ungleichmässig verteilt. Dazu sind vorerst noch Ergänzungserhebungen notwendig und die Verfügbarkeit der Daten aus anderen Quellen abzuklären.

Ebene 5: Die tolerierbaren Schadstoffeinträge (Critical Loads) können erst kartiert werden, wenn die effektiven Schadstoffgehalte im Boden flächendeckend bekannt sind und für sensitive Rezeptoren (z.B. Bodenfauna, Vegetation) wissenschaftlich fundierte, wirkungsorientierte kritische Grenzkonzentrationen (Critical Limits) definiert sind.

Das bearbeitete Schadstoffspektrum wird durch die vorliegende Datenlage bestimmt. Dieses umfasst für die Bindungsstärken und Basisempfindlichkeit die neun Elemente Cd, Ni, Co, Zn, Cu, Cr, Pb, Hg, F und für die geogenen Grundgehalte zusätzlich Mo und Tl.

Die Kartiergrundlagen für die Bindungsstärken und Basisempfindlichkeit wurden im Massstab 1:200'000 bearbeitet. Aufgrund der flächenhaft sehr heterogenen Datenlage werden in diesem Bericht nur landesweite Übersichtskarten im Massstab von ca. 1.5 Mio. präsentiert. Mit zunehmend besserer Datenlage erlaubt der in diesem Rahmenkonzept skizzierte methodische Ansatz jedoch auch genauere und regional differenziertere Auswertungen bis zu einem Massstab von maximal 1: 200'000.

2 KARTIERUNG DER RELATIVEN BINDUNGSSTÄRKEN

Die Bindungsstärke der Böden beurteilt das Vermögen der Böden Schadstoffe festzuhalten, dass sie weder durch Bodenorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen in schädlichen Konzentrationen aufgenommen werden, noch ins Oberflächen- und Grundwasser gelangen können (DVWK 1988). Je geringer die Bindungsstärke ist, desto mobiler und biologisch verfügbarer ist ein spezifischer Schadstoff und desto besser kann er seine Toxizität entfalten. Die Kartierung der Bindungsstärken dient somit der regionalen Gefährdungsabschätzung von Schadstoffverlagerungen.

2.1 Grundlagen und Methode

Die Kartierung der Bindungsstärken gegenüber anorganischen Schadstoffen basiert auf der "Bodeneignungskarte der Schweiz" 1:200'000 (BRP et al. 1980), die als einzige landesweit flächendeckende Angaben über geomorphologische und bodenkundliche Eigenschaften enthält und zudem auch in digitaler Form vorliegt (BFS/Geostat 1999a). Die Erweiterung der Kartenlegende durch vier Nutzungsklassen und die Bodenkenngrößen pH-Wert, Humus- und Tongehalt (Tabelle 4) liefert erstmals eine landesweite geografische Extrapolationsgrundlage für ökologisch relevante Bodeneigenschaften (z.B. Schadstoffmobilität), welche sich mit Hilfe von Pedotransferfunktionen (z.B. Bouma 1996) ableiten lassen (Tabelle 5).

2.1.1 Erweiterung der Bodeneignungskarte durch vier Nutzungsklassen

Die Kartiereinheiten der Bodeneignungskarte wurden mit Hilfe der Arealstatistik (Meteotest 2000) und LFI-Daten (WSL 1999) durch die vier Nutzungsklassen Ackerbau (AB), Dauergrünland (DG), Laubwald (WL) und Nadelwald (WN) differenziert (Anhang, Tabelle A-1 & Tabelle A-2). Dabei stellten sich folgende Probleme:

- Die Nutzungstypen der Arealstatistik und der NABO-Datenbank sind nicht kongruent. In der Arealstatistik sind Wies- und Ackerland der gleichen Nutzungsklasse zugeordnet, so dass eine adäquate Trennung von Ackerland und Dauergrünland nicht möglich ist (Anhang, Tabelle A-2).
- Die digitale Karte der Arealstatistik besteht aus Punktdaten (ca. 4.1 Mio. Punkte; 1 Punkt/Hektare) und die digitale Bodeneignungskarte aus Flächen (ca. 11'000 Polygone). Um beide zu verknüpfen, müssen alle Karten entweder in Flächendaten oder in Punktdaten umgewandelt werden.

Eine Umwandlung der Arealstatistik in Flächendaten wäre sehr aufwändig. Auch für die weitere Verwendung - insbesondere Verschneidungen - sind Flächendaten (Vektordaten) in dieser Größenordnung aufwändig und kompliziert zu bearbeiten. Durch die linienhaften Abgrenzungen würden optisch schönere Karten entstehen, die aber wegen der getroffenen Annahmen eine Scheingenauigkeit vortäuschen würden. Um dies zu vermeiden, wurde auf Punktdatenbasis weitergearbeitet. Die Firma Meteotest hatte dazu bereits eine adaptierte Arealstatistik (Meteotest 2000) entwickelt, die für diesen Zweck verwendbar ist. Die adaptierte Arealstatistik weist jedem km² jene Nutzung zu, welche die Hektare auf dem entsprechenden km-Rasterpunkt aufweist. Dabei wurden die 24 Nutzungsklassen der Arealstatistik der Schweiz (Tabelle A-2) zu den folgenden 7 Nutzungskategorien der europäischen Landnutzungskarte (Veldkamp & van de Velde 1995) zusammengefasst: Ackerland, Grasland, Dauerkulturen, Wald, Siedlungsgebiete, Gewässer, Gletscher/Fels). Zusätzlich wurden folgende zwei Modifikationen vorgenommen:

- (1) Die Differenzierung zwischen Laub- und Nadelwald erfolgte mit Hilfe von LFI-Daten (WSL 1999). Waldflächen mit über 50 % Nadelholz-Anteil wurden als Nadelwald, die restlichen Waldflächen als Laubwald taxiert. Waldflächen (5 % der gesamten Waldfläche), ohne Mischungsgrad-Angaben, wurden anhand ihrer Höhenstufe klassiert: Flächen über 1'200 m. ü. M. als Nadelwald, die restlichen als Laubwald.
- (2) Die Dauerkulturen wurden dem Ackerbau zugeteilt. Die so hergestellte Nutzungskarte wurde über die digitale Bodeneignungskarte (BFS/Geostat 1999a) gelegt, und die an den km-Rasterpunkten entsprechenden Kartiereinheiten der Nutzung und Bodeneignung wurden einander zugeordnet. Wegen der Überlagerung der beiden nicht vollständig kongruenten Karten (Punktraster- und Flächenpolygone) kam es zu einer Überschneidung von produktivem und unproduktivem Land von 1'543 km². Da diese Kombination für die weitere Verarbeitung nicht mehr verwendbar war, wurde diese Fläche dem unproduktiven Land zugeschlagen (Tabelle A-3).

2.1.2 Erweiterung der Bodeneignungskarte durch pH-Wert, Humus- und Tongehalt

In einem nächsten Schritt wurde die Bodeneignungs-Nutzungskarte in 1 km-Rasterauflösung mit Rücksicht auf die nachstehend verwendete Klassifikation der relativen Bindungsstärken (Tabelle 2 und Tabelle 3) durch die drei Bodenkenngrossen pH-Wert, Humus- und Tongehalt ergänzt. Dazu wurden Daten der erweiterten NABO-Datenbank (Keller & Desaulles 2001) sowie ein Auszug der LFI-Daten (WSL 1999) verwendet. Aus den rund 26'000 Standort-Datensätzen wurden jene selektioniert, welche genaue Koordinaten-Angaben und mindestens einen Wert einer der drei Kenngrossen pH-CaCl₂, Humus- und Tongehalt im Oberboden (0-20 cm) enthielten. Die Standorte wurden in die vier entsprechenden Nutzungsklassen Ackerbau, Dauergrünland, Laubwald und Nadelwald eingeteilt (Tabelle A-1). Standorte ohne Nutzungsangaben oder mit Nutzungen, die nicht direkt einer der vier Klassen zugeordnet werden konnten, wurden als zusätzliche Entscheidungshilfen verwendet. Tabelle 1 zeigt, wie viele Standort-Datensätze die oben erwähnten Bedingungen erfüllten. Die verwendbaren Datensätze wurden den entsprechenden Kartiereinheiten der digitalen Bodeneignungskarte zugeordnet.

Tabelle 1: Verwendbare Datensätze nach Bodenkenngrossen und Nutzung gegliedert

Kenngrossen	Nutzungsklassen						Total
	AB	DG	WL	WN	W	XX	
pH-CaCl ₂	2'955	2'617	3'793	7'625	2'599	2'503	22'092
Humusgehalt	1'630	1'169	227	188	774	921	4'909
Tongehalt	681	765	86	114	378	316	2'340

AB = Ackerbau; DG = Dauergrünland; WL = Laubwald; WN = Nadelwald; W = Wald unspezifiziert;
XX = andere oder keine Nutzung

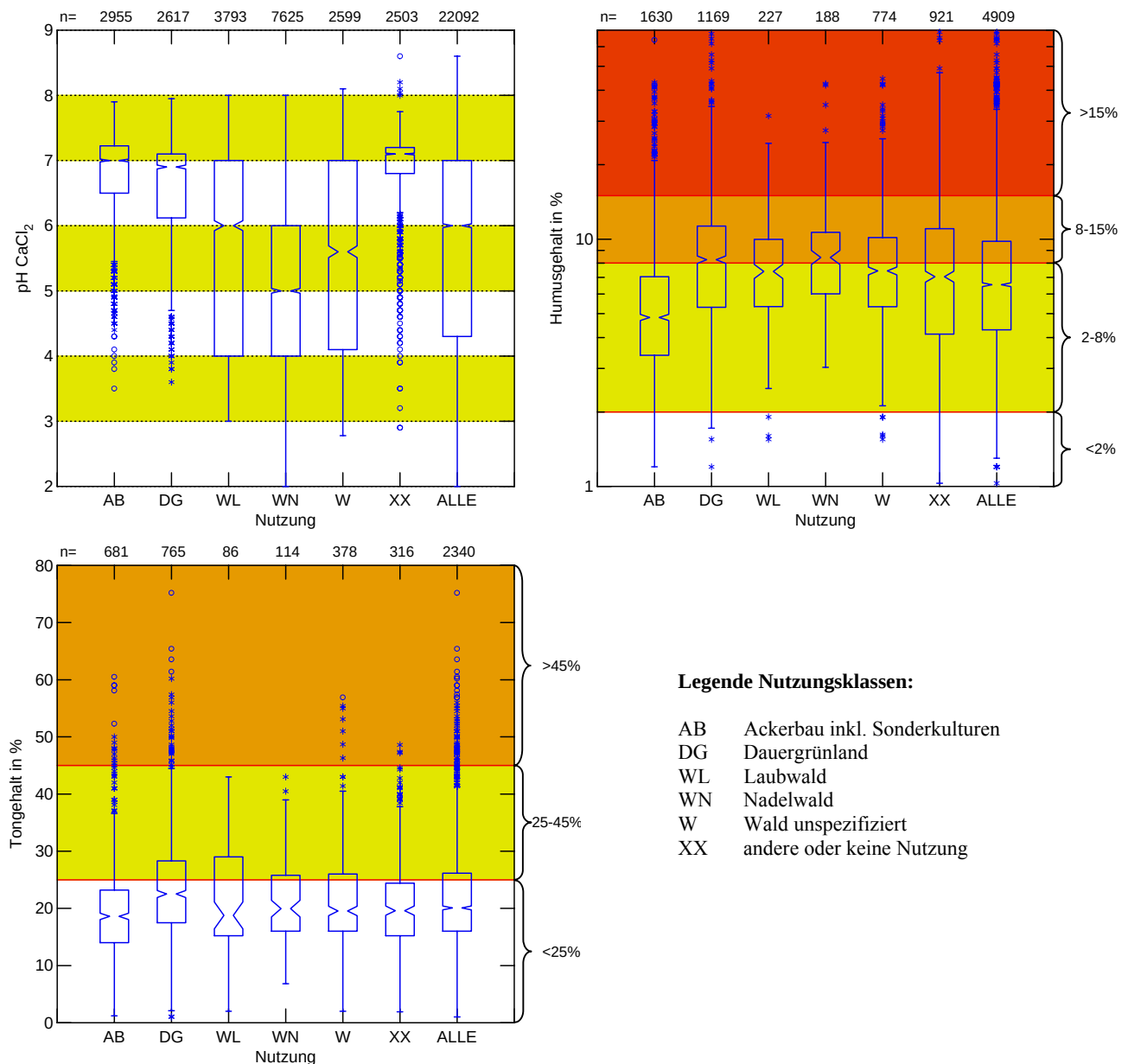
Alle verwendbaren Daten der pH-Werte, Humus- und Tongehalte sind in Figur 2, nach Nutzungsklassen gegliedert, als Box-Plots dargestellt. Sie wurden wie folgt in die Kenngrossen-Bereiche der insgesamt 138 Kartiereinheiten (Tabelle 5) hinuntergebrochen:

- Für alle Kartiereinheiten und Nutzungsklassen wurden die entsprechenden pH-Werte als Scatter-Plots dargestellt, wie dies in Figur 3 analog für die Humusgehalte der Fall ist. Bei Datensätzen ab 10 pH-Werten wurde der häufige pH-Bereich (10. bis 90. Perzentil) bestimmt und auf eine halbe Einheit gerundet entsprechend in die Legende zur Kartierung der relativen Bindungsstärken (Tabelle 5) eingetragen.

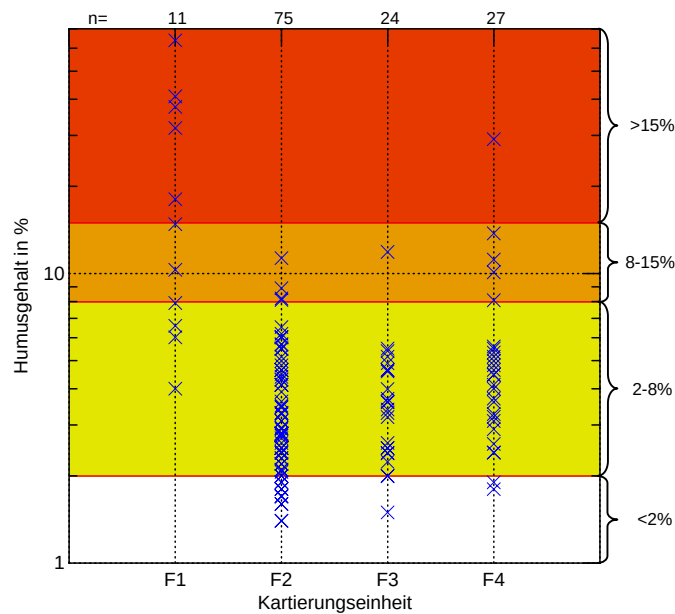
- Bei Datensätzen mit weniger als 10 Werten (*kursiv* in Tabelle 5) wurden die pH-Bereiche aufgrund entsprechender Kartiereinheiten und Nutzungsklassen mit zahlreich vorliegenden Daten geschätzt. Dazu wurden für Kartiereinheiten und Nutzungsklassen mit mehr als 50 Datensätzen Box-Plots erstellt, wie dies in Figur 2 gemacht wurde - allerdings ohne Differenzierung nach Kartiereinheiten.

Bei den Humus- und Tongehalten wurde analog wie bei den pH-Werten vorgegangen, nur dass dafür keine Bereiche, sondern fixe Klassen festgelegt sind (Figur 2 und Tabelle 3).

Figur 2: Box-Plots aller verwendbaren Bodenkenngrossen pH-CaCl₂, Humus- und Tongehalt nach Nutzung gruppiert



Figur 3: Beispiel eines Scatter-Plots der Humusgehalte unter Ackerbau für die Kartiereinheiten F1 bis F4 als Entscheidungshilfen für die Zuweisung der Humus-Klassenbereiche



Mit der oben beschriebenen Erweiterung der Kartenlegende zur Bodeneignungskarte der Schweiz, welche in Tabelle 4 dargestellt ist, wurde eine Grundlage erarbeitet, mit welcher sich die relativen Bindungsstärken der Böden gegenüber anorganischen Schadstoffen kartieren lassen.

2.1.3 Klassierung und Kartierung der relativen Bindungsstärken

Die Bindungsstärke bzw. Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden ist in erster Linie vom pH-Wert abhängig, wobei hohe Humus- bzw. Tongehalte die Bindungsstärke verbessern können (Hornburg & Brümmer 1993). Auf dieser Grundlage wurde ein Klassifikationsschema zur Beurteilung der relativen Bindungsstärke entwickelt (DVWK 1988 und Desaulles & Dahinden 1997), welches in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt ist.

Tabelle 2: Einfluss der Bodenreaktion (pH) auf die relative Bindungsstärke von Schadstoffen in Böden

Element	Relative Bindungsstärke bei pH-CaCl ₂ -Werten von											
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	
Cd	0	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	
Ni	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	5	
Co	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	5	
Zn	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	5	
Cu	1	1	2	3	4	4	5	5	5	4	3	
Cr	1	1	2	3	4	4	5	5	5	5	5	
Pb	1	2	3	4	5	5	5	5	5	4	4	
Hg	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	
F	1	2	3	4	5	5	5	5	4	3	2	

Bindungsstärke: 0 = minimal, 1 = sehr gering, 2 = gering, 3 = mittel, 4 = stark, 5 = sehr stark

Tabelle 3: Zuschläge der relativen Bindungsstärke durch die Berücksichtigung der Humus- und Tongehalte

Humus- gehalt	Zn	Co	Ni	Cd	Cu, Cr, Pb, Hg	Ton- gehalt	Cd, Ni, Co	Zn, Cu	Cr, Pb, Hg
< 2 %	0	0	0	0	0	< 25	0	0	0
2 – 8 %	0	0	0	0	1	25 – 45	0	0	1
8 – 15 %	0	0	1	1	1	> 45	0	1	1
> 15 %	0	1	1	1	2				

Die sechsstufige Klassierung der relativen Bindungsstärken ist elementspezifisch und nach halben pH-Einheiten sowie vier Humus- und drei Tongehaltklassen differenziert. Da die pH-Bereiche in der Kartenlegende (Tabelle 5) gewöhnlich mehr als eine halbe pH-Einheit umfassen und überschneidende Bereiche für die kartografische Darstellung ungeeignet sind, wurde für die Bestimmung der Bindungsstärken-Klassen wie folgt vorgegangen: Für jede Kartiereinheit, Nutzungsklasse und jeden Schadstoff wurde die Spanne der Bindungsstärken-Klassen bestimmt und auf den Mittelwert zurück gegriffen. Dabei wurden halbe Klasseneinheiten abgerundet.

Tabelle 4: Erweiterte Legende der Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000

Code	Landschafts- element	Bodentypen	Bodeneigenschaften	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	LW Eignung	Erweiterung		
										Bindungsstärken		
										Pb	Hg	Cd
A1	Plateau, harter Kalk	Rendzina, Cambisol calcaric, Lithosol	GR flach	AB	—	—	—	—	GW mässig	—	—	—
V	77 km ²		SK reich	DG	—	—	—	—	JW	—	—	—
			WS gering	WL	—	—	—	—	KW	—	—	—
			NS gering	WN	—	—	—	—	NF mässig	—	—	—
			WD normal		—	—	—	—	KF	—	—	—
			HN bis 10%		—	—	—	—	GB mässig	—	—	—
					—	—	—	—	HF	—	—	—
A2	Steilhaenge, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung >35%	Rendzina, Lithosol	GR sehr flach	DG	—	—	—	—	GW schlecht	—	—	—
XVI	76 km ²		SK extrem reich	WL	—	—	—	—	JW mässig	—	—	—
			WS sehr gering	WN	—	—	—	—	KW gut	—	—	—
			NS gering		—	—	—	—	NF	—	—	—
			WD normal		—	—	—	—	KF	—	—	—
			VN —		—	—	—	—	GB	—	—	—
			HN bis 50%		—	—	—	—		—	—	—
A3	Steilhaenge, vorwiegend nordexponiert,	Rendzina, Cambisol eutric (feinkörnig), Cambisol gleyic,	GR flach	AB	—	—	—	—	Bereich der Bindungsstärkenklassen (Bereich von 0 bis 5)	—	—	—
			SK reich	DG	—	—	—	—		—	—	—

GR = Gründigkeit
SK = Skelettgehalt
WS = Wasserspeichervermögen
NS = Nährstoffspeichervermögen

WD = Wasserdurchlässigkeit
VN = Vernässung
HN = Hangneigung

GW = Grossvieh
JW = Jungvieh
KW = Kleinvieh
NF = Naturfutterbau

KF = Kunstfutterbau
GB = Getreidebau
HF = Hackfruchtbau

2.2 Kartenlegende

Die Legende zur Kartierung der relativen Bindungsstärken für Schadstoffe (Tabelle 5) ist eine Erweiterung der Legende der Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BRP et al. 1980: 82–116), wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist. Sie enthält nur wenige Angaben der Originallegende, da diese bei Bedarf dort nachgeschlagen werden können. Die Legende gibt für 138 Kartiereinheiten - nach vier Nutzungstypen gegliedert - für neun anorganische Schadstoffe die relativen Bindungsstärken im Oberboden (0-20 cm) in den sechs Klassen von 0 = „minimal“ bis 5 = „sehr stark“ an. Für die Kartiereinheiten B1, C5 und L1 fehlen Angaben, weil diesen Einheiten in der digitalen Bodeneignungskarte (BFS/Geostat 1999a) keine Flächen zugeordnet sind. Dagegen enthält die Legende die Ausgangskenngrossen pH-Wert, Humus- und Tongehalt auf welchen die Bestimmung der Bindungsstärken beruhen. Alle Datensätze (n) mit weniger als 10 pH-CaCl₂-Werten sind *kursiv* gedruckt. Dies ist ein Hinweis dazu, dass die Zuweisung der Bindungsstärke teilweise auf einer sehr schmalen Datenbasis beruht und deshalb nur bedingt für eine weitergehende Interpretation geeignet ist. In diesem Zusammenhang muss auch darauf hingewiesen werden, dass sich Anzahl (n) nur auf die pH-CaCl₂-Werte bezieht und keine Rückschlüsse über die Datenmenge der Humus- und Tongehalte erlaubt. Deren Einfluss auf die Bindungsstärke ist allerdings auch weit geringer.

Erläuterungen zur Legende zur Kartierung der Bindungsstärke der Schweiz

Code	A1 – Z5: Kartiereinheiten gemäss Bodeneignungskarte (BRP et al. 1980) I – XIX: Eignungseinheiten gemäss Bodeneignungskarte (BRP et al. 1980)
Landschaftselement	Formelement der Landschaft gemäss Bodeneignungskarte (BRP et al. 1980)
km ²	Fläche der Kartiereinheit nach GIS-Bodeneignungskarte (BFS/Geostat 1999a)
Nutzung	AB = Ackerbau; DG = Dauergrünland; WL = Laubwald; WN = Nadelwald
--	entsprechende Nutzung kommt in dieser Kartiereinheit nicht vor ¹⁾
()	entsprechende Nutzung in dieser Kartiereinheit kaum vorhanden
n	Anzahl Standort-Datensätze mit pH-CaCl ₂ Werten
<i>kursiv</i>	<i>n (pH-CaCl₂) < 10</i>
Bindungsstärke	0 = minimal; 1 = sehr gering; 2 = gering; 3 = mittel; 4 = stark; 5 = sehr stark

¹⁾ Obwohl diese Nutzungen in der entsprechenden Kartiereinheit nicht vorkommen, werden diese trotzdem beurteilt, weil für eine mögliche flächenhafte Darstellung, die nicht nutzungsspezifisch dargestellt werden kann, Bindungsstärken vorhanden sein müssen.

