



Das Lebensministerium



Materialien zum Bodenschutz

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen
Teil 2: Spurenelementgehalte in Bachsedimenten

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

Materialien zum Bodenschutz

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen

Teil 2: Spurenelementgehalte in Bachsedimenten

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

Vorwort

Gesteine der Erdoberfläche werden physikalisch und chemisch zersetzt. Sie bilden damit die Ausgangssubstanz für Böden und Sedimente der Fließgewässer. Der vorliegende Teil 2 des Geochemischen Atlases des Freistaates Sachsen enthält Daten über Spurenelemente in Bachsedimenten.

Die Untersuchung von Bachsedimenten wurde als geochemische Prospektionsmethode zunächst im Erzgebirge, später auch in anderen Grundgebirgseinheiten der ehemaligen DDR seit 1976 angewendet, um eine Rohstoffführung erkennen zu können.

Diese erstmalig flächendeckenden Untersuchungen bildeten die Grundlage für eine einheitliche metallogenetische Bewertung einer Region. Durch das äquivalente Untersuchungsprogramm in den Grundgebirgseinheiten Erzgebirge, Lausitz/Elbezone, Granulitgebirge, Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge, Thüringer Wald und Harz wurde eine umfangreiche und konsistente Datenbasis erstellt.

Die unter prospektionsgeochemischen Aspekten gewonnenen Spurenelementdaten von Bachsedimenten und Bachwässern sind auch heute noch von besonderem Wert. Sie sind einerseits in einer Phase maximaler Immissionsbelastung entnommen worden und andererseits durch ihre Korngröße von $< 200 \mu\text{m}$ zu der heute in der Umweltforschung genutzten Feinfraktion von $< 20 \mu\text{m}$ als gering veränderbar gegenüber der abklingenden anthropogenen Belastung in den Fließgewässern einzustufen.

Mit dem (BMBF) Bundesministerium für Bildung und Forschung – Projekt „Geogene Hintergrundbelastung im Elbeeinzugsgebiet, Teilprojekt 5: Grundgebirgsgeprägte Einzugsgebiete“ wurden am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie zwischen 1995 und 1998 die vorhandenen Daten und Fakten weitergehend ausgewertet. Ein Ziel war die Kennzeichnung von Flusseinzugsgebieten durch regionale geogene Hintergrundwerte. Bei der Bearbeitung wurde in erster Linie auf die vorhandenen Daten zurückgegriffen. Für den sächsischen Anteil des Untersuchungsgebietes wurde die Datengrundlage sowohl gebietlich wie auch hinsichtlich der Elementpalette erweitert.

Im Rahmen der Projektbearbeitung und durch neue rechnerische Möglichkeiten konnten die Ergebnisse sowohl flächendeckend in Rasterkarten als auch einzugsgebietsbezogen in thematischen Karten dargestellt werden.

Die in den Karten dokumentierten Informationen über die stofflichen Belastungszustände der Einzugsgebiete der sächsischen Nebenflüsse der Elbe sind für die Bewertung der flutbedingten Schlammablagerungen des Augusthochwassers 2002 von besonderem Wert.



Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kinze

Präsident des Sächsischen Landesamtes
für Umwelt und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
2	Methodik der Datenerhebung und Kartenerstellung	6
2.1	Datenerhebung	6
2.2	Statistische Bearbeitung	8
2.3	Erstellung von Grundlagen-, Element- und thematischen Karten	8
3	Geowissenschaftliche Grundlagen	11
3.1	Geologischer Bau und Verbreitung der Hauptgesteinstypen	11
3.2	Charakterisierung der metallogenetischen Situation	11
3.3	Übersicht über die Böden (Bodeneinheiten, Spurenelementgehalte, Hintergrundwerte)	13
3.4	Beschreibung der Nutzungsarten	15
3.5	Quellen des Stoffhaushaltes der Bachsedimente	15
3.6	Bewertungsgrundlagen für Gewässersedimente	15
4	Ergebnisse	18
4.1	Elementgehalte im Sediment	18
4.1.1	Arsen (As)	18
4.1.2	Bor (B)	20
4.1.3	Barium (Ba)	22
4.1.4	Beryllium (Be)	24
4.1.5	Cobalt (Co)	26
4.1.6	Chrom (Cr)	28
4.1.7	Kupfer (Cu)	30
4.1.8	Quecksilber (Hg)	32
4.1.9	Lithium (Li)	34
4.1.10	Mangan (Mn)	36
4.1.11	Molybdän (Mo)	38
4.1.12	Nickel (Ni)	40
4.1.13	Blei (Pb)	42
4.1.14	Zinn (Sn)	44
4.1.15	Titan (Ti)	46
4.1.16	Wolfram (W)	48
4.1.17	Zink (Zn)	50
4.2	Parameter im Wasser	52
4.2.1	pH-Wert	52
4.2.2	Elektrische Leitfähigkeit	54
4.2.3	Fluor (F)	56
5	Komplexe Bewertung der Ergebnisse	58
6	Zusammenfassung	62
7	Literatur	63
8	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	64

1 Einführung

An der Erdoberfläche anstehende Gesteine einschließlich der in ihnen enthaltenen Mineralisationen unterliegen der Verwitterung. Die in Abhängigkeit von Klima und Vegetation abgetragenen Verwitterungsprodukte sammeln sich in negativen Reliefformen. Fließgewässer und die von ihnen transportierten Sedimente spiegeln die stofflichen Verhältnisse in ihrem Einzugsgebiet wider, da sie durch den Elementhaushalt der dort vorherrschenden Gesteine und Böden geprägt werden. Auf diesem Prinzip basieren bachsedimentgeochemische und hydrogeochemische Prospektionsmethoden (PÄLCHEN & TISCHENDORF in: SEIM & TISCHENDORF, 1990). Die Einzugsgebiete sind weiterhin durch unterschiedliche hydrologische Verhältnisse (Dichte des Gewässernetzes und Wasserbeschaffenheit), Vegetationsverhältnisse (Art der Bodennutzung, Vorhandensein von organischem Material), geochemische Milieubedingungen (pH- und Eh-Werte) und anthropogene Stoffquellen (Bergbau, Industrie, Kommunen, Landwirtschaft) gekennzeichnet, die einen Einfluss auf Löslichkeit, Transport und Akkumulation von Elementen ausüben.

Die Größe und Struktur eines Einzugsgebietes hat einen starken Einfluss auf die stoffliche Zusammensetzung der Fließgewässersedimente. In den oberen Lagen des Erzgebirges mit seinem stark verzweigten Gewässernetz kann ein hoher Flächenanteil durch Gewässer niedriger Ordnung repräsentiert werden. Dagegen sind im Erzgebirgsvorland große Flächenanteile nur in Einzugsgebieten von Gewässern höherer Ordnung erfassbar. Diese Tatsache reduziert die Korrelation der stofflichen Beziehung zwischen den Inhaltsstoffen von Wasser und Sediment und dem Chemismus des Einzugsgebietes durch das Auftreten heterogener (natürlicher und anthropogener) Quellen.

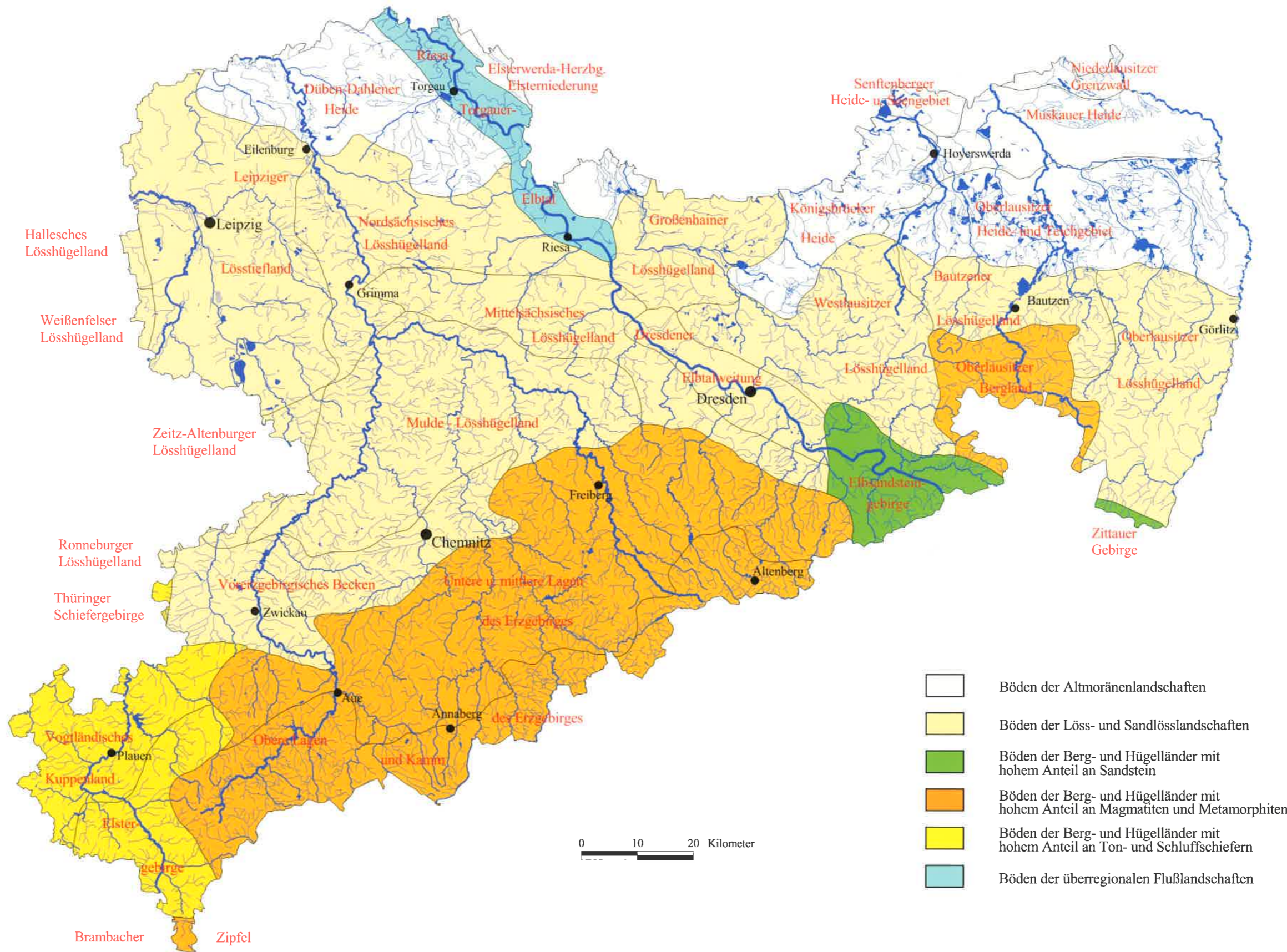
Ziel der Arbeiten am geochemischen Atlas ist die Beschreibung der Verteilungsgesetzmäßigkeiten der Elemente in einem räumlich definierten geochemischen System der Bachsedimente. Dazu sind Kenntnisse des geochemischen Untergrundes notwendig. Im vorliegenden Atlas werden Medianwerte als Hintergrundwerte, gewichtet über die Teileinzugsgebiete der Fließgewässer, berechnet. Die Feststellung des geochemischen Untergrundes erfolgt mit dem Ziel, einen Bezugs- wert zur Erkennung von stofflichen Anomalien, wie z.B. geochemische Spezialisierung von Gesteinen, Dispersionshöfe von Lagerstätten oder technogene Kontaminationen, zu finden. Geochemische Anomalien weichen deutlich vom geochemischen Untergrund ab und können sowohl positiv (höhere Gehalte im Verhältnis zum Untergrund) als auch negativ (niedrigere Gehalte im Verhältnis zum Untergrund) ausfallen. Die wichtigsten Anomalietypen, die bei der Auswertung der sächsischen Daten eine Rolle spielen, sind mineralisationsbedingte, gesteinsbedingte und milieubedingte Anomalien.

Das Studium der Elemente in verschiedenen geologischen Systemen zeigt, dass sich einige Elemente unter bestimmten Bedingungen ähnlich verhalten. Akkumuliert werden z.B. Ni, Cr, Mg in Ultramafititen, Ca, V, Ti in Mafititen, Zr, Ba, seltene Erd- elemente in Syenitoiden, K, Rb, Li in Granitoiden, B, Hg, As in pelitischen Sedimenten, Ca, Mg, Sr in Kalken, K, Na, Mg, Cl in salinaren Ablagerungen. Es gibt auch Elemente, die unter natürlichen Bedingungen nicht gemeinsam auftreten, z.B. Rb- Bi, Be-As, Ti-Pb, V-Ag, Zr-Li (SEIM & TISCHENDORF, 1990).

Neben den lithogenen Indikatoren, die üblicherweise prak- tisch nicht in anthropogenen Verunreinigungen enthalten sind (Be, Li, Zr, V), gibt es weitere für die Auswertung der Element- daten wichtige „Pfadfinderelemente.“ Chalkogene Indikatoren sind häufig migrationsfreudige Elemente wie Hg, As, Li. Als Zivilisationsindikatoren sind elektrische Leitfähigkeit, pH- Wert, Cu, Pb, Ni, Mo und Zn zu nennen (PÄLCHEN et al., 1996). Die Autoren fanden Nutzungsindikatoren (pH-Wert und elek- trische Leitfähigkeit) und wiesen nach, dass bei gleichem Substratgestein im Einzugsgebiet sich die Fließgewässer forstlich und landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete in ihren pH-Werten ($pH_{\text{Wald}} < pH_{\text{Landwirtschaft}}$) und der elektrischen Leitfähigkeit ($eLeit_{\text{Wald}} < eLeit_{\text{Landwirtschaft}}$) sehr deutlich unter- scheiden.

Äußere Migrationsfaktoren (Relief, Vegetation, Klima, geologi- scher Bau, Hydrogeologie, Mineralisationen, Tektonik, Nutzung u.a.) bestimmen das geochemische Grundangebot und steu- ern die Dispersion bzw. Akkumulation von Elementen in einem Einzugsgebiet. Die inneren Migrationsfaktoren (Atombau, Ionisationspotential, Bindungsart u.a.) prägen das Migrations- verhalten der Elemente.

Über Mobilität oder Akkumulation der Elemente im geoche- mischen Feld entscheiden geochemische Barrieren (BIRKE et al., 1995; RENTZSCH et al., 1982): Die bodenbedeckende Roh- humusdecke liefert einen wesentlichen Teil der organischen Substanz der Flusssedimente. Dort konzentrieren sich As, B, Ba, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn auf Grund ihrer Fixie- rung in Form von Organokomplexen oder über Adsorptions- prozesse von Kationen an der negativ geladenen Oberfläche der Humuskolloide (biogeochemische Barriere). Die physiko- chemische Barriere, die z.B. beim Nutzungswechsel von sau- ren Waldböden zu neutralen landwirtschaftlich genutzten Bö- den auftritt, ist besonders selektiv für Mn, Hg, Zn, Cu, Fe und V. Beim Übergang von reduzierenden zu oxidierenden Bedin- gungen kommt es zur Fällung von Fe und Mn in Form kolloida- ler Oxihydrate. An negativ geladenen Oberflächen können sich u.a. Co, Ni, Zn, Cu, an positiv geladene V, As, U, Mo adsorptiv anlagern. Unter Einwirkung von Gravitationskraft und Relief (mechanische Barriere) reichern sich Elemente ver- witterungsresistenter Minerale wie Au, Cr, Nb, Sn, Ti, W, Zr bei Verminderung der Fließgeschwindigkeit der Oberflächen- gewässer an.



Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Ref. 61, 02/02

Abb. 1: Übersichtskarte über die Bodenregionen Sachsens

2 Methodik der Datenerhebung und Kartenerstellung

2.1 Datenerhebung

Zur Probengewinnung für die nachfolgenden Spurenelementuntersuchungen wurde die Methode der geochemischen Prospektion mittels fluviatiler Sedimente gewählt. Die wesentlichen Vorteile dieser Methode sind (PÄLCHEN et al., 1982):

- die flächenhafte und räumliche Repräsentanz einer Flusssedimentprobe ist größer als die von Gesteins- oder Bodenproben
- die Größe des Einzugsgebietes ist durch die Wahl des Probenahmeortes beeinflussbar
- das Probematerial ist meistens verfügbar und somit auch analysierbar
- das Probematerial ist durch den Transportweg weitgehend homogenisiert und es können sich stabile und gleichmäßige Anomalien mit relativ großer Dispersionsweite ausbilden
- die Probenahme ist einfach und mit hydrochemischen Methoden und der Schlichprospektion kombinierbar.

Die Nachteile der Methode liegen in der Anfälligkeit für anthropogene Beeinflussungen aller Art (Gewässer, Böden, Staubimmissionen), in der Abhängigkeit von der Struktur des Gewässernetzes und in der geringen Teufenwirkung der Indikationen.

Die Probenahme erfolgte in rezenten aktiven Fließgewässern (Bäche, Flüsse) vor der Einmündung in das Fließgewässer der nächsthöheren Größenordnung. Dabei muss der Probenahmeort so gewählt werden, dass eine Beeinflussung durch das höherrangige Gewässer (z.B. durch Rückstau bei Hochwasserereignissen) vermieden wird. Eine große Zahl beprobter kleiner Einzugsgebiete ist vorteilhaft für die Auswertung, da sich die Beziehung zwischen dem Probenahmematerial und dem Einzugsgebiet mit abnehmender Größe des Einzugsgebietes verbessert. Durch das sehr gut strukturierte hydrographische Netz des Erzgebirges mit vielen Bächen niedriger Ordnung kann fast die gesamte Fläche der oberen Einzugsgebiete der Freiburger und Zwickauer Mulde sowie der Weißen Elster repräsentiert werden.

Die Entnahme einer Mischprobe aus dem Querprofil des Fließgewässers ist sinnvoll, um Inhomogenitäten des Sedimentkörpers durch Klassierungs- und Sortierungsprozesse auszugleichen. Eine Vermischung mit Material aus den Böschungen oder der Sohle des Fließgewässers ist zu vermeiden. Da die Konzentration der meisten Elemente in den Flusssedimenten mit abnehmender Korngröße ansteigt, wurde in den achtziger Jahren die Analyse der Feinfraktion <200 µm in Anlehnung an internationale Erfahrungen durchgeführt. Die Abtrennung erfolgte durch Nasssiebung. Nach anschließendem Dekantieren des überstehenden Wassers wurde der Hauptteil des Sediments bei ca. 250°C getrocknet und mittels Planetenkugel-

mühle (Achatgefäß) analysenfein (<63 µm) aufgemahlen. Ein kleinerer Teil wurde bei Zimmertemperatur getrocknet und mittels Scheibenschwingmühle analysenfein aufgemahlen.

Für die Auswertung und Darstellung im geochemischen Atlas standen Bachsedimentuntersuchungen aus zwei Zeiträumen zur Verfügung (vgl. Tab. 2.1-1 und Abb. 2.1).

Das Untersuchungsgebiet **1977–1985** erstreckte sich über die Grundgebirgseinheiten Lausitz/Elbezone (RENTZSCH et al., 1980, 1982; MÜLLER & RENTZSCH, 1985), Erzgebirge (PÄLCHEN et al., 1982), Granulitgebirge (HARTISCH et al., 1989) und Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge (RENTZSCH et al., 1987). Auf die Untersuchung der Gebiete mit tertiären und quartären Lockersedimenten wurde verzichtet, da diese Bedeckung eine Indikation von Mineralisationen im Untergrund erschwert bzw. unmöglich macht. Die insgesamt 11.200 Untersuchungen wiesen eine große Probenahmedichte (ca. 1,2 Proben/km²) auf, deckten allerdings lediglich ca. 50 Prozent der Landesfläche ab.

Um auch diejenigen Einzugsgebiete zu charakterisieren, die nicht im Grundgebirgsbereich liegen, aber heute für die Schwermetallbilanz größerer Elbenebenflüsse von Bedeutung sind (vor allem die nördlichen Bereiche der Einzugsgebiete der Weißen Elster, der Mulde, der Elbe, der Schwarzen Elster und der Spree), wurden **1996–1998** insgesamt 471 Sedimentproben aus aktiven Fließgewässern im Nordteil Sachsens entnommen (PÄLCHEN et al., 1998; GREIF & PÄLCHEN, 2000). Problematisch bei den Untersuchungen erwiesen sich das wesentlich dünnere und stärker durch den Menschen veränderte hydrographische Netz (Nebenflüsse oftmals verlandet, verlegt, kanalisiert oder abwasserbeeinflusst), die starke anthropogene Beeinflussung durch die zahlreichen Braunkohlentagebaubereiche (vgl. Kap. 3.2), der Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung (Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit) sowie die Ballungszentren (z.B. Leipzig).

Die Auswahl, Entnahme und Siebung (<200 µm) der Proben verlief bei den alten und neuen Untersuchungen äquivalent.