Tabelle 5: Ausführliche Legende zur Kartierung der relativen Bindungsstärken gegenüber Schadstoffen in Böden der Schweiz (Erweiterte Legende zur Bodeneignungskarte 1:200'000; BRP et al. 1980)

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
A1 V	Plateau, harter Kalk	77	AB	8	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	3	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	3		
			WL	19	4.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	16	3.5 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
A2 XVI	Steilhaenge, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung >35%	76	(AB)	5	7.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			DG	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	47	5.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	4	5	3	
			WN	21	6.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4	
A3 XV	Steilhaenge, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung >35%	173	(AB)	8	7.0 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			DG	19	6.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	5	5	5	5	5	5	3	
			WL	94	4.5 - 7.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WN	34	5.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
A4 IV	Plateau, Mergel	62	AB	5	6.5 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	1	6.5 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			WL	10	6.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	5	5	5	4	5	5	4	
			WN	18	4.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	4	
A5 VII	Hanglagen, Mergel oder Hanglehm, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung <35%	135	AB	11	6.5 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	12	6.5 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	5	5	5	5	5	3	
			WL	26	4.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	8	4.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
A6 IX	Hanglagen, Mergel oder Hanglehm, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung <35%	208	(AB)	25	6.5 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	34	6.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	39	4.5 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	17	4.0 - 7.5	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	3	
A7 I	Plateau, Loess oder Schwemmlehm	85	AB	6	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	16	4.0 - 5.0	2-8%	<25%	5	5	2	2	2	2	4	4	4	
			WN	6	3.5 - 6.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
A8 II	Hanglagen, Loess und Schwemmlehm, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung <35%	9	AB	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	4.5 - 6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WN	--	3.5 - 5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
A9 II	Hanglagen, Loess und Schwemmlehm, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung <35%	42	AB	18	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	4	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	8	3.5 - 6.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4	
			WN	3	3.5 - 5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
B1 VII	Tafeljura, harter Kalk (Randzonen) Hangneigung <10%	-	--	--	-												
			--	--	auf GIS-Karte keine Fläche!												
			--	--													
			--	--	-												
B2 IV	Tafeljura, Talsohlen mit Alluvionen, Hangneigung <10%	76	AB	11	7.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			DG	5	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			WL	8	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	5	4.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
B3 VII	Tafeljura, Schotter, Hangneigung <10%	5	AB	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WL)	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WN)	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
B4 VII	Tafeljura, Hangmulden, Hangneigung <25%	3	AB	--	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	--	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			WL	--	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			(WN)	--	5.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
B5 IV	Faltenjura, Talsohlen mit Alluvionen	22	AB	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	5	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WN)	--	4.5 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
B6 VIII	Faltenjura, Schotter	25	AB	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WL)	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WN)	2	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
B7 I	Faltenjura, Sundgauschotter und Verwitterungslehme	20	AB	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WL)	1	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WN)	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
B8	Hanglagen, Molasse, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung <25%	23	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	3		
			WL	2	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	5	5	4		
			(WN)	2	4.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
B9	Hanglagen, Molasse, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung <25%	13	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	1	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	--	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			(WN)	1	4.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
C1	Torfareale	40	AB	--	6.0 - 7.5	>15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	3	
			DG	1	6.0 - 7.5	>15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	3	
			WL	--	6.0 - 7.5	>15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	3	
			(WN)	2	5.0 - 6.5	>15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
C2	Moraene	122	AB	2	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	3	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	8	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	10	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
C3	Schotter	14	AB	--	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	1	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			(WL)	--	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			(WN)	--	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
C4	Alluvionen	50	AB	1	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	4	6.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	3	
			WL	1	6.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	3	
			WN	1	5.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
C5	Kalk	-	--	--	-												
			--	--	auf GIS-Karte												
			--	--	keine Fläche!												
			--	--	-												
C6	Jurarandmoraene	168	(AB)	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	1	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	28	4.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	26	4.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
C7	Hanglagen, Molasse vermischt, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung <25%	43	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	1	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	6	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	5	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
C8	Hanglagen, Molasse vermischt, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung <25%	51	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	1	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	4	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WN	16	4.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
D1	Plateau, Kalkhoehenzuege	259	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	7	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	5	6.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4	
			WN	89	4.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
D2	Antiklinal- und Synklinalmulden	67	AB	--	6.0 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	--	6.0 - 7.5	8-15%	25-45%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	--	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WN	12	4.0 - 6.0	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	4	
E1	Hanglagen, Hanglehm, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung <35%	325	(AB)	73	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	56	5.5 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	54	5.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			(WN)	82	4.0 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	2	3	3	3	4	5	4	
E2	Steilhaenge, Kalk, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung >35%	506	(AB)	1	6.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	30	6.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	5	5	5	4	5	5	4	
			WL	183	5.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	199	4.5 - 7.0	>15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
E3	Steilhaenge, von Felskoepfen und Felsbaendern-durchzogen, Hangneigung >35%	169	(AB)	5	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	72	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	55	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
E4	Rumpfebenen und Verflachungen	41	AB	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	4	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	6	4.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km²	Nutzung	n	pH CaCl₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
E5	Kuppen und hoehergelegene Haenge, Kalk	575	(AB)	--	6.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	5	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			(WL)	56	4.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	214	4.0 - 6.5	>15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	5	5	4	
XII																	
E6	Hanglagen, Hanglehm, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung <35%	253	AB	1	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	10	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	56	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			(WN)	40	4.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
VIII																	
E7	Steilhaenge, Kalk, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung >35%	497	(AB)	1	6.0 - 7.5	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	12	5.5 - 7.5	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	4	5	3	
			WL	156	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WN	171	5.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
XV																	
E8	Hangmulden, Hanglehm, vorwiegend suedexponiert	48	AB	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	4	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	8	4.0 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
VII																	
E9	Hangmulden, Hanglehm, vorwiegend nordexponiert	30	(AB)	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	2	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WN	8	4.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
XI																	
F1	Moore, Torf	99	AB	26	6.0 - 7.0	>15%	25-45%	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4
			DG	5	6.0 - 7.5	>15%	25-45%	5	5	5	5	5	4	5	5	3	
			WL	3	4.5 - 7.5	>15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	3	
			WN	1	3.5 - 6.5	>15%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	5	3	
X																	
F2	Schotter	341	AB	139	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	40	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	41	3.5 - 7.5	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2	
			WN	42	3.5 - 6.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
III																	
F3	Rezente Alluvionen, tonig	111	AB	25	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	10	6.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	15	4.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	7	4.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	4	
IX																	
F4	Rezente Alluvionen, sandig	282	AB	78	7.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			DG	27	7.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			WL	58	7.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
			WN	16	4.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
III																	
G1	Mulden, Gletscherzungenbecken, Grundmorane, Moore	268	AB	300	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			DG	79	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	20	4.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	14	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
X																	
G2	Fluvioglaziale Schotterebenen	267	AB	268	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	106	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	33	4.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	33	3.0 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	3	2	
III																	
G3	Ruecken, flache Drumlins, Endmoraaenen	546	AB	259	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	171	5.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	4	5	3	
			WL	89	4.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	121	3.5 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
II																	
G4	Feinkoernige Alluvionen	212	AB	243	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	88	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	23	5.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WN	13	3.5 - 7.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2	
IV																	
H1	Leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moraene, tonig, Ostschweiz und Genferseegebiet	866	AB	185	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	172	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	127	4.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
			WN	187	3.5 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
I																	
H2	Hanglagen, vorwiegend Wall-moraene, Ostschweiz und Genferseegebiet, Hangneigung<25%	1'243	AB	694	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	614	5.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	4	5	3	
			WL	245	4.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
			WN	340	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
IV																	
H3	Steilhaenge vorwiegend Molasse, Hangneigung >25%	1'071	(AB)	96	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	156	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	361	4.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
			WN	341	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
XIV																	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km²	Nutzung	n	pH CaCl₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
H4	Mulden, Akkumulations-rinnen	264	AB	57	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	69	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
			WL	16	4.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
			WN	33	3.5 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
H5	Leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moraene/Molasse sandig, Westschweiz	841	AB	10	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	10	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	42	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	125	3.5 - 5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
H6	Hanglagen, Westschweiz, Hangneigung <25%	1'201	AB	13	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	13	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	66	3.5 - 6.5	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	4	4	3	
			WN	155	3.5 - 5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
H7	Deckenschotter	24	AB	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	9	4.0 - 5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			WN	16	3.5 - 5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
J1	Feinkoernige Alluvionen	295	AB	32	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	31	5.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	22	3.5 - 7.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2	
			(WN)	23	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
J2	Kiesige Alluvionen	54	AB	15	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	33	5.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	4	5	3	
			WL	4	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			(WN)	12	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
L1	Vorwiegend Buckel, Hangneigung <17% teilweise bis 50%	-		--	-												
L2	Vorwiegend Mulden	10	(AB)	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4	
			WL	--	5.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WN	--	4.5 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
L3	Buckel und Mulden gleichwertig, einzeln nichtdarstellbar	55	AB	17	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	54	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	1	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	13	3.0 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
L4	Flache Buckel, vernaesste Mulden eingestreut, Hangneigung <25%	160	AB	41	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	56	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	16	4.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
			WN	28	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
K1	Plateaus und Hangterrassen, feinsandige Molasse	101	AB	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	9	3.5 - 5.5	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4	
			WN	35	3.0 - 4.0	2-8%	<25%	4	4	0	1	1	1	3	3	3	
K2	Hanglagen, feinsandige Molasse, Hangneigung <25%	318	AB	8	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	2	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	14	3.5 - 6.5	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	4	4	3	
			WN	91	3.0 - 4.5	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	3	3	3	
K3	Steilhaenge, sandige Molasse, Hangneigung >25%	416	(AB)	5	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	3	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	28	3.5 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	137	3.0 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
K4	Mulden, Akkumulationsrinnen	50	AB	1	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	5.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	8	3.5 - 5.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4	
M1	Kuppen, Hangneigung <25%	11	AB	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	4	4.0 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
M2	Maessig geneigte Haenge, Hangneigung <35%	135	AB	8	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	31	5.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	18	4.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	4	3	4	5	3
			WN	43	3.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
M3	Steilhaenge, Hangneigung >35%	203	(AB)	2	5.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	21	5.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	27	4.5 - 7.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WN	91	4.0 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	3	
M4	Mulden, Akkumulationsrinnen	6	(AB)	--	5.5 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	2	5.5 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	--	5.5 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WN	3	4.5 - 6.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
N1	Kuppen, Verflachungen, Hangneigung <25%	27	AB	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	4.5 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WN	10	3.0 - 4.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
N2	Hanglagen, Hangneigung <35%	133	(AB)	2	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	1	4.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
			WN	23	3.0 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
N3	Steilhaenge, Hangneigung >35%	253	--	--	-			5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	12	4.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
			WN	106	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
N4	Mulden, Akkumulationsrinnen	13	(AB)	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	4	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	5.0 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WN	1	4.0 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
O1	Ebene Lagen, Hangneigung <10%	89	AB	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	9	4.5 - 5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5	
			WL	3	4.0 - 6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			WN	15	3.0 - 6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
O2	Hanglagen, Hangneigung <35%	425	(AB)	2	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	8	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	14	3.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	110	3.0 - 6.5	8-15%	25-45%	4	4	3	3	3	3	3	4	3	
O3	Steilhaenge, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung >35%	80	--	--	-			5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	10	3.5 - 6.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4	
			WN	29	3.0 - 6.5	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	3	3	3	
O4	Steilhaenge, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung >35%	172	--	--	-			5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	15	3.0 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	3	3	2	
			WN	69	3.0 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	3	3	2	
O5	Mulden, Akkumulationsrinnen	49	(AB)	--	5.0 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	5	4.5 - 6.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WL	1	4.5 - 6.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WN	4	3.5 - 5.5	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	2	4	4	4	
P1	Felsbaenderdurchzogene Haenge und Kuppen	44	--	--	-			5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	4.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	9	3.5 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	11	3.5 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
P2	Hanglagen, vorwiegend suedexponiert, Ostschweiz, Hangneigung <35%	103	(AB)	--	5.0 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	3	5.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	5	3.5 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	20	3.0 - 6.5	8-15%	25-45%	4	4	3	3	3	3	3	4	3	
P3	Hanglagen, vorwiegend suedexponiert, Westschweiz, Hangneigung <35%	25	(AB)	--	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	4.5 - 6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WL	3	4.5 - 6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WN	4	3.5 - 5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
P4	Steilhaenge, vorwiegend suedexponiert, Hangneigung >35%	224	--	--	-			5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	9	4.5 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	27	3.5 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	72	3.0 - 7.0	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	3	3	2	
P5	Hanglagen, vorwiegend nordexponiert, Ostschweiz, Hangneigung <35%	139	(AB)	--	5.0 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	2	4.5 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	7	3.5 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	2	3	3	3	4	4	3	
			WN	26	3.0 - 6.0	2-8%	25-45%	4	4	2	2	2	2	3	4	3	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
P6	Hanglagen, vorwiegend nordexponiert, Westschweiz, Hangneigung <35%	19	(AB)	--	5.5 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.5 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	1	5.0 - 6.0	2-8%	25-45%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
VI			WN	3	4.0 - 5.5	2-8%	25-45%	5	5	2	3	3	3	4	5	4	
P7	Steilhänge, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung >35%	284	--	--	-			5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	4	5.0 - 6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	24	4.0 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	5	3	
XV			WN	123	3.0 - 7.0	2-8%	25-45%	4	4	2	3	3	3	3	4	2	
P8	Mulden	23	(AB)	--	5.0 - 6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	7	4.5 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	4.5 - 6.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
XI			WN	4	3.5 - 5.5	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	2	4	4	4	
Q1	Feinkörnige Alluvionen	279	AB	19	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	72	6.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	3	
			WL	12	5.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
IV			WN	6	5.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
Q2	Kiesige Alluvionen	147	AB	1	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	1	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			WL	4	6.0 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	4	5	3	
V			(WN)	8	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
Q3	Grundnasse Alluvionen, Moore	126	AB	6	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			DG	10	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	6	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
X			(WN)	1	4.0 - 6.5	>15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	5	5	4	
Q4	Schwemmfächer	75	AB	1	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	17	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
VIII			(WN)	3	4.5 - 6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
Q5	Schuttkegel	57	(AB)	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	6.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	8	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
XV			WN	13	6.5 - 7.5	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	5	4	5	3	
R1	Feinkörnige Alluvionen	101	AB	4	6.5 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	5	5	5	4	5	3	
			DG	6	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			WL	2	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
IV			WN	7	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
R2	Kiesige Alluvionen	87	(AB)	--	6.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
			DG	8	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	9	4.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
XIII			WN	17	3.5 - 7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
R3	Grundnasse Alluvionen, Moore	11	AB	--	5.5 - 7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	--	5.5 - 7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
XI			WN	4	4.0 - 6.0	>15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	5	5	4	
R4	Schwemmfächer	53	AB	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	4	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
			WL	4	5.5 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4	
VIII			WN	11	4.0 - 7.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3	
R5	Schuttkegel	82	(AB)	--	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	2	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	3	5.5 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
XV			WN	22	4.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
S1	Kreuzen und felsbänderdurchzogene Hänge	560	--	--				5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			WL	16	4.0 - 7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
XVIII			WN	94	4.0 - 7.5	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3	
S2	Hochgelegene Südhänge (über 1500m üe.M), Hangneigung <35%	160	(AB)	--	5.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	3	5.0 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			--	--				4	4	2	3	3	2	3	4	3	
XII			WN	17	3.0 - 5.5	8-15%	25-45%	4	4	2	3	3	2	3	4	3	
S3	Hochgelegene Nordhänge (über 1500m üe.M), Hangneigung <35%	162	--	--				5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	4.5 - 6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4	
			--	--				4	4	3	3	3	2	3	4	3	
XI			WN	20	3.0 - 6.0	8-15%	25-45%	4	4	3	3	3	2	3	4	3	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂	Humus	Ton	Bindungsstärken									
								Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
S4	Tiefergelegene Suedhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	317	(AB)	1	5.0	7.0	2-8%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	2	4.5	6.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	3	5	5	5
			WL	12	4.5	7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	64	3.0	6.5	8-15%	25-45%	4	4	3	3	3	3	3	4	3
XI	Steile Suedhaenge, Hangneigung >35%	919	--	--					5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	6	4.5	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	34	4.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3
			WN	236	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
S6	Tiefergelegene Nordhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	439	(AB)	--	4.5	6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	6	4.5	6.5	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	11	4.0	7.5	8-15%	25-45%	5	5	3	4	4	3	4	5	3
			WN	138	3.5	6.5	8-15%	25-45%	5	5	3	3	3	3	4	4	3
XI	Steile Nordhaenge, Hangneigung >35%	1'032	--	--					5	5	4	4	4	4	4	5	3
			DG	5	6.0	7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3
			WL	44	4.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3
			WN	436	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XV	Mulden	51	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	2	4.5	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	10	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XI	Kreten und felsbaenderdurch- zogene Haenge	53	--	--					5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	1	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WN	11	4.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3
XVIII	Tiefergelegene Haenge (unter 1000m ue.M), Hangneigung <35%	7	AB	--	6.0	7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4
			DG	--	6.0	7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4
			WL	--	5.5	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4
			WN	3	4.5	6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5
VIII	Steilhaenge, Hangneigung >35%	90	--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	1	6.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			(WL)	5	5.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	41	4.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	4	4	3
XV	Hochgelegene Haenge (ueber 1000m ue.M), Hangneigung <35%	25	--	--					5	5	5	5	5	4	5	5	4
			DG	--	6.0	7.0	8-15%	<25%	5	5	5	5	5	4	5	5	4
			(WL)	--	5.5	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4
			WN	3	4.5	6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5
XII	Kreten und felsbaenderdurch- zogene Haenge	1'532	--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	4	5.0	7.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	76	4.5	7.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3
			WN	288	4.0	7.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	3
XVIII	Hochgelegene Suedhaenge (ueber 1500M ue.M), Hangneigung <35%	231	(AB)	--	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
			DG	5	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
			(WL)	2	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
			WN	42	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XIII	Hochgelegene Nordhaenge (ueber 1500M ue.M), Hangneigung <35%	301	--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	4	4.5	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			(WL)	2	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
			WN	33	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XIII	Tiefergelegene Suedhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	356	(AB)	1	6.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	5	5.5	7.0	8-15%	<25%	5	5	4	5	5	4	5	5	4
			WL	25	5.0	7.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	57	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
VIII	Steile Suedhaenge, Hangneigung >35%	1'237	--	--					5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	7	5.0	6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	120	4.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
			WN	360	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XVI	Tiefergelegene Nordhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	412	(AB)	--	5.5	6.5	2-8%	25-45%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	7	5.0	7.0	8-15%	25-45%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	33	3.5	7.5	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2
			WN	87	3.5	7.0	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
VIII	Steile Nordhaenge, Hangneigung >35%	1'497	--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	6	5.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	155	3.5	7.5	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2
			WN	550	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3
XVI			--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	6	5.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	155	3.5	7.5	2-8%	<25%	4	4	3	3	3	3	3	4	2
			WN	550	3.5	7.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂		Humus	Ton	Bindungsstärken									
									Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F	
U8	Mulden	90	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	1	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	2	4.5	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WN	13	4.5	7.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	4	5	3	
V1	Kreten und felsbaenderdurch- zogene Haenge	1'442	--	--				5	5	3	3	3	3	5	5	5		
			DG	--	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WL	172	3.5	4.5	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	4	4	4	
			WN	225	3.0	5.0	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	3	3	3	
V2	Hochgelegene Suedhaenge (ueber 1500m ue.M), Hangneigung <35%	84	(AB)	--	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5	
			DG	--	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5	
			--	--				4	4	1	2	2	2	4	4	4		
			WN	6	3.5	4.5	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	4	4	4	
V3	Hochgelegene Nordhaenge (ueber 1500m ue.M), Hangneigung <35%	118	--	--				5	5	3	3	3	2	4	4	4		
			DG	3	4.0	5.0	8-15%	<25%	5	5	3	3	3	2	4	4	4	
			(WL)	2	3.5	5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	18	3.0	4.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
V4	Tiefergelegene Suedhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	54	(AB)	--	4.5	6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			DG	2	4.5	6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WL	13	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	10	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
V5	Steile Suedhaenge, Hangneigung >35%	638	--	--				5	5	3	4	4	3	4	4	4		
			DG	4	4.0	5.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
			WL	131	3.5	4.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	4	4	4	
			WN	151	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
V6	Tiefergelegene Nordhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	43	(AB)	--	4.0	5.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
			DG	--	4.0	5.5	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4	
			WL	6	3.5	5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	19	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
V7	Steile Nordhaenge, Hangneigung >35%	591	--	--				5	5	2	3	3	3	4	4	4		
			DG	--	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			WL	116	3.5	5.0	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	196	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
V8	Mulden	54	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			DG	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4	
			WL	--	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WN	2	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
W1	Kreten und felsbaenderdurch- zogene Haenge	978	--	--				5	5	3	3	3	3	5	5	5		
			DG	1	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WL	63	3.5	5.5	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4	
			WN	116	3.0	6.5	2-8%	<25%	4	4	2	3	3	3	3	3	3	
W2	Hochgelegene Suedhaenge (ueber 1500m ue.M), Hangneigung <35%	168	(AB)	--	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			DG	3	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			--	--				4	4	1	2	2	2	3	3	3		
			WN	20	3.0	5.0	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	3	3	3	
W3	Hochgelegene Nordhaenge (ueber 1500m ue.M), Hangneigung <35%	186	--	--				5	5	3	3	3	2	4	4	4		
			DG	1	4.0	5.0	8-15%	<25%	5	5	3	3	3	2	4	4	4	
			(WL)	1	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	31	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
W4	Tiefgelegene Suedhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	87	(AB)	1	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			DG	4	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4	
			WL	18	4.0	5.0	8-15%	<25%	5	5	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	8	3.0	4.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
W5	Steile Suedhaenge, Hangneigung >35%	636	--	--				5	5	2	3	3	3	5	5	5		
			DG	4	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5	
			WL	76	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	185	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	
W6	Tiefergelegene Nordhaenge (unter 1500m ue.M), Hangneigung <35%	100	(AB)	2	6.0	7.5	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	3	
			DG	5	4.5	6.0	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	3	5	5	5	
			WL	10	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
			WN	24	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4	
W7	Steile Nordhaenge, Hangneigung >35%	766	(AB)	1	5.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			DG	2	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5	
			WL	96	3.5	6.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	
			WN	271	3.0	5.5	8-15%	<25%	4	4	2	3	3	2	3	3	3	

Tabelle 5: Fortsetzung

Code	Landschaftselement	km ²	Nutzung	n	pH CaCl ₂		Humus	Ton	Bindungsstärken								
									Pb	Hg	Cd	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	F
W8	Mulden	49	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	1	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5
			WN	4	3.5	5.5	8-15%	<25%	4	4	3	3	3	2	4	4	4
X1	Hanglagen und Terrassen, Hangneigung <25%	13	AB	2	5.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	1	5.5	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	2	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WN	--	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
X2	Steilhänge, Hangneigung >25%	4	--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	1	5.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	1	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
XIV	Vorwiegend feinkörnige Alluvionen	33	AB	3	4.5	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5
			DG	5	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5
			WL	6	4.0	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
			(WN)	1	3.5	5.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
Y2	Vorwiegend kiesige Alluvionen	28	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	8	4.5	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WN	2	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
XVI	Terrassen	2	AB	--	5.0	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WL	1	5.0	6.5	8-15%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			WN	--	4.0	6.0	8-15%	<25%	5	5	3	4	4	3	4	4	4
Y4	Schwemmfächer	17	AB	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	2	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	4	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WN	--	4.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	4	4	4
Y5	Schuttkegel	57	(AB)	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	16	3.5	5.5	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
			WN	10	3.0	4.5	2-8%	<25%	4	4	1	2	2	2	3	3	3
Z1	Feinkörnige Alluvionen	4	AB	4	6.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			DG	2	6.0	7.0	2-8%	<25%	5	5	4	4	4	4	5	5	4
			--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
			--	--					5	5	4	4	4	4	5	5	4
Z2	Sandige Alluvionen	29	AB	11	4.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	2	4.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			WL	5	3.5	5.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
			(WN)	2	3.5	5.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
Z3	Grundnasse Alluvionen	19	AB	21	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5
			DG	8	4.5	5.5	2-8%	<25%	5	5	2	3	3	3	5	5	5
			WL	4	3.5	5.0	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
			--	--					4	4	2	2	2	2	4	4	4
Z4	Schotter	22	AB	13	4.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	1	4.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			(WL)	5	4.5	7.0	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			(WN)	--	3.5	5.5	2-8%	<25%	4	4	2	2	2	2	4	4	4
Z5	Schwemmfächer	6	AB	--	5.0	6.5	2-8%	<25%	5	5	3	4	4	4	5	5	4
			DG	1	5.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5
			(WL)	1	5.0	6.0	2-8%	<25%	5	5	3	3	3	3	5	5	5
			--	--					5	5	3	3	3	3	5	5	5

2.3 Übersichtskarten der Bindungsstärken

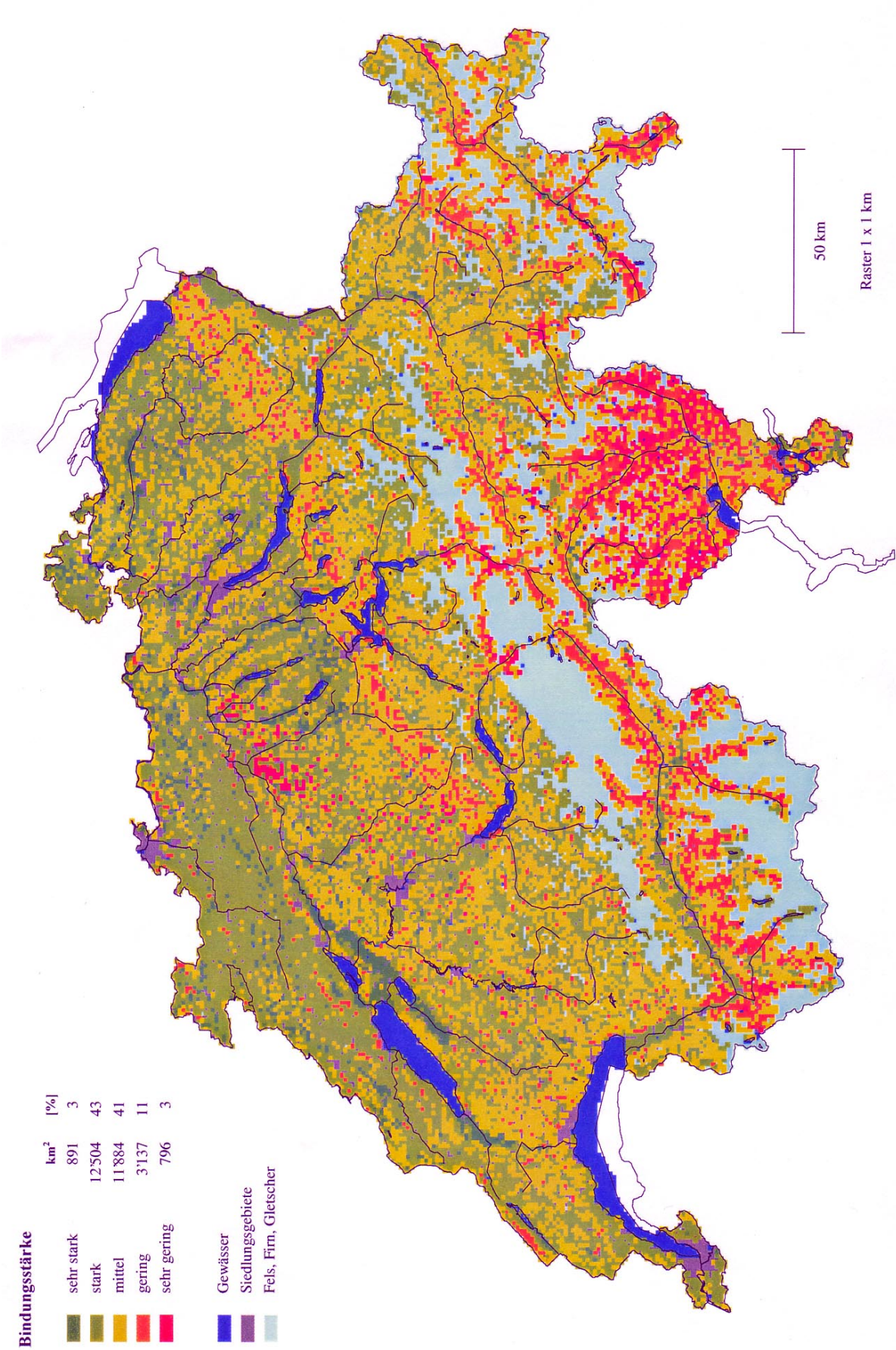
Zur Herstellung der sieben folgenden Bindungsstärke-Karten für acht Schwermetalle und Fluor in Oberböden (0-20 cm) im Massstab ca. 1:5 Mio (Figuren 4 bis 10) wurden die Legende der Bindungsstärken (Tabelle 5), die digitale Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BFS/Geostat 1999a), die modifizierte Arealstatistik 1979/85 (Meteotest 2000) und das Programm ArcView® verwendet.

Die Karten (Figuren 4 bis 10) umfassen - unter Ausschluss der Siedlungsgebiete (2'792 km²) - Gewässer (1'805 km²); Fels, Firn und Gletscher (7'442 km²) sowie Flächen ohne Zuordnung (24 km²). Insgesamt also eine Bodenfläche von 29'212 km² (Anhang, Tabelle A-3), welche die Nutzungstypen Ackerbau, Dauergrünland, Laub- und Nadelwald umfasst. Bei der kartografischen Umsetzung wurden die Klassen der Bindungsstärken 0 = minimal und 1 = sehr gering zusammengefasst, weil erstere kaum vorkommt.

Figur 4: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Blei und Quecksilber

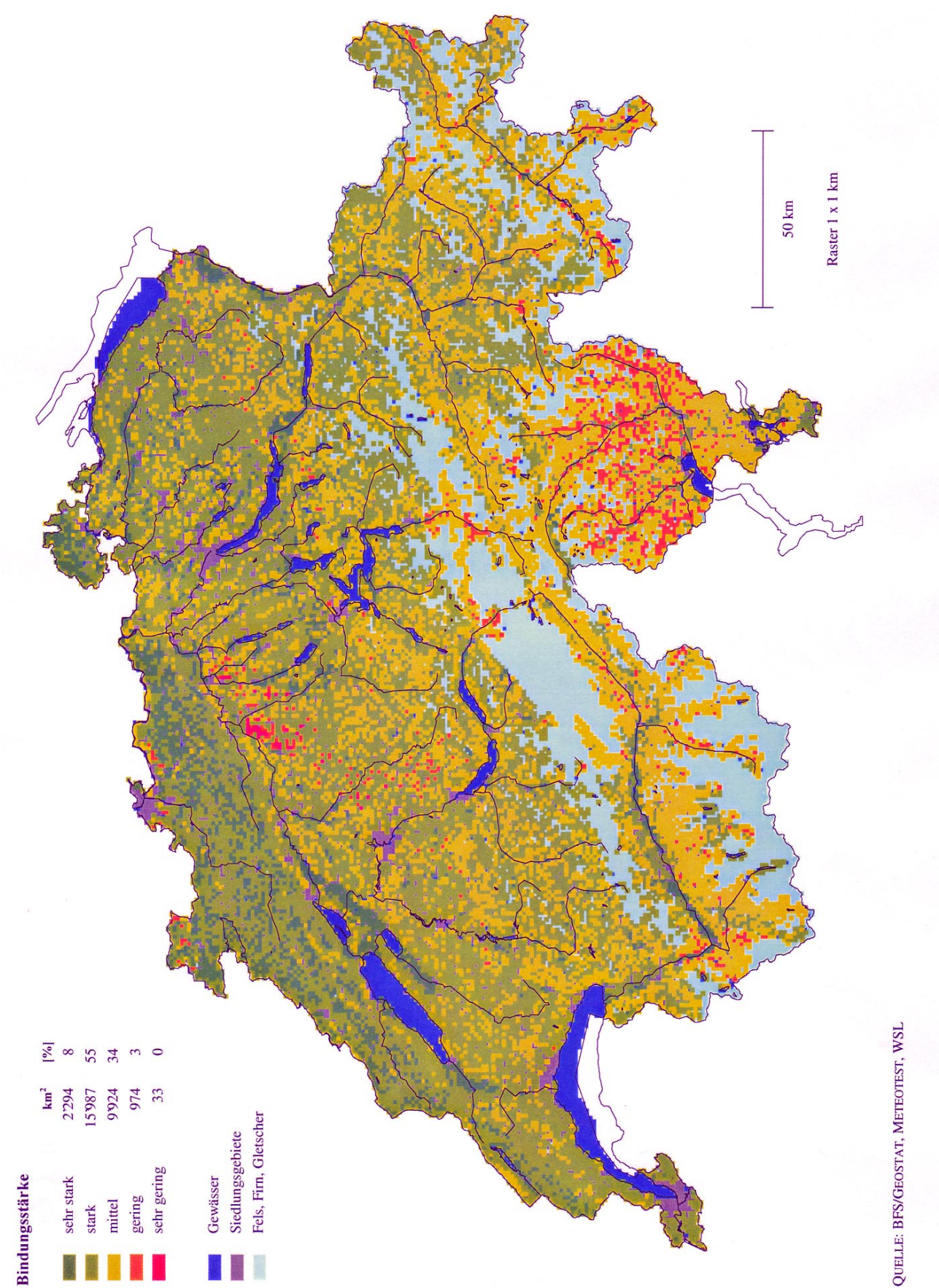


Figur 5: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Cadmium

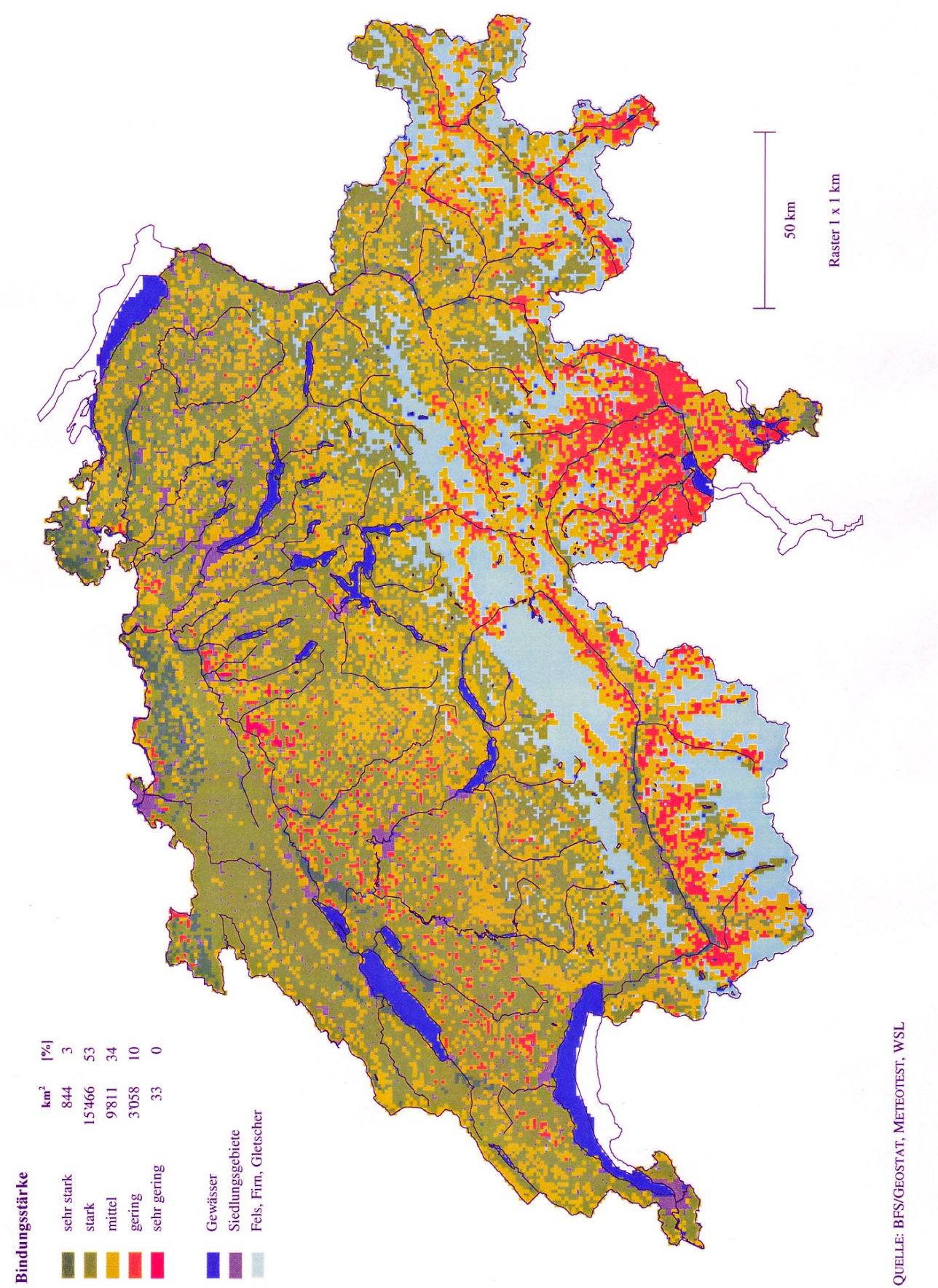


QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

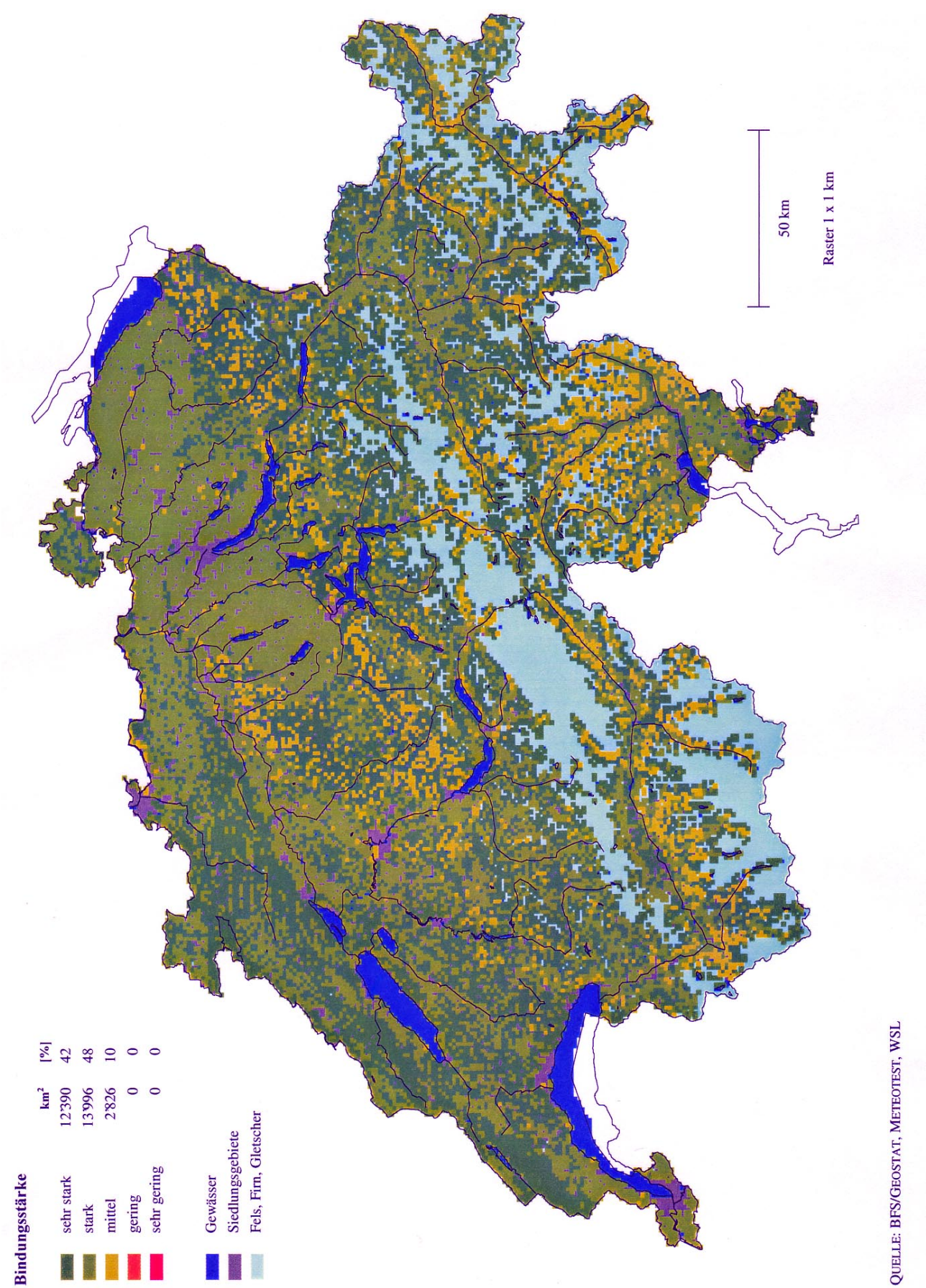
Figur 6: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Nickel und Kobalt



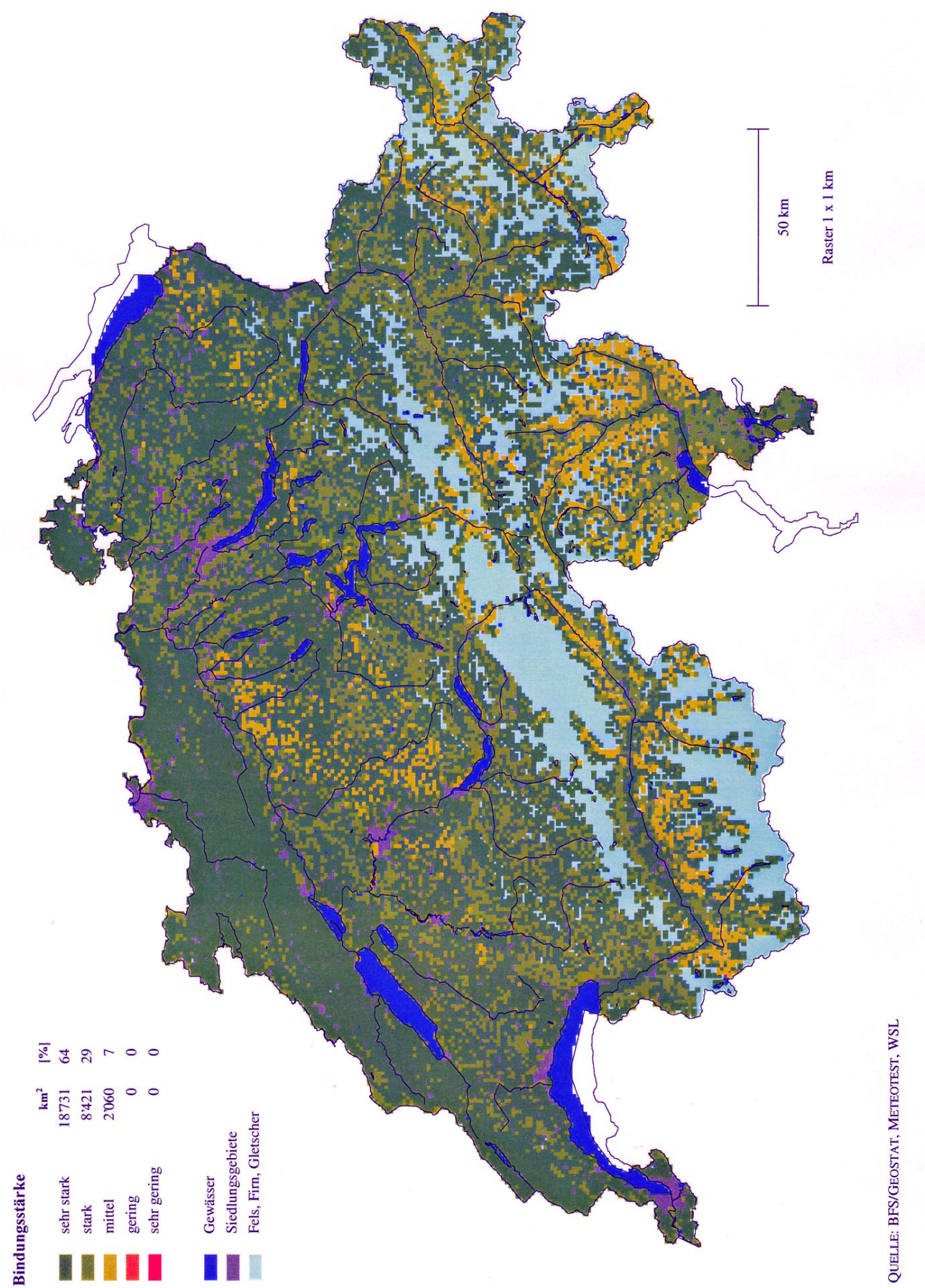
Figur 7: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Zink



Figur 8: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Kupfer



Figur 9: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Chrom



Figur 10: Karte der Bindungsstärke der Oberböden gegenüber Fluor



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

2.4 Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 6 sind die Anteile jeder Bindungsstärken-Klasse sowohl flächenmässig, als auch prozentual zur kartierten Fläche von 29'212 km² für jedes der neun Elemente aufgeführt. Dabei nimmt die relative Bindungsstärke in der Reihenfolge Pb = Hg > Cr > Cu > Ni = Co > F > Zn > Cd ab und die Mobilität entsprechend zu. Die Elemente können grob in drei Gruppen unterteilt werden:

- (1) Bindungsstarke Elemente Pb, Hg, Cu und Cr,
- (2) Elemente mässiger Bindungsstärke Ni, Co und F und
- (3) bindungsschwache Elemente Zn und Cd.

In Tabelle A-4 sind die Anteile zusätzlich nach Nutzungsklassen aufgeschlüsselt. Mit Ausnahme von Fluor nimmt dabei die Bindungsstärke für die Schwermetalle generell in der Nutzungsreihenfolge Ackerbau > Dauergrünland > Laubwald > Nadelwald entsprechend der abnehmenden pH-Wertbereiche ab.