Tab. 2.1-1: Übersicht über vorliegende Daten von Bachsedimentuntersuchungen

Regionale Einheit	Erzgebirge	Elbezone/Lausitz	Mittelsachsen (Granulitgebirge)	Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge	Nordsachsen
Bearbeiter	PÄLCHEN et al., 1982	RENTZSCH et al., 1980, 1982; MÜLLER & RENTZSCH, 1985	HARTISCH et al., 1989	RENTZSCH et al., 1987	PÄLCHEN et al., 1998
Größe des Untersuchungsgebietes	ca. 5.500 km ²	ca. 2.900 km ²	ca. 1.000 km ²	ca. 2.700 km ²	ca. 9.000 km ²
Probenanzahl und -medium	7.256 Wässer 7.400 Sedimente	3.159 Wässer 2.234 Sedimente	442 Wässer 442 Sedimente	2.975 Wässer 3.167 Sedimente	468 Wässer 471 Sedimente
Bundesland	Sachsen	Sachsen	Sachsen	Thüringen, Sachsen	Sachsen

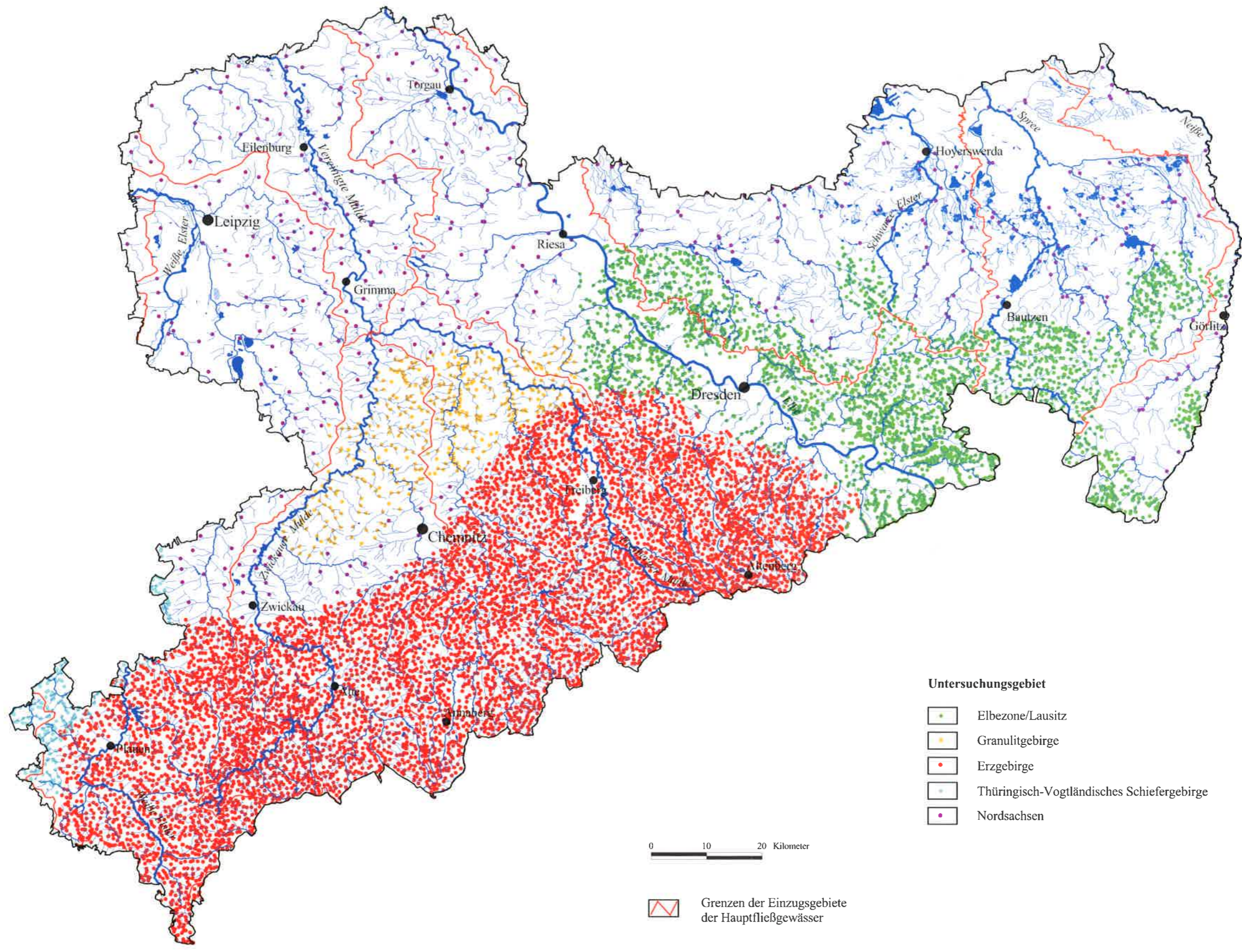
In jedem der genannten Teilprojekte (vgl. Tab. 2.1-1 und Abb. 2.1) wurden zunächst Grundinformationen zur Probe (Probenummer, -art, Hoch- und Rechtswert, Geologie etc.) erfasst. Im Wasser wurde der pH-Wert (potentiometrisch), die elektrische Leitfähigkeit (konduktometrisch) und der Fluorgehalt (potentiometrisch mit fluoridionensensitiver Elektrode) bestimmt. Die Analyse der Sedimente der Fraktion <200 µm umfasste die Elemente As, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, W, Zn, Zr (in der Regel immer bestimmt), Ag, Al, Bi, Ca, Cd, F, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Na, Nb, Rb, Sc, Sr, Tl, U, V, Y, Yb (teilweise bestimmt) (vgl. Tab. 2.1-2).

Tab. 2.1-2: Übersicht über die verwendeten Analyseverfahren für die Sedimente

Regionale Einheit	Elemente und Analyseverfahren
Erzgebirge	Ag, B, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, Zr (ESA), As, Rb, Sr, W, Zn (RFA), F (Pyrolyse), Hg (AAS)
Ostteil Lausitz	Ag, B, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Sn, Sc, V, Yb (ESA), Ba, Mn, Ti, Zr (RFA, ESA), Nb, Rb, Sr, W, Zn, Y (RFA), F (Pyrolyse), Hg (AAS)
Elbezone und SW-Rand Lausitz	B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, Zr (ESA), W (Röntgenspektrometrie), As (Photometrie), F (Pyrolyse), Hg (AAS)
Granulitgebirge	Ag, B, Be, Co, Cr, Cu, Ga, La, Ni, Pb, Sc, Sn, V, Yb (ESA), As, Ba, Fe, Mn, Nb, Rb, Sr, Ti, W, Y, Zn, Zr (RFA)
Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge	Ag, B, Be, Bi, Co, Cr, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Sn, V, Yb (ESA), As, Ba, Mn, Nb, Rb, Sr, Ti, W, Y, Zn, Zr (RFA)
Nordsachsen	Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn (Totalaufschluss + AAS) Hg (umgekehrter KW-Aufschluss + Kaltdampftechnik)

(AAS = Atomabsorptionsspektrometrie, ESA = Emissionsspektalanalyse, RFA = Röntgenfluoreszenzanalyse, KW = Königswasser)

Im Rahmen des Projektes konnten 1.000 Bachsedimente des Erzgebirges/Vogtlandes aus der Probenserie von 1977/78 auf die Elemente Quecksilber und Cadmium nachuntersucht werden. Die Analysen wurden je zur Hälfte von der TU Bergakademie Freiberg und der Universität Heidelberg durchgeführt. Für Quecksilber kann mit Ausnahme des Granulitgebirges eine flächendeckende Auswertung vorgenommen werden. Die von beiden Universitäten untersuchten Proben stimmten bei Quecksilber gut überein und sind auch mit den früheren Analysen vergleichbar. Die aus den vorliegenden Kontrollanalysen errechnete Standardabweichung liegt zwischen 2,5 und 10 %.



Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Ref. 61, 02/02

Abb. 2.1: Karte der Probenahmepunkte der Untersuchungen 1977–1998

2.2 Statistische Bearbeitung

Eine statistische Bearbeitung der Daten wurde mit dem Programm SPSS durchgeführt. Dabei erfolgte die Auswertung der **Häufigkeitsverteilungen** und die Festlegung der **Klasseneinteilung** für das jeweilige Element. Aus den Histogrammen ist ersichtlich, dass die Elemente in den Sedimenten im allgemeinen nicht normalverteilt vorliegen, was eine Logarithmierung der Daten notwendig macht. Aus dem logarithmierten Kollektiv wird die Klasseneinteilung für die Kartendarstellung ermittelt, wobei insgesamt 7 Klassen ausgehalten werden. Der Medianwert liegt in der mittleren Klasse (gelb), die untere und obere Klasse sind nicht begrenzt (vgl. z.B. Abb. 4.1.1-2). Für den pH-Wert im Wasser wurde wegen seiner bimodalen Verteilung eine Klasseneinteilung im Intervall von 0,5 gewählt (vgl. Abb. 4.2.1-2).

Die **Faktorenanalyse** als ein Verfahren zur Datenreduktion und Erkennung von Elementmustern wurde bereits bei der Auswertung der Datenkollektive der einzelnen Grundgebirgs-einheiten genutzt. Ziel der Anwendung der Faktorenanalyse auf die sächsische Bachsedimentmatrix ist die Aufdeckung bzw. auch die Bestätigung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Elementen. Einbezogen wurden die logarithmierten Einzelwerte der Elemente As, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn und die Parameter elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert. Anwendung fand eine Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation und Extraktion der Faktoren mit Eigenwerten größer als 1. An jeder Probe wurde der größte Faktorwert ermittelt und in einer Karte (Abb. 5-1) dargestellt. Mit diesem Verfahren der ungewichteten Faktorprädominanzdarstellung (KLUGE, 1997) können die wesentlichen Ergebnisse der Faktorenanalyse unabhängig von der Zahl der extrahierten Faktoren in einer Karte dargestellt werden.

Weiterhin wurde die **Clusteranalyse** als ein Verfahren zur Gruppenbildung auf die berechneten mittleren Elementgehalte (P50) in den Teileinzugsgebieten angewendet (GREIF & PÄLCHEN, 1998b). Berücksichtigung fanden die Elemente As, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, W, Zn und die Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und F im Wasser. Es wurde eine hierarchische Clusteranalyse unter Anwendung des Ward-Algorithmus (Berechnung der quadrierten euklidischen Distanz) mit standardisierten Z-Werten durchgeführt. Die optimale Clusterlösung ist in Abb. 5-2 dargestellt.

2.3 Erstellung von Grundlagen-, Element- und thematischen Karten

Alle Primär- und Sekundärdaten flossen in das Geographische Informationssystem ARC/INFO der Firma ESRI (unter Nutzung der Module TIN und GRID) ein. Die Ergebnisdarstellung erfolgte im Programm ARC/VIEW.

Geographische Informationssysteme zeichnen sich durch die gemeinsame Verwaltung von Geometrie- und Sachdaten aus. Es werden in der vorliegenden Bearbeitung folgende drei Kartentypen unterschieden:

- Grundlagenkarten (Sachdaten zur Topographie, Geologie u. a., dargestellt als Vektordaten mit Punkt-, Linien- und Flächenelementen)
- Elementkarten (Sachdaten zu Elementgehalten, dargestellt als Vektordaten mit Punkt- und Flächenelementen bzw. als Rasterdaten)
- Thematische Karten als Ergebnis der Verschneidung von Grundlagen- und Elementkarten (zusammengefasste Sachdaten, dargestellt als Vektordaten mit Flächenelementen).

Der Erstellung von **Grundlagenkarten** liegen umfangreiche Digitalisierungsarbeiten von topographischen (Gewässernetz, Wasserscheiden) und geowissenschaftlichen (Geologie, Mineralisationen, Lagerstätten- und Bergbaureviere) (LfUG, 1995) Merkmalen zugrunde.

Das Gewässersystem Sachsens (vgl. Abb. 2.2) wurde auf der Grundlage der TK25 (Erzgebirge) bzw. der TK200 (Nordsachsen) erstellt. Gleichzeitig erfolgte die Untergliederung der Flusssysteme in Haupt- und Teileinzugsgebiete unter folgenden Gesichtspunkten:

- Festlegung der Haupteinzugsgebiete: Lausitzer Neiße, Spree, Schwarze Elster, Elbe i.e.S., Freiburger Mulde, Zwickauer Mulde, Vereinigte Mulde, Weiße Elster, Saale i.e.S.
- Abgrenzung der Teileinzugsgebiete wichtiger Nebenfließgewässer vor der Einmündung des Nebenfließgewässers in das Hauptfließgewässer
- Unterteilung der Einzugsgebiete der Hauptfließgewässer an den Mündungen der Nebenfließgewässer
- Unterteilung innerhalb der Nebenfließgewässer bei größeren Einzugsgebieten mit vielen Probenpunkten und/oder bei Vorliegen von Alt- und Neudaten in einem großen Teileinzugsgebiet
- Berücksichtigung mineralisations- und bergbaubedingter Gegebenheiten bei der Abgrenzung von Teileinzugsgebieten.

Die optimale Probedichte zur Charakterisierung eines Gewässereinzugsgebietes liegt bei > 1 Probe/km², die optimale Größe bei ≤ 100 km². Unter Berücksichtigung der natürlichen Gegebenheiten des hydrographischen Netzes (Übergang Mittelgebirge – Flachland, vgl. Kap. 1) und der sehr unterschiedlichen Beprobungsdichte können folgende Richtwerte für die Größe der Teileinzugsgebiete angegeben werden:

- ≤ 100 km² (85 Einzugsgebiete, vorwiegend mit vielen Proben im Grundgebirgsbereich) = optimal
- 100–300 km² (42 Einzugsgebiete, vorwiegend mit Proben am Rand der Grundgebirgseinheiten)

- > 300 km² (5 Einzugsgebiete, vorwiegend im Deckgebirgsbereich mit wenigen Proben)
- Randstreifen (5 Einzugsgebiete mit weniger als drei Proben).

Die fünf Teileinzugsgebiete > 300 km² entstanden durch die Zusammenlegung kleinerer Teileinzugsgebiete Nordsachsens mit sehr geringen Probenzahlen und partiell inhomogenen Elementgehalten. Für die Aussage zum Einzugsgebiet ist daher eine größere Probenanzahl vorzuziehen. Die Zusammenlegung orientiert sich an den Haupteinzugsgebieten.

Mit Ausnahme der Lausitzer Neiße (Odereinzugsgebiet) entwässern nahezu 95 % der Fließgewässer Sachsens in die Elbe (Tab. 2.3). Das Teileinzugsgebiet der Mulde nimmt mit 33,9 % den größten Teil der Landesfläche ein. Freiburger und Zwickauer Mulde sind durch die Untersuchungen aus den 70er/80er Jahren gut repräsentiert, das Gebiet nach dem Zusammenfluss wird im weiteren Verlauf als Vereinigte Mulde bezeichnet und konnte durch die neuen Untersuchungen mit

Tab. 2.3: Überblick über Größe und Beprobungsdichte der Haupteinzugsgebiete Sachsens

Einzugsgebiet	Größe km ²	Flächenanteil %	Probenanzahl	Proben/km ² Durchschnitt	Proben/km ² Bereich
Lausitzer Neiße	843	4,6	251	0,30	0,02 – 0,82
Spree	2028	11,0	611	0,30	0,04 – 1,2
Schwarze Elster	2232	12,1	524	0,24	0 – 1,1
Elbe i.e.S.	4026	21,8	2834	0,70	0,05 – 2,4
Eger	98	0,5	131	1,4	0 – 1,6
Freiberger Mulde	2678	14,5	2839	1,1	0,09 – 1,7
Zwickauer Mulde	2275	12,3	1790	0,79	0,23 – 1,6
Vereinigte Mulde	1309	7,1	54	0,04	
Weiße Elster	2831	15,3	1560	0,55	0,05 – 1,5
Saale i.e.S.	160	0,8	51	0,32	0 – 0,94

Die flächenhafte Darstellung der vorhandenen Daten erfolgte mit Hilfe des ARC/INFO-Moduls TIN (Triangulated Irregular Network) in **Elementrasterkarten**, indem über das Untersuchungsgebiet ein Raster mit einer definierten Zellgröße gelegt wurde. Das verwendete Kriging-Verfahren (sphärisches Modell) weist jeder Rasterzelle einen aus den betreffenden Daten unter Vorgabe einer maximalen Probenzahl und eines Einwirkradius neu berechneten Wert zu. Die Vorteile der Rasterdarstellung gegenüber der Isoliniendarstellung bestehen darin, dass Gebiete mit fehlenden Analysendaten auch als solche ausgewiesen werden und dass die Parameter des Interpolationsverfahrens je nach Probenahmedichte variiert werden können. Diese Rasterkarten ermöglichen Aussagen über eine regionale Verteilung (z.B. eine lokale Anreicherung/Verarmung) der Elemente. Vom Erzgebirge über die Lausitz zum Granulitgebirge nimmt die vorliegende Datendichte ab. Besonders groß ist der Unterschied zu den jüngeren Untersuchungen in Nordsachsen.

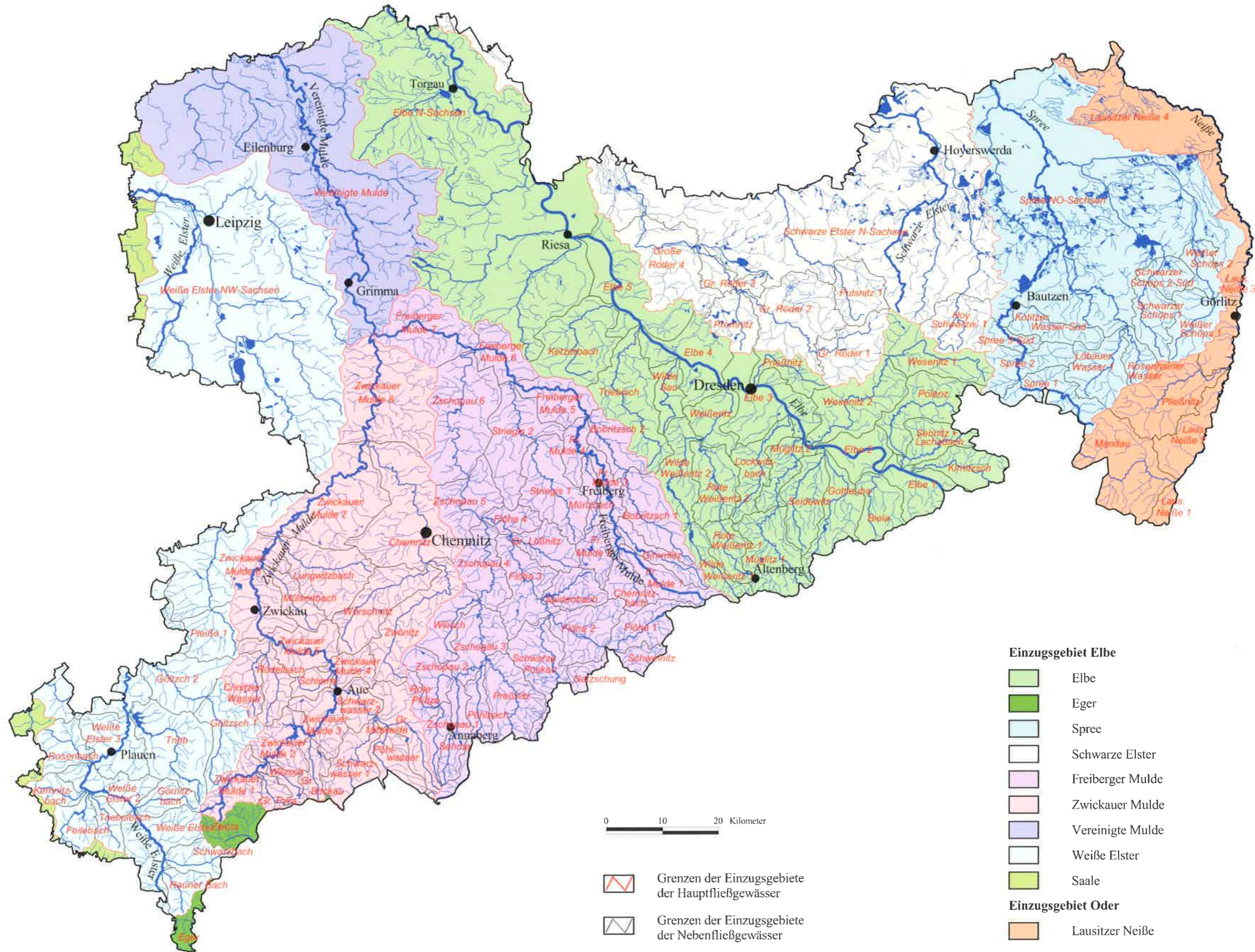
einer geringeren Probenahmedichte charakterisiert werden. Als Elbe i.e.S. werden alle kleinen Einzugsgebiete zusammengefasst, die direkt in die Elbe münden. Das sind 21,8 % der Fließgewässereinzugsgebiete Sachsens, die im südlichen Teil (Grundgebirge) gut untersucht sind. Zum Einzugsgebiet der Elbe zählt auch die Eger (Ohře), die Sachsen in südliche Richtung verlässt, um am Erzgebirgsabbruch in östlicher Richtung bei Litoměřice (Leitmeritz) der Elbe zuzufließen. Zu den ostelbischen Einzugsgebieten zählen Schwarze Elster (12,1 %) und Spree (11,0 %). Sie verlassen Sachsen in nördliche Richtung, um in Sachsen-Anhalt bzw. Brandenburg in die Elbe zu münden. Westlich der Mulde schließt sich das Einzugsgebiet der Weißen Elster (15,3 %) an, welches in den südlich gelegenen Grundgebirgsanteilen gut und in Nordwestsachsen wenig untersucht ist. Als Saale i.e.S. werden analog der Elbe i.e.S. alle der Saale direkt zufließenden kleinen Flüsse bezeichnet, d.h. für Sachsen alle Zuflüsse ohne das Gebiet der Weißen Elster. Die Saale mündet unterhalb der Mulde in Sachsen-Anhalt in die Elbe.

Das Kriging-Verfahren wird hinsichtlich des Einwirkradius und der Ausgabezellgröße abgestimmt:

- Analysen 1980–1989: max. 10 Punkte, 1.000 m Einwirkradius, Zellgröße 500 x 500 m
- Analysen 1996–1998 max. 10 Punkte, 3.000 m Einwirkradius, Zellgröße 1.500 x 1.500 m,

Vor einer Verschneidung werden die Ausgabezellgrößen durch eine Reklassierung auf die kleinste auftretende Zellgröße vereinheitlicht.

Ergänzt werden die Elementrasterkarten durch **einzugsgebietsbezogene Elementkarten**, in denen die abgeleiteten Medianwerte (P50) der Teileinzugsgebiete visualisiert werden (GREIF & PÄLCHEN, 1998a).



Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Ref. 61_02/02

Abb. 2.2: Gewässernetz Sachsens mit oberirdischen Einzugsgebieten

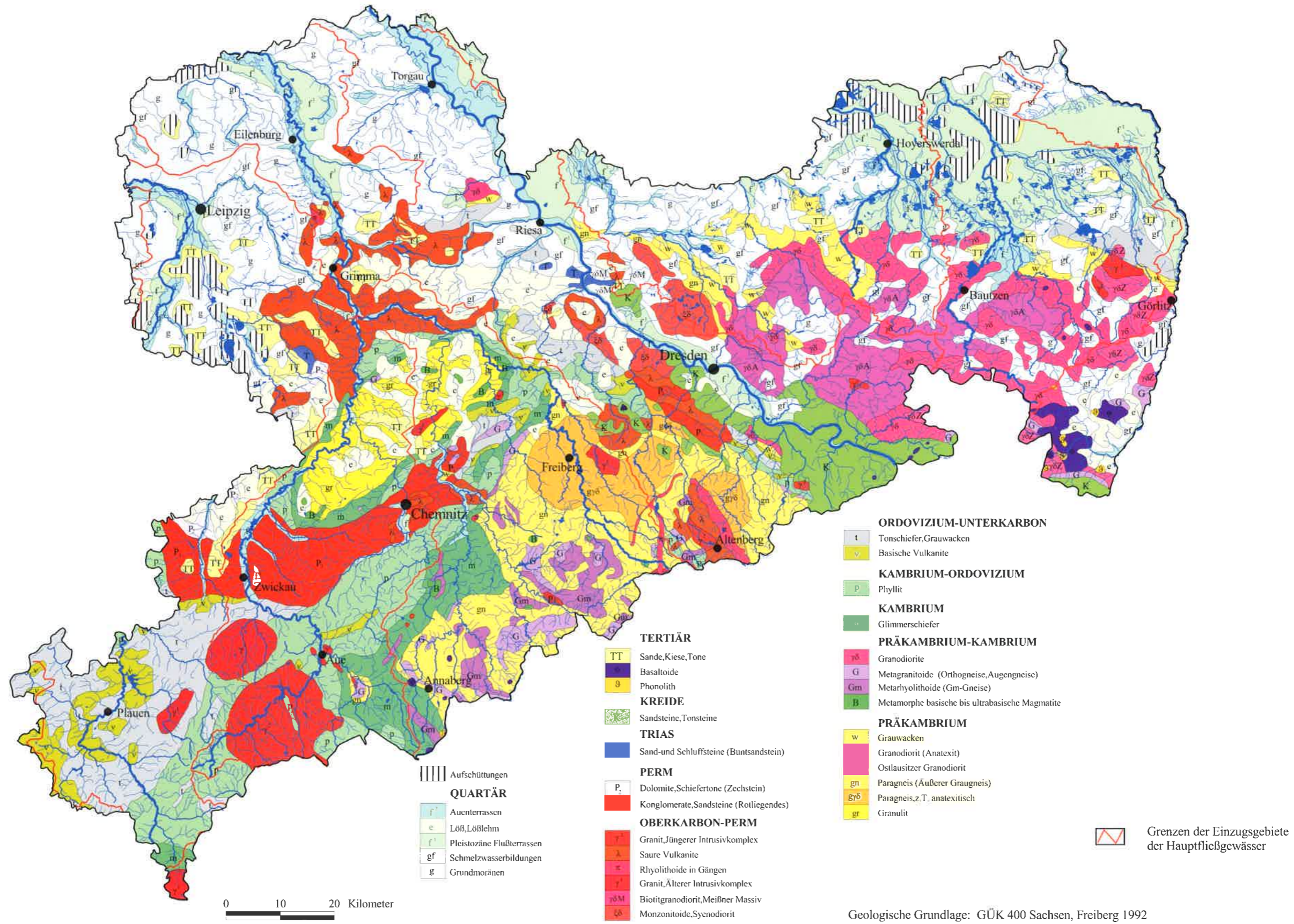


Abb. 3.1: Vereinfachte geologische Karte Sachsens

3 Geowissenschaftliche Grundlagen

3.1 Geologischer Bau und Verbreitung der Hauptgesteinstypen

Das **Untersuchungsgebiet** umfasst im wesentlichen die oberflächlich zutage tretenden Grundgebirgseinheiten im Süden des heutigen Bundeslandes Sachsen, d.h. die oberflächlich aufgeschlossenen Anteile des Saxothuringikums (Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge, Granulitgebirge, Erzgebirge, Elbezone, Lausitz). Das sind die in der ehemaligen DDR für Explorationsarbeiten auf oberflächennahe Erz- und Spatmineralisationen in Betracht kommenden Regionen. Die anstehenden Gesteinseinheiten sind spätestens variszisch geprägt und repräsentieren ein stratigraphisches Intervall vom Proterozoikum bis zum unteren Perm (Molasse). Mesozoische und känozoische Deckgebirgssedimente sind dort in der Regel nicht mit erfasst, sie werden erst durch die neueren Untersuchungen (1996–1998) im Norden und Nordosten Sachsens einbezogen.

Im Erzgebirge dominieren meso- bis epizonale Metamorphite (Paragneise, Glimmerschiefer, Phyllite), deren sedimentäre Edukte (Grauwacken, Tonschiefer) ins Oberproterozoikum bis Altpaläozoikum (Kambrium, Ordovizium) gestellt werden. Orthogneise und Amphibolite sowie variszische Granite und Rhyolithe sind lokal in bedeutenden Anteilen vertreten. In der Umrandung der Metamorphite und Magmatite der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone treten Tonschiefer-Kalkstein-Diabas-Formationen des Devons bis Unterkarbons auf (Vogtländisches Schiefergebirge, Elbezone). Das Granulitgebirge ist Bestandteil der ostthüringisch-mittelsächsischen Antiklinalzone und besteht im wesentlichen aus den namengebenden Granuliten proterozoischen Alters. Randlich sind Glimmerschiefer und Phyllite vertreten (Schiefermantel). Metabasite (Amphibolite, Serpentinite) sowie variszische Granite haben einen geringen Anteil. Das Granulitgebirge ist zu ca. 70 % durch tertiäre und quartäre Sedimente überdeckt. Von der Lausitzer Antiklinalzone ist durch die älteren Untersuchungen nur der periphere Teil des Lausitzer Granodioritkomplexes erfasst, der hauptsächlich aus intrusiven Granodioriten cadomischen Alters sowie proterozoischen Anatexiten granodioritischer Zusammensetzung besteht. Variszische Granite (Königshain, Stolpen) und tertiäre Vulkanite (Alkali-basalte, Phonolithe) nehmen nur geringe Flächen ein.

Den Hauptanteil der Oberfläche Sachsens nehmen mit ca. 43 % der Fläche die Lockersedimente des Känozoikums (Sande, Kiese, Tone, Löss) ein. 2,9 % der Fläche Sachsens entfallen auf die Sedimente der Kreide (Sandsteine), 3,7 % auf die Sedimente des Perm (tonig, sandig, kiesig). Der übrige Flächenanteil entfällt zu ca. 24 % auf die Parametamorphite (Tonschiefer, Glimmerschiefer, Gneise, Grauwacken, Granulite) des kristallinen Grundgebirges und der Schiefergebirge. 9,7 % nehmen die proterozoischen und variszischen Granodiorite der Lausitz und die Monzodiorite des Meißner Massivs ein.

11,6 % entfallen auf die extrem sauren Magmatite (Granite, Rhyolithe) und Orthometamorphite. Basische Magmatite und Metamorphite besitzen einen geringen Flächenanteil von 2,8 % (KARDEL et al., 1996). Eine Übersicht über die Verbreitung der Hauptgesteinstypen gibt Abb. 3.1.

Tab. 3.1: Übersicht über globale und regionale Clarke-Werte, Angaben in mg/kg

	Clarke der oberen kontinentalen Kruste (WEDEPOHL, 1995)	Regionaler Clarke für das Erzgebirge/Vogtland (PÄLCHEN et al., 1987)	Mittlere Gehalte in sächsischen Gesteinen (KARDEL et al., 1996)
As	2,0	—	13
B	17	32	37
Ba	668	520	420
Be	3,1	3,2	—
Co	12	9,8	12
Cr	35	52	57
Cu	14	23	24
Hg	0,06	—	—
Li	22	98	—
Mo	1,4	—	—
Mn	527	530	—
Ni	19	23	20
Pb	17	23	20
Sn	2,5	7,5	4,4
Ti	3.117	4.000	—
W	1,4	4,1	—
Zn	52	79	60

KARDEL et al. (1996) geben **mittlere Gehalte** (Medianwerte) wichtiger Spurenelemente in den Gesteinen Sachsens an und vergleichen diese mit Clarke-Werten für die obere kontinentale Erdkruste nach WEDEPOHL (1995). Der geologische Bau prägt das geochemische Erscheinungsbild. So lässt der von quartären Sedimenten bedeckte nördliche Teil Sachsens eine weite Einheitlichkeit geringer Spurenelementgehalte erkennen, die lediglich durch holozäne Auensedimente unterbrochen wird, die an charakteristischen Erz- und Begleitelementen (Zn, Sn, Pb, U, F, As) deutlich höhere Gehalte aufweisen. Im Gegensatz dazu zeigen die Gesteine des Grundgebirges im südlichen Landesteil eine wesentlich breitere stoffliche Variabilität. Offensichtlich werden z.B. Zusammenhänge zwischen basischen Gesteinen und den Elementen Co, Cr und Ni sowie zwischen jüngeren Graniten und hohen Konzentrationen an F, Sn, Rb und Li. Die Grundzüge der Gesteinsgeochemie werden über den Prozess der Verwitterung an Böden, Flusssedimente und Wässer vererbt. Damit stellen die Hintergrundwerte der einzelnen Gesteinstypen eine wichtige Bezugsgröße für den Stoffbestand der o.g. Medien dar.

PÄLCHEN et al. (1987) stellten fest, dass der krustale Clarke für die Bewertung kleiner regionaler Einheiten nicht ausreichend ist und plädieren für die Bewertung mittels regionaler und lokaler Clarkes bzw. gesteinsbezogener Mittelwerte. Aus dem Vergleich des regionalen (Fichtelgebirgisch-Erzgebirgische Antiklinalzone) mit dem krustalen Clarke konnten die Autoren eine allgemeine metallogenetische Aussage ableiten: Zu den gegenüber dem krustalen Clarke angereicherten Elementen zählen mit Li, Sn, W, Pb, F und Zn die wichtigsten Elemente der Mineralisationen des Erzgebirges.

3.2 Charakterisierung der metallogenetischen Situation

In den Grundgebirgseinheiten treten vielfältige **Mineralisationen** auf, die hinsichtlich Intensität und Typ sehr inhomogen verteilt sind. Die stärksten Vererzungen, die über viele Jahrhunderte auch Gegenstand des Bergbaus waren, treten im Erzgebirge/Vogtland auf, während die Lausitz, das Granulitgebirge und Nordsachsen praktisch frei davon sind.

Im einzelnen können folgende Haupttypen von Mineralisationen im **Erzgebirge** (nach ihrer Altersabfolge) unterschieden werden (HÖSEL et al., 1997):
– neogene Mineralisationsetappe (Tertiär): U, F, Ba

- postvariszische Mineralisationsetappe (Perm-Jura): Co-Ni-As; F, Ba
- spätvariszische Mineralisationsetappe (Oberkarbon-Perm): F; U; Pb-Zn-Ag; Sn-W-Mo
- frühvariszische Mineralisationsetappe (Unterkarbon): Hg, Sb, Au
- prävariszische Mineralisationsetappe (Kambrium-Ordovizium): Hg; Cu-Pb-Zn; Kieslager; Fe-Skarne

In der Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory 1:100.000, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt“ liegen für das Erzgebirge Informationen über Morphologie, Lage und Inhalt (Paragenesen) von Lagerstätten und Mineralisationen vor, ergänzt durch Größe, Bezeichnung und Rayonierung von Lagerstätten und Vorkommen.

Die Mineralisationen sind ein natürlicher Bestandteil der Erdkruste und unterliegen mit dem sie beherbergenden Gesteinsverband Prozessen der oberflächennahen Verwitterung, der Mobilisierung, des Transports und der Akkumulation und stehen zu jedem Zeitpunkt je nach aktueller Bindungsform den Pflanzen, Tieren bzw. Menschen zur Verfügung. Durch die Nutzung der Mineralisationen als Rohstoff können die vorhandenen Konzentrationen potenziert werden und es entstehen anthropogen bedingte Anomalien.

Tab. 3.2: Morphologische Typen der primären und sekundären Lagerstätten im Erzgebirge/Vogtland (HÖSEL et al., 1997)

Morphologischer Typ	Ausbildung	Element(assoziation), Mineral	Vorkommen (Beispiele)
primäre kontaktabhängige Bildungen	Greisenkörper, Stockwerke, flach einfallende Trümer/Gänge	Sn, W	Mühlleithen, Gottesberg (Greisen) Altenberg, Sadisdorf (Stockwerke) Zinnwald (flach einfallende Trümer)
	Skarnlinsen	Fe, Sn, W	Hämmerlein, Tellerhäuser (Skarn im Dach von Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes) Pöhla-Globenstein, Zobes (granitnah mit Scheelit)
primäre kontaktunabhängige Bildungen	steil einfallende Trümer/Gänge	Sn, W, Mo	Ehrenfriedersdorf Pechtelsgrün
	schichtförmige oder schichtgebundene Körper	Fe, Cu	Elterlein (Kupfer-Sulfidlagerstätte) Lambzig (oolithisches Eisenerzvorkommen) Hermsdorf, Herold (Pb-Zn-Sb-Vorkommen)
	Gänge	Pb, Zn, Ag, Sb, U, Ni, Co, Fe; Fluorit, Baryt	Gliederung nach Erzparagenesen: Freiberg (sulfidisch-quarzführend) Hartenstein (oxidisch, z.T. uranföhrnd) Brand (karbonatisch, Sb-, Ag-betont) Halsbrücke (sulfidisch, baryt-fluoritführend) Schneeberg (Co-Ni-arsenidisch) Jáchymov (karbonatisch, As-, Ag-haltig)
sekundäre Bildungen	Imprägnationen	Hg	Bockwa – Hartenstein (Cinnabaritimpregnationen in pelitischen Gesteinen)
	Seifen	Sn	Sauschwemme (südlich des Auersberges) Eibenstocker Granitmassiv Thum (nordwestlich der Greifensteine)
	Imprägnationen	U	Freital, Pirna – Königstein

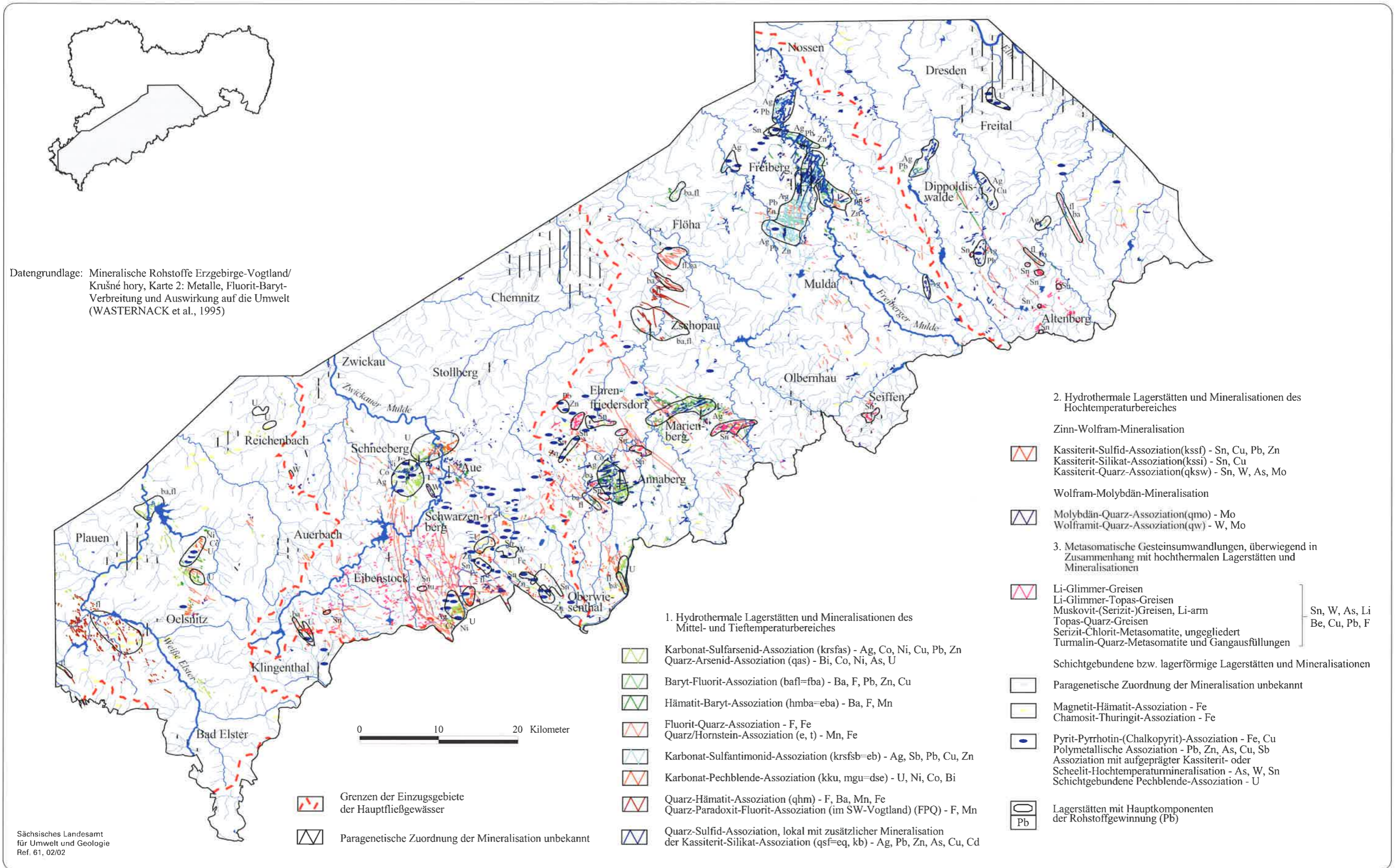


Abb. 3.2: Karte geogener und anthropogener Quellen – Mineralisationen Erzgebirge/Vogtland

Für die Elementführung in den fluviatilen Sedimenten der rezenten Fließgewässer sind die Mineralisationstypen von unterschiedlicher Bedeutung. Die reinen Eisenerzmineralisationen werden kaum indiziert. Dagegen sind die schwermetallführenden Mineralisationen gut nachweisbar. Auch Schwarzschiefer (Silur) können deutliche geochemische Indikationen (z.B. Mo) hervorrufen.

Während die Para- und Orthogesteine des Präkambriums der **Elbezone/Lausitz** fast ohne metallogenetische Bedeutung sind, befinden sich in den jüngeren Bildungen zahlreiche, allerdings unbedeutende, Indikationen für lithogene Spezialisierungen und Mineralisationen, z.B. (RENTZSCH et al., 1980; MÜLLER & RENTZSCH, 1985):

- unterschiedlich starke geochemische Spezialisierung der sauren bis intermediären Magmatite: Lausitzer Stockgranite von Stolpen und Königshain (Sn-Li-Rb-W-spezialisiert), der Intrusiva des Meißner Massivs (Ba-Sr-Cu-Pb-spezialisiert, mit Cu- und Cu-Pb-Indikationen), des Markersbacher Granits (F-Sn-Li-Rb-Be-W-spezialisiert), Granit von Rumburg (F-Sn-Rb-spezialisiert)
- pegmatitische Mineralisationen (Königshainer Granit und Kontakthof)
- postmagmatische Sn-W-Mineralisationen (Königshainer und Rumburger Granit und ihr Kontakthof)
- polymetallische Gangmineralisationen, z.B. von Scharfenberg (Pb-Ag-Erzgänge) und Munzig (Pb-Zn-Erzgänge), im Meißner Massiv und seiner Kontaktzone
- variszische oxidische und sulfidische Mineralisationen im Nossen-Wilsdruffer Geosynklinalbereich
- erzführende Skarne von Berggießhübel
- Sulfidvererzungen (Pyrrhotin-Pentlandit-Paragenese), z.B. Angstberglinse, Sohland, in Gängen und Stöcken von Mikrogabbros und Mikrodioriten
- tertiäre Fluoritvorkommen in Kreidesandsteinen
- sulfidische Cu-Pb,- Quarz-Fluorit- und Karbonat-Fluorit-Mineralisationen, z.B. Heeslichtmühle/Polenztal (Cu-Mo-Bi-Sn), Saupsdorf (Pb) als Indikation des Metallotekts der Lausitzer Störung vom Jěstěd (Tschechische Republik) bis in den Meißner Komplex
- Quarzgänge erzfrei und erzhaltig, z.B. Steinigtwolmsdorf, Radeberg (Cu) im Lausitzer Block.

Das **Granulitgebirge** wird durch das Auftreten proterozoischer Metabasite (Pyroxen- und Granatserpentine) in Leukogranuliten und Pyriklastiten, durch die variszische Regionalmetamorphose, durch spät- und postvariszische Gangmineralisationen und vor allem durch die spätmesozoisch-alttertiäre Verwitterung geprägt, die auf serpentinitischen Gesteinen zu Verwitterungslagerstätten von Nickelhydrosilikaten führte. In Pyriklastiten von Hartmannsdorf treten pegmatoide (Alkalifeldspat, Biotit, Turmalin u.a.) und hydrothermale Mineralisationen (Arsenopyrit, Löllingit, Kassiterit, Pyrit, Sphalerit, Chalkopyrit u.a.) ohne ökonomische Bedeutung auf. Die gering spezialisierten Granite sind ohne metallogenetische Bedeutung. Historisch bedeutend waren Au-haltige Cu-As-führende Erzgänge von Hohenstein-Ernstthal, Sb-haltige Pb-Zn-Ag-Vererzungen von Roßwein, sulfidische Pb-Zn-Erze von Schönborn und Barytgänge von Waldheim, Waldenburg, Kriebstein und Mittweida. Am bedeutendsten war der Abbau von Nickelhydrosilikatlagerstätten (im Raum Callenberg) (HARTISCH et al., 1989).

Im Untersuchungsgebiet **Nordsachsen** führte der Braunkohlenabbau im Mitteldeutschen (NW-Sachsen) und im Lausitzer Braunkohlenrevier (O-Sachsen) zu einer Flächeninanspruchnahme von 470 km², von denen bereits 202 km² als Kippenlandfläche wieder nutzbar gemacht wurden. Auf den Abb. 3.1 und 3.4 sind diese Flächen ausgewiesen. Aus den verbleibenden Restlöchern wird nach Grundwasserwiederanstieg und Flutung eine Seefläche von 193 km² entstehen. Aktiver Braunkohlenbergbau (Nochten und Reichwalde im Lausitzer, Vereinigtes Schlehenhain im mitteldeutschen Revier) wird in den nächsten drei bis vier Jahrzehnten ca. 116 km² Fläche in Anspruch nehmen (ABO-RADY & WEISE, 1994). In den Vorflutern wurden seit Beginn des Bergbaus gravierende Veränderungen vorgenommen (Um- und Ausbau von Gewässerstrecken, Erhöhung der Versickerungsleistung im Vorfluter durch Grundwasserabsenkung und künstliche Aufhöhung der Abflussverhältnisse). Durch die Reduzierung der Braunkohlenförderung und nachfolgenden Aufgang des Grundwassers sowie Flutungsprozesse kann es zur Verlandung der Wasserläufe oder Vernässung ihrer Umgebung und zu Änderungen im Wasserchemismus kommen (Anstieg der Eisen- und Sulfatgehalte, reduzierter pH-Wert mit erhöhtem Löslichkeitspotential für Schwermetalle) (KUHN, 1994).

3.3 Übersicht über die Böden (Bodeneinheiten, Spurenelementgehalte, Hintergrundwerte)

Die Entwicklung vom undifferenzierten Gestein zum oft stark gegliederten Boden ist abhängig von den am jeweiligen Ort vorherrschenden Faktoren der Bodenentwicklung, z.B. Klima, Ausgangsgestein, Relief, Flora, Fauna sowie Wasser (SCHACHTSCHABEL et al., 1992). In Mitteleuropa veränderten die nacheiszeitlichen Milieubedingungen glaziale, periglaziale und auch ältere Substrate maßgeblich (BARTH et al., 1996). Auf der Grundlage der naturräumlichen Gegebenheiten lassen sich in Sachsen sechs **Bodenregionen** ausgliedern, die durch mehrere Leitbodengesellschaften charakterisiert werden können. Mit insgesamt 56 % dominieren Böden über quartären Lockersedimenten (Altmoränen-, Löss- und Sandlösslandschaften). 35 % der Böden haben sich aus periglazialen Schuttdecken über paläozoischen und präkambrischen Festgesteinen (Tonschiefer, Metamorphite und Magmatite, untergeordnet Sandsteine) gebildet. Böden in Flusslandschaften nehmen 6 % und Rohböden über Kippsubstraten der Bergbaufolgelandschaften 3 % der Landesfläche ein (BARTH et al., 1996). Einen Überblick über die Böden des Freistaates Sachsen gibt Abb. 3.3.