Tabelle 6: Flächenanteile der Bindungsstärken-Klassen für anorganische Schadstoffe
(Kartierte Fläche 29'212 km² = 100 %)

Element	sehr gering km ² %		gering km ² %		mittel km ² %		stark km ² %		sehr stark km ² %	
Blei & Quecksilber							7'377	25	21'835	75
Cadmium	796	3	3'137	11	11'884	41	12'504	43	891	3
Nickel & Kobalt	33	0	974	3	9'924	34	15'987	55	2'294	8
Zink	33	0	3'085	10	9'811	34	15'466	53	844	3
Kupfer					2'826	10	13'996	48	12'390	42
Chrom					2060	7	8'421	29	18'731	64
Fluor			1'002	3	13'090	45	13'232	45	1'888	6

Die geografische Verbreitung der Bindungsstärken zeigt für die Schwermetalle einen ähnlichen Verlauf. Sie ist im Jura vergleichsweise am höchsten, nimmt im Mittelland ab und ist in den kristallinen Zentral- und Südalpen - besonders den Tessiner Alpen - am geringsten. Im Mendrisiotto steigt sie wieder etwas an. Bemerkenswert ist die teilweise auffällige Abnahme der Bindungsstärke im höheren Mittelland zwischen Aarau und Emmental. Diese Region blieb während der letzten Eiszeit eisfrei (SGTK 1963-67, Blatt 2) und weist entsprechend ältere, stärker versauerte Böden besonders unter Nadelwald auf. Bei Fluor nimmt die Bindungsstärke im alkalischen Bereich wieder deutlich ab (Tabelle 2). Sie ist vorwiegend in karbonathaltigen, tonreichen Böden des Jura, des Mittellandes und der nördlichen Voralpen am geringsten. Die enge Verknüpfung zwischen Bindungsstärke und pH-Wert wird durch den Einfluss folgender Geofaktoren offensichtlich. Dazu gehören prioritär die geologischen Verhältnisse - besonders die Verbreitung von karbonathaltigen und karbonatfreien Ausgangsgesteinen (SGTK 1963-67) - aber auch die Nutzung (Figur 2) sowie die Durchlässigkeit und das Alter der Böden, welche stark den Grad der Bodenversauerung als Folge der Auswaschungsintensität und -dauer bestimmen.

Der gegenwärtig noch sehr heterogenen Datenlage wurde dadurch Rechnung getragen, dass die Übersichtskarten in 1 km-Rasterauflösung und im Massstab ca. 1:1.5 Mio. dargestellt sind. Durch das robuste und kleinmassstäbige Darstellungsverfahren werden kleinere Ungenauigkeiten der verschiedenen digitalen Karten abgefangen und Überinterpretationen vorgebeugt.

Die Übersichtskarten der relativen Bindungsstärken (Figuren 4 bis 10) geben regionale Hinweise für die Gefährdungsabschätzung von Schadstoffverlagerungen. Diese reichen aber noch nicht aus, um die Bodenempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen zu beurteilen. Dazu braucht es zusätzlich regionale Informationen zu den aktuellen Schadstoffgehalten im Boden und zu den kritischen Grenzkonzentrationen (Critical Limits) gegenüber sensitiven Rezeptoren (Bodenfauna, Vegetation u.a.).

3 KARTIERUNG DER GEOGENEN GRUNDGEHALTE

Weil eine landesweite Kartierung der Schadstoffgehalte im Boden derzeit nicht verfügbar ist, wird näherungsweise auf die geogenen Grundgehalte zurück gegriffen. Anorganische Schadstoffe kommen in variablen Spurengehalten stets auch natürlich im Boden vor. Die Quelle dieser natürlichen Schadstoffanteile ist das bodenbildende Ausgangsgestein. Die Kartierung der gesteinsbedingten d.h. geogenen Grundgehalte der 11 Elemente Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, F, Mo, Tl gibt landesweit einen groben regionalen Überblick über die Häufigkeit der zu erwartenden Überschreitungen der von Totalgehalten gemäss VBBo (1998). Damit lässt sich auch abschätzen, ob gemessene richtwertüberschreitende Schadstoffgehalte möglicherweise gesteinsbedingt und somit natürlichen Ursprungs sind.

3.1 Grundlagen und Methode

Als Kartengrundlagen wurde die Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 (SGTK 1963-67) bzw. die digitale Vereinfachte Geotechnische Karte (BFS/Geostat 1999b) verwendet. Die Schwermetall- und Fluorgehalte bodenbildender Gesteine der Schweiz stammen aus Tuchs Schmid (1995) und sind von Benitez Vasquez (1999) durch Cd-Analysen in 23 verschiedenen Kalkgesteinen ergänzt worden. In Tuchs Schmid (1995) sind die Gesteinsgehalte der 11 Elemente Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, F, Mo, Tl für 27 der 34 in der Schweiz ausgewiesenen Lithofazies (LF) bzw. Gesteinstypen anhand von 342 Gesteinsproben analysiert worden. Diese wurden in einem Schlüssel zur Identifikation geogener Richtwertüberschreitungen (Desaules & Dahinden 1996) durch eine Legende mit der Geotechnischen Karte (SGTK 1963-67) verknüpft. Nachstehend wird eine grobe flächenhafte Kartierung der geogenen Grundgehalte auf der Basis der digitalen Vereinfachten Geotechnischen Karte (BFS/Geostat 1999b) vorgenommen. Den Vorbehalten von Tuchs Schmid (1995) gegenüber einer kartografischen Darstellung wird dadurch begegnet, dass der Darstellungsmassstab von ca. 1:1.5 Mio. sehr klein, und die Klassierung der geogenen Grundgehalte sehr grob gewählt worden sind (Tabelle 7).

Tabelle 7: *Klassen der geogenen Grundgehalte als Wahrscheinlichkeit von Richtwertüberschreitungen nach VBBo (1998)*

Klasse	Wahrscheinlichkeit von Richtwertüberschreitungen	Kriterium
1	keine in der Regel	Maximum $\leq$ Richtwert
2	Selten	90. Perzentil $\leq$ Richtwert $<$ Maximum
3	Gelegentlich	Median $\leq$ Richtwert $<$ 90. Perzentil
4	Häufig	Richtwert $<$ Median

Die statistischen Masszahlen der Klassifikationskriterien in Tabelle 7 stammen aus Tuchs Schmid (1995) und wurden in Desaules & Dahinden (1996, Anhang 2) für 27 Gesteinstypen (Lithofazies) zusammengestellt.

Bei den sieben von Tuchs Schmid (1995) nicht untersuchten Gesteinstypen handelt es sich um grobkörnige Mischgesteine (Moränen, Schotter, Nagelfluh u.a.), welche aber als Deckschichten einen grossen Flächenanteil am bodenbildenden Ausgangsgestein haben. Weil darin kaum zuverlässige Messwerte zu bestimmen sind, wurden die Konzentrationsklassen aufgrund der Hauptgesteins-Komponenten (Tabelle A-5) grob geschätzt. Zum Beispiel haben die „dunklen“ basisch/ultrabasischen Gesteine bzw. „Grüngesteine“ (Serp-

tinite, Peridotite, Amphibolite u.a.) bei Cr, Ni, Co und die „hellen“ granitoiden Gesteine (Granite, Orthogneise u.a.) bei Tl (Tuchschmid 1995) sowie die grobkörnigen Kalke (Sparite) bei Cd (Benitez Vasquez 1999) vergleichsweise hohe Konzentrationen mit häufigen Richtwertüberschreitungen.

Eine Schwierigkeit war, die von Tuchschmid (1995) durchgeführte Verknüpfung seiner 34 Gesteinstypen (Lithofazies) mit den rund 60 Kartiereinheiten der Geotechnischen Karte (SGTK 1963-67) den nur 28 Einheiten der digitalen Vereinfachten Geotechnischen Karte (BFS/Geostat 1999b) zuzuordnen (Tabelle A-6). Die Zuordnung erfolgte durch visuellen Vergleich der beiden Karten. Dabei entfiel die Kartiereinheit 27 (Geschieferter, oft serizitreiche Konglomerate und Brekzien) der Vereinfachten Geotechnischen Karte, weil der überwiegende Teil der Einheit 28 (Serizit-Chloritgneise bis -schiefer, homogen oder heterogen) zugeordnet werden konnte. Weiter wurden 12 Einheiten der ursprünglichen Geotechnischen Karte (GTK 50, 52, 54 und 62 bis 70) wegen unbedeutenden Flächenanteilen weggelassen. Die Gesteinstypen (Lithofazies) von Tuchschmid (1995) konnten schliesslich 27 Einheiten der digitalen Vereinfachten Geotechnischen Karte (BFS/Geostat 1999b) mit folgenden Modifikationen zugeordnet werden (Tabelle A-7):

- Der Gesteinstyp LF 27 (Anthrazite, Kohlen, bituminöse Gesteine) wurde wegen seiner geringen regionalen Bedeutung keiner Kartiereinheit zugeordnet.
- Die ursprüngliche geotechnische Kartiereinheit GTK 15 (Tonschiefer; vorwiegend des Ostalpins) entspricht keinem Gesteinstyp (LF) in Tuchschmid (1995), deshalb wurde hier auf die Zuordnung nach Desales & Dahinden (1996) zurückgegriffen (LF9, LF19, LF29).

Weil in einer Geotechnischen Einheit (GT) meist mehr als nur ein Gesteinstyp vorkommt, erfolgt die Gesamtbewertung wie folgt:

- Jene Gesteinstypen (LF), die gemäss Tuchschmid (1995) in der entsprechenden geotechnischen Kartiereinheit (GTK) nur „vereinzelt“ oder als „untergeordneter Bestandteil“ vorkommen, wurden halb bewertet, die restlichen voll. Danach wurde die Summe gebildet und auf ganze Zahlen gerundet. Dazu ein Beispiel: Die Einheit 4 (Tonige Silte bis Tone, bisweilen mit Einlagerungen von Sanden bis Kiesen) enthält LF25 und untergeordnet LF18 und LF26, die Einstufung für Blei ist entsprechend (Tabelle A-7):

$$\frac{_{LF25}1*2+_{LF18}0.5*1+_{LF26}0.5*1}{_{LF25}1+_{LF18}0.5+_{LF26}0.5} = \frac{3}{2} = 1.5 \approx 2$$

Mit diesen Grundlagen können für jedes der in Tuchschmid (1995) untersuchten 11 Elemente Karten erstellt werden, welche die geogenen Grundgehalte bezogen auf die Wahrscheinlichkeit von Richtwertüberschreitungen in vier Klassen angeben.

Damit die Karten der geogenen Grundgehalte mit jenen der Bindungsstärken verschnitten werden können, müssen sie ebenfalls in km-Raster aufgelöst werden. Dazu wird analog der Bindungsstärke-Karten (vgl. Kap. 2.1) jedem Punkt der modifizierten Arealstatistik (Meteotest 2000) die entsprechende Kartiereinheit aus der digitalen Vereinfachten Geotechnischen Karte zugeordnet. Das heisst jene Einheit, welche unter dem entsprechenden Schnittpunkt des Kilometernetzes liegt. Danach wird gemäss der Legende in Tabelle 8 jedem der 11 Elemente die entsprechende Konzentrationsklasse zugeordnet.

3.2 Kartenlegende

Die Legende zu den Karten der geogenen Grundgehalte gibt für 27 geotechnische Einheiten (GT) und 11 Elemente die geogenen Grundgehalte in vier Wahrscheinlichkeitsklassen der Überschreitung entsprechender Richtwerte sowie deren Flächenareal an. Im weiteren sind im Anhang auch die geogenen Grundgehalte je Gesteinstyp (LF) (Tabelle A-5), die Zuordnung der LF (Tabelle A-7) zu den geotechnischen Kartiereinheiten (GTK) (Tabelle A-6) sowie jene der Vereinfachten Geotechnischen Karte (GT) (Tabelle A-7) zusammengestellt.

Erläuterungen zur Legende der geogenen Grundgehalte der Schweiz

GT	Geotechnische Einheit der Vereinfachten Geotechnischen Karte VGK (BFS/Geostat 1999b)
[]	Richtwert für Totalgehalte in mg/kg nach VBBo (1998) bzw. VSBo (1986) bei Co und Ti
1	keine Richtwertüberschreitungen in der Regel ($\text{Maximum} \leq \text{Richtwert}$)
2	seltene Richtwertüberschreitungen ($90. \text{ Perzentil} \leq \text{Richtwert} < \text{Maximum}$)
3	gelegentliche Richtwertüberschreitungen ($\text{Median} \leq \text{Richtwert} < 90. \text{ Perzentil}$)
4	häufige Richtwertüberschreitungen ($\text{Median} > \text{Richtwert}$)
km ²	Fläche der Kartiereinheit (GT) gemäss VGK gerastert

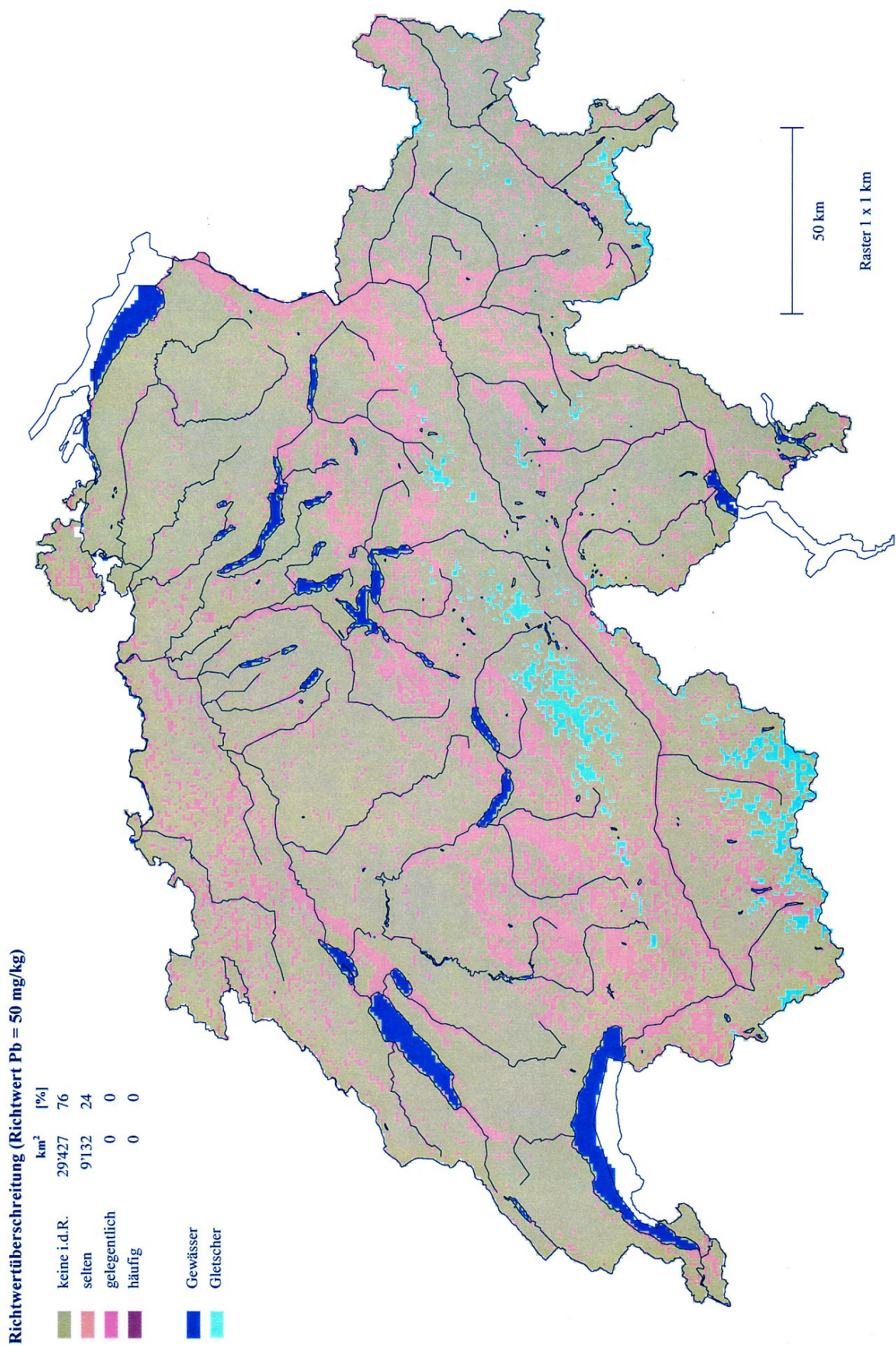
Tabelle 8: *Legende der geogenen Grundgehalte der Schweiz (erweiterte Legende der Vereinfachten Geotechnischen Karte; BFS/Geostat 1999b)*

GT	Kurzbeschreibung	km2	Wahrscheinlichkeit von Richtwertüberschreitungen										
			Pb [50]	Cd [0.8]	Zn [150]	Hg [0.5]	Cu [40]	Ni [50]	Cr [50]	Mo [5]	F [700]	Co [25]	Tl [1]
3	Sande, Silte, Lehme, Gesteine und Blöcke z.T. kalkhaltig von Moränen und Lössgebieten	8'923	1	1	1	1	2	3	4	1	2	2	1
4	Tonige Silte und Tone (Sande und Kiese) von Seeboden-, Schwemm- und Hanglehmen	713	2	2	1	1	2	2	3	1	2	2	2
5	Kiese und Sande der Eiszeitschotter	1'574	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
6	Kiese und Sande (tonig-siltig) heutiger Bachablagerungen	2'179	2	1	1	1	2	2	3	1	2	2	2
7	Hang- und Bergsturzschutt	2'505	2	1	1	1	2	3	3	1	2	3	2
8	Mergel (Sandsteine, Konglomerate) der Molasse	1'889	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2
9	Mergel, schiefrige Tone (Kalke, Dolomite, Sandsteine, Gips, Anhydrit)	224	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2
10	Kalkfreie rote Sandsteine bis sandige Tonschiefer	6	2	2	2	1	3	2	4	1	3	2	4
11	Eisenschüssige Tone (Quarzsande)	21	2	2	4	1	3	4	4	2	2	4	2
12	Mergel (Sandsteine, Konglomerate)	501	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2
13	Konglomerate, Sandsteine, Mergel	948	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2
14	Konglomerate (Sandsteine, Mergel)	1'401	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
15	Konglomerate bis Brekzien (Arkosen, Sandsteine)	113	1	1	2	1	3	2	4	1	2	1	4
16	Tonschiefer bis Phyllite (Sandsteine, Brekzien)	232	1	1	2	1	3	2	4	1	2	1	4
17	Mergelschiefer bis Kalkphyllite, Sandsteine	1'928	2	2	2	1	2	3	4	1	3	3	2
18	Kalkphyllite bis Kalkglimmerschiefer (sandige Kalkmarmore, Dolomite, Quarzite, Phyllite, Grünschiefer)	548	2	2	2	1	3	3	3	1	3	3	2
19	Kalke (mergelige und kieselige Kalke, Grünsandstein)	4'969	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1
20	Kalke, Sand- bis Kieselkalke (Mergelschiefer, Kalkphyllite)	1'195	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1
21	Mergelschiefer und -kalke	1'232	2	2	2	1	1	3	3	1	2	2	2
22	Dolomite, Rauwacken (Gips)	791	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
23	Granitoide Gesteine	713	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3
24	Porphyrite	50	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2
25	Quarzite	70	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
26	Zweiglimmer- bis Biotitgneise	3'753	1	1	1	1	2	2	3	1	2	2	2
28 (inkl. 27)	Serizit-Chloritgneise bis -schiefer (Geschieferter Konglomerate und Brekzien oft serizitreich)	1'884	1	1	1	1	2	2	3	1	2	3	2
29	Grünschiefer bis basische Gesteine	132	1	1	2	1	3	3	4	1	1	4	1
30	Serpentinite (bis Peridotite, Olivinfelsen)	65	1	1	1	1	1	3	4	1	2	4	2

3.3 Übersichtskarten der geogenen Grundgehalte

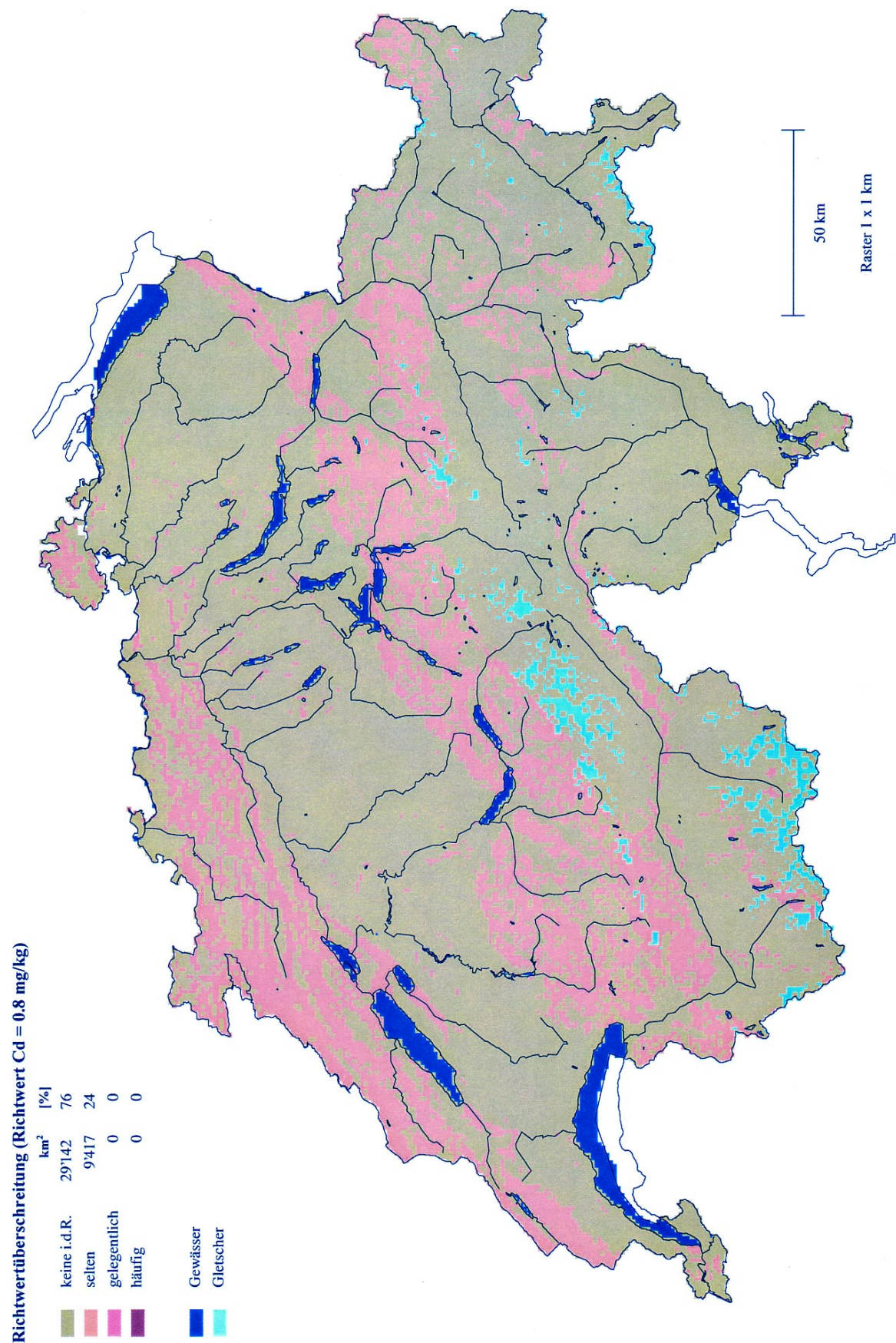
Um die nachstehend abgebildeten Karten der geogenen Grundgehalte zu erstellen (Figuren 11 bis 21), wurden die Angaben der Legende der geogenen Grundgehalte der Schweiz (Tabelle 8), die digitale Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 (BFS/Geostat 1999b), die modifizierte Arealstatistik 1979/85 (Meteotest 2000) und das Programm ArcView® verwendet. Im km-Raster wurde jedem der kartierten 38'559 km² für die 11 Elemente Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, F, Mo, Tl die geogenen Grundgehalte in einer der vier richtwertbezogenen Konzentrationsklassen zugewiesen. Die Karten liegen im Massstab von ca. 1:1.5 Mio. vor und können mit den erwähnten Hilfsmitteln und ergänzenden Daten von Interessierten selber maximal bis zu einem Massstab von 1:200'000 erstellt werden.

Figur 11: Karte der geogenen Blei-Grundgehalte



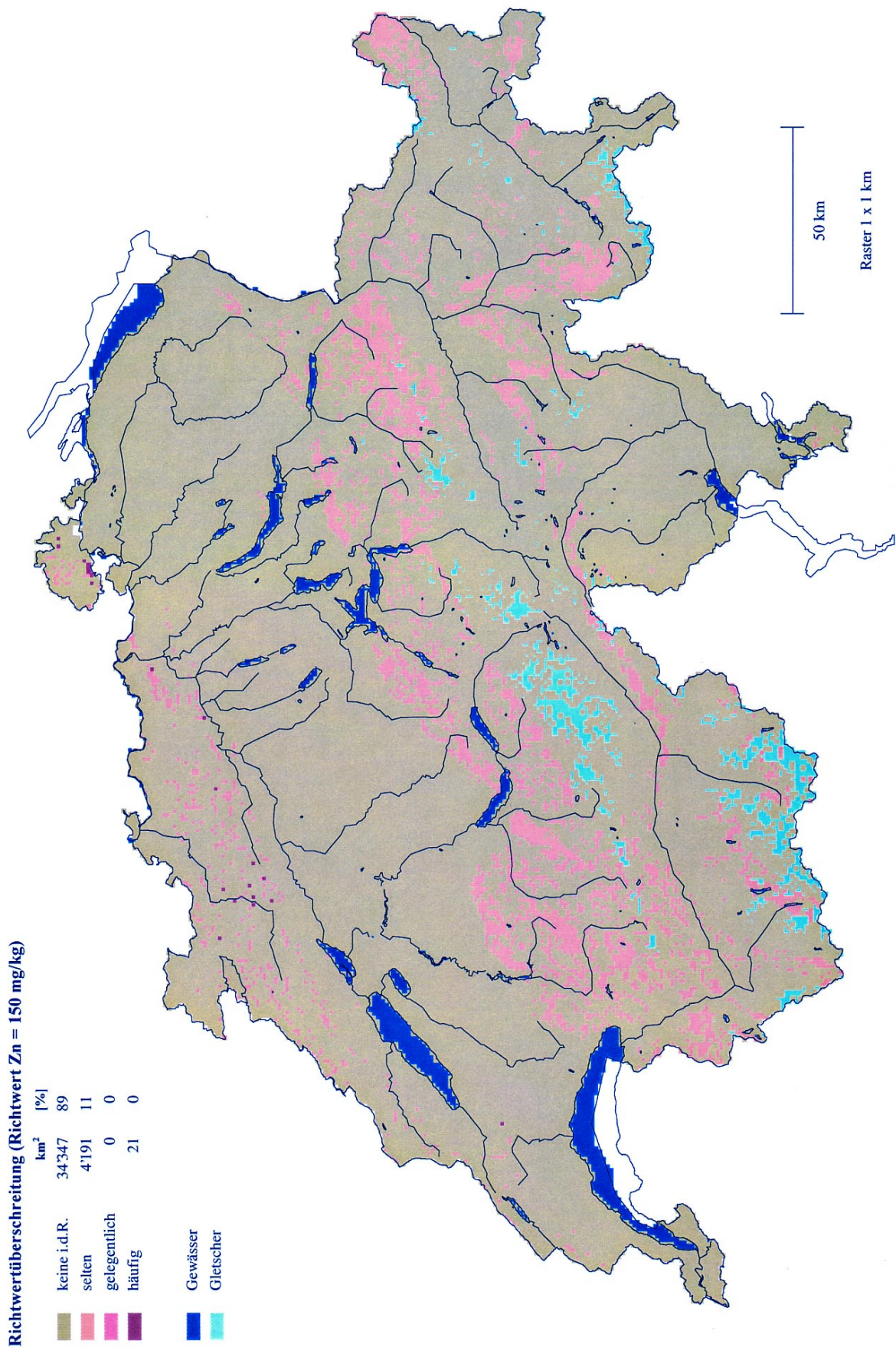
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 12: Karte der geogenen Cadmium-Grundgehalte



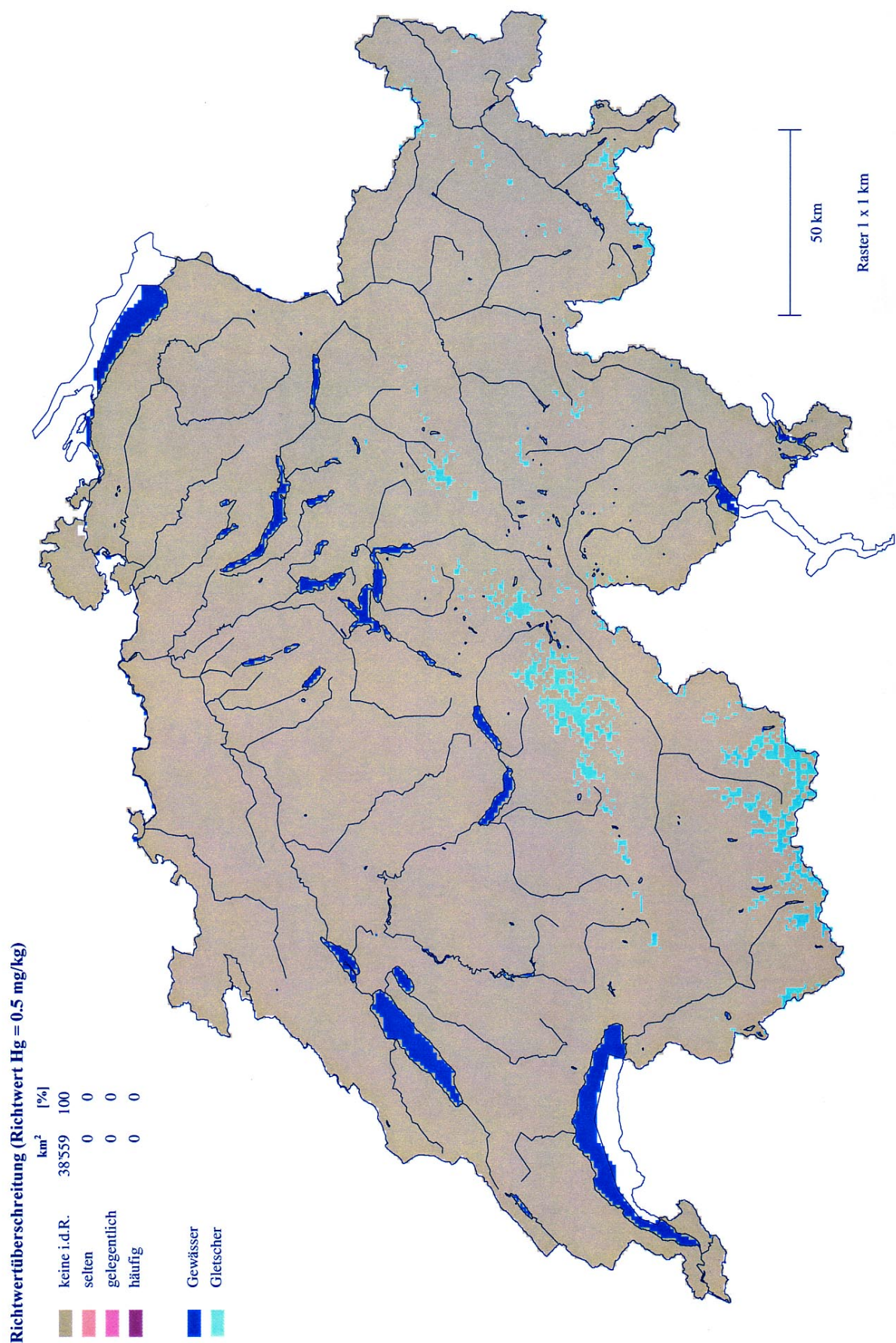
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 13: Karte der geogenen Zink-Grundgehalte



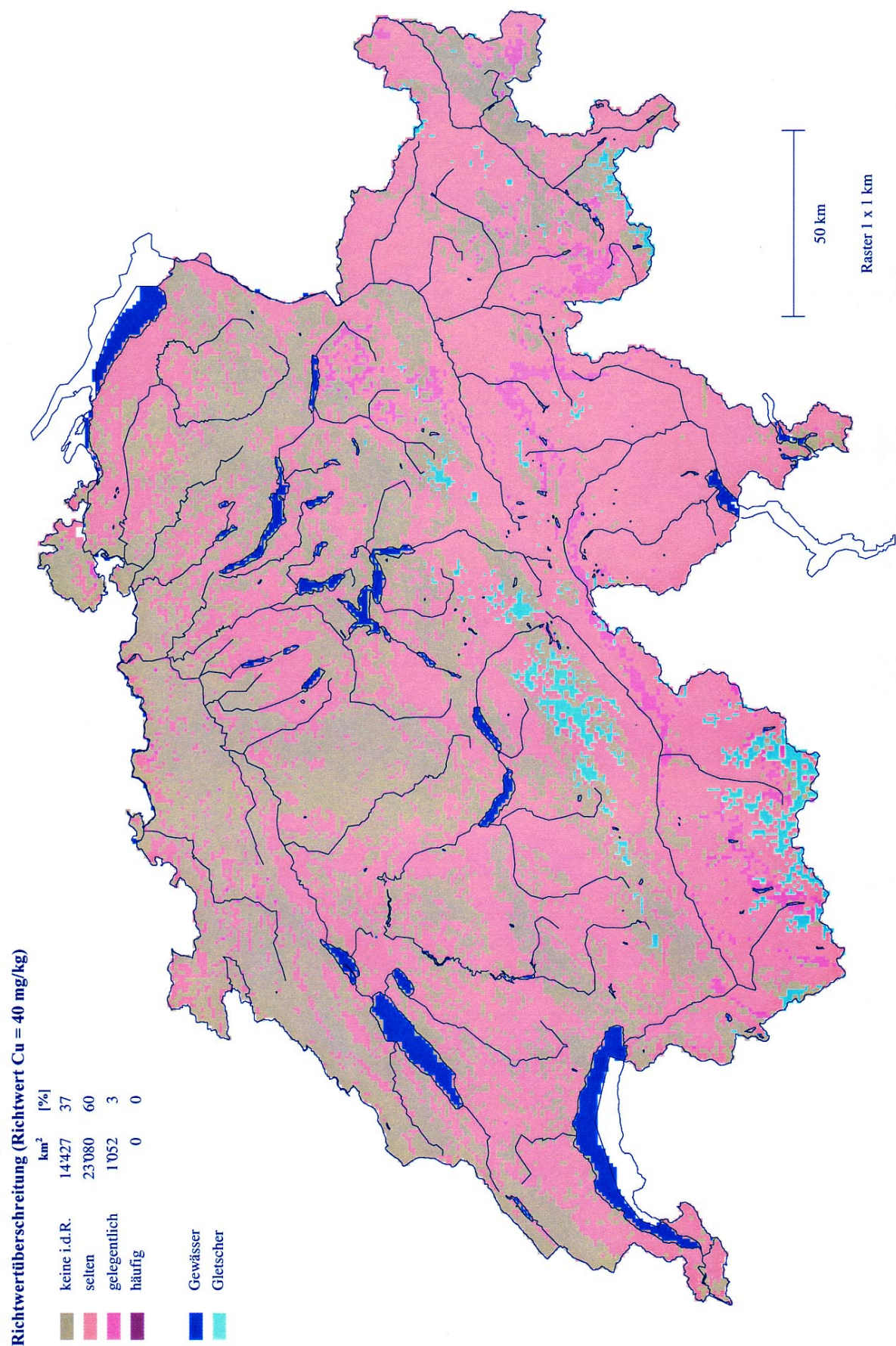
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 14: Karte der geogenen Quecksilber-Grundgehalte



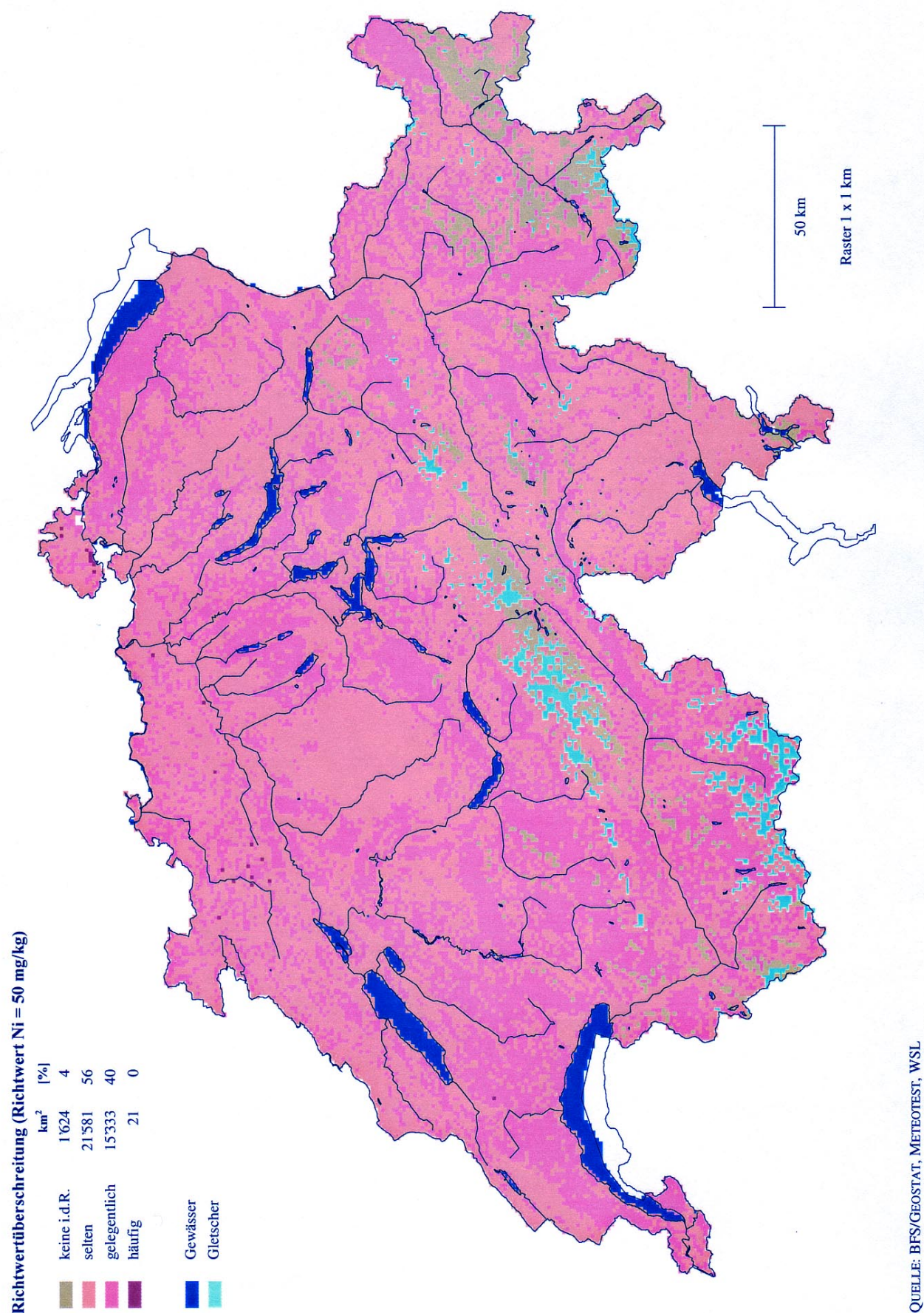
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 15: Karte der geogenen Kupfer-Grundgehalte

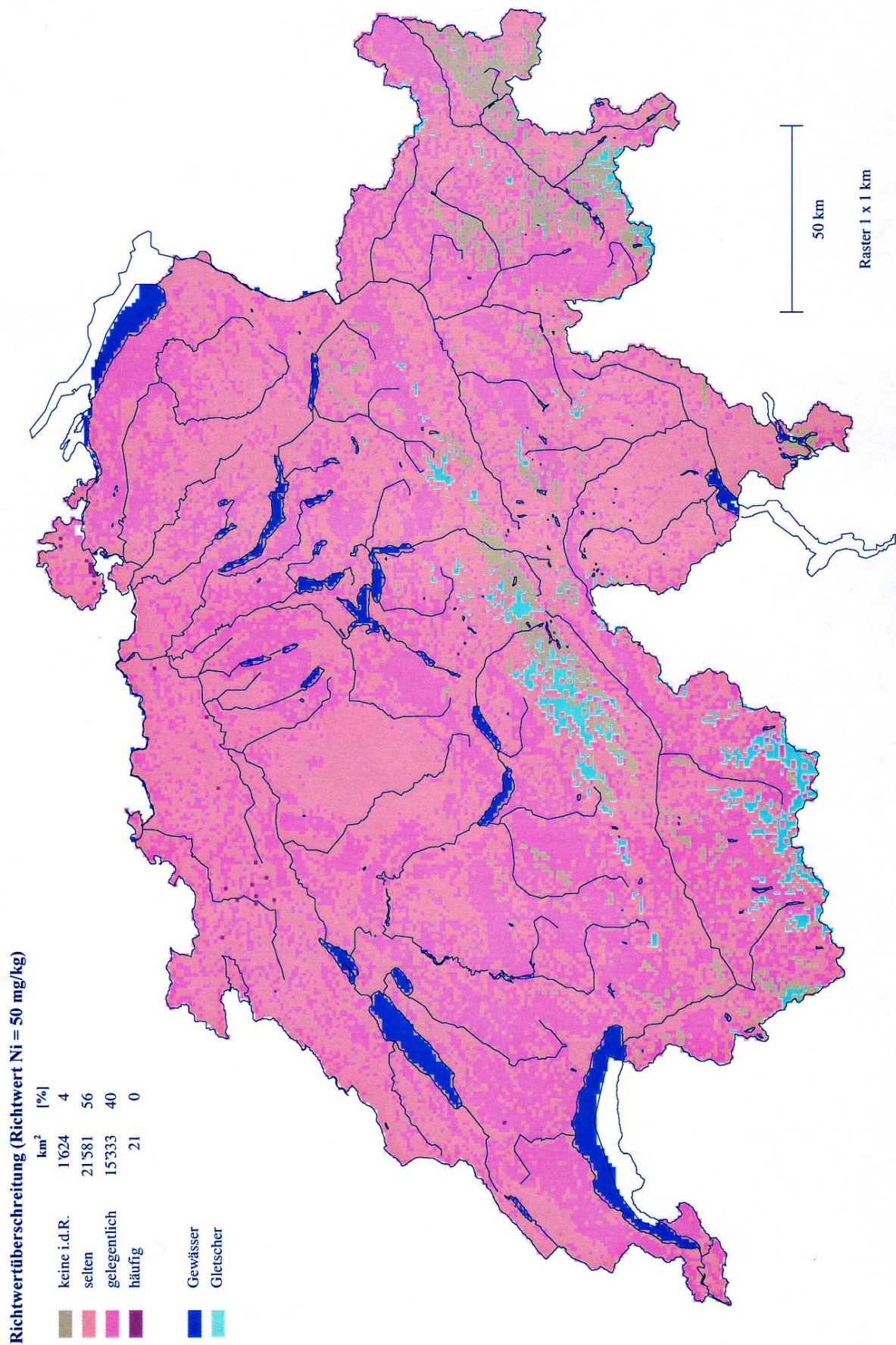


QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 16: Karte der geogenen Nickel-Grundgehalte