In BARTH et al. (1996) erfolgte für die Ackerböden eine Bestandsaufnahme von Schwermetallgehalten und Arsen. Für jede ausgewiesene Leitbodengesellschaft wurden die **mittleren Elementgehalte** (Medianwerte) berechnet, die den dominierenden Einfluss des Substrates auf den Elementgehalt des Bodens zeigen. In Sachsens Böden nimmt die Variabilität und Konzentration der Elementgehalte von Norden nach Süden zu.

Mit dem Bodenmessnetz im Raster 4 x 4 km wurde eine erste **flächendeckende Bestandsaufnahme der Böden** durchgeführt, die sowohl die Ermittlung natürlicher substrat- und nutzungsbezogener Hintergrundwerte als auch die Verbreitung und die Ursachen großflächiger stofflicher Bodenbelastungen gestattete (RANK et al., 1999). Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen zeigen, dass für die Beurteilung möglicher Gefährdungspfade den Elementen Arsen, Cadmium und Blei besondere Bedeutung zukommt. Polymetallische und Zinn-Wolfram-Mineralisationen des Erzgebirges verursachen

in Böden über Festgestein beachtliche regionale Elementanreicherungen, die durch zusätzliche Stoffeinträge von Bergbau und Hüttenindustrie zu lokalen Bodenkontaminationen führen. Arsen und Blei werden bevorzugt in der organischen Auflage unter Forst angereichert. Im Verbreitungsgebiet der Sedimente des Rotliegenden (Vorerzgebirgssenke) sind häufig erhöhte Arsengehalte in den Böden zu beobachten, die mit der Abtragung und Sedimentation von erzgebirgischem Material mit chalkogener Prägung in Verbindung stehen. Die Verteilung der Elemente Chrom und Nickel in den Böden wird durch die lithogenen Elementgehalte der Gesteine bestimmt, d.h. großflächig erhöhte Gehalte treten nur im Verbreitungsgebiet der basischen Magmatite auf. Bei den Elementen Kupfer und Zink können erhöhte Gehalte sowohl durch die geogenen Grundgehalte der Substrate als auch von erhöhten anthropogenen Anteilen geprägt werden.

Die **Bewertung der Böden** – wie auch die aller anderer Umweltmedien – wirft die Frage nach einer sinnvollen Bewertungsgrundlage auf. Im besonderen Maße sind dabei die substrat- und nutzungsbezogenen Hintergrundwerte hinzuzuziehen. Nach der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden setzt sich der Hintergrundwert eines Bodens aus dem geogenen Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammen. Der geogene Grundgehalt umfasst dabei den Stoffbestand des Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein/Substrat (lithogener Anteil), gegebenenfalls Vererzungen (chalkogener Anteil) und der durch pedogene Prozesse beeinflusstesten Umverteilung (Anreicherung oder Verarmung) von Stoffen im Boden ergibt. Die im Rahmen des Bodenmessnetzes 4 x 4 km (RANK et al., 1999) berechneten Hintergrundwerte zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der petrogeochemischen Zusammensetzung der Substrate:

- Bodengesellschaften im Verbreitungsgebiet von Verwitterungsdecken auf Festgestein – hohe und sehr hohe Schwermetallgehalte
- Bodengesellschaften im Verbreitungsgebiet von äolischen Lockergesteinen – mittlere bis geringe Schwermetallgehalte
- Bodengesellschaften im Verbreitungsgebiet von periglaziären Lockergesteinen – sehr geringe Schwermetallgehalte
- Bodengesellschaften der Auenböden – mittlere bis extreme Schwermetallgehalte.

Tab. 3.3: Mittlere Elementgehalte (Median, P50) in den Böden Sachsens, Angaben in mg/kg (RANK et al., 1999)

Messnetz Sachsen 4 x 4 km	n	As	B	Be	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	W	Zn
org. Auflage Oberboden	262	24	20	0,96	25	25	0,02	1,7	12	170	2,2	64
– Acker	505	10	39	1,4	37	15	0,10	0,50	14	49	1,4	60
– Grünland	293	14	45	1,8	45	17	0,12	0,62	17	66	1,9	86
– Forst	297	16	31	1,1	26	8,0	0,07	0,48	7,0	61	1,3	35
Unterboden	1.160	9,0	42	1,6	39	13	0,05	0,41	16	37	1,2	49

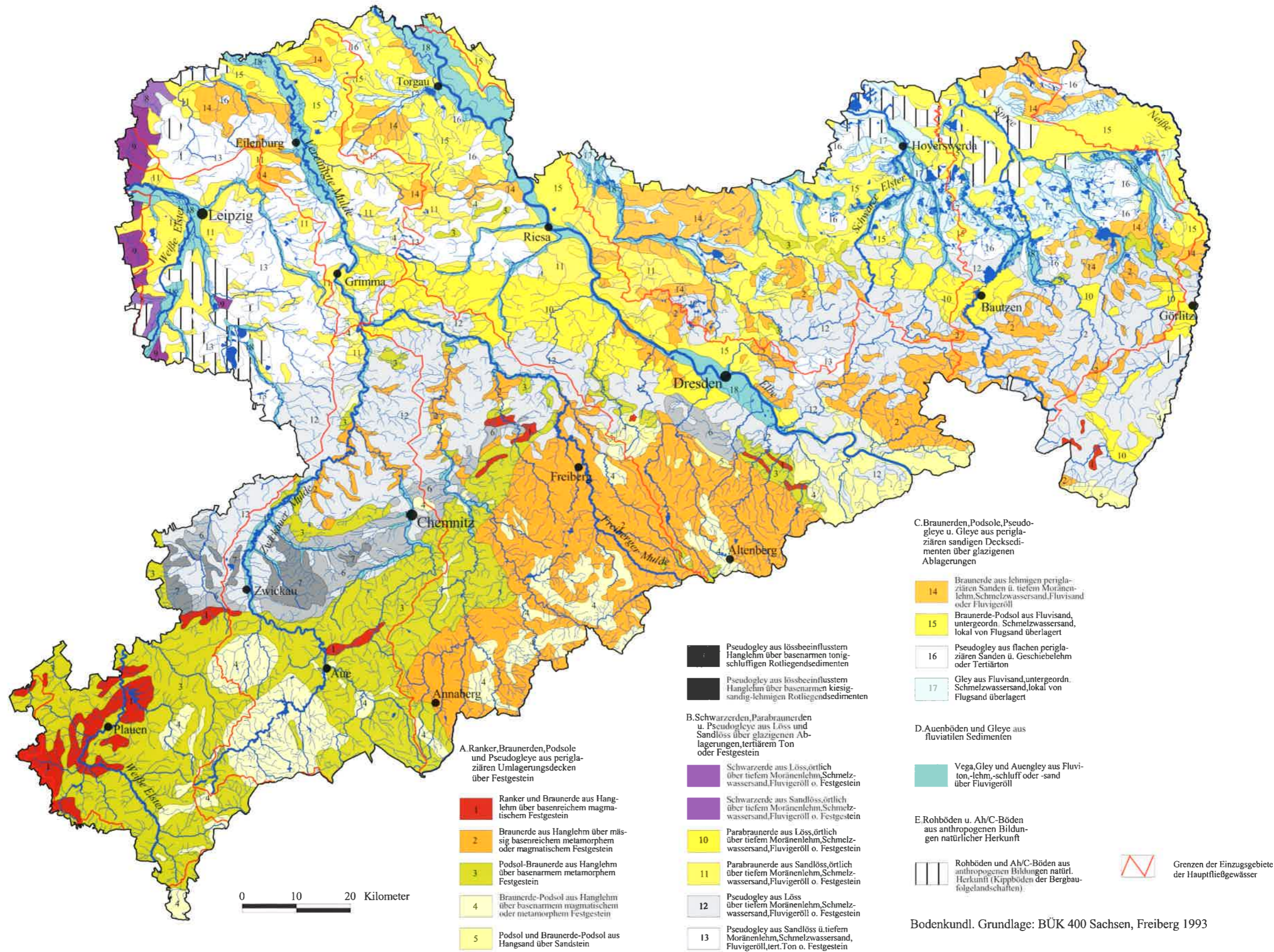


Abb. 3.3: Übersichtskarte der Böden Sachsens

3.4 Beschreibung der Nutzungsarten

Bei der Beschreibung der Landnutzung kommt dem Boden besondere Bedeutung zu. Er dient in erster Linie als Standort für land- und forstwirtschaftliche Bearbeitung, aber auch als Entsorgungsfläche für Abfälle, als Fläche für Bauwerke und Verkehrsflächen sowie zur Rohstoffgewinnung.

Aus der Abb. 3.4 konnten folgende Hauptnutzungsarten für Sachsen ermittelt werden: 1 % Wasserfläche, 27 % Wald, 24 % Grünland, 40 % Acker, 6 % Siedlung/Verkehr, 2 % Abgrabungen/Tagebau. Hinsichtlich der Verteilung der Hauptnutzungsarten in den Haupteinzugsgebieten zeigen sich vor allem bei Wald, Grünland und Acker Unterschiede (vgl. Tab. 3.4).

Tab. 3.4: Übersicht über die Hauptnutzungsarten in den Haupteinzugsgebieten Sachsens, Angaben in Prozent

Einzugsgebiet	Wasser	Wald	Grünland	Acker	Siedlung/Verkehr	Abgrabungen/Tagebau
Lausitzer Neiße	0,3	30,2	26,0	32,8	7,7	3,0
Spree	2,6	32,4	21,8	32,0	4,2	7,0
Schwarze Elster	2,0	31,7	22,4	38,6	3,5	1,8
Elbe i.e.S.	0,6	25,9	26,3	41,0	6,1	0,1
Eger	0,1	79,0	7,5	9,2	4,2	0,0
Freiberger Mulde	0,3	27,0	32,8	35,5	4,3	0,1
Zwickauer Mulde	0,4	32,9	21,8	33,1	11,4	0,4
Vereinigte Mulde	0,4	17,7	21,5	54,8	3,1	2,5
Weißer Elster	0,9	20,5	17,8	47,2	10,1	3,5
Saale i.e.S.	0,1	12,4	18,9	62,9	3,7	2,0

3.5 Quellen des Stoffhaushaltes der Bachsedimente

Der Stoffgehalt von natürlichen Medien ist in der Regel nicht einer einzigen Quelle zuzuordnen. Für Sedimente von Fließgewässern kommen als potenzielle Quellen in Betracht:

- Gesteine und deren Verwitterungsprodukte
- Mineralisationen (Vererzungen) und deren Verwitterungsprodukte
- neu gebildete Elementanreicherungen in Verwitterungsprodukten und Böden
- biogene Elementakkumulationen
- anthropogene Einträge (fest, flüssig, gas- und staubförmig) aus bekannten Quellen
- ubiquitäre Einträge.

Am Zustandekommen des Elementhaushaltes sind mithin unterschiedliche Prozesse beteiligt, die in vielfältiger Weise auf die Verteilung und Umverteilung von Elementen Einfluss genommen haben können, wie z.B.

- Gesteinsbildung (magmatisch, metamorph, sedimentär)
- Mineralisation (Erzbildung, Chalkogenese)
- Verwitterung (chemisch, physikalisch, biogen)
- Erosion

Das kleine Einzugsgebiet der Zwota (Eger) weist mit 79 % den höchsten Waldanteil und die geringsten Anteile an Acker und Grünland auf. In den anderen Einzugsgebieten herrscht Acker- und Grünland vor, gefolgt von Wald- oder Waldnutzung. Dabei ist anzumerken, dass die Böden in den Einzugsgebieten der Weißen Elster, der Vereinigten Mulde und der Elbe i.e.S. vorwiegend ackerbaulich genutzt werden (>40 %). Die anderen Einzugsgebiete sind durch Bodenart, Relief und Klima durch sehr differenzierte, kleinräumigere land- und forstwirtschaftliche Nutzung geprägt. Im Spree-Einzugsgebiet ist der Anteil der Wasserfläche und der für Abgrabungen und Tagebaue am größten. Am dichtesten besiedelt sind die Einzugsgebiete der Zwickauer Mulde (Großraum Chemnitz-Zwickau) und der Weißen Elster (Großraum Leipzig).

- Bodenbildung (Pedogenese)
- Vegetation, Bodennutzung
- anthropogene Einwirkungen aller Art (PÄLCHEN et al., 1995).

Die in den oberflächigen, natürlichen Probenmedien, hier in Bachsedimenten identifizierbaren Anomalien (Anreicherungen, Verarmungen) können in grober Näherung in die genetischen Kategorien geogen (lithogen, chalkogen), milieubedingt (d. h. durch starke Gradienten von pH und Eh bedingt) sowie anthropogen unterteilt werden.

3.6 Bewertungsgrundlagen für Gewässersedimente

Die Bewertung großer Fließgewässersysteme mit einem geologisch vielschichtigen Einzugsgebiet zuzüglich bergbau-licher, industrieller, landwirtschaftlicher und kommunaler Nutzung ist schon lange Gegenstand interdisziplinärer Diskussionen. Der Ansatz einer Bewertung kann in zweierlei Hinsicht vorgenommen werden:

- geochemisch auf Grundlage geogener Hintergrundwerte oder
- ökotoxikologisch auf Grundlage der Lebensansprüche von Mensch/Tier/Pflanze.

Die heutige Bewertung der Gewässergüte greift auf Qualitätsziele bzw. Zielvorgaben zurück. Die Hintergrundwerte spielen insofern eine Rolle, als sie bereits in der Größenordnung der Zielvorgaben liegen (FURRER, 2000b).

Die natürliche Hintergrundkonzentration wird wie folgt definiert (FURRER, 2000b):

Hintergrundkonzentrationen sind die natürlichen nicht-anthropogenen (d.h. präzivilisatorischen) Anteile der Gesamtkonzentration von Stoffen in Umweltkompartimenten. Bezogen auf die Gewässersedimente bedeutet das: natürliche Konzentrationen resultieren aus der Verwitterung/Erosion von Gesteinen (lithogene Komponente) und Vererzungen (chalkogene Komponente).

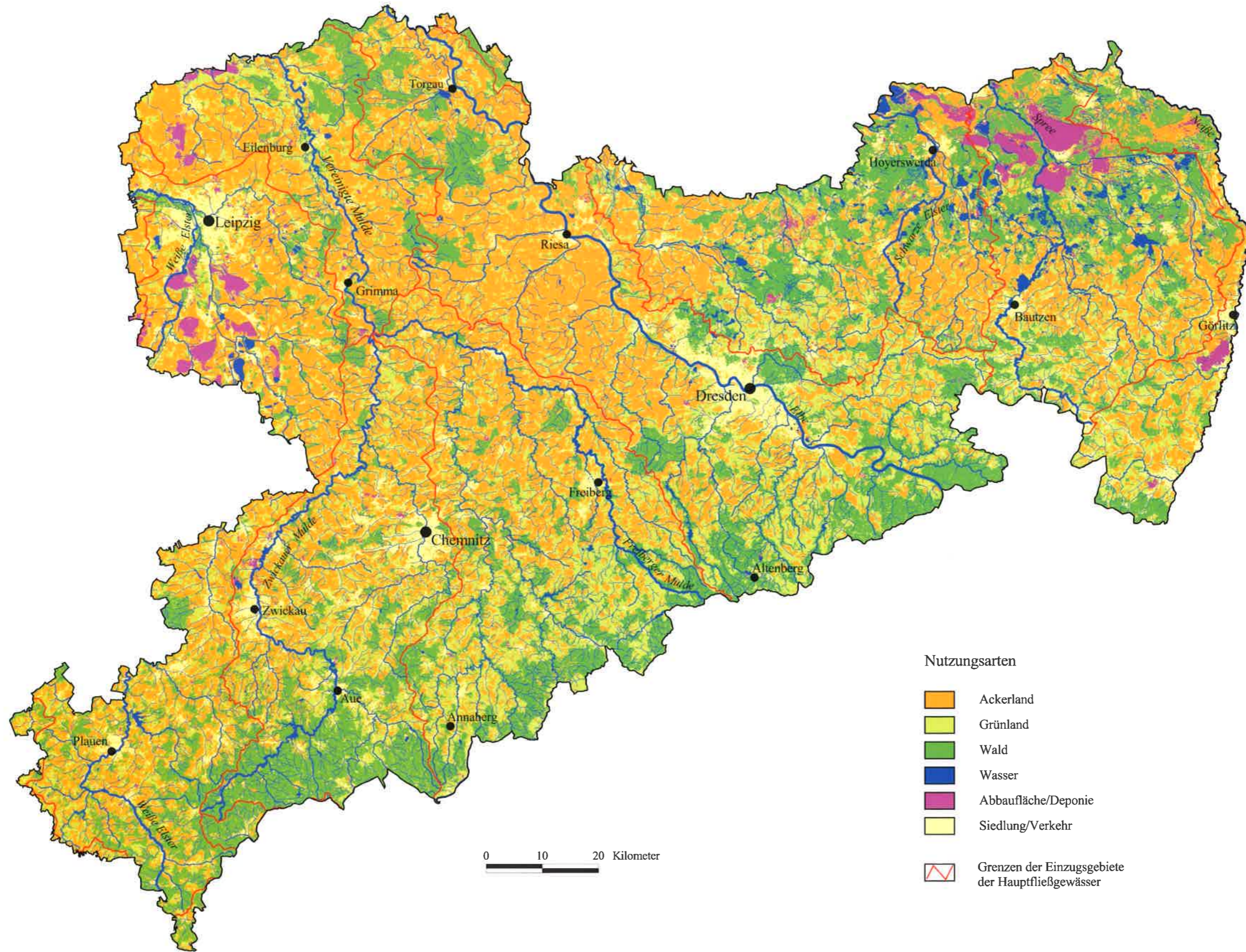
Tab. 3.5-1: Globale bzw. regionale geogene Hintergrundgehalte für Tonschiefer (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961) sowie für Auensedimente der Elbe (PRANGE et al. 2001), für Auenlehme von Elbenebenflüssen (FURRER, 2000a) bezogen auf die Kornfraktion < 20 µm

Element	Tonschiefer	Elbe	Schwarze Elster	Vereinigte Mulde	Freiberger Mulde	Zwickauer Mulde	Weißer Elster	Havel/Spree
As	13	24	25	46	24	42	15	12
B	100	–	–	–	–	–	–	–
Ba	580	589	–	–	–	–	–	–
Be	3	3,9	–	–	–	–	–	–
Co	19	19	12	–	–	–	–	–
Cr	90	117	72	50	39	53	82	46
Cu	45	32	32	34	30	26	38	23
Hg	0,4	<0,3	0,1	0,06	0,08	0,01	0,13	0,1
Li	66	79	–	–	–	–	–	–
Mo	2,6	0,9	–	–	–	–	–	–
Mn	850	8.500	–	–	–	–	–	–
Ni	68	53	39	39	34	30	73	27
Pb	20	29	31	43	44	100	23	24
Sn	6,0	4,9	–	–	–	–	–	–
Ti	4.600	59.000	–	–	–	–	–	–
W	1,8	3,6	–	–	–	–	–	–
Zn	95	1.500	98	260	110	170	160	83

Geochemischer Bewertungsansatz

Bei der 1991 begonnenen Elbeforschung wurde deutlich, dass zur umfassenden Bewertung der ermittelten Schwermetallkonzentrationen, insbesondere in den Sedimenten, zusätzliche geogene Hintergrundkonzentrationen benötigt werden. Die damals ausschließlich benutzten globalen Hintergrundwerte nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) stellten sich bei der Bewertung von Teileinzugsgebieten, z.B. der Mulde (BEUGE et al., 1994), als unzureichend heraus. In industriell belasteten Flusssystemen können Auen beprobt werden, in denen vorindustrielle, anthropogen unbeeinflusste Sedimente vorliegen (DEHNER & PÄLCHEN, 2000) und daraus regionale geogene Hintergrundwerte abgeleitet werden. Die Ermittlung geogener Hintergrundwerte für die gelöste und partikuläre Phase von Fließgewässern gestaltet sich wesentlich schwieriger. Häufig kommen globale Durchschnittsgehalte von Fließgewässern (MARTIN & WHITFIELD, 1983) zur Anwendung.

Für die Anwendung der geogenen Hintergrundwerte auf die Analysendaten wird die Klassifikation nach dem Schema des I_{geo} -Index von MÜLLER (1979) vorgeschlagen, auf dessen Grundlage sich ein Klassifikationsschema ergibt, aus dem sich die Klassenobergrenzen errechnen lassen: $I_{geo} = \log_2(c_n / (b_n * 1,5))$ (c_n – gemessene Konzentration, b_n – geochemischer Background des Elements n). Dabei werden die Gehalte in der Fraktion < 20 µm zu Grunde gelegt.



Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Ref. 61, 02/02

Abb. 3.4: Karte der Bodennutzung

Ökotoxikologischer Bewertungsansatz

Eine Bewertung der Wasser- und Sedimentqualität für verschiedene Nutzungszwecke wird unter Berücksichtigung ökotoxikologischer Aspekte vorgenommen. Für Trink- und Oberflächenwasser gibt es sowohl nationale (z.B. Trinkwasserverordnung der BRD, chemische Gewässergüteklassifizierung nach LAWA) als auch internationale (z.B. Trinkwassergrenzwerte der WHO, EG-Richtlinie für die Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser) Vorgaben. Für die Verwertung oder Beseitigung von Gewässersedimenten werden Normen und Rechtsgrundlagen für mineralische Reststoffe/Abfälle analog zum Bodenaushub (Klärschlammverordnung, Technische Regeln der LAGA) herangezogen.

Tab. 3.5-2: Güteklassifikation für Schwermetalle (LAWA, 1998) und Arsen (IkSE, 1998) in Schwebstoffen und feinkörnigen Sedimenten, Angaben in mg/kg

Element	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
As	≤5	≤15	≤30	≤60	≤120	≤240	>240
Pb	≤25	≤50	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
Cd	≤0,3	≤0,6	≤1,2	≤2,4	≤4,8	≤9,6	>9,6
Cr	≤80	≤90	≤100	≤200	≤400	≤800	>800
Cu	≤20	≤40	≤60	≤120	≤240	≤480	>480
Ni	≤30	≤40	≤50	≤100	≤200	≤400	>400
Hg	≤0,2	≤0,4	≤0,8	≤1,6	≤3,2	≤6,4	>6,4
Zn	≤100	≤150	≤200	≤400	≤800	≤1.600	>1.600

Von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurde eine chemische Gewässergüteklassifikation für Industriechemikalien, Schwermetalle, Nährstoffe, Salze und Summenparameter erarbeitet (LAWA, 1998). Die Güteklasse I (Tab. 3.5-2) charakterisiert einen Zustand ohne anthropogene Beeinträchtigung. Für gefährliche Stoffe bildet die Zielvorgabe die obere Grenze der Güteklasse II, die nachfolgenden Klassenobergrenzen ergeben sich aus der Multiplikation der Zielvorgabe mit dem Faktor 2. Für Schwebstoffe gilt die strengste Zielvorgabe über alle Schutzgüter. Die Klassifikation wird auch für die Beurteilung feinkörniger Sedimente (<20 µm) angewendet (SCHUDOMA, 1994).