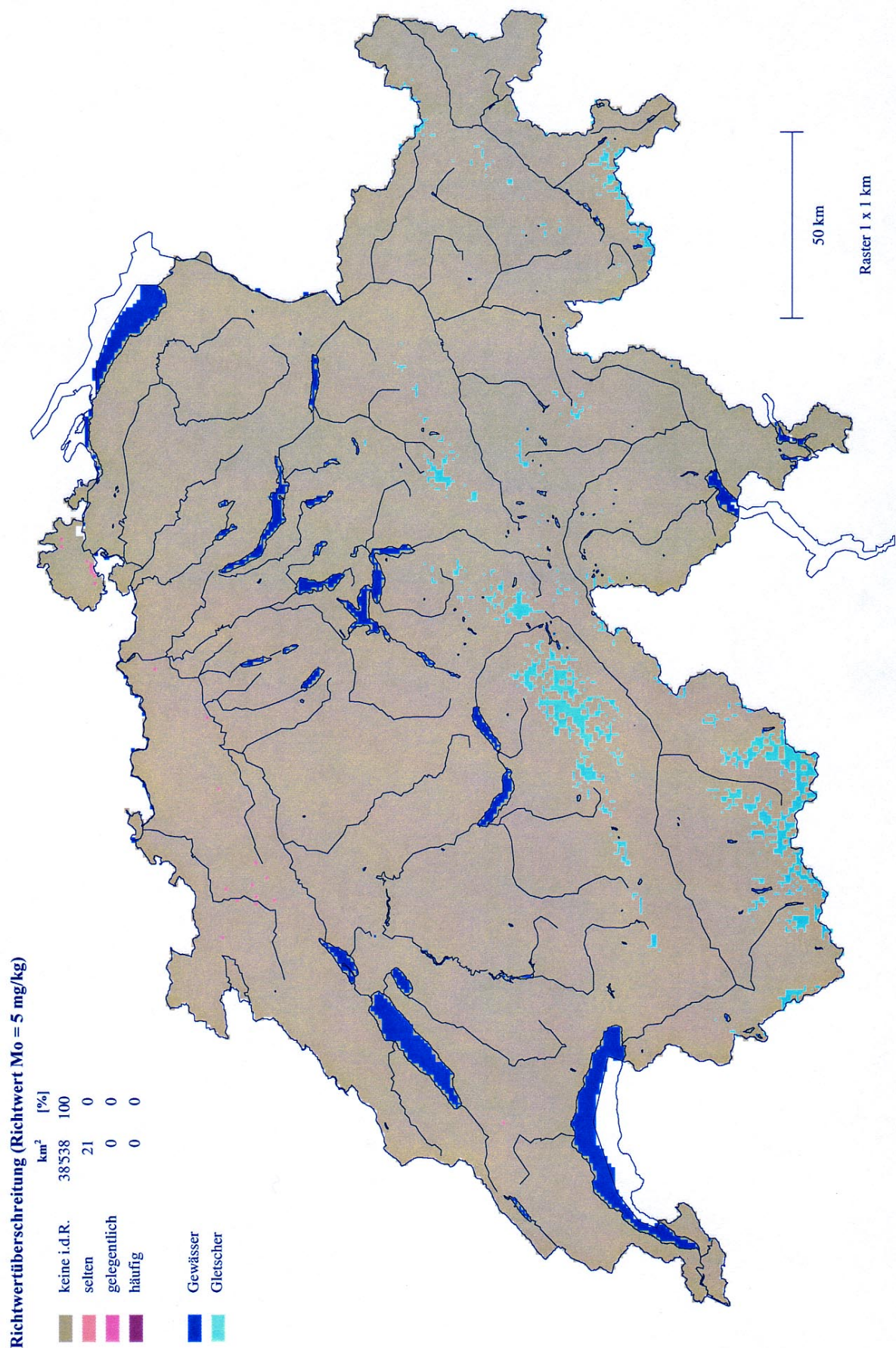


Figur 17: Karte der geogenen Chrom-Grundgehalte



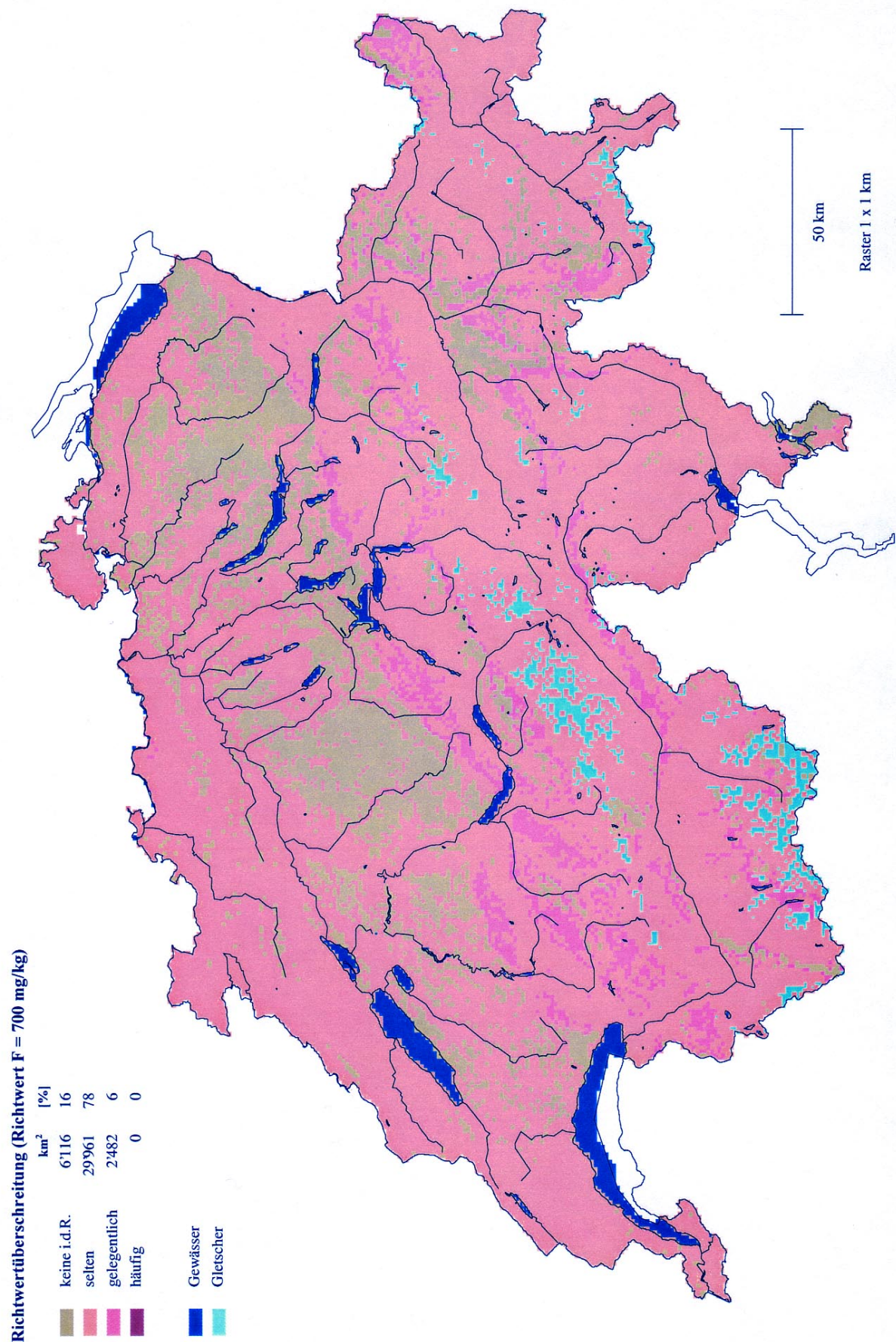
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 18: Karte der geogenen Molybdän-Grundgehalte



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

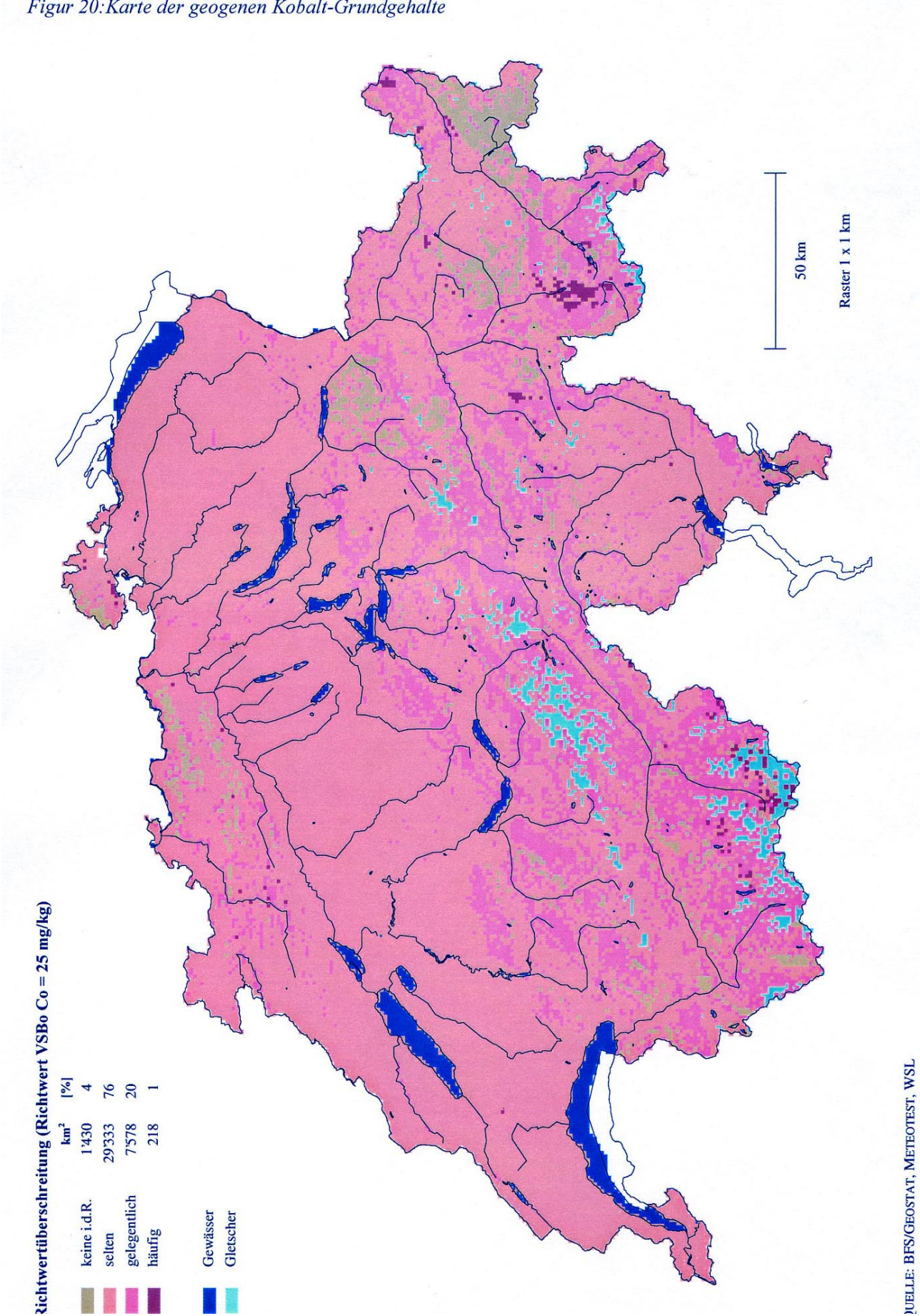
Figur 19: Karte der geogenen Fluor-Grundgehalte



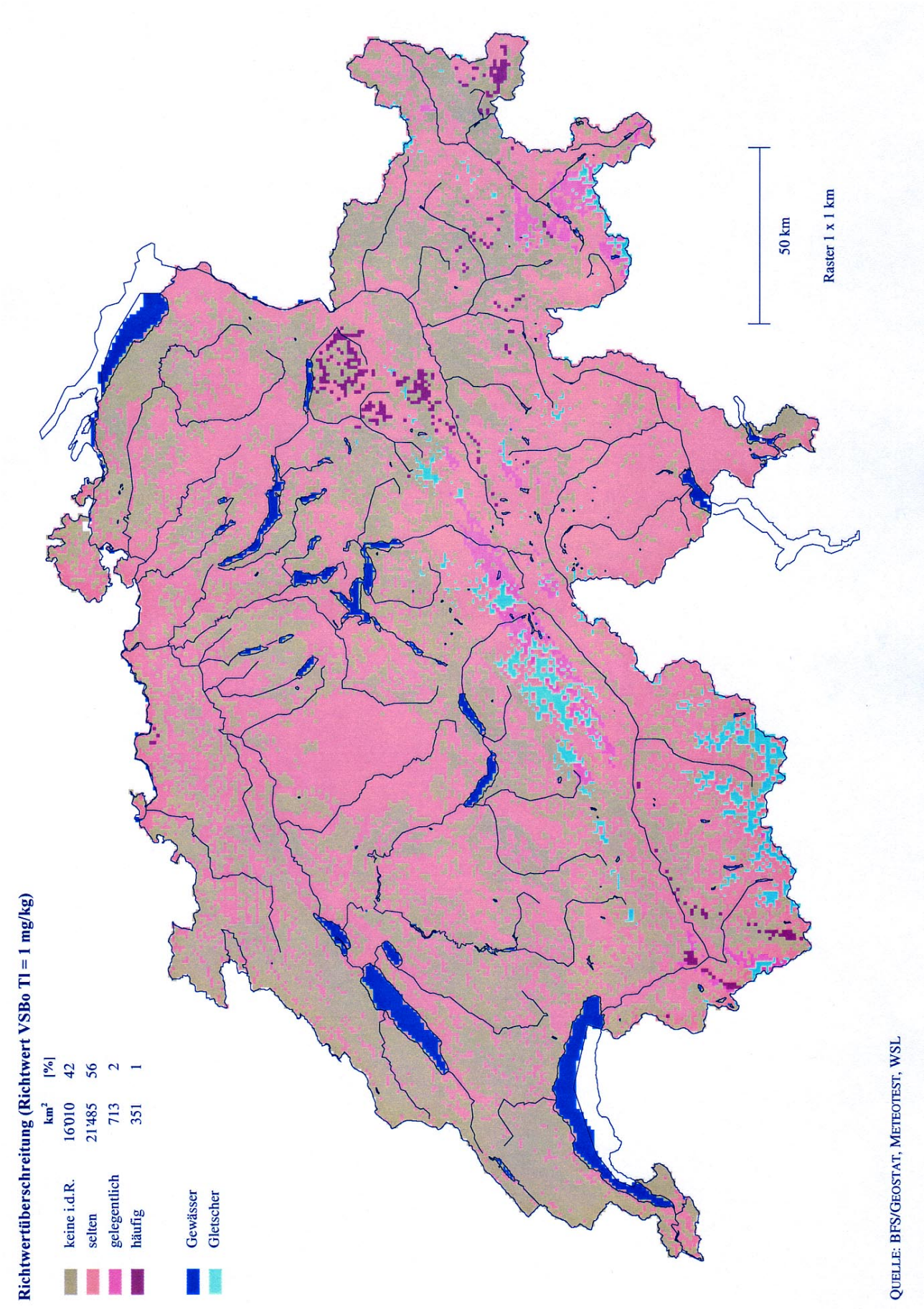
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 20: Karte der geogenen Kobalt-Grundgehalte

Figur 20:Karte der geogenen Kobalt-Grundgehalte



Figur 21: Karte der geogenen Thallium-Grundgehalte



3.4 Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 9 sind die Anteile der geogenen Grundgehalt-Klassen der kartierten Fläche von 38'559 km² für jedes der 11 Elemente aufgeführt. Dabei nehmen die richtwertbezogenen Grundgehalte in der Reihenfolge Hg < Mo < Zn < Pb < Cd < Tl < Cu < F < Co < Ni < Cr zu. Auch hier können die Elemente grob in drei Gruppen unterteilt werden:

- (1) Minimale richtwertbezogene Grundgehalte bei Hg, Mo, Zn, Pb und Cd,
- (2) geringe Grundgehalte bei Tl, Cu, F und
- (3) relativ hohe Grundgehalte bei Co, Ni und Cr.

Tabelle 9: *Flächenanteile geogener Grundgehalte bezogen auf Richtwertüberschreitungen anorganischer Schadstoffgehalte gemäss VBBo (1998 und VSBo (1986) bei Co und Tl (Kartierte Fläche 38'559 km² = 100 %)*

Element	häufig		Gelegentlich		selten		keine i.d.R.	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Blei (Pb)					9'132	24	29'427	76
Cadmium (Cd)					9'417	24	29'142	76
Zink (Zn)	21	0			4'191	11	34'347	89
Quecksilber (Hg)							38'559	100
Kupfer (Cu)			1'052	3	23'080	60	14'427	37
Nickel (Ni)	21	0	15'333	40	21'581	56	1'624	4
Chrom (Cr)	11'420	30	16'152	42	9'413	24	1'574	4
Molybdän (Mo)					21	0	38'538	100
Fluor (F)			2'482	6	29'961	78	6'116	16
Kobalt (Co)	218	1	7'578	20	29'333	76	1'430	4
Thallium (Tl)	351	1	713	2	21'485	56	16'010	42

Aufgrund ihrer geografischen Verteilung lassen sich die Elemente in fünf Gruppen einteilen: (1) Mo und Hg bei welchen - wegen der geringen geogenen Grundgehalte - keine regionalen Unterschiede feststellbar sind. (2) Cd, Zn und Pb mit geringen Gehalten im Mittelland und Tessin und leicht höheren Gehalten im Jura und den Alpen. (3) F und Co mit den geringsten Gehalten im Mittelland, leicht höheren Gehalten im Jura und Tessin und den höchsten Gehalten im Wallis, Graubünden und in den übrigen Alpen. (4) Cu und Tl weisen die geringsten Gehalte im Jura, Mittelland und in den Alpen auf, mittlere Gehalte im Tessin und die höchsten im Wallis, Graubünden und im Pizolgebiet. (5) Ni und Cr welche die geringsten Gehalte im Jura aufweisen, gefolgt vom Tessin und den höchsten Gehalten im Mittelland, Wallis, Graubünden und in den übrigen Alpen.

Besonders deutlich ist der regionale Zusammenhang zwischen erhöhten Schwermetall-Konzentrationen und Festgestein bei Cd und Kalkgestein (Figur 12) sowie Co und ultrabasische Grüngesteine z.B. Serpentine (Figur 20) zu sehen. Leider ist der Auflösungsgrad teilweise ungenügend, und die in Tabelle 8 den Kalkgesteinen (GT 19 und 21) für Cd zugeordnete Klasse 2 (seltene Richtwertüberschreitungen) vermag nicht, die im Neuenburger und Basler Jura regional erheblich überschrittenen Cd-Richtwerte abzubilden (Atteia & Dubois 1994 und Wenk et al. 1997). Ebenso ist der Auflösungsgrad der Karten ungenügend, um bei den Lockersedimenten (Alluvionen und Moränen) im Mittelland den Einfluss von Gletscher- und Flusseinzugsgebieten aufzuzeigen. Vogel et al. (1989) wiesen auf erhöhte Chrom- und Nickelgehalte in Böden der eiszeitlichen Gebiete von Rhone- und Rheingletscher gegenüber Aare- und Reussgletscher hin. Derselbe Befund wird von Célarin et al. (1989 und 1990) für die Gegend von Genf auch zur Abgrenzung von eiszeitlichem Rhone- und Arvegletscher dokumentiert.

Die Aussagekraft der Karten trifft in Anbetracht der getroffenen Annahmen nur für die dominierenden Gesteinstypen (Lithofazies) einer geotechnischen Einheit zu. Wie bereits Tuchschrnid (1995) erwähnte, ist in der Schweiz aufgrund der sehr unterschiedlichen Schwermetall- und Fluorgehalte der verschiedenen bodenbildenden Gesteine, sowie der komplexen und kleinräumigen geologischen Verhältnissen mit starken lithologischen Kontrasten auf engstem Raum und somit mit erheblichen regionalen und lokalen Variabilitäten der geogenen Gehalte zu rechnen.

Die Schadstoffgehalte in Gesteinen lassen sich aus folgenden Gründen nicht direkt mit den Gehalten in Böden vergleichen:

- Bei den Schwermetallanalysen der Gesteinsproben handelt es sich um echte Totalgehalte mit HF/HNO₃-Mikrowellen-Druckaufschluss, bei den Bodenproben dagegen nur um „Pseudototalgehalte“ mit 2M HNO₃-Aufschluss nach VBBo (1998). Vergleichswerte einiger ausgewählter Schwermetallgehalte in Locker- und Festgesteinen sind in Tuchschrnid (1995) zu finden.
- In grobkörnigen Mischgesteinen wie Moränen und Schotter ist eine repräsentative Probenherstellung praktisch unmöglich. Aus diesem Grund fehlen in diesen Gesteinstypen (LF 28-34) auch Messwerte. Sie müssen aus den Konzentrationen der Hauptkomponenten geschätzt werden.
- Gesteine enthalten im Gegensatz zu Oberböden keinen Humus. Dieser unterscheidet sich in seinem Chemismus wesentlich von den Gesteinsmineralen. Bei mineralischen Böden ist der Humusanteil gering, bei organischen Böden liegt er aber bis gegen 100 Gewichtsprozent.
- Durch (selektive) Gesteinsverwitterung (z.B. Karbonatlösung) und pedogene Verlagerungsprozesse (z.B. Ton- oder Eisen- und Humusverlagerung) können die Gehalte anorganischer Schadstoffe in den verschiedenen Bodenhorizonten gegenüber dem Ausgangsgestein mehr oder weniger stark verändert sein. Gesteine werden bei der Probenaufbereitung als Ganzes zerkleinert, während bei Bodenproben selektiv die Feinerde abgesiebt wird. Deshalb können sich Gesteins- und Bodenproben geochemisch unterscheiden.
- Die Böden weisen teilweise nur einen losen geochemischen Zusammenhang mit den in der Geotechnischen Karte oder anderen geologischen Karten ausgewiesenen Gesteinseinheiten auf. Die mehr oder weniger durch Windeinwehungen (Löss) beeinflussten Deckschichten und die wenig mächtigen Moräneauflagen, welche grossteils das Ausgangsgestein der Böden bilden, sind oft nicht kartiert (abgedeckte Karten).
- Schliesslich sind Proben aus Oberböden im Gegensatz zu Gesteinsproben mehr oder weniger stark anthropogen belastet.

Es gibt aber auch Gründe, die für einen recht guten Zusammenhang zwischen geogenen Grundgehalten und entsprechenden Schadstoffgehalten im Boden sprechen:

- Die meisten Böden in der Schweiz sind noch verhältnismässig jung (nacheiszeitlich) und in unserem gemässigten Klima kaum verwittert. Sie haben deshalb noch einen sehr engen geochemischen Bezug zum Ausgangsgestein.
- Der geogene bzw. natürliche Anteil der anorganischen Schadstoffgehalte überwiegt den anthropogenen Belastungsanteil - ausser bei extremen Bodenverunreinigungen - bei weitem.

Die Übersichtskarten der geogenen Grundgehalten geben grossräumig die Häufigkeit an, mit der natürlich bedingte Überschreitungen der Richtwerte für Totalgehalte wahrscheinlich sind. Erhöhte geogene Grundgehalten sagen allein noch wenig über die Bodenempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen aus, weil die Bindungsstärke der Böden nicht berücksichtigt wird.

4 KARTIERUNG DER BASEMPEMPFINDLICHKEIT GEGENÜBER ANORGANISCHEN SCHADSTOFFEINTRÄGEN

Weil derzeit noch keine landesweite Kartierung der tatsächlichen Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz verfügbar ist, muss in erster Näherung vorläufig auf die Basisempfindlichkeit zurück gegriffen werden. Die elementspezifische Verknüpfung der relativen Bindungsstärken mit den geogenen Grundgehalten wird in diesem Bericht Basisempfindlichkeit genannt. Sie bezieht sich auf die regional vorherrschenden bindungsrelevanten Bodeneigenschaften (pH-Wert, Humus- und Tongehalt) und die angenähert natürlichen Schadstoffgehalte (geogenen Grundgehalte) unter Ausschluss der anthropogenen Zusatzbelastung d.h. der eigentlichen Bodenverunreinigung. Die effektive Bodenempfindlichkeit dagegen, beruht auf den im Boden tatsächlich gemessenen Schadstoffgehalten, welche sich aus natürlichen Grundgehalten und der anthropogenen Zusatzbelastung zusammensetzen sowie auf der Empfindlichkeit sensibler Rezeptoren (z.B. Bodenfauna, Vegetation). Wie oben erwähnt, fehlen dazu aber noch eine landesweite Kartierung der effektiven Schadstoffgehalte und die rezeptorenspezifische Festlegung kritischer Grenzkonzentrationen (Critical Limits). Generell wird eine hohe Bodenempfindlichkeiten dort erwartet, wo geringe Bindungsstärken mit hohen Schadstoffgehalten und tiefe Critical Limits aufeinandertreffen.

4.1 Grundlagen und Methode

Durch die Überlagerung der Karten der Bindungsstärken (Kap. 2) und der geogenen Grundgehalte (Kap. 3) kann die Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen kartiert werden. Aus den fünf Klassen der relativen Bindungsstärke (0 und 1 wurden zusammengefasst; vgl. Kap. 2.3) und den vier Klassen der geogenen Grundgehalte ergeben sich 20 mögliche Kombinationen, welche gemäss der Matrix in Tabelle 10 zu vier Bodenempfindlichkeitsstufen zusammengefasst wurden. Dabei wurden die beiden Faktoren gleich stark gewichtet, weil kein validiertes Gewichtungsverfahren zur Verfügung stand. Mit 1 wird die geringste und mit 4 die höchste Empfindlichkeitsstufe bezeichnet.