Tab. 3.5-3: Grenzwerte der AbfklärV und Zuordnungswerte von Feststoffen für Boden nach LAGA, Angaben in mg/kg

Element	AbfklärV Grenzwert Einbau	LAGA – Z 0 Uneingeschränkter Einbau	LAGA – Z 1.1 Eingeschränkt offener Einbau	LAGA – Z 1.2 Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherheitsmaßnahmen	LAGA – Z 2 Einbau/Ablagerung in Deponien
As	–	20	30	50	150
Cd	10	0,6	1	3	10
Cr	900	50	100	200	600
Cu	800	40	100	200	600
Hg	8	0,3	1	3	10
Ni	200	40	100	200	600
Pb	900	100	200	300	1.000
Zn	2.500	120	300	500	1.500

Für das Aufbringen von feinkörnigen Sedimenten auf Böden gilt die **Klärschlammverordnung**. Die Grenzwerte entsprechen mit Ausnahme von Ni der LAWA-Klasse IV. In der Klärschlammverordnung (AbfklärV) vom 15. April 1992 wird das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden verboten, wenn sich aus Klärschlammuntersuchungen ergibt, dass die Gehalte (Tab. 3.5-3) mindestens einen der Werte übersteigen. Bei Böden, die im Rahmen der Bodenschätzung als leichte Böden eingestuft sind und deren Tongehalt unter 5 % liegt oder einen pH-Wert von mehr als 5 und weniger als 6 ergeben hat, sind Cd 5 mg/kg und Zn 2.000 mg/kg einzuhalten.

In der Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge ist regelmäßiges Entfernen der Gewässersedimente zur Erhaltung der Schiffbarkeit von Elbehäfen, zur Unterhaltung von Mühl- oder Trieb-

werksgräben, Vorsperren, Elblachen und Teichen notwendig. Nach der Klärschlammverordnung erfüllt ein Großteil der Sedimente aus Teichen diese Anforderungen und ist für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet. Die Bewertung der Sedimente aus der Elbe nach den Technischen Regeln der LAGA lässt meist nur einen „eingeschränkt offenen Einbau“ oder einen „eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherheitsmaßnahmen“ zu. Werden die Zuordnungswerte Z2 überschritten, kommt eine Verwertung nicht in Betracht und das Material ist wie Abfall zu behandeln (RAUER & ROTHE, 1996).

Die **Technischen Regeln der LAGA** (LAGA, 1994) basieren auf Prüfwerten zu Gesamtgehalten (Königswasser) (Tab. 3.5-3) und Eluaten nach dem Deutschen Einheitsverfahren (DEV S4) für Unterböden.

4 Ergebnisse

4.1 Elementgehalte im Sediment

4.1.1 Arsen (As)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste beträgt nach WEDEPOHL (1995) 2,0 mg/kg. Demgegenüber ist der mittlere As-Gehalt der Gesteine Sachsens mit 13 mg/kg deutlich erhöht. Niedrige bis normale Gehalte (≤ 15 mg/kg) treten in quartären und tertiären Sedimenten, in Granodioriten der Lausitz und des Meißner Massivs, in Älteren Graniten Westsachsens, in Phylliten, Glimmerschiefern, Granuliten und Metabasiten Sachsens auf. Leicht erhöhte As-Gehalte (15–25 mg/kg) besitzen Auensedimente und Flussterrassen des Quartärs, Sedimente der Kreide, Tonschiefer des Vogtlandes, Orthometamorphite, Jüngere Granite und saure Vulkanite des Erzgebirges sowie basische Vulkanite des Vogtlandes. Die höchsten As-Gehalte (> 25 mg/kg) treten in den Jüngeren Graniten und Rhyolithoiden des östlichen und mittleren Erzgebirges auf, wobei eine Beeinflussung durch disperse As-führende Mineralisationen nicht auszuschließen ist. Die As-Anreicherung in den Rotliegendesedimenten der Vorerzgebirgischen und Döhlener

Senke ist wahrscheinlich auf die Abtragung As-führender Vererzungen und die As-Affinität an hohe Eisengehalte dieser Gesteine zurückzuführen (KARDEL et al., 1996).

Arsen ist nach seinem geochemischen Charakter ein Durchläuferelement der wichtigsten Mineralisationen des Erzgebirges und besitzt somit eine großräumige Verbreitung. Anomale Arsengehalte sind praktisch stets an epigenetische Mineralisationen unterschiedlicher Typen gebunden. Die hauptsächlichen Arsen-träger sind Bi-Co-Ni-, sulfidische Pb-Zn- und gang- und stockförmige Kassiteritmineralisationen. Die Intensität vieler mineralisationsgebundener Anomalien wird durch bergbau- und verhüttungsbezogene Kontaminationen verstärkt. Die im Erzgebirge anstehenden arsenhaltigen Mineralisationen und die durch geogene und anthropogene Vorgänge entstandenen Dispersionshöfe bzw. Anomalien erschweren die Interpretation der ermittelten Medianwerte hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von der Verbreitung großer lithostratigraphischer Einheiten.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.1-2)

In der Rasterdarstellung sind bei einem allgemein erhöhten Niveau der Arsengehalte im Erzgebirge deutliche Anomalien (> 30 mg/kg) erkennbar: Raum Freiberg (Pb-Zn-Erzgänge), südlich Dippoldiswalde (Sn-Erzkörper Altenberg, Sadisdorf),

Tab. 4.1.1: Statistische Kenngrößen für Arsen in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	152	<5,0	7,0	18	6,0	26
Spree	559	<5,0	5,0	15	<5,0	8,5
Schwarze Elster	393	<5,0	13	40	<5,0	31
Elbe i.e.S.	2.280	7,0	20	83	8,0	119
Zwota/Eger	127	<5,0	25	101	12	38
Freiberger Mulde	2.803	13	35	102	10	198
Zwickauer Mulde	1.785	9,0	28	101	12	73
Vereinigte Mulde	54	5,0	9,5	44	—	—
Weißer Elster	1.451	<5,0	14	37	<5,0	24
Saale i.e.S.	47	<5,0	9,0	26	5,0	19
Sachsen	9.649	5,0	22/18*	80	<5,0	198

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

im mittleren Erzgebirge (Sn-Erzgänge Ehrenfriedersdorf, Geyer, Marienberg, Pb-Zn-Erzgänge Annaberg), Gebiet Schneeberg-Aue und Johanngeorgenstadt (Bi-Co-Ni-U-Ag-Erzgänge), vogtländisches Gebiet Gottesberg-Mühlleiten-Klingenthal (Sn-Vererzung) (HÖSEL et al., 1997).

Östlich der Elbe fallen die Dresdner Heide und die Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft durch As-Erhöhungen auf (30–240 mg/kg). So wird im Gebiet zwischen Dresden und Weißig die Ursache in den weit verbreiteten Eisenhydroxid-fällungen an Oxidationsbarrieren gesehen, die als As-Adsorptionsbarriere wirken. Die Schönfelder Platte im Süden der Dresdner Heide ist wie die sich östlich anschließenden Hügellandschaften durch niedrige Gehalte gekennzeichnet (RENTZSCH et al., 1982). Östlich der Spree setzen sich die geringen As-Gehalte (≤ 15 mg/kg) in den Bachsedimenten bis zur Landesgrenze nach Polen fort.

In den Bachsedimenten des Granulitgebirges treten überwiegend geringe As-Gehalte (≤ 15 mg/kg) auf. Anomale Gehalte (> 30 mg/kg) treten in der sulfidischen Barytmineralisation Sachsenburg und im Roßweiner Gangrevier auf (HARTISCH et al., 1989).

Die Vorerzgebirgssenke ist durch erhöhte As-Gehalte (30–120 mg/kg) in den Bachsedimenten, resultierend aus der Abtragung erzgebirgischen Materials, gekennzeichnet. Nur in diesem Gebiet können eindeutige Zusammenhänge mit der reinen Lithochemie des As gezogen werden. Die untersuchten Bachsedimente im nord- und nordwestsächsischen Gebiet weisen geringe As-Gehalte (≤ 15 mg/kg) auf. Die erhöhten Gehalte in sauren Vulkaniten des Nordwestsächsischen Vulkanitkomplexes spiegeln sich in den As-Gehalten der Bachsedimente kaum wider. Zu weiteren kleinen Anomalien gibt es keine lithologischen Rückschlüsse.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.1-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere As-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 18 mg/kg und wird im folgenden als Sachsen-Clarke bezeichnet. Die einzugsgebietsbezogene Darstellung zeigt, dass im Erzgebirge und der Vorerzgebirgssenke nahezu alle Einzugsgebiete über dem Sachsen-Clarke für Bachsedimente (18 mg/kg) liegen. Dazu gibt es zahlreiche Einzugsgebiete mit erhöhter Arsenführung, die sowohl auf chalkogene Quellen (Mineralisationen) als auch auf daraus folgende anthropogene Einflüsse (Bergbau, Metallverarbeitung) zurückgeführt werden kann, z.B. der Mittellauf der Freiberger Mulde und des Münzbaches (198 bzw. 107 mg/kg) – Lagerstättenbezirk Freiberg; die Oberläufe der Roten und Wilden Weißeritz (119 bzw. 86 mg/kg) – Bergbaureviere Schmiedeberg - Niederpöbel, Schellerhau; das Einzugsgebiet des Schwarzwassers (70 bzw. 73 mg/kg) – Bergbaureviere um Johanngeorgenstadt, Antonsthal - Pöhla, Schneeberg - Schlema - Aue; der Mittellauf der Zschopau (81 mg/kg) – Sn-Bergbau Geyer - Greifensteine.

Mit Ausnahme der Zwota (38 mg/kg), in deren Einzugsgebiet das Bergbaurevier Mühlleiten – Brunndöbra liegt, weisen die Einzugsgebiete im Vogtland geringere Arsengehalte auf (≤ 15 mg/kg). Die Dresdner Heide fällt durch As-Erhöhungen im Einzugsgebiet der Großen Röder (31 mg/kg) gegenüber den anderen geochemischen Landschaften der Elbezone und der Lausitz heraus. Die Einzugsgebiete Nordsachsens besitzen geringe As-Gehalte (≤ 15 mg/kg).

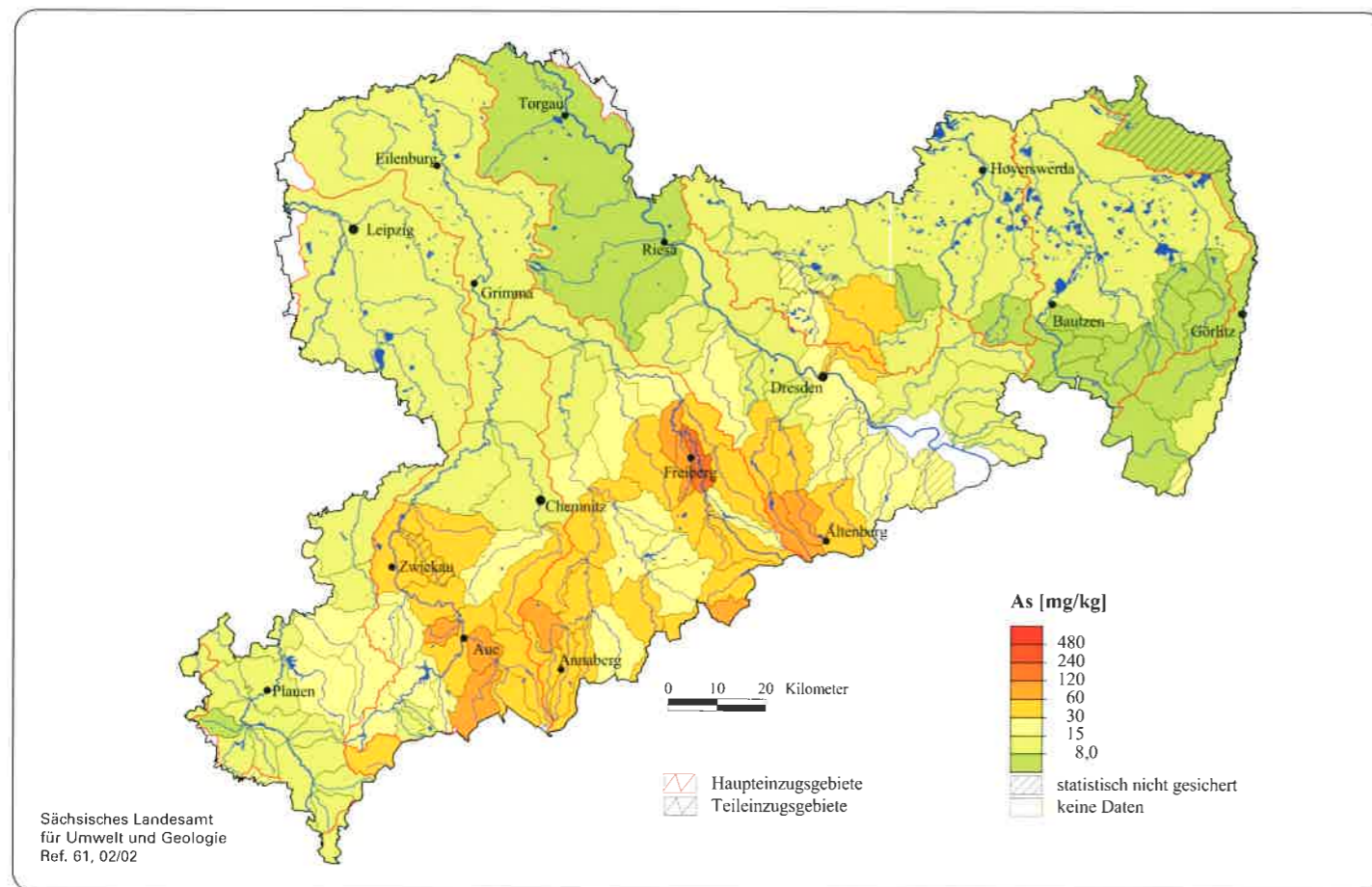


Abb. 4.1.1-1: Arsen in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

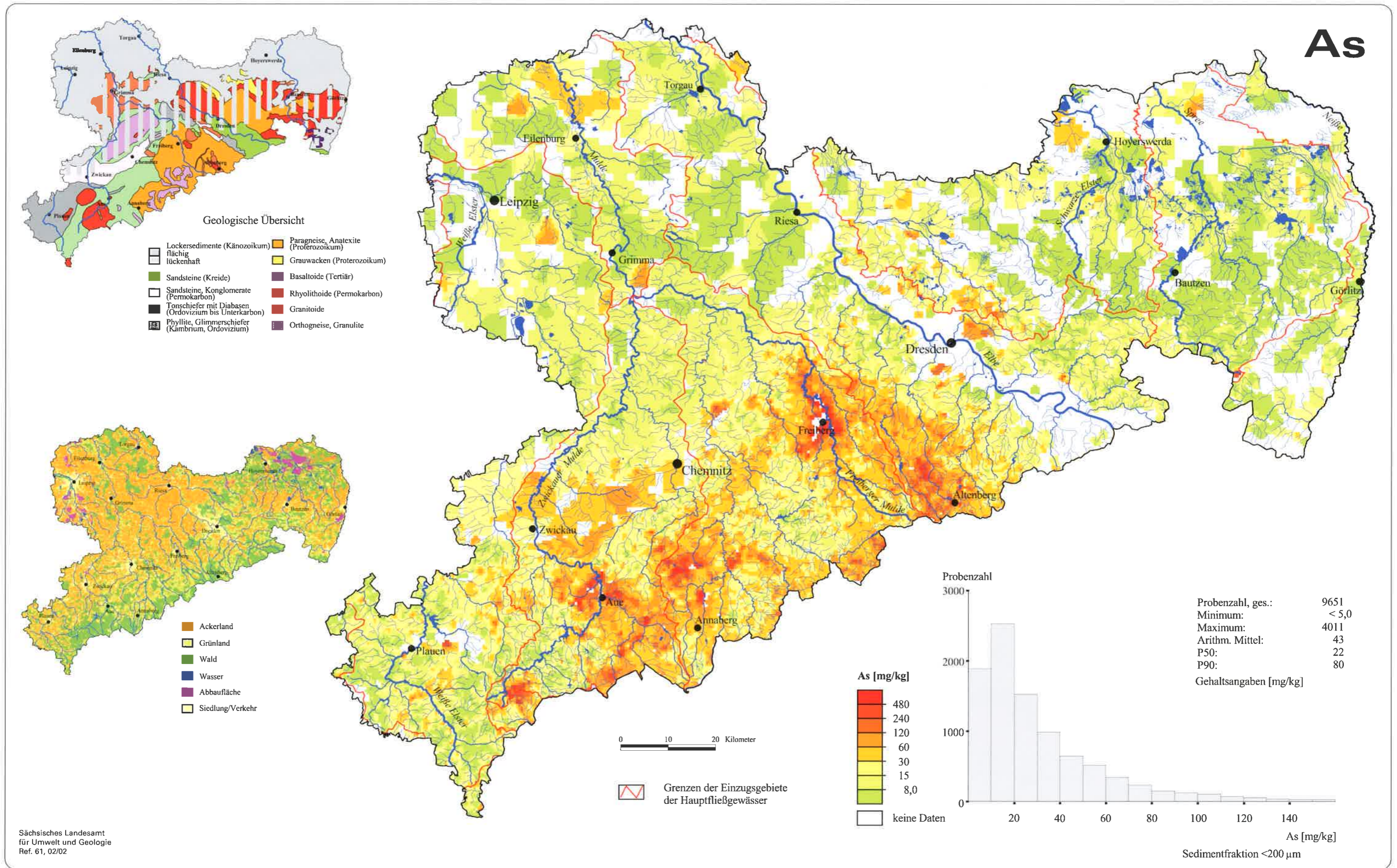


Abb. 4.11-2: Arsen in Bachsedimenten Sachsens

4.1.2 Bor (B)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Nach WEDEPOHL (1995) beträgt der Clarke der oberen kontinentalen Kruste 17 mg/kg. Der mittlere B-Gehalt der Gesteine Sachsens ist mit 37 mg/kg deutlich erhöht. Geringe Gehalte (≤ 16 mg/kg) treten im gesamten Gebiet der Paragneise einschließlich des Osterzgebirgischen Eruptivkomplexes und der Orthometamorphite auf. In Mittelsachsen finden sich im Bereich des Granulits und des Nordwestsächsischen Eruptivkomplexes sowie deren Bedeckung mit Löss ebenfalls niedrige B-Gehalte. Die Gesteine der Elbezone und des Lausitzer Massivs einschließlich der tertiären Vulkanite haben mittlere B-Gehalte (16–32 mg/kg). Leicht erhöhte B-Gehalte (38–42 mg/kg) treten in Phylliten, Grauwacken und Glimmerschiefern des Westerzgebirges/Vogtlandes und Mittelsachsens, dem Eibenstocker Granit, dem Fichtelgebirgsgranit und den Sedimenten des Perms, Tertiärs und Quartärs auf. Die Tonschiefer Sachsens weisen die höchsten B-Gehalte (> 64 mg/kg) auf (KARDEL et al., 1996).

Nach PÄLCHEN & OSSENKOPF (1989) ist für alle Granite des Mittel- und Westerzgebirges und des Nordvogtlandes (ohne Kirchberger Granit) das Auftreten von starken B-Anomalien im

Kontaktbereich der Granite charakteristisch. Dort ist B hauptsächlich in Glimmern und in Form des verwitterungsresistenten Turmalins gebunden, der auch in den Bachsedimenten als B-Träger auftritt.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.2-2)

Die Verteilung des B in den Bachsedimenten des Erzgebirges ist praktisch ausschließlich geogen bedingt. Hier ist eine deutliche regionale Differenzierung zu erkennen, die auf lithologischen Faktoren beruht: geringe Konzentrationen (≤ 48 mg/kg) im gesamten Ostteil (Gneise) sowie äußersten Südwesten (basische Vulkanite), deutlich erhöhte B-Gehalte (69–97 mg/kg) im Westteil (Phyllite, Tonschiefer). Starke kontrastreiche Anomalien (> 97 mg/kg) decken sich mit den Verbreitungsgebieten des Eibenstocker, Bergener und Auer Granits einschließlich ihrer Kontakthöfe. Das Gebiet Geyer-Ehrenfriedersdorf und der Fichtelgebirgsgranit zeichnen sich ebenfalls durch positive B-Anomalien aus. Das Fehlen einer entsprechenden B-Anomalie über dem Kirchberger Granit könnte auf einen tieferen Erosionsanschnitt deuten (PÄLCHEN et al., 1996). Die gegenüber den Gesteinen besonders auffällige B-Anreicherung in Bachsedimenten über den o.g. Graniten ist durch das Vorkommen von Turmalin im Exo-(Turmalinschiefer) und Endokontakt (Turmalinknollen) belegt.