Tabelle 10: Klassierung der Basisempfindlichkeitsstufen aufgrund der Bindungsstärken und der geogenen Grundgehalte

Bindungs- stärke	Geogene Grundgehalte			
	1	2	3	4
5	1	1	2	2
4	1	2	2	3
3	2	2	3	3
2	2	3	3	4
1	3	3	4	4

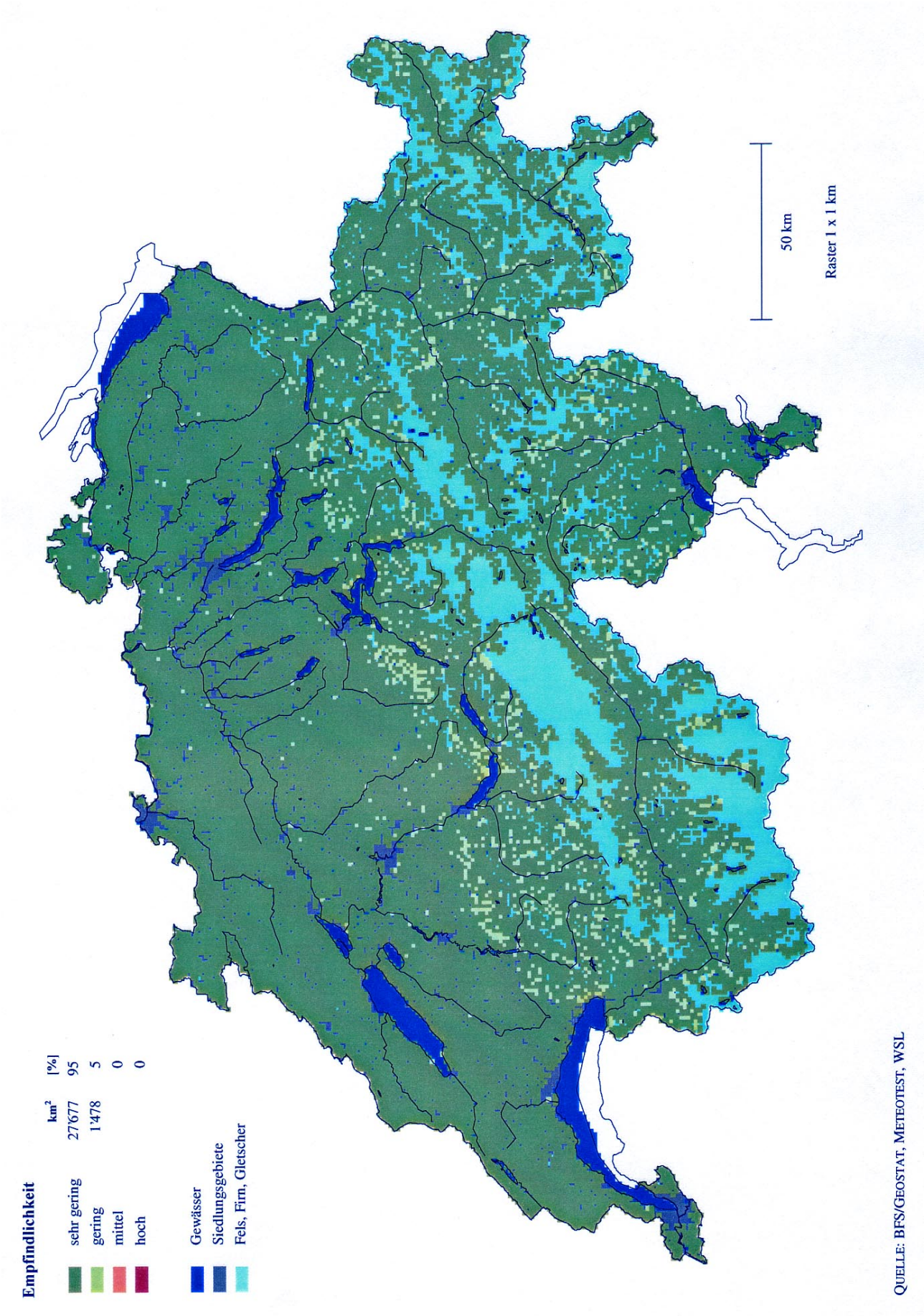
Bodenempfindlichkeit: 1 = sehr gering 2 = gering 3 = mittel 4 = hoch
Richtwertüberschreitungen: 1 = keine i.d.R. 2 = selten 3 = gelegentlich 4 = häufig
Bindungsstärke: 1 = sehr gering 2 = gering 3 = mittel 4 = stark 5 = sehr stark

Da sowohl die Karten der Bindungsstärken als auch jene der geogenen Grundgehalte in derselben km-Rasterauflösung vorliegen (vgl. Kap. 2.1 und 3.1), können die entsprechenden Karten ohne weitere Anpassungen direkt überlagert werden und daraus mit Hilfe der Matrix-Tabelle 10 die Bodenempfindlichkeitskarten abgeleitet werden. Als kleinster gemeinsamer Nenner decken sich das Spektrum der neun Elemente Pb, Cd, Cr, Co, F, Cu, Ni, Hg, Zn und die Fläche von 29'155 km². Die Kartierung der Bindungsstärke umfasst eine Fläche von 29'212 km², jene der geogenen Grundgehalte eine Fläche von 38'559 km². Letztere berücksichtigt zusätzlich die Elemente Mo und Tl.

4.2 Übersichtskarten der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen

Um die Übersichtskarten der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen zu erstellen, wurden die Angaben aus Tabelle 10, die Karten der Bindungsstärke (Kap. 2) und der geogenen Grundgehalte (Kap. 3), die modifizierte Arealstatistik 1979/85 (Meteotest 2000) und das Programm ArcView® verwendet. Jedem der 29'155 km² wird dabei die für das entsprechende Element gültige Bodenempfindlichkeitsstufe zugewiesen. Mit den erwähnten Hilfsmitteln können die entsprechenden Karten von Interessierten bis zu einem maximalen Massstab von 1:200'00 selber hergestellt werden. Kartiert und in den Figuren 22 bis 30 dargestellt wurde die Basisempfindlichkeit gegenüber den neun Elementen Pb, Cd, Cr, Co, F, Cu, Ni, Hg und Zn.

Figur 22: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Blei-Einträgen



Figur 23: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Cadmium-Einträgen



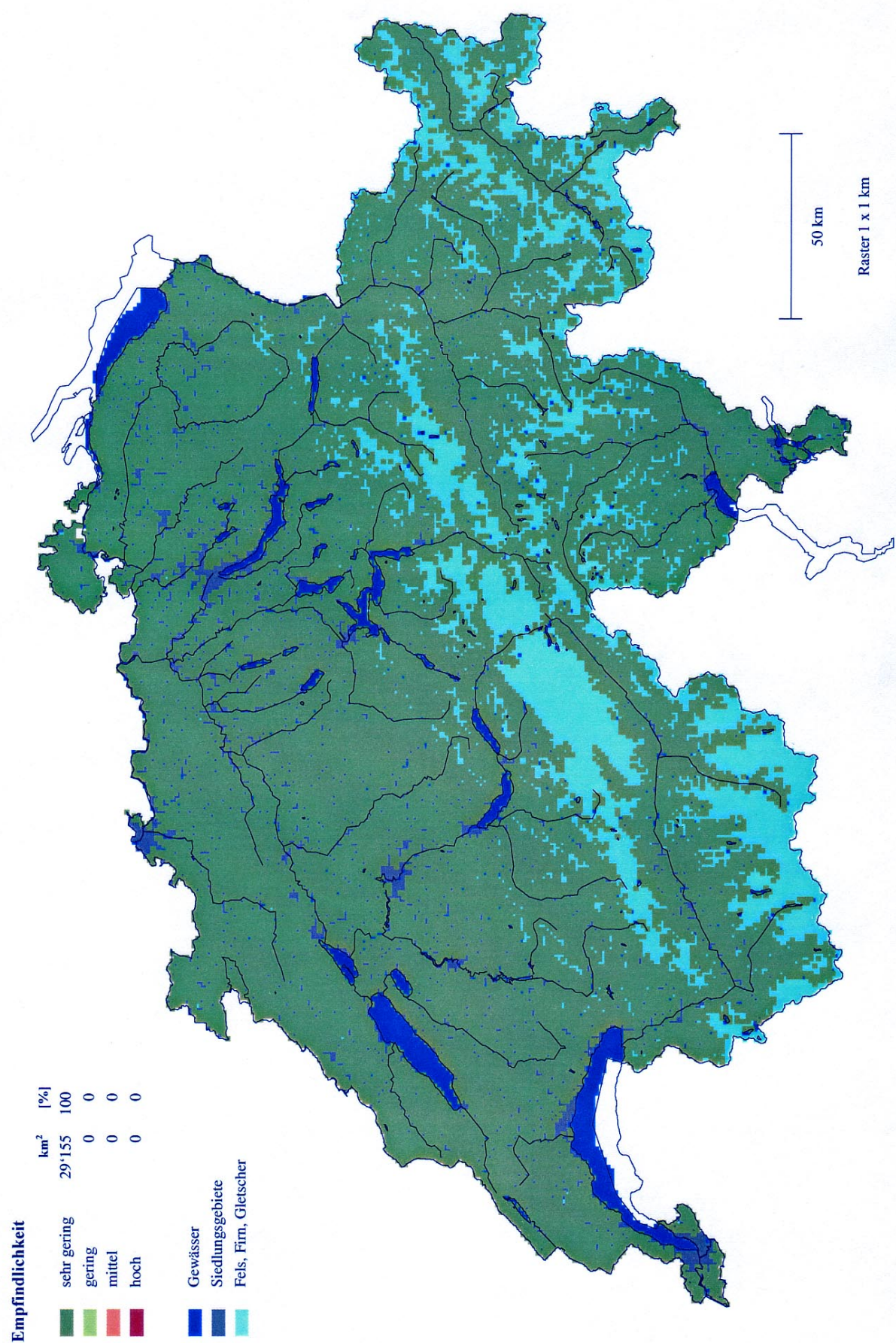
QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 24: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Zink-Einträgen



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 25: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Quecksilber-Einträgen



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 26: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Kupfer-Einträgen



Figur 27: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Nickel-Einträgen



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 28: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Chrom-Einträgen



Figur 29: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Fluor-Einträgen



QUELLE: BFS/GEOSTAT, METEOTEST, WSL

Figur 30: Karte der Basisempfindlichkeit der Oberböden gegenüber Kobalt-Einträgen



4.3 Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 11 sind die Anteile der Bodenempfindlichkeitsstufen sowohl flächenmässig, als auch prozentual zur kartierten Fläche von 29'155 km² für jedes Element aufgeführt. Dabei nimmt die Basisempfindlichkeit in der Reihenfolge Hg < Pb < Cu < Zn < Cd < F < Co < Cr < Ni zu. Die Elemente können grob in drei Gruppen unterteilt werden:

- (1) Sehr geringe Bodenempfindlichkeit gegenüber Hg und Pb,
- (2) geringe Empfindlichkeit gegenüber Cu, Zn, Cd und
- (3) relativ hohe Bodenempfindlichkeit gegenüber F, Co, Cr und Ni.

Wie Tabelle 11 zeigt, weisen nur sehr kleine Flächen eine hohe Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen auf. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die relativ mobilen Elemente Cd und Zn mit entsprechend geringen Bindungsstärken grossräumig keine hohen geogenen Grundbelastungen aufweisen und andererseits Co, Ni und Cr mit verbreitet hohen Grundgehalten vergleichsweise bindungsstark sind. Dieser Befund bedeutet, dass die Basisempfindlichkeit gegenüber den vorwiegend luftbürtig und deshalb weiträumig eingetragenen Schwermetallen Pb, Cd, Zn, Hg relativ gering ist. Weil aber die UN/ECE-Konvention über grenzüberschreitende Luftverschmutzung durch Schwermetalle prioritär gerade auf diese Elemente abzielt (Gregor et al. 1998, 1999), wird es künftig darum gehen, die Beurteilung der Bodenempfindlichkeit auf die effektiven Schadstoffgehalte und ihre Wirkung auf sensitive Rezeptoren zu beziehen. Dasselbe gilt für Schadstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Hilfsstoffen wie Pflanzenschutzmittel, Mineral-, Hof- und Abfalldünger.

Tabelle 11: Flächenanteile der Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffen (Kartierte Fläche 29'155 km² = 100 %)

Element	hoch km ² %		mittel km ² %		gering km ² %		sehr gering km ² %	
Blei (Pb)					1'478	5	27'677	95
Cadmium (Cd)			1'052	4	18'762	64	9'341	32
Zink (Zn)			138	0	14'558	50	14'459	50
Quecksilber (Hg)							29'155	100
Kupfer (Cu)			48	0	12'055	41	17'052	58
Nickel (Ni)	13	0	5'261	18	21'908	75	1'973	7
Chrom (Cr)			4'684	16	18'528	64	5'943	20
Fluor (F)			1'667	6	23'370	80	4'118	14
Kobalt (Co)	4	0	3'774	13	22'779	78	2'598	9

Die geografische Verbreitung der Basisempfindlichkeit nimmt tendenziell von Norden gegen Süden zu. Die geringste Bodenempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen findet sich im Jura, gefolgt vom Mittelland, den Alpen sowie der Alpensüdseite mit der höchsten Empfindlichkeit. Die Ausnahme bildet auch hier Fluor, wo die geringste Bodenempfindlichkeit auf der Alpensüdseite liegt. Bei F ist die erhöhte Empfindlichkeit stark an die Verbreitung feinkörniger, karbonathaltiger Alluvionen, Löss- und voralpine Flyschvorkommen gebunden. Auffällig ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Zone erhöhter Bodenempfindlichkeit gegenüber Einträgen von Zn, Cd, Co, Cr und Ni im höheren Mittelland zwischen Aarau und Emmental, wie sie auch bei der Bindungsstärke auftritt (Kap. 2.4). Sie wird ebenfalls der alters- (vor der letzten Eiszeit) und nutzungsbedingten (Nadelwald) stärkeren Bodenversauerung zugeschrieben.

Aufgrund der ungewichteten Matrixzusammenfassung (Tabelle 10) der bereits stark generalisierten Übersichtskarten der Bindungsstärken und geogenen Grundgehalte, handelt es sich bei der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen zwangsläufig um die grösste Kartierung mit dem geringsten Auflösungsgrad und den grössten Unsicherheiten. Abschliessend soll noch einmal daran erinnert werden, dass die Basisempfindlichkeit die potentielle Empfindlichkeit naturnaher d.h. unverschmutzten Böden gegenüber Schadstoffeinträgen darstellt. Demgegenüber würde die effektive Bodenempfindlichkeit die Verhältnisse unter der tatsächlichen Schadstoffbelastung charakterisieren. Dazu wäre aber als Grundlage eine flächendeckende Kartierung der effektiven Schadstoffgehalte im Boden notwendig sowie ein Bezug zu den Critical Limits für empfindliche Rezeptoren.

5 FOLGERUNGEN UND AUSBLICK

5.1 Folgerungen

Mit der Kartierung der Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen aufgrund der relativen Bindungsstärken und geogenen Grundgehalte liegen in erster Näherung erstmals landesweit flächendeckende Kartengrundlagen für den chemischen Bodenschutz in der Schweiz vor. Die Karten erlauben die Identifikation kritischer Regionen, deren Flächenanteile in Tabelle 12 elementspezifisch zusammengefasst sind.

Tabelle 12: *Elementspezifische Zusammenfassung kritischer Flächenanteile in % von Böden in der Schweiz bezogen auf die relative Bindungsstärke, geogene Grundgehalte und Basisempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen*

Element	Bindungsstärke (Tabelle 6) sehr gering - mittel	Grundgehalte (Tabelle 9) Richtwertüberschreitungen ¹⁾ häufig - gelegentlich	Bodenempfindlichkeit (Tabelle 11) hoch - mittel
Blei (Pb)	0	0	0
Cadmium (Cd)	54	0	4
Zink (Zn)	44	0	0
Quecksilber (Hg)	0	0	0
Kupfer (Cu)	10	3	0
Nickel (Ni)	38	40	18
Chrom (Cr)	7	72	16
Molybdän (Mo)	nd	0	nd
Fluor (F)	48	6	6
Kobalt (Co)	38	20	13
Thallium (Tl)	nd	3	nd
Kartierte Fläche:	29'212 km ² = 100 %	38'559 km ² = 100 %	29'155 km ² = 100 %

¹⁾ gemäss VBBo (1998) und VSBo (1986) bei Co und Tl

nd = keine Daten

Die Ergebnisse zeigen vergleichsweise hohe kritische Flächenanteile aufgrund der Bindungsstärken gegenüber Cd, Zn, F, Ni und Co, die aufgrund der geogenen Grundgehalte mit Ausnahme von Ni und Cr stark abnehmen und in ihrer Verknüpfung als Basisempfindlichkeit am geringsten sind (maximale Anteile zwischen 13 % und 18 % bei Ni, Cr und Co). Daraus den Schluss zu ziehen, die Bodenempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen in der Schweiz sei allgemein gering, ist falsch und verkennt den Bezug der Basisempfindlichkeit auf geogene - also naturnahe Schadstoffgehalte - sowie den abnehmenden Auflösungsgrad der Kartierungen aufgrund der Datenverfügbarkeit in der Reihenfolge Bindungsstärke > geogene Grundgehalte > Bodenempfindlichkeit. Im Hinblick auf die eingangs aufgeführten Ziele (Kap. 1.1) können für die vier Kartiergrundlagen nachstehende Folgerungen gezogen werden:

1. Die Erweiterung der Legende zur Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (BRP et al. 1980) mit den Bodenkenngrössen pH-Wert, Humus- und Tongehalt, welche eine vorwiegend für den chemischen Bodenschutz relevante, landesweit flächendeckende Extrapolationsgrundlage liefert, beruht auf effektiven Messwerten von Oberböden (0-20 cm) in annähernd ausreichender Anzahl. Aufgrund der vorgegebenen Kartiereinheiten ist aber der Auflösungsgrad - besonders der pH-Werte als wichtigste Einflussgrösse für Schadstoffverlagerungen im Boden - teilweise noch unbefriedigend. Eine eigentliche pH-Karte, wie sie landesweit bereits für Oberböden des Waldes besteht (WSL 1988: Beilage 3), könnte weiter helfen. Dazu müssten jedoch für die unbewaldeten Bodenflächen ergänzende pH-Werte erhoben werden. Allerdings wäre eine solche pH-Karte dann nicht mehr mit den Bodenkenngrössen Humus- und Tongehalt verknüpft, weil diese auf den Kartiereinheiten der Bodeneignungskarte basieren.

2. Die elementspezifische Kartierung der relativen Bindungsstärken im Boden zeigt klar die Verbreitung der bedeutenden bindungsschwachen Flächenanteile der relativ mobilen Elemente Cd, Zn und Ni, aber auch von F und Co (Tabelle 12). Weil die Kartierung keine absoluten Bindungsstärken angibt und die Schadstoffgehalte im Boden nicht berücksichtigt, kann sie nur eine Grundlage für eine erste Näherung der regionalen Gefährdungsabschätzung von Schadstoffverlagerungen sein.
3. Die Übersichtskartierung der geogenen Grundgehalte von Schadstoffen gibt grobe regionale Hinweise über die Wahrscheinlichkeit der Häufigkeit von natürlichen bzw. gesteinsbedingten Richtwertüberschreitungen der Totalgehalte gemäss VBBo (1998). Die grosse regionale Verbreitung der richtwertbezogen hohen Gehalte von Cr, Ni und Co zeichnet sich deutlich ab. Aufgrund der geringen Datenlage - gemessen an den komplexen und kleinräumigen geologischen Verhältnissen - ist der Generalisierungsgrad jedoch zu hoch, um ein räumlich differenziertes Bild zu geben. Überdies genügen die (geogenen) Grundgehalte für eine realitätsnahe Gefährdungsabschätzung oft nicht und müssten durch effektive Schadstoffgehalte im Boden ersetzt werden.
4. Die Kartierung der Basisempfindlichkeit in Oberböden gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen, gibt nur einen sehr groben räumlichen Überblick. Weil die Kombination bindungsschwacher Elemente mit relativ hohen geogenen Grundgehalten kaum vorkommt, sind auch die kritischen Flächenanteile sehr gering und beschränken sich im wesentlichen auf Ni, Cr und Co (Tabelle 12). Die Kartierung der für die Praxis relevantere effektiven Bodenempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen kann nur auf der flächendeckenden Grundlage effektiver Schadstoffgehalte und der Kenntnis von kritischen Grenzkonzentrationen (Critical Limits) für sensitive Rezeptoren erarbeitet werden.

Insgesamt zeigt sich, dass die Bedeutung der vier Kartiergrundlagen für den praktischen Bodenschutz in der aufgeführten Reihenfolge abnimmt. Stets wird der Bedarf der landesweit flächenhaften Kartierung von effektiven Schadstoffgehalten im Boden ausgewiesen. Das erklärte Vorhaben, nur bereits vorliegendes Datenmaterial zu verwenden, stösst an die Grenzen von Auflösungsgrad und Aussagekraft. Diese können nur durch weitergehende ergänzende und zusätzliche Erhebungen überschritten werden.

5.2 Ausblick

Aus dem Rahmenkonzept (Kap. 1.2) gehen die weiteren notwendigen Arbeitsschritte hervor:

Für die grossräumige Kartierung von Schadstoffgehalten im Boden (Ebene 4) existieren neuerdings methodische Grundlagen (Tiktak 1999 und Utermann & Düwel 2000). Dazu müssten die in Keller & Desaulles (2001) nach Häufigkeit ausgewerteten Daten von den Eigentümern für Kartierzwecke freigegeben und regional gezielt ergänzt werden.

Die Kartierung von tolerierbaren Schadstoffeinträgen (Critical Loads) in den Boden (Ebene 4) ist dagegen noch kontrovers, weil wissenschaftlich fundierte, wirkungsorientierte kritische Grenzkonzentrationen (Critical Limits) bedeutend schwieriger zu definieren sind als Vorsorgewerte. Ein sinnvoller Ausweg könnte eine quantitative Regionalisierung der Schadstoffverlagerungen mit Bezug auf Vorsorgewerte sein, wie sie methodisch Gäth & Schug (2000) entnommen werden kann. Voraussetzung sind zuverlässige Pedotransferfunktionen für Schadstoffkonzentrationen der Bodenlösung, welche aus den Totalgehalten und den die Löslichkeit bestimmenden Bodenkenngrössen pH-Wert, Humus- und Tongehalt regressionsanalytisch berechnet werden. Mit der Erweiterung der Legende zur Bodeneignungskarte 1:200'000 durch die drei genannten Bodenkenngrössen (Tabelle 5) wurde in diesem Bericht dazu bereits eine wertvolle räumliche Extrapolationsgrundlage geschaffen.

6 LITERATUR

- Atteia, O. & Dubois, J.-P., 1994: *Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura*. Environmental Pollution 86: 315-327.
- Benitez Vasquez, N., 1999: *Cadmium speciation and phyto-availability in soils of the Swiss Jura: Hypothesis about its dynamics*. Thèse no 2066, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Switzerland.
- BFS/Geostat, 1999a: *Digitale Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000*. Bundesamt für Statistik, Neuenburg.
- BFS/Geostat, 1999b: *Digitale Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000*. Bundesamt für Statistik, Neuenburg.
- Bouma, J., 1996: *Soil protection in relation to soil vulnerability*. In: de Haan, F.A.M. & Visser-Reyneveld, M.I. (eds.): *Soil Pollution and Soil Protection*. International Training Centre (PHLO), Wageningen Agricultural University, Wageningen NL: 229-238.
- BRP/BLW/BFW, 1980: *Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000. Grundlagen für die Raumplanung*. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale EDMZ (Hrsg.), Bern.
- Célarin, F., Chatenoux, L. & d'Ersu, Ph., 1989: *Métaux lourds dans les sols du bassin genevois: Etat de la question*. Archs. Sci. Genève, 42: 493-498.
- Célarin, F., Chatenoux, 1990: *Répartition en profondeur des métaux lourds dans les sols genevois*. Archs. Sci. Genève, 43: 265-272.
- Desaules, A. & Dahinden, R., 1996: *Schadstoffgehalte von Böden in der Schweiz – Schlüssel zur Identifikation geogener Richtwertüberschreitungen*. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern.
- Desaules, A. & Dahinden, R., 1997: *Zur chemischen Belastung von Böden - Eine synoptische Darstellung der Schadstoffgehalte und Bindungsstärken der Böden des NABO*. Umwelt-Materialien Nr. 77. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern.
- DVWK, 1988: *Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen – Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 212. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg.), Bonn. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Gäth, S. & Schug, B., 2000: *Regionalisierung der Filter- und Verlagerungseigenschaften von Böden gegenüber Schwermetallen am Beispiel des Cadmiums*. Bodenschutz 1/2000: 6-10.
- Gregor H.-D. et al. (eds.), 1998: *Workshop on critical limits and effect based approaches for heavy metals and persistent organic pollutants*. Bad Harzburg, 3. – 7. November 1997. Umweltbundesamt, Berlin.
- Gregor H.-D. et al. (eds.), 1999: *Workshop on effects - based approaches for heavy metals*. Schwerin, 12. – 15. Oktober 1999. Umweltbundesamt, Berlin.
- Hornburg, V. & Brümmer, G.W., 1993: *Verhalten von Schwermetallen in Böden: 1. Untersuchung zur Schwermetallmobilität*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156: 467-477.
- Keller, Th. & Desaules, A., 2001: *Böden der Schweiz – Schadstoffgehalte und Orientierungswerte (1990-1996)*. Umwelt-Materialien Nr. 139. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 CH-Bern.
- Meteotest, 2000: *Modifizierte Arealstatistik der Schweiz 1979/85*. Meteotest, Bern.
- SGTK 1963-67: *Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000, 4 Blätter mit Erläuterungen* (2. Auflage). Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- Tiktak, A., 1999: *Modeling non-point source pollutants in soils - Applications to the leaching and accumulations of pesticides and cadmium*. Ph.D. Thesis. University of Amsterdam, The Netherlands.