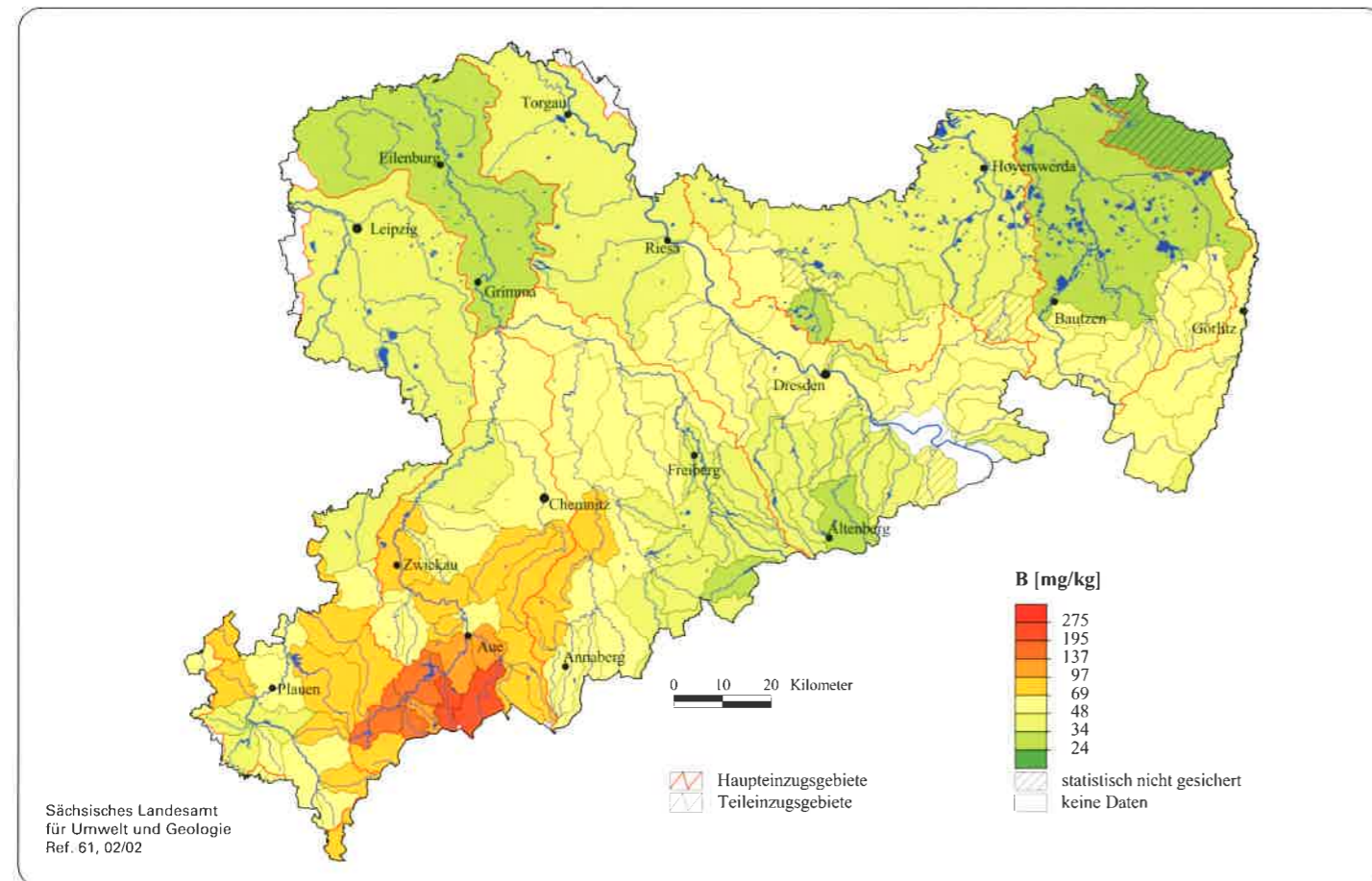


Abb. 4.1.2-1: Bor in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

Tab. 4.1.2: Statistische Kenngrößen für Bor in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete		
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	31	52	66	<20	63
Spree	587	38	53	63	29	58
Schwarze Elster	418	29	48	70	34	54
Elbe i.e.S.	2.493	29	49	64	28	60
Zwota/Eger	128	52	77	155	72	80
Freiberger Mulde	2.824	32	50	85	34	95
Zwickauer Mulde	1.796	48	85	231	48	231
Vereinigte Mulde	54	<20	32	50	—	—
Weißer Elster	1.538	39	67	108	42	94
Saale i.e.S.	51	36	59	84	<20	61
Sachsen, ungewichtet	10.105	33	55/51*	105	<20	231

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Im Bereich der Elbezone – SW-Rand Lausitz ist eine relativ homogene B-Verteilung im Bereich der Medianklasse (48–69 mg/kg) zu beobachten. Eine anthropogene Anomalie tritt im Raum Radeberg auf (RENTZSCH et al., 1982). Die Verteilung der B-Gehalte in den Bachsedimenten der Ostlausitz ist sehr homogen und liegt ebenfalls im Bereich der Medianklasse (48–69 mg/kg). Im Zittauer Gebirge tritt eine B-Abreicherung auf (≤ 48 mg/kg).

Im Granulitgebirge verläuft die B-Verteilung in den Bachsedimenten aufgrund des geringen B-Angebotes der Liefergesteine und ihrer Bedeckung auf geringem Gehaltsniveau (34–69 mg/kg) recht homogen. Erhöhte B-Gehalte (69–97 mg/kg) wurden zwischen Glauchau und Waldenburg in Zuflüssen der Zwickauer Mulde gefunden (Turmalin im Schlich) (HARTISCH et al., 1989).

Die Bachsedimente im Rotliegendbecken besitzen nur in unmittelbarer Nähe zur Zwickauer Mulde erhöhte B-Gehalte (69–97 mg/kg). Nordsachsen zeichnet sich durch ein niedriges Niveau der B-Gehalte (≤ 48 mg/kg) in den Bachsedimenten aus, wobei sich Gebiete südlich von Leipzig und westlich der Elbe zwischen Riesa und Torgau mit leicht erhöhten B-Gehalten in den Sedimenten hervorheben, die in keinem lithologischen Zusammenhang stehen, sich aber im Bereich südlich Leipzig mit erhöhten B-Gehalten in Ober- und Unterböden decken (RANK et al., 1999).

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.2-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere B-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 51 mg/kg. Deutlich über diesem Sachsen-Clarke liegen Teileinzugsgebiete in der oberen und mittleren Zwickauer Mulde und der oberen Weißen Elster. Zu diesen Gebieten zählt der Oberlauf der Zwickauer Mulde (bis 189 mg/kg) von der Quelle bis zur Mündung des Schwarzwassers einschließlich seiner Zuflüsse Große Pyra (166 mg/kg), Wilzsch (134 mg/kg), Große Bockau (231 mg/kg) und Schwarzwasser (225 bzw. 115 mg/kg). Diese Flussgebiete liegen zu großen Teilen über dem Verbreitungsgebiet des Eibenstocker Granits und seines Kontakthofes. Von erhöhten B-Gehalten in Bachsedimenten über Tonschiefern und teilweise Phylliten resultieren z. B. B-Anreicherungen (69–97 mg/kg) in Göltzsch, Trieb, Schwarzbach, Görnitzbach und Rosenbach (alle Weiße Elster), Zwickauer Mulde von Mündung Schwarzwasser bis Mündung Lungwitzbach zuzüglich Große Mittweida, Pöhlwasser, Zwönitz, Würschnitz, weiterhin Rote Pfütze, Zschopau 2, Wilzsch und Zschopau 4 (westlichstes Einzugsgebiet der Freiberger Mulde). Während sich über die Teileinzugsgebiete Mittelsachsens eine Zone mittlerer B-Gehalte (48–69 mg/kg) erstreckt, sind die Teileinzugsgebiete im Osterzgebirge (Oberläufe der Freiberger Mulde, Flöha und westelbische Zuflüsse südlich Dresden) und in Nordsachsen B-verarmt (≤ 48 mg/kg).

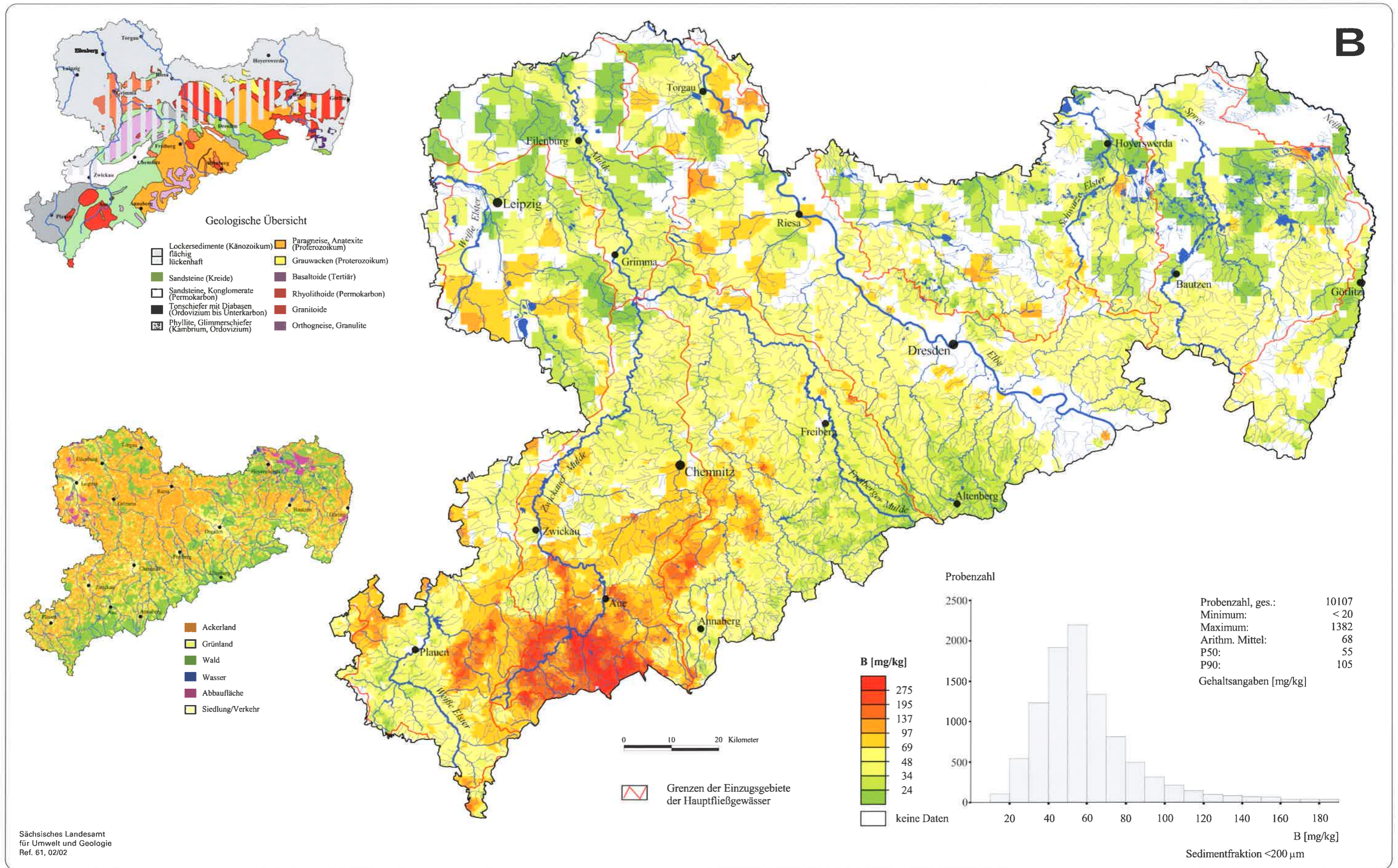


Abb. 4.1.2-2: Bor in Bachsedimenten Sachsens

4.1.3 Barium (Ba)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der mittlere Ba-Gehalt für die Gesteine Sachsens liegt mit 420 mg/kg unter dem Clarke der oberen kontinentalen Kruste (668 mg/kg) nach WEDEPOHL (1995). Niedrige Gehalte (≤ 160 mg/kg) finden sich in Gebieten mit Sedimenten der Kreide, mit jüngeren Graniten, osterzgebirgischen Rhyolithoiden sowie im Rumburger Granit. Mittlere Ba-Gehalte (320–640 mg/kg) treten in Granuliten, Glimmerschiefern, Metagranitoiden und -rhyolithoiden sowie in Sedimenten des Rotliegenden, des Tertiärs und Quartärs auf. Leicht erhöhte Gehalte (640–1.280 mg/kg) haben die nordwestsächsischen Vulkanite, die Anatexite, Granodiorite und Grauwacken der Lausitz, die Tonschiefer des Vogtlandes, Phyllite und Paragneise. Ba-Gehalte > 1.280 mg/kg treten in Granitoiden und Monzonitoiden des Meißner Massivs und in Phonolithen auf. Die Differenzierung innerhalb der Magmatite zeigt eine deutliche Ba-Anreicherung in intermediären Gesteinen (KARDEL et al., 1996).

Nachdem Baryt und Fluorit über lange Zeit nur als Gangarten angesehen worden waren, erlangten sie im letzten Jahrhundert auch als Rohstoff Bedeutung. Sie bilden überwiegend

Rohstoffkörper in Gängen und sind an regionale Bruchstrukturen mit NW-SE-Streichen gebunden. In den Lagerstätten treten wechselnde Assoziationen mit Baryt, Fluorit, Hämatit und Quarz in mehreren Generationen auf. Als wichtige Lagerstätten sind die Barytlagerstätte Brunndöbra und die Baryt-Fluorit-Lagerstätte Niederschlag zu nennen (HÖSEL et al., 1997).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.3-2)

Im Erzgebirge finden sich analog zu den Gesteinen niedrige Ba-Gehalte in Bachsedimenten über Graniten, Rhyolithoiden und Kreidesandsteinen, insbesondere über dem Eibenstocker Granit (≤ 320 mg/kg). Mittlere Ba-Gehalte (440–560 mg/kg) weisen Bachsedimente im Bereich der mittelerzgebirgischen Metagranitoiden und -rhyolithoide auf. Erhöhte Ba-Gehalte (560–800 mg/kg) werden sowohl in Bachsedimenten über westerzgebirgischen Tonschiefern und Phylliten als auch über mittel- und osterzgebirgischen Gneisen nachgewiesen. Positive Ba-Anomalien (> 800 mg/kg) treten im Zusammenhang mit Baryt-Fluorit-Lagerstätten (Brunndöbra, Niederschlag, Zschopau, Langenstriegis, Johnsbach) bzw. Lagerstätten mit Baryt als Gangart auf (Freiberg – Halsbrücke – Kleinvoigtsberg, Marienberg – Wolkenstein, Schmiedeberg, Glashütte, Großräume Altenberg, Schlema, Schneeberg).

Tab. 4.1.3: Statistische Kenngrößen für Barium in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	297	437	560	240	475
Spree	579	294	414	502	313	455
Schwarze Elster	417	304	445	692	407	572
Elbe i.e.S.	2.492	276	430	677	308	679
Zwota/Eger	128	254	492	747	342	535
Freiberger Mulde	2.824	342	498	724	420	780
Zwickauer Mulde	1.796	206	477	668	160	622
Vereinigte Mulde	54	403	547	1120	—	—
Weißer Elster	1.538	340	520	708	364	614
Saale i.e.S.	51	331	660	952	449	799
Sachsen, ungewichtet	10.095	291	470/486*	689	160	799

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Die Ba-Verteilung in der Elbezone und am SW-Rand der Lausitz ist bei geringen Konzentrationen (≤ 440 mg/kg) relativ homogen. Erhöhte Gehalte sind im Verbreitungsgebiet des Meißner Komplexes und der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft vorhanden, die auf eine schwache Ba-Spezialisierung der Gesteine hinweisen (RENTZSCH et al., 1982). Die am SW-Rand der Lausitz festgestellten geringen Ba-Gehalte in den Bachsedimenten setzen sich in der Ostlausitz fort. Im Bereich des Königshainer Granits treten die geringsten Ba-Gehalte auf (≤ 320 mg/kg). Als Quellen für Bereiche erhöhter Ba-Gehalte in den Bachsedimenten sind die im Untersuchungsgebiet auftretenden basischen Ganggesteine anzunehmen (MÜLLER & RENTZSCH, 1985). Die in KARDEL et al. (1996) beschriebenen hohen Ba-Gehalte in tertiären Phonolithen werden in den Bachsedimenten nur selten (punktuell) angetroffen.

Die Ba-Gehalte in den Bachsedimenten bewegen sich im Granulitgebirge im mittleren Niveau (440–560 mg/kg). Positive Ba-Anomalien treten im Verbreitungsgebiet der Barytmineralisationen, z.B. bei Roßwein, Schönborn-Dreierwerden und im Treppenhauer auf. Mineralisationsbedingt (Baryt im Schlich) sind ebenfalls Ba-Anreicherungen östlich Waldheim, bei Hainichen und in der Umgebung des Berbersdorfer Granits (HARTISCH et al., 1989).

Im Rotliegendbecken werden überwiegend mittlere Ba-Gehalte (320–680 mg/kg) in den Bachsedimenten angetroffen. Während in Nordostsachsen die Ba-Gehalte auf dem niedrigen Niveau (≤ 320 mg/kg) pleistozäner Flussterrassen und Schmelzwasserbildungen liegen, sind in Nordwestsachsen häufiger Ba-Anreicherungen (> 800 mg/kg) zu beobachten, die nicht im Zusammenhang mit lithologischen Ursachen stehen.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.3-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Ba-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 486 mg/kg. Mineralisationsbedingt über diesem Sachsen-Clarke liegen Teileinzugsgebiete der Freiberger Mulde einschließlich des Münzbachs (max. 780 mg/kg), der Oberlauf der Müglitz (648 mg/kg) und die Zwickauer Mulde 4 (622 mg/kg). Durch die punktuellen Anomalien in Nordwestsachsen wurde für die Weiße Elster NW-Sachsen und die Elbe N-Sachsen ein leicht erhöhter Medianwert (605 bzw. 679 mg/kg) ermittelt. Teileinzugsgebiete über dem Eibenstocker (Oberlauf der Zwickauer Mulde) und dem Kirchberger Granit (Crinitzer Wasser), über ostelbischen Granodioriten, Anatexiten, dem Königshainer Granit (Schwarzer Schöps 2-Süd), pleistozänen Flussterrassen und Schmelzwasserbildungen besitzen geringe Ba-Gehalte (≤ 440 mg/kg).

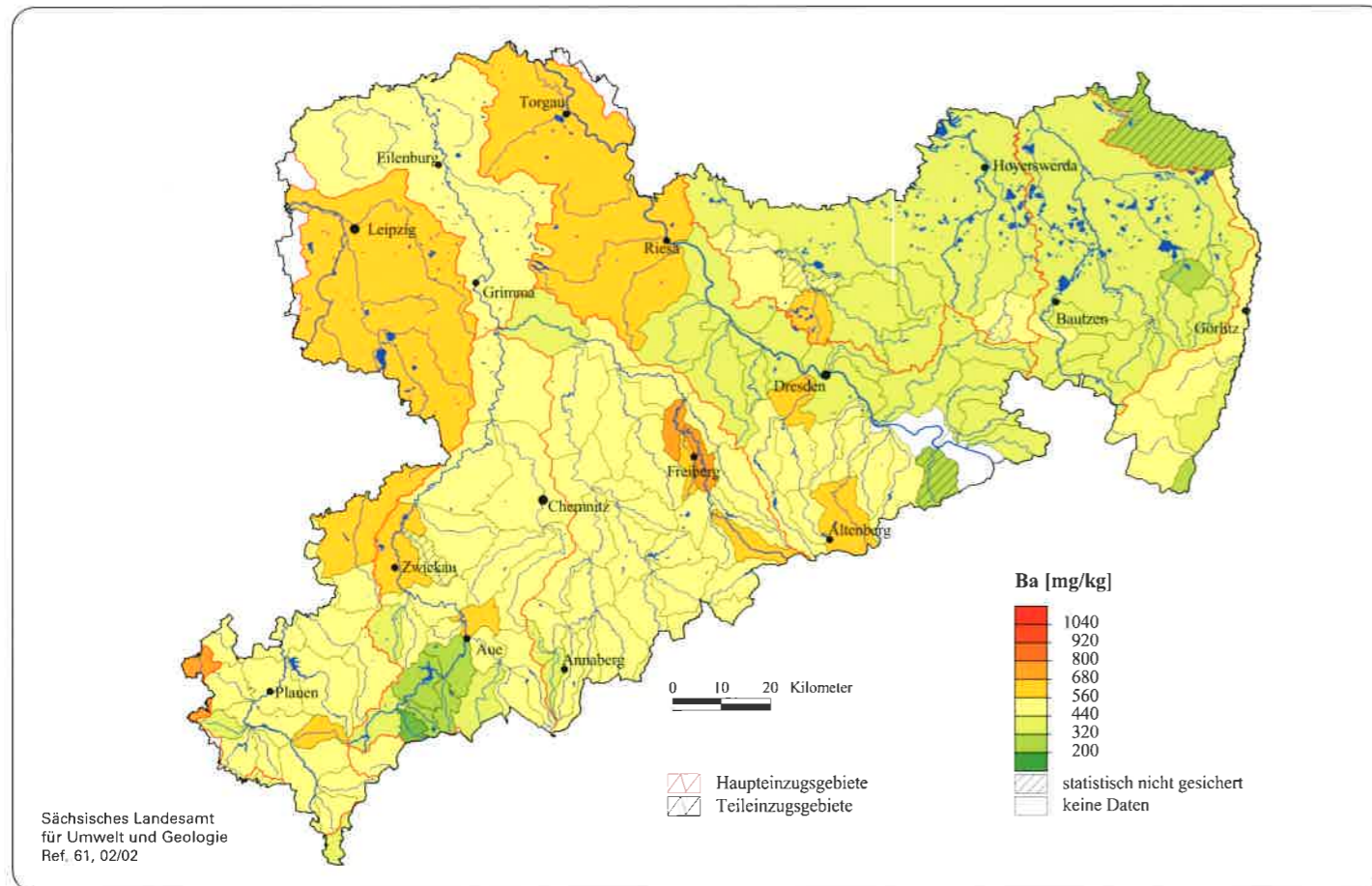


Abb. 4.1.3-1: Barium in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

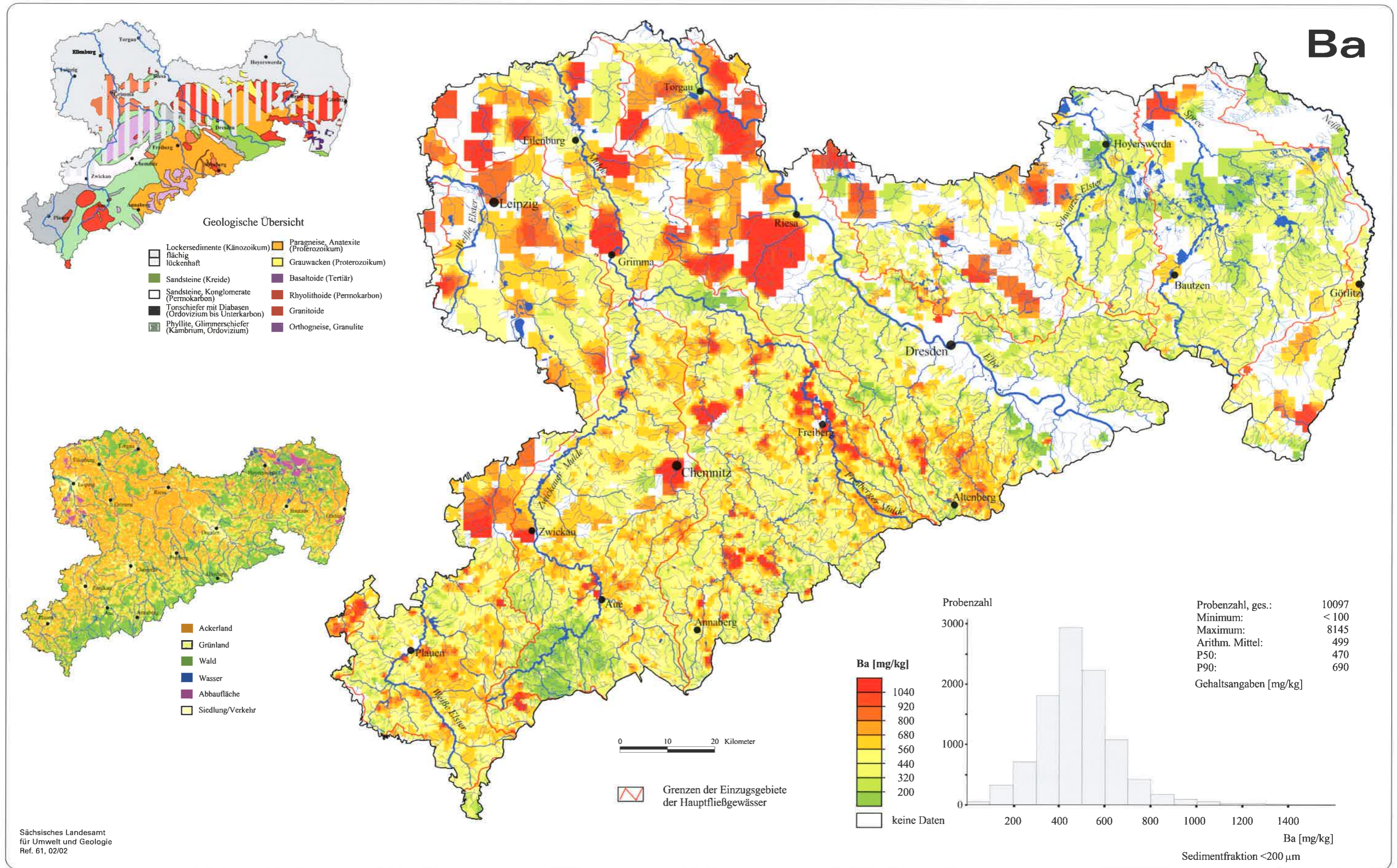


Abb. 4.1.3-2: Barium in Bachsedimenten Sachsens

4.1.4 Beryllium (Be)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste nach WEDEPOHL (1995) beträgt 3,1 mg/kg. Die Schwankungsbreite für die sächsischen Gesteine wird als hoch eingeschätzt: die niedrigsten Gehalte finden sich in periglazialen Sanden, Kreidesandsteinen und Gabbros (<1 mg/kg), die höchsten Gehalte in Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes (12 mg/kg). Auch die älteren Granite des Westerzgebirges besitzen hohe Be-Gehalte (bis 11 mg/kg) und teilweise beryllführende pegmatische Bildungen (Kirchberg; TISCHENDORF, 1989).

Aufgrund der geochemischen Spezialisierung der Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes und des damit genetisch und räumlich verbundenen Auftretens von Sn-Mineralisationen kann es dort zu Be-Anreicherungen kommen. Im Mineralisationsprozess erfolgt teilweise eine Bildung von Be-Mineralen, z.B. Beryll in der Zinnerzlagerstätte Ehrenfriedersdorf (RANK et al., 1999).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.4-2)

Sehr geringe Be-Gehalte ($\leq 2,9$ mg/kg) weisen Bachsedimente über basischen Vulkaniten des Vogtlandes auf, geringe Be-Gehalte ($\leq 4,6$ mg/kg) Bachsedimente über metamorph-sedimentären Komplexen des Erzgebirges, erhöhte Be-Gehalte ($> 4,6$ mg/kg) Bachsedimente über allen westerzgebirgisch-vogtländischen Graniten sowie der Jüngeren Granite des Ost- und Mittelerzgebirges und deren dachnahen Exokontakte. PÄLCHEN et al. (1982) geben für die Granitkontur (Westerzgebirge/Vogtland) an der Oberfläche eine Isokonzentration von 12 mg/kg und für die Außengrenze des Kontakthofes 6 mg/kg an.

In der regionalen Be-Verteilung der Elbezone und SW-Lausitz lassen sich sowohl lithologisch, strukturell, mineralisationsbedingt und anthropogen verursachte Abhängigkeiten nachweisen. Geringe Be-Gehalte treten in pleistozän bedeckten Teilen des Mittelsächsischen Lössgebietes, des Großenhainer Landes und der Lausitzer Platte als auch in den gering pleistozän beeinflussten Bereichen des Westlausitzer Hügellandes und Lausitzer Berglandes auf. Die erhöhten Gehalte über dem Meißner Komplex sind lithologisch bedingt, stark erhöhte Be-Konzentrationen ($> 7,3$ mg/kg) treten im Gebiet der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft über Monzonitoiden auf.

Tab. 4.1.4: Statistische Kenngrößen für Beryllium in Bachsedimenten (<200 μ m) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	297	437	560	240	475
Spree	579	294	414	502	313	455
Schwarze Elster	417	304	445	692	407	572
Elbe i.e.S.	2.492	276	430	677	308	679
Zwota/Eger	128	254	492	747	342	535
Freiberger Mulde	2.824	342	498	724	420	780
Zwickauer Mulde	1.796	206	477	668	160	622
Vereinigte Mulde	54	403	547	1120	—	—
Weißer Elster	1.538	340	520	708	364	614
Saale i.e.S.	51	331	660	952	449	799
Sachsen, ungewichtet	10.095	291	470/486*	689	160	799

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Dagegen werden für die Dresdner Heide nur randlich positive Be-Anomalien beschrieben (RENTZSCH et al., 1982). Korrelationsbeziehungen zeigen, dass Be unter den geochemischen Bedingungen der Hypergenesesezone teilweise dem Mn folgt und in dessen Hydroxidreicherung eingeht (PÄLCHEN et al., 1982). Kontrastreich hebt sich auch der Stolpener Granit heraus, es schließt sich eine Zone erhöhter Gehalte über dem Anatexit in SE-Richtung an (RENTZSCH et al., 1982). Auch in der Ostlausitz zeigt Be seine Indikatorfunktion für spezialisierte saure Magmatite. Die variszischen Stockgranite treten als positive Be-Anomalie heraus (Königshain). Der Rumburger Granit ist im Vergleich zu den Lausitzer Granodioriten ebenfalls als Bereich anzusehen, z.B. Klosterwald, N-Rand Zittauer Gebirge (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Der überwiegende Teil des Granulitgebirges weist geringe Be-Gehalte ($\leq 2,9$ mg/kg) in den Bachsedimenten auf. Anomalien im Zusammenhang mit dem Berbersdorfer oder Mittweidaer Granit sind nicht großräumig nachweisbar. Als milieubedingt werden die Anomalien westlich Rossau und westlich Chemnitz eingeschätzt (HARTISCH et al., 1989).

Im Rotliegendebcken überwiegen mittlere Be-Gehalte ($\leq 4,6$ mg/kg). Erhöhte Be-Gehalte (4,6–7,3 mg/kg) westlicher Zuflüsse der Zwickauer Mulde nördlich Zwickau decken sich mit erhöhten Mn-Gehalten und es wird somit von einer milieubedingten Anreicherung ausgegangen. In Nordsachsen liegen die Be-Gehalte in den Bachsedimenten im geringen bis mittleren Niveau. Bei den erhöhten Be-Konzentrationen zwischen Eilenburg und Torgau kann es sich um Bildungen aus Auenterrassen der Mulde bzw. Elbe handeln, in denen bei Bodenuntersuchungen stark erhöhte Gehalte (aus Verwitterungsprodukten der Einzugsgebiete) gefunden wurden (RANK et al., 1999).

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.4-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Be-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 2,9 mg/kg. Aufgrund der o.g. geochemischen Spezialisierung der Granite und des Auftretens von Be-Mineralen in Verbindung mit Zinnerzlagerstätten ergeben sich erhöhte mittlere Be-Gehalte für Bachsedimente im Oberlauf der Zwickauer Mulde (Zwickauer Mulde bis Mündung Schwarzwasser einschließlich Zuflüsse, Oberlauf Schwarzwasser, Pöhlwasser, max. 20 mg/kg), in Teileinzugsgebieten der oberen Weißen Elster (z.B. Göltzsch 1: 8,0 mg/kg), der Freiberger Mulde (Zschopau 2: 5,0 mg/kg), einiger westelbischer Teileinzugsgebiete (z.B. Rote Weißeritz 1: 8,0 mg/kg) sowie der Spree (Schwarzer Schöps 2-Süd: 6,0 mg/kg).

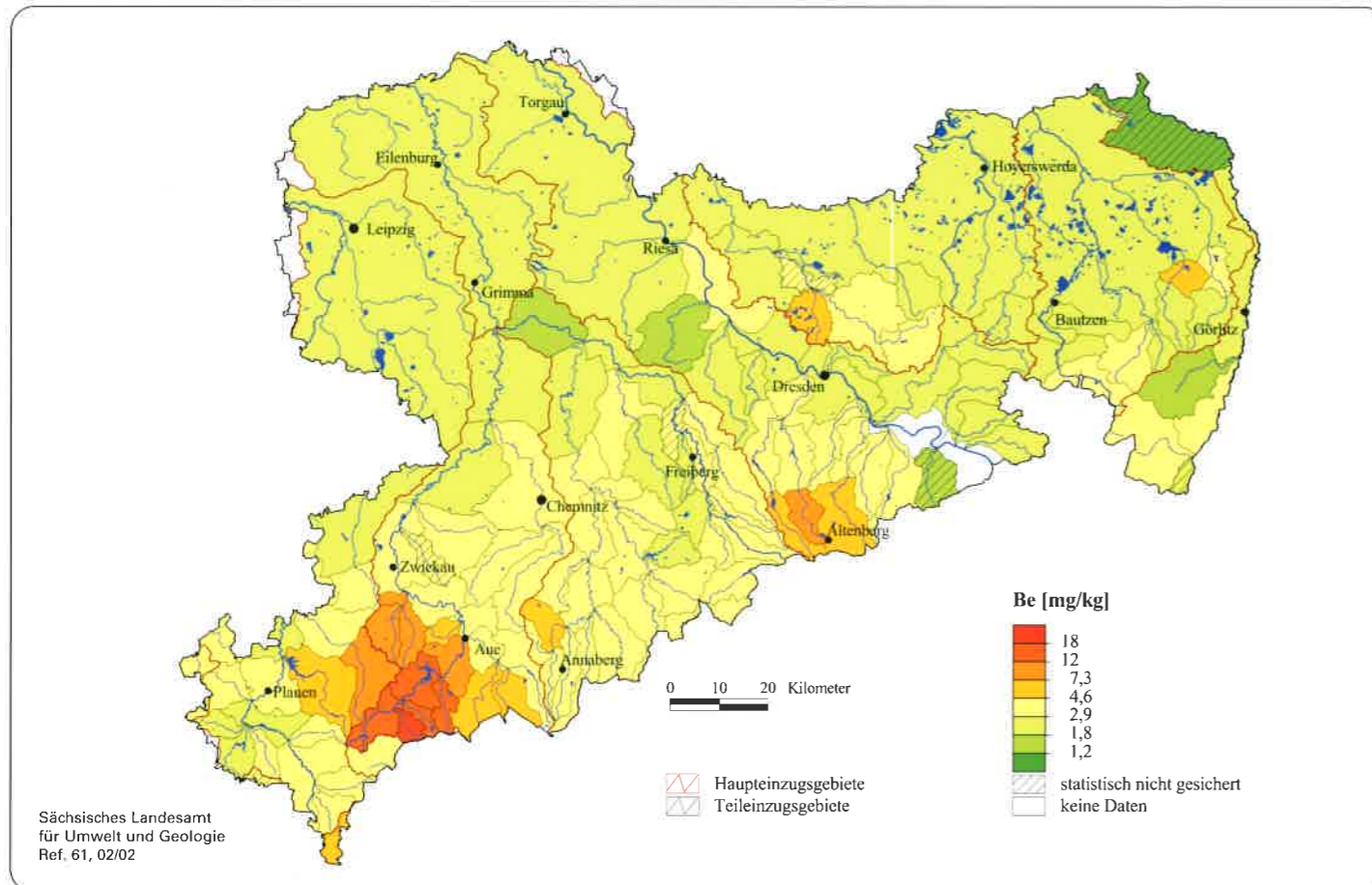


Abb. 4.1.4-1: Beryllium in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

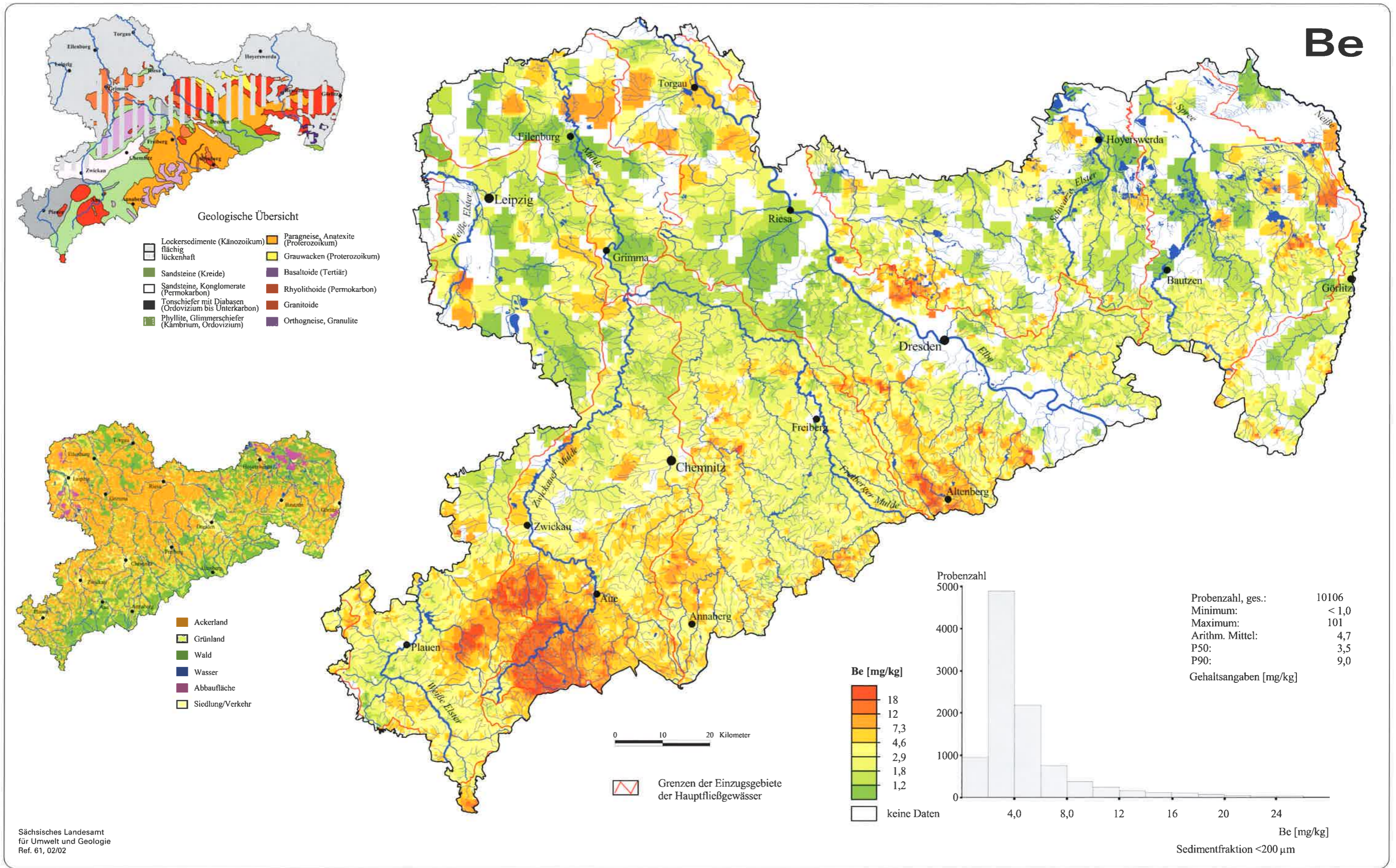


Abb. 4.1.4-2: Beryllium in Bachsedimenten Sachsens

4.1.5 Cobalt (Co)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der mittlere Co-Gehalt in den sächsischen Gesteinen beträgt wie der Clarke der oberen kontinentalen Kruste 12 mg/kg (WEDEPOHL, 1995). Co ist gemeinsam mit Cr, Cu, Ni, Fe und Mn hauptsächlich in basischen bis ultrabasischen Gesteinen angereichert, wobei basische Vulkanite, Metabasite und tertiäre Basaltoide die höchsten Co-Gehalte (>40 mg/kg) besitzen. Eine deutliche Co-Verarmung (1–4 mg/kg) ist in sauren bis intermediären Magmatiten, den Orthometamorphiten des Erzgebirges, dem Ostlausitzer Granodiorit und in Sedimenten der Kreide anzutreffen (KARDEL et al., 1996).

Co-Erze treten wie auch Ni-Erze in Form von Co-Ni-Fe-Arsenid-Erzen fast ausschließlich in Gangfüllungen der Quarz-Arsenid-Assoziation (BiCoNi) auf. Die gleichen Gänge waren aufgrund ihres Silber- und Uranreichtums ebenfalls von Bedeutung. Gänge diesen Typs sind u.a. von Zobes, Johanngeorgenstadt, Schneeberg, Annaberg, Wolkenstein und Bärenstein bekannt.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.5-2)

Die Co-Gehalte in den Bachsedimenten des Erzgebirges differieren aufgrund ihres geologischen Untergrundes sehr stark. Die geringsten Gehalte (≤ 5 mg/kg) an Co besitzen die Bachsedimente im Einzugsbereich der Granite, Rhyolithe und Gneise. Bachsedimente über Phylliten und Glimmerschiefern erreichen mittlere Co-Gehalte um 10 mg/kg. Deutlich positive Co-Anreicherungen treten erwartungsgemäß in Bachsedimenten über Tonschiefern und basischen Vulkaniten auf (> 10 mg/kg). PÄLCHEN et al. (1982) geben maximale Co-Gehalte (>20 mg/kg) für den Einzugsbereich von Schwarz- und Kieselschiefern (z.B. Lößnitz – Zwönitz - Thalheim) sowie Gabbros (z.B. Siebenlehn) an. Einige anomale Bereiche sind auch auf Mineralisationen vom BiCoNi-Typ zurückzuführen (z.B. im Raum Johanngeorgenstadt – Anthonsthal, Schneeberg – Lößnitz). Anomalien an Grenzen geochemischer Landschaften können sich als Co-Anreicherung mit Mn-Hydroxiden in der Hypergenesezone zeigen (z.B. Tharandter Wald, S-Rand Zellwald).

Die gute Korrelation des Co mit dem Element Mn in den geochemischen Karten ist sowohl auf ihr gemeinsames Indikationspotential für basische Gesteine als auch auf eine adsorptive Bindung des Co an Fe-Mn-Hydroxidfällungen unter Oberflächenbedingungen zurückzuführen. Co tritt in der Elbezone/

Tab. 4.1.5: Statistische Kenngrößen für Cobalt in Bachsedimenten (<200 μ m) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	<5,0	9,0	16	<5,0	9,5
Spree	587	<5,0	7,0	14	<5,0	12
Schwarze Elster	418	<5,0	8,0	24	<5,0	11
Elbe i. e. S.	2.492	<5,0	6,0	12	<5,0	11
Zwota/Eger	128	<5,0	8,0	25	<5,0	10
Freiberger Mulde	2.824	<5,0	6,0	13	<5,0	12
Zwickauer Mulde	1.796	<5,0	9,0	18	<5,0	16
Vereinigte Mulde	54	5,6	12	51	—	—
Weißer Elster	1.538	7,0	16	41	9,0	34
Saale i. e. S.	51	12	35	99	<5,0	37
Sachsen, ungewichtet	10.104	<5,0	7,0/10*	21	<5,0	38

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

SW-Lausitz bevorzugt in basischen Ganggesteinen auf und ist Anzeiger von Cu-Ni-Mineralisationen (z.B. Hohberggebiet). Die großflächig auftretende Co-Anomalie im Bereich der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft wird als milieubedingt eingeschätzt (RENTZSCH et al., 1982). Im Bereich der Ostlausitz spiegeln sich die Vulkanite im Mandauer Bergland und östlich Ebersbach in Gebieten erhöhter Co-Gehalte wider (10–32 mg/kg). Negativ hebt sich das Gebiet des Königshainer Granits heraus ($\leq 5,8$ mg/kg). Neben diesen lithologischen Gesetzmäßigkeiten wurden milieubedingte Co-Anreicherungen an Übergängen zwischen forstwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Nutzung beobachtet (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Zwischen Waldenburg und Hohenstein-Ernstthal und am SE-Rand des Granulitgebirges kommt es zu einer Co-Anreicherung in Einzugsgebieten mit Serpentiniten und Gabbros. Im nordöstlichen Verbreitungsgebiet basischer Vulkanite sind ebenfalls erhöhte Co-Gehalte anzutreffen. Milieubedingt an Fe-Mn-Hydroxidfällungen gebunden sind Co-Anreicherungen im Zellwald und im Nonnenwald (HARTISCH et al., 1989).

In nordsächsischen Bachsedimenten wird eine große Schwankungsbreite der Co-Gehalte festgestellt, die ein Niveau von 18 bis 58 mg/kg erreichen kann. Diese Konzentrationen korrespondieren nicht mit denen der Gesteine Nordsachsens, die Co-Gehalte <20 mg/kg aufweisen. Teilweise ist Kopräzipitation mit Mn als Ursache zu vermuten.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.5-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Co-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 10 mg/kg. Geringe Co-Gehalte werden in Teileinzugsgebieten im Oberlauf der Zwickauer Mulde bis zur Mündung Schwarzwasser einschließlich ihrer Nebenflüsse, im Crinitzer Wasser, in der Eger, im Schwarzen Schöps 2-Süd aufgrund unterlagernder Granite mit geringen Co-Gehalten angetroffen. Teileinzugsgebiete im Bereich von Gneisen führen in der Oberen Freiberger Mulde, der Flöha und der Zschopau ebenfalls geringe Co-Gehalte in den Sedimenten. Einen Kontrast bilden Teileinzugsgebiete der oberen Weißen Elster, der Zwickauer Mulde unterhalb Aue bis einschließlich Chemnitz im Einflussbereich basischer Vulkanite, Tonschiefer und Phyllite mit hohem Co-Potential, weiterhin Teileinzugsgebiete der mittleren Freiberger Mulde und Striegis sowie nordsächsische Teileinzugsgebiete ohne Lausitzer Neiße.