- Tuchschnid M. P., 1995: *Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz*. Umwelt-Materialien Nr. 32. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern.
- Utermann, J. & Düwel, O., 2000: *Zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundwerten für Schwermetalle im länderübergreifenden Massstab*. Bodenschutz 3/2000: 82-86.
- Veldkamp, H. & van de Velde, R., 1995: *Mapping Land Use and Land Cover for Environmental Monitoring on a European Scale*. In: Posch, M., de Smet, P.A.M., Hettelingh, J.-P., Downing, R.J. (eds) *Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe*. Status Report 1995, Coordination Center for Effects (RIVM) Bilthoven, The Netherlands. P. 51-60.
- VBBö 1998: *Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens*. SR 814.12.
- Vogel, H., Desaulles, A. & Häni, H., 1989: *Schwermetallgehalte in den Böden der Schweiz*. Nationales Forschungsprogramm "Boden", Bericht 40. Liebefeld-Bern.
- VSBBö 1986: *Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden*. SR 814.12. (aufgehoben, durch VBBö 1998 ersetzt)
- Wenk, P., Bono, R., Dubois, J.-P. & Genolet, F., 1997: *Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft*. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 88: 570-592.
- WSL 1988: *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986*. Bericht Nr. 305. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 8903 Birmensdorf.
- WSL 1999: *Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Datenbankauszug der Erhebung 1983-85 vom 1. November 1999*. (Ulrich Ulmer). Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

7 ANHANG

Tabelle A-1: Zusammenstellung der Nutzung für die Auswertung der Bindungsstärke

Nutzungsklasse aus NABO-Datenbank		Nutzungsklasse für Bindungsstärke-Auswertung	
Kürzel	Text	Text	Kürzel
A	Ackerbau	Ackerbau	AB
AKO	Ackerbau offen	Ackerbau	AB
AKW	Kunstwiese / Ackerbau	Ackerbau	AB
B	Siedlungsstandorte (Hausvorgarten, unbebaute Parzelle im Siedlungsgebiet u.a.)	Andere oder keine Nutzung	XX
D	Dauergrünland	Dauergrünland	DG
DWA	Alpweide	Dauergrünland	DG
DWE	Dauerweide	Dauergrünland	DG
DWI	Dauerwiese / Naturwiese	Dauergrünland	DG
G	Gartenbau	Andere oder keine Nutzung	XX
GH	Hausgarten	Andere oder keine Nutzung	XX
GK	Kleingarten (Schrebergarten)	Andere oder keine Nutzung	XX
I	Intensivkulturen (Obst-, Gemüse- und Rebbau)	Andere oder keine Nutzung	XX
IGF	Frischgemüsebau	Andere oder keine Nutzung	XX
IGK	Konservengemüsebau	Andere oder keine Nutzung	XX
IGT	Treibhausgemüsebau	Andere oder keine Nutzung	XX
IOG	Baumgarten / Obstgarten	Andere oder keine Nutzung	XX
IOI	Intensiv-Obstanlage	Andere oder keine Nutzung	XX
IRE	Rebbau	Andere oder keine Nutzung	XX
L	Landwirtschaft allgemein	Andere oder keine Nutzung	XX
P	Parkanlagen (Grünanlagen aller Art mit Rasen)	Andere oder keine Nutzung	XX
S	Schutzstandorte	Andere oder keine Nutzung	XX
SG	Gewässerschutzstandorte	Andere oder keine Nutzung	XX
SN	Nassstandorte	Andere oder keine Nutzung	XX
ST	Trockenstandorte	Andere oder keine Nutzung	XX
W	Wald	Wald	W
WL	Wald / Laubwald dominant	Laubwald	WL
WN	Wald / Nadelwald dominant	Nadelwald	WN
X	Andere Nutzung	Andere oder keine Nutzung	XX
XY	Nutzung unbekannt	Andere oder keine Nutzung	XX

Tabelle A-2: Zuteilung der Nutzungsklassen aus der Arealstatistik (AS) 1979/85 (BFS/Geostat 1999c), bzw. der modifizierten Arealstatistik 79/85 (Meteotest 2000) auf die vier Hauptnutzungstypen Ackerbau (AB), Dauergrünland (DG), Laubwald (WL) und Nadelwald (WN)

AS 79/85 (BFS/Geostat 1999c)	Nutzungsklassen	Zuteilung zu
	modifizierte AS 79/85 (Meteotest 2000)	Hauptnutzung
Geschlossener Wald	Wald	WL / WN ¹⁾
Aufgelöster Wald	Wald	WL / WN ¹⁾
Gebüschwald	Wald	WL / WN ¹⁾
Gehölze	Wald	WL / WN ¹⁾
Rebbauf Flächen	Dauerkulturen	AB
Obstbauf Flächen	Dauerkulturen	AB
Gartenbauf Flächen	Dauerkulturen	AB
Wies- und Ackerland	Ackerland	AB
Heimweiden	Wiesland	DG
Maiensässe, Heualpen, Bergwiesen	Wiesland	DG
Alp- und Juraweiden	Wiesland	DG
Stehende Gewässer	Gewässer	--
Fliessgewässer	Gewässer	--
Unproduktive Vegetation	Wiesland	DG
Vegetationslose Fläche	Fels, Firm, Gletscher	--
Gebäudeflächen	Siedlungsfläche	--
Gebäudeumschwung	Siedlungsfläche	--
Industriegebäude	Siedlungsfläche	--
Industrieumschwung	Siedlungsfläche	--
Besondere Siedlungsflächen	Siedlungsfläche	--
Erholungs- und Grünanlagen	Siedlungsfläche	--
Strassenareal	Siedlungsfläche	--
Bahnareal	Siedlungsfläche	--
Flugplatzareal	Siedlungsfläche	--

¹⁾ Differenzierung von Laub- und Nadelwald erfolgte mit Hilfe des Landesforstinventars (WSL 1988)

Tabelle A-3: Flächenanteile der verschiedenen digitalen Karten der Schweiz, ausgehend von der modifizierten Arealstatistik der Schweiz 79/85 (Meteotest 2000)

Modifizierte Arealstatistik der Schweiz 79/85 (Meteotest 2000)

Ackerland	8'988 km ²	22 %
Grasland	8'556 km ²	21 %
Dauerkulturen	691 km ²	2 %
Nadelwald	7'721 km ²	19 %
Laubwald	4'799 km ²	12 %
Siedlungsfläche	2'445 km ²	6 %
Gewässer	1'749 km ²	4 %
Gletscher, Fels	6'326 km ²	15 %
Total	41'275 km²	100 %

Kartierung der Bindungsstärke

sehr gering		
gering		
mittel	Aufteilung elementspezifisch	29'212 km ²
stark		
sehr stark		
Siedlungsfläche	2'792 km ²	
Gewässer	1'805 km ²	
Fels, Firm, Gletscher	7'442 km ²	
ohne Zuordnung	24 km ²	
Total	41'275 km²	

Kartierung der geogenen Grundgehalte

minimal		
gering	Aufteilung elementspezifisch	38'559 km ²
mittel		
hoch		
Siedlungsfläche	-- km ²	
Gewässer	1'335 km ²	
Gletscher	1'326 km ²	
ohne Zuordnung	55 km ²	
Total	41'275 km²	

Kartierung der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen

minimal		
gering	Aufteilung elementspezifisch	29'155 km ²
mittel		
hoch		
Siedlungsfläche	2'792 km ²	
Gewässer	1'824 km ²	
Fels, Firm, Gletscher	7'441 km ²	
ohne Zuordnung	62 km ²	
Total	41'275 km²	

Tabelle A-4: Bindungsstärkenanteile der verschiedenen Elemente gemessen an der jeweiligen Nutzung
(Kartierte Fläche 29'212 km² = 100 %)

Element	Nutzung	sehr gering		gering		mittel		stark		sehr stark	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Blei & Quecksilber	AB									9'399	32
	DG									7'560	26
	WL							1'748	6	2'921	10
	WN							5'629	19	1'955	7
	Total							7'377	25	21'835	75
Cadmium	AB			80	0	1'725	6	7'005	24	589	2
	DG			772	3	3'035	10	3'577	12	176	1
	WL	252	1	730	2	2'267	8	1'328	5	92	0
	WN	544	2	1'555	5	4'857	17	594	2	34	0
	Total	796	3	3'137	11	11'884	41	12'504	43	891	3
Nickel & Kobalt	AB					148	1	8'090	28	1'161	4
	DG					2'245	8	4'666	16	649	2
	WL			426	1	2'017	7	1'784	6	442	2
	WN	33	0	548	2	5'514	19	1'447	5	42	0
	Total	33	0	974	3	9'924	34	15'987	55	2'294	8
Zink	AB			8	0	181	1	8'454	29	756	3
	DG			178	1	2'435	8	4'918	17	29	0
	WL			944	3	2'201	8	1'478	5	46	0
	WN	33	0	1'928	7	4'994	17	616	2	13	0
	Total	33	0	3'058	10	9'811	34	15'466	53	844	3
Kupfer	AB							4'939	17	4'460	15
	DG							1'549	5	6'011	21
	WL					407	1	3'168	11	1'094	4
	WN					2'419	8	4'340	15	825	3
	Total					2'826	10	13'996	48	12'390	42
Chrom	AB							69	0	9'330	32
	DG							869	3	6'691	23
	WL					29	0	2'990	10	1'650	6
	WN					2'031	7	4'493	15	1'060	4
	Total					2'060	7	8'421	29	18'731	64
Fluor	AB			285	1	4'614	16	4'380	15	120	0
	DG			1	0	688	2	5'127	18	1'744	6
	WL			423	1	1'966	7	2'265	8	15	0
	WN			293	1	5'822	20	1'460	5	9	0
	Total			1'002	3	13'090	45	13'232	45	1'888	6
Gesamt	AB			373	0	6'816	3	41'027	16	36'375	14
	DG			951	0	10'648	4	25'372	10	31'069	12
	WL	252	0	2'949	1	10'904	4	18'293	7	9'623	4
	WN	643	0	4'872	2	31'151	12	25'655	10	5'935	2
	Total	895	0	9'145	3	59'519	23	110'347	42	83'002	32

AB = Ackerbau inkl. Sonderkulturen, DG = Dauergrünland, WL = Laubwald, WN = Nadelwald

Tabelle A-6: Zuweisung zu den geotechnischen Einheiten (GT) zuden geotechnischen Kartiereinheiten (GTK)

GT 1)	GTK 2)	Text aus Originallegende (SGTK 1963-67)	Karte			
			1	2	3	4
3	1	Sande bis Silte, meist tonig (Lehme) oft mit Geschieben (Grundmoränen) oder in Mischung mit Schutt oft mit Blöcken (Oberflächenmoränen)	x	x	x	x
3	2	Silte (oft sandig) bis Tone, als Löss kalkhaltig, als Verwitterungslehme entkalkt	x	x		
4	3	Tonige Silte bis Tone, oft mit Einlagerungen von Sanden bis Kiesen oder Torfbildungen (Schwemmlehme, Seebodenlehme, Gehängelehme)	x	x	x	x
5	4	Kiese und Sande, sauber oder siltig, selten tonig, bisweilen verkittet (Schotter der Eiszeit)	x	x	x	x
6	5	Kiese und Sande, meist sauber, bisweilen mit dünnen tonigen oder siltigen Überdeckungen oder Einlagerungen (Ablagerungen der heutigen Wasserläufe)	x	x	x	x
6	6	Ausgedehnte Geröllablagerungen der Wildbäche (meist als Schuttkegel). Nur in Jura und Alpen ausgeschieden	x	x	x	x
7	7	Vorwiegend eckiger Schutt, grob bis fein (Bergsturzmaterial, Gehängeschutt)	x	x	x	x
	8	Grössere Torfareale / kleinere Torfvorkommen	x	x	x	x
	9	Seekreidenbildung	x	x	x	
8	11	Mergel (20-40), mit Einschaltungen von Sand- und Gerölllagen (Pliozän des Mendrisiotto)				x
9	15	Tonschiefer (15-30) mit Einlagerungen von Dolomiten, Rauhwacken, Gipsgesteinen, Kalksteinen und Sandsteinen (Raiblerschichten)				x
8	10	Mergel (15-40), mit Einlagerungen von schwach verfestigten Sandsteinen, vereinzelt von Konglomeraten (mergelreiche Molasse)	x	x	x	
8	12	Kalkhaltige, porenreiche Sandsteine (30-60) reichlich bis vorwiegend (sandsteinreiche Molasse)	x		x	
8	13	Mächtiger Lagen von festen muschelreichen Sandsteinen (35-50) bis Muschelbreccien (10-35)	x		x	
9	14	Mergel (10-25) und Schiefertone (20-40) mit Kalk-, Dolomit- und Sandsteinbänken, stellenweise mit Lagen von Gips- und Anhydritgesteinen (Opalinustone, Lias, Keuper, Anhydritgruppe im Jura Gebirge)	x	x		
10	16	Rote kalkfreie Sandsteine (50-70) bis sandige Tonschiefer (30-50) (Buntsandstein und Rotliegendes im Jura)	x			
11	17	Eisenschüssige meist kalkfreie, magere bis fette Tone (5-30), oft zusammen mit Bohnerzen, Quarzsanden, Huppererden (eozäne Bohnerzformationen im Jura Gebirge)	x	x	x	
12	18	Mergel (15-40) mit Einlagerungen von stärker verfestigten Sandsteinen, vereinzelt von Konglomeraten (mergelreiche Molasse der Voralpen)	x	x	x	
12	19	Sandsteine (30-60) vorwiegend, mittelstark verfestigt (Subalpine Molassesandsteine)	x	x	x	
12	19	Mächtiger Lagen von festen sandigen Muschelbreccien (10-35)	x			
28	21	Konglomerate (30-50), schwach verfestigt, begleitet von Sandsteinbänken (50-70) (Südalpine Nagelfluh)				x
14	20A	Konglomerate (25-60), schwach bis mittelstark verfestigt, stets begleitet von Sandstein- und Mergellagen (Molassenagelfluh)	x	x	x	
13	20B	Sandstein- und Mergellagen reichlich bis vorwiegend	x	x	x	
15	22	Konglomerate bis Breccien (30-50), Arkosen (30-60) und Sandsteine (50-70), oft tiefrot, stark verfestigt, teilweise geschiefert, bisweilen mit Einlagerungen von sandigen Phylliten (25-40), Quarzporphyren (30), Spiliten (0-10) und Keratophyren (0-10) (Konglomeratischer Verrucano, Melsersandstein, Karbon)		x	x	x
28	23	Breccien und Konglomerate (20-50) mit kristallinen und karbonatischen Komponenten, z.T. geschiefert (Vizanbreccie, Saluverbrecce)				x
16	24	Tonschiefer bis Phyllite (25-50), oft sandig, dunkelrot oder grünlich, mit Einlagerungen von Sandsteinen und Breccien bis Konglomeraten (schieferiger Verrucano, Quartenschiefer)		x	x	x
17	25	Mergelschiefer bis Kalkphylite (20-40) mit Einlagerungen von Sandsteinen (Flysch)	x	x	x	x
17	26	Feste, kompakte Sandsteine (50-70) verbreitet bis vorwiegend (sandsteinreiche Partien des Flysch)	x	x	x	x
17	26	Grüne bis schwärzliche Tuffsandsteine (10-25) (Taveyannazsandstein)		x	x	
18	28	Kalkphylite bis Kalkglimmerschiefer (20-40), häufig mit Einlagerungen von sandigen Kalkmarmoren, Dolomiten, Quarziten, kalkarmen Phylliten und Grünschiefern			x	x
18	28	Wichtiger Lagen von marmorisierten Kalken und Dolomiten			x	x
18	28	Reichliche Einlagerungen von Grüngesteinen			x	x
19	29	Kalksteine allgemein (oft 0-5, bisweilen bis 25), häufig mit mergeligen Zwischenlagen	x	x	x	x
20	30	Kalksteine, stark geschiefert (0-30) (Kalke der Bündner Schiefer)		x	x	x
21	31	Bedeutendere Lagen von Mergeln (5-25) und Mergelkalken (0-20)	x		x	x
17	25	Kalksteine, meist kieselig oder sandig (20-60), oft mit Hornsteinlagen, begleitet von Mergelschiefern bis Kalkphylliten (10-40) (Lagen in Bündnerschiefern, Insubrischer Lias)				x
19	32	Kalksteine mit Kiesel skelett (25-45), sehr fest und kompakt, dünnbankig (Kieselkalke der Hauterivienstufe)	x	x	x	
20	33	Sandkalke bis Kieselkalke (20-60) z.T. geschiefert, mit Lagen von Mergelschiefern (10-30) bis Kalkphylliten (Lias der Alpen, kalkigsandige Bündner Schiefer)		x	x	
20	35	Kalksteine mit Breccien- oder Konglomeratstruktur (5-15), z.T. mit Dolomitkomponenten			x	x
20	36	Stark marmorisierte Kalksteine bis Kalkmarmore (0-20)			x	x
19	34	Feste, oft quarzreiche Grünsandsteine (50-80), z.T. mit Sandkalken und sandigen Echinodermenbreccien (Gault)		x		
19	37	Schmale Dolomitlagen (0-5) (Jura Gebirge)	x	x		
22	38	Dolomitgesteine (0-5), z.T. mit Kalklagen (alpine Dolomite)	x	x	x	x
22	39	Einschaltungen bituminöser Schiefer				x
22	40	Rauhwacke (0-20)		x	x	x
22	41	Mächtiger Gipslager mit Rauhwacke (nur in den Alpen) (0-10)	x	x	x	x
22	42	Zuckerkörnige Dolomite (Dolomitmarmore) (0-10)			x	x
20	43	Radiolarienhornsteine (60-90), zum Teil vermengt mit Tonschiefern und Kalksteinen				x

Tabelle A-6: Fortsetzung

GT 1)	GTK 2)	Text aus Originallegende (SGTK 1963-67)	Karte			
			1	2	3	4
23	44	Granite (25-35), z.T. etwas geschiefert, vorwiegend homogen	x	x	x	x
28	53	Alpine Verschieferung (von Epicharakter) verbreitet	x			
28	53	Durchgehend oder lagenweise stark verschiefert unter Serizit-, Epidot- und Chloritbildung			x	x
23	45	Syenite (5-15)				x
24	46	Quarzporphyre (25-35), mässig bis leicht schieferig	x			x
24	47	Porphyrite und Porphyrituffe (5-15)				x
26	48	Gneise mit reichlich Feldspat (20-40), meist hell, oft heterogen, von Grundgebirgscharakter	x	x		x
28	53	Alpine Epiüberarbeitung verbreitet	x			
28	53	Durchgehend oder lagenweise stark verschiefert unter Serizit-, Epidot- und Chloritbildung			x	x
26	51	Biotitreiche Gneise (15-40)	x	x		
26	49	Zweiglimmer- bis Biotitgneise, feldspatreich (20-35), vorwiegend homogen, von alpinem Charakter			x	x
26	49	Grössere Massen von vorwiegend homogener Ausbildung				x
26	49	Vorwiegend plattige Ausbildung, meist ziemlich dunkel				x
26	49	Gneise (25-40) mit hellen, oft grünen Glimmern (Phengit), feldspatreich, z.T. plattig				x
26	49	Zweiglimmer- bis Biotitgneise, feldspatreich (20-40), von sehr wechsellagerter Struktur		x		
26	51	Biotit- bis muskovitreiche Gneise (15-40) und Glimmerschiefer (20-50). Meist heterogen			x	x
26	51	Biotitgneise bis Hornfelse (15-40) mit Einlagerungen von Kalksilikatfelsen oder mit Quarzitlagen (65-90)				x
26	51	Sehr feinkörnige wenig schiefrige biotit- oder chloritführende feste Gneise (Hornfelse) (20-40)		x		
28	53	Serizit-Chloritgneise bis -schiefer (15-40), homogen oder heterogen	x	x	x	
28	53	Geschieferte, oft serizitreiche Konglomerate und Breccien (30-50)	x			x
30	60	Serpentine (0)	x	x	x	
30	61	Peridotite und Olivinfelse (0)				x
25	55	Quarzite, massig oder plattig bis schiefrig, oft glimmerführend (65-95)			x	x
26	56	Amphibolite (0-10) mit Übergängen in hornblendeführende Gneise (10-30), häufig wechsellagernd mit glimmerreichen Gneisen und Glimmerschiefern. Oft mit hellen Adern	x	x	x	
26	57	Mischzonen von Amphiboliten (meist intensiv von Apliten durchsetzt) und manigfachen Gneisen			x	x
23	58	Diorite und Gabbros (0-15)			x	x
29	59	Grünschiefer (0-15) mit Übergängen in basische Eruptivgesteine (Diabase, Spilite)	x	x	x	
	36	Dünne Kalk- oder Dolomitmarmorlagen (in verschiedenen kristallinen Gesteinen)			x	x
	56	Dünne Einlagerungen von Amphiboliten und weiteren hornblendeführenden Gesteinen (in verschiedenen Kristallin-Ausscheidungen)		x	x	x
		Schmale Gänge und Lager von Diabasen, Spiliten und Porphyriten (0-15) (in verschiedenen Gesteinen)		x		x

1) BFS/Geostat 1999b

2) Tuchschnid 1995

Erläuterungen zur ausführlichen Legende der geogenen Grundgehalte der Schweiz

LF	Lithofazies (Tabelle A-5)
GT	Geotechnische Einheit der Vereinfachten Geotechnischen Karte VGK (BFS/Geostat 1999b)
GTK	Einheit der Geotechnischen Karte der Schweiz (Tuchschmid 1995)
[]	Richtwert für Totalgehalte in mg/kg nach VBBo (1998) bzw. VSBo (1986) für Co und Tl
1	in der Regel keine Richtwertüberschreitungen ($\text{Maximum} \leq \text{Richtwert}$)
2	seltene Richtwertüberschreitungen ($90. \text{ Perzentil} \leq \text{Richtwert} < \text{Maximum}$)
3	gelegentliche Richtwertüberschreitungen ($\text{Median} \leq \text{Richtwert} < 90. \text{ Perzentil}$)
4	häufige Richtwertüberschreitungen ($\text{Median} > \text{Richtwert}$)
km ²	Fläche der Kartiereinheit (GT) gemäss VGK
km ² Ra	Fläche der Kartiereinheit (GT) gemäss VGK gerastert
n	Anzahl untersuchter Gesteinsproben pro LF für die Elemente Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Cr, Mo, Co, Tl
n [F]	Anzahl untersuchter Gesteinsproben pro LF für Fluor
()	vereinzelt Vorkommen oder untergeordneter Bestandteil