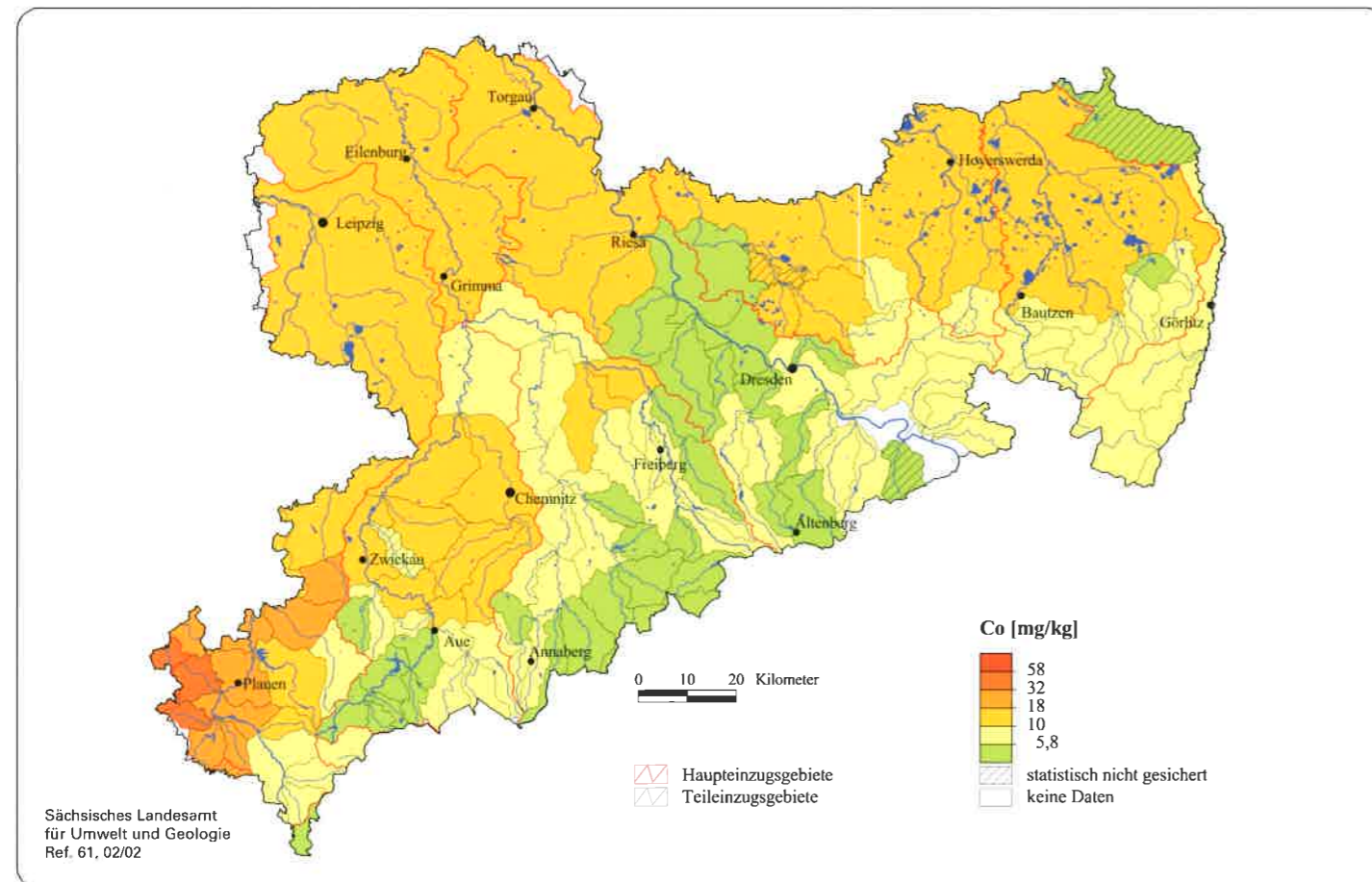


Abb. 4.1.5-1: Cobalt in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

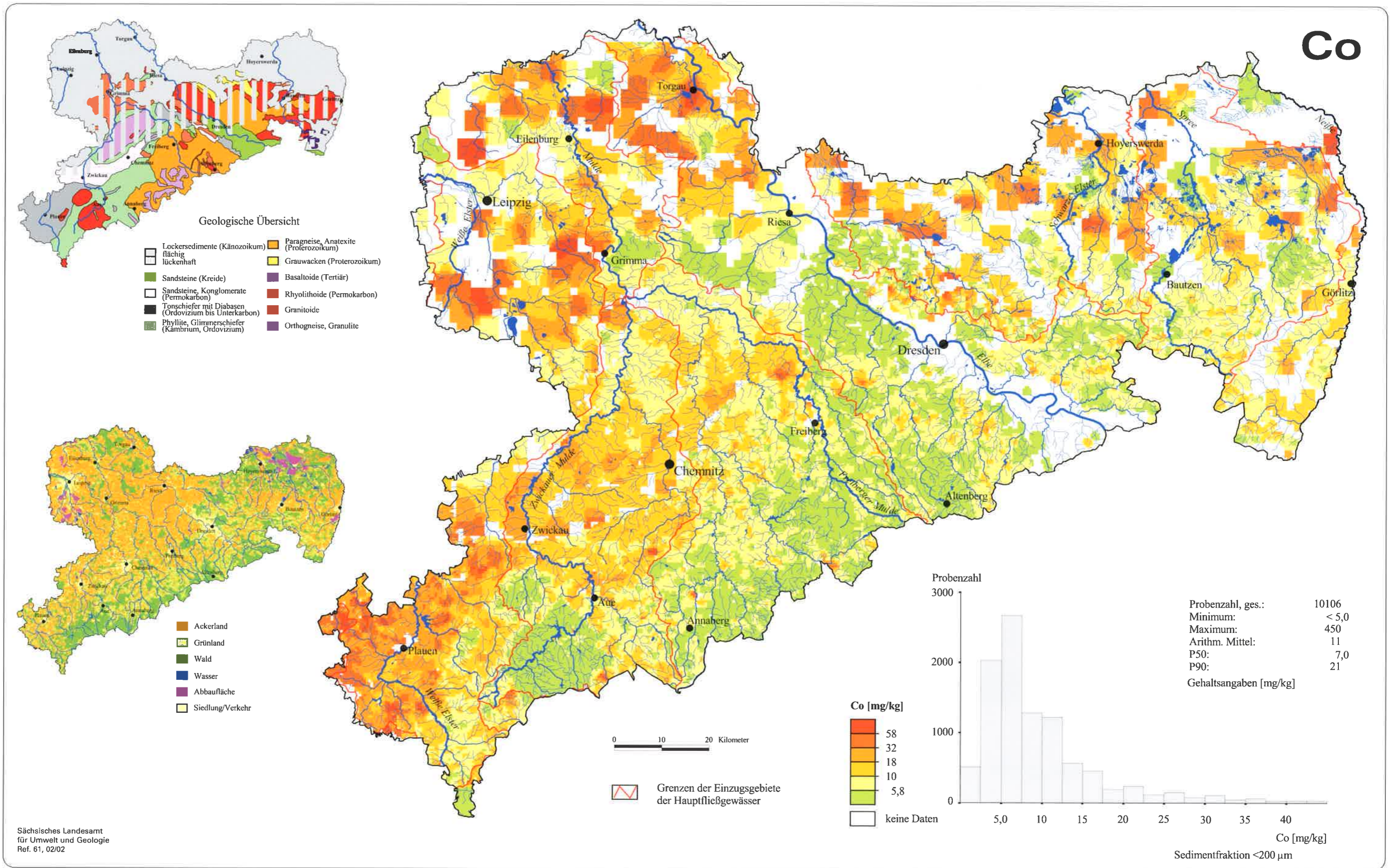


Abb. 4.15-2: Cobalt in Bachsedimenten Sachsens

4.1.6 Chrom (Cr)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der mittlere Cr-Gehalt in den Gesteinen Sachsens beträgt 57 mg/kg, als Vergleich dient der Clarke von WEDEPOHL (1967) mit 70 mg/kg. Das Element Cr erfährt in basischen bis ultrabasischen Gesteinen eine deutliche Anreicherung (> 100 mg/kg), z.B. in Metabasiten (Maximum im Serpentin mit 2.050 mg/kg), basischen Vulkaniten (Diabase, Spiliten in den Zwischengebirgseinheiten) und tertiären Basaltoiden. Die sauren Magmatite, Vulkanite und Orthometamorphite zeichnen sich durch extrem niedrige Cr-Gehalte aus (≤ 12 mg/kg). Im Verwitterungsprozess und während des anschließenden Transportes wird Cr im Al- und Fe-reichen Detritus angereichert. Somit können tertiäre und paläozoische Sedimente und Parametamorphite partiell Cr akkumuliert haben und Konzentrationen von 48 bis 96 mg/kg erreichen (KARDEL et al., 1996).

Da Cr aus lagerstättenkundlicher Sicht in Sachsen keine Rolle spielt, sind die großen Unterschiede in den Cr-Gehalten der Bachsedimente fast ausschließlich lithologisch bedingt.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.6-2)

Entsprechend den sehr niedrigen Cr-Gehalten der sauren Magmatite, Vulkanite und Orthometamorphite im Erzgebirge, zeichnen sich die Bachsedimente dort ebenfalls durch geringe Cr-Gehalte aus (≤ 32 mg/kg). Bachsedimente über dem Eibenstocker Granit weisen Gehalte unter 10 mg/kg auf. Bachsedimente über Paragneisen und Glimmerschiefern liefern mittlere Cr-Konzentrationen (32–57 mg/kg), Tonschiefer und Phyllite leicht erhöhte Cr-Konzentrationen (57–100 mg/kg). Deutlich erhöhte Cr-Konzentrationen werden in Bachsedimenten über Basiten (> 100 mg/kg) nachgewiesen, zu denen z.B. die Verbreitungsgebiete vogtländischer Diabase zählen. Maximale Cr-Konzentrationen (> 200 mg/kg) beschränken sich auf kleine Gebiete mit basischen-ultrabasischen Intrusiva (Siebenlehn, Zöblitz). Aufgrund der primären lithogenen Herkunft des Cr in Bachsedimenten geben PÄLCHEN et al. (1982) einen Grenzwert von ca. 100 mg/kg an, bei dessen Überschreitung die fluviatilen Sedimente auf das Vorhandensein basischer Gesteine im Einzugsgebiet hinweisen. Eine anthropogene Beeinflussung der Cr-Gehalte ist in Bachsedimenten des Erzgebirges sehr selten anzutreffen.

Lithologisch erhöhte Cr-Gehalte (> 57 mg/kg) in Bachsedimenten der Elbezone sind vorwiegend an basische Magmatite gebunden, z.B. im Bereich von Neustadt nordöstlich der Lausitzer Überschiebung, die sich auf Basitgänge im Anatexit und Westlausitzer

Tab. 4.1.6: Statistische Kenngrößen für Chrom in Bachsedimenten (<200 μm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	28	52	116	25	80
Spree	587	33	50	75	30	62
Schwarze Elster	418	20	37	62	33	49
Elbe i.e.S.	2.493	17	41	68	14	56
Zwota/Eger	128	5,0	46	73	10	55
Freiberger Mulde	2.824	20	40	75	26	84
Zwickauer Mulde	1.796	6,0	49	93	<5,0	78
Vereinigte Mulde	54	24	36	54	—	—
Weißer Elster	1.538	38	72	152	45	138
Saale i.e.S.	51	47	85	170	14	117
Sachsen, ungewichtet	10.105	19	46/45*	89	<5,0	138

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Granodiorit zurückführen lassen bzw. in der Umgebung des Zschirnsteinbasaltes. Die geringen Cr-Gehalte (≤ 32 mg/kg) in Bachsedimenten der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft und der Dresdner Heide können durch geringe Fließgeschwindigkeiten der Bäche und hohem Angebot an organischem Material in den Waldgebieten erklärt werden (RENTZSCH et al., 1982), andererseits spricht bereits der geologische Untergrund (Meißner Monzonitoide ≤ 24 mg/kg) nicht für eine Cr-Zufuhr. Im Bereich der Ostlausitz ist das Auftreten von Cr-Anomalien über den eigentlich Cr-armen Granitoiden von Rumburg (Klosterwald) und Königshain (57–100 mg/kg) ein lithologischer Widerspruch. In Schlichproben wurde flächendeckend Chromit gefunden (MÜLLER & RENTZSCH, 1985). Während in beiden Gebieten im Unterboden keine anomalen Cr-Gehalte auftreten (≤ 22 mg/kg), sind im Oberboden und der organischen Auflage erhöhte Cr-Gehalte (55–74 mg/kg) im Klosterwaldgebiet festzustellen (RANK et al., 1999). Für dieses Gebiet werden atmosphärische Staubimmissionen aus der Braunkohlenverbrennung bzw. von Stahlwerksstäuben oder ein fluviatiler Abtrag von Immissionsböden vermutet. In einem Immissionsboden NNE von Hirschfelde wurden 100 mg/kg Cr über dem Rumburger Granit nachgewiesen (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Das Granulitgebirge zeigt sich in der geochemischen Karte als relativ homogenes Gebiet erhöhter Chromgehalte (57–100 mg/kg). So wie die Gesteinsanalysen (KARDEL et al., 1996) für metamorphe basische und ultrabasische Magmatite und basische Vulkanite anomale Gehalte (> 192 mg/kg) zeigen, weisen auch die Bachsedimente an diesen Stellen anomale Gehalte (> 100 mg/kg) auf.

Bachsedimente aus der Vorerzgebirgssenne weisen Cr-Gehalte zwischen 32 und 100 mg/kg auf, sind also teilweise durch die erzgebirgischen Abtragungsprodukte beeinflusst. Das Untersuchungsgebiet Nordsachsen ist durch niedrige bis

mittlere Cr-Gehalte in den Bachsedimenten charakterisiert, die den geogenen Untergrund gut widerspiegeln. Leicht erhöhte Cr-Gehalte wurden in der mitteldeutschen Tagebaulandschaft südlich Leipzig und im Bereich der Elbaue nördlich Riesa bestimmt. Diese Gebiete zeichnen sich durch erhöhte Cr-Konzentrationen in den Unterböden (55–100 mg/kg) aus (RANK et al., 1999).

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.6-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Cr-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 45 mg/kg. Auffallend ist eine relativ geschlossene Zone erhöhter Cr-Gehalte in Teileinzugsgebieten von der oberen Weißen Elster (z.B. Kemnitzbach 138 mg/kg) bis in die Unterläufe von Zwickauer (z.B. Würschnitz 78 mg/kg) und Freiberger Mulde (z.B. Freiberger Mulde 5: 84 mg/kg), die sich im Verbreitungsgebiet von basischen Vulkaniten, Tonschiefern/Grauwacken, Phylliten und Granuliten einschließlich ihrer basischen/ultrabasischen Einschaltungen erstreckt. Im Einzugsgebiet der Neiße fällt die Lausitzer Neiße 2 mit 80 mg/kg (Waldgebiet Klosterwald) und im Einzugsgebiet der Spree der Schwarze Schöps 2-Süd mit 62 mg/kg auf (Waldgebiet über Königshainer Granit), die über dem Sachsen-Clarke für Bachsedimente liegen. Deutlich geringere mittlere Cr-Gehalte (≤ 32 mg/kg) weisen Teileinzugsgebiete über dem Eibenstocker Granit (Zwickauer Mulde von Mündung Große Pyra bis einschließlich Große Bockau), am Südrand des Erzgebirges (Freiberger Mulde und Elbe i.e.S.) und in Nordostsachsen auf (Spree NO-Sachsen).

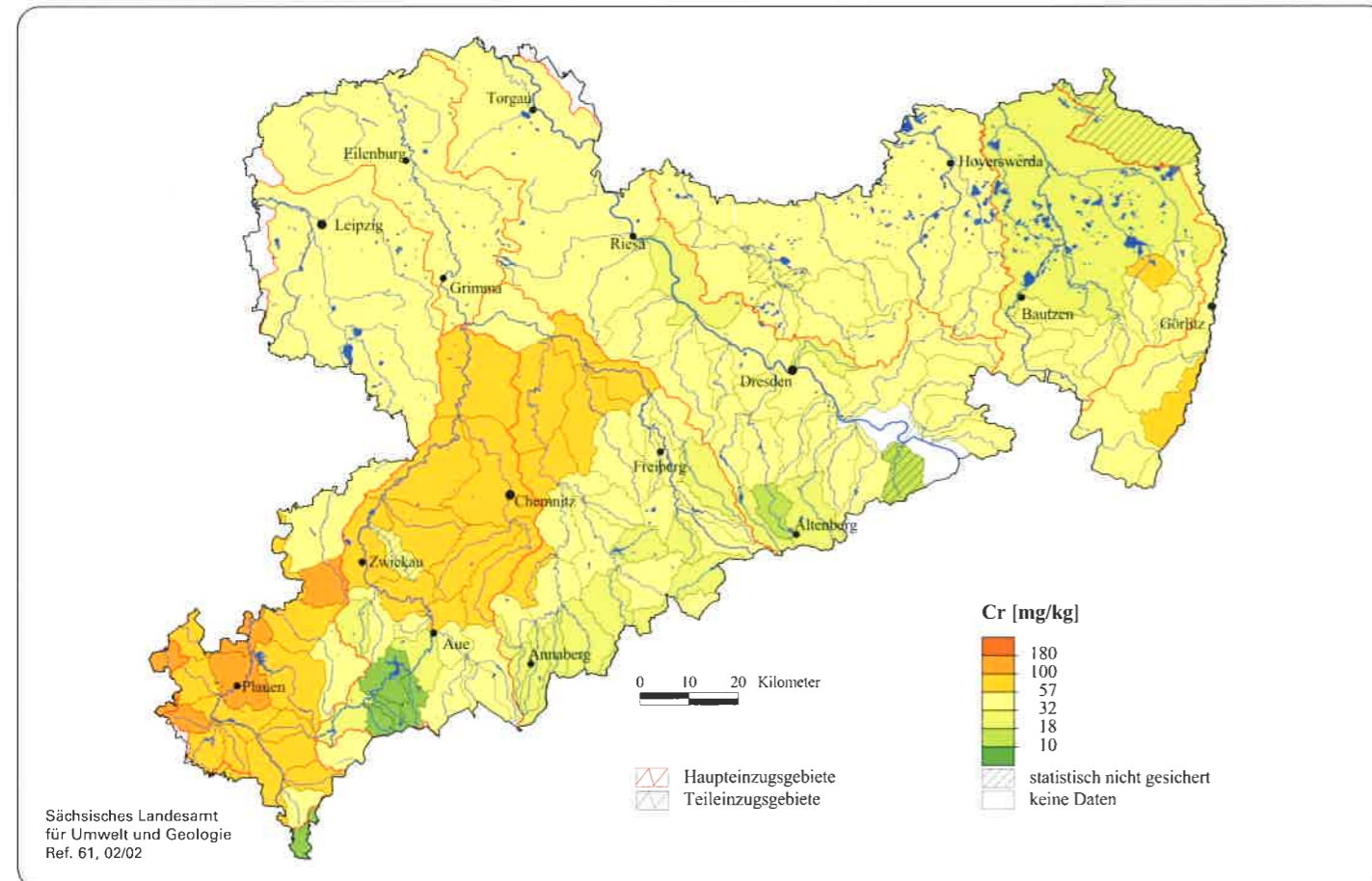


Abb. 4.1.6-1: Chrom in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

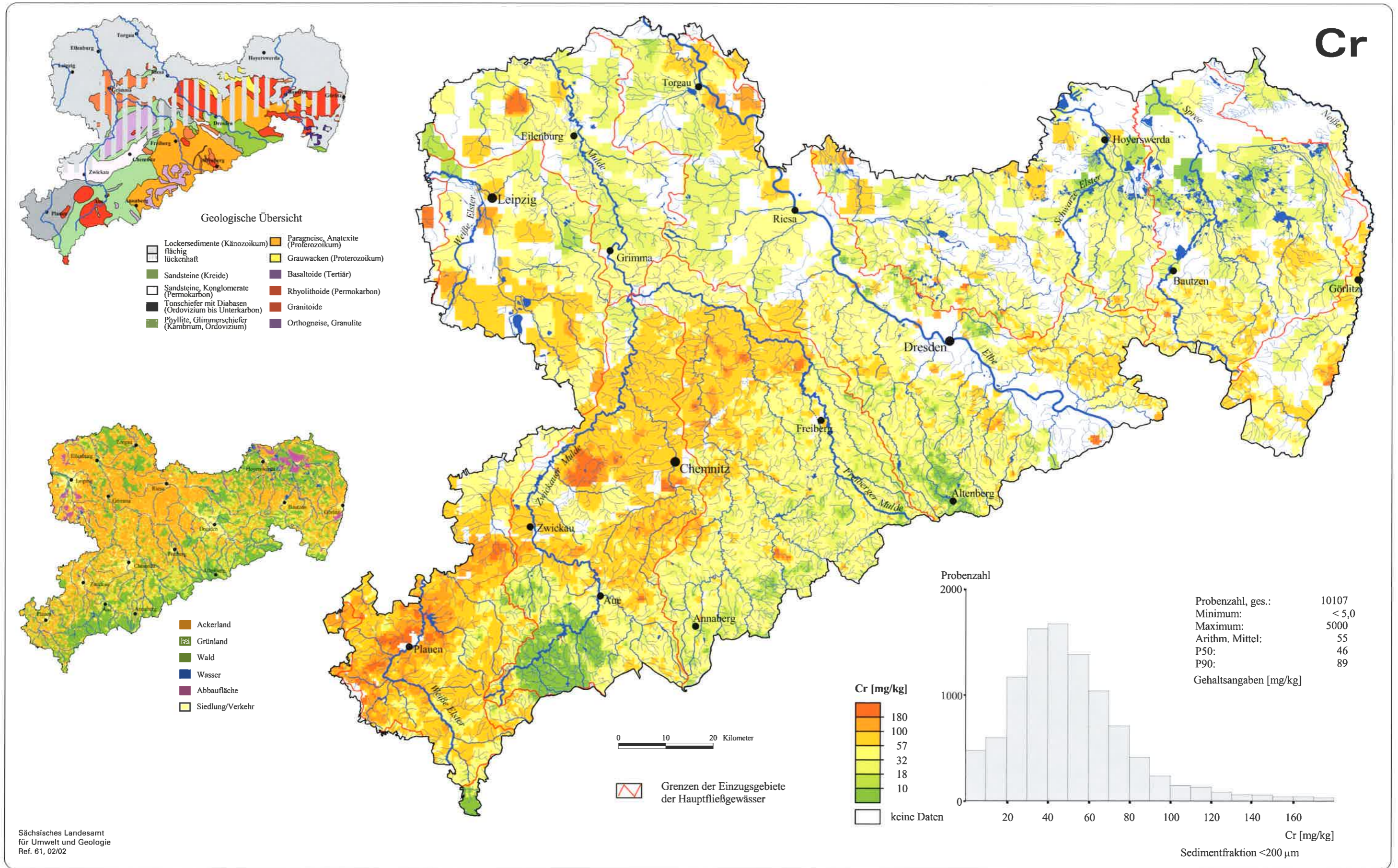


Abb. 4.1.6-2: Chrom in Bachsedimenten Sachsens

4.1.7 Kupfer (Cu)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der mittlere Cu-Gehalt der sächsischen Gesteine ist mit 24 mg/kg gegenüber dem Clarke der oberen Erdkruste (WEDEPOHL, 1995) mit 14 mg/kg erhöht. Die niedrigsten Cu-Gehalte treten vorwiegend in sauren Gesteinen auf. Mittlere Cu-Gehalte (14–28 mg/kg) sind in Parametamorphiten sowie fast allen Sedimenten des Tafel- und Deckgebirgsstockwerkes zu finden. Erhöhte Cu-Gehalte (28–56 mg/kg) kommen in Anatexiten und Grauwacken der Lausitz und in Monzonitoiden des Meißner Massivs vor. Die höchsten Cu-Gehalte (>56 mg/kg) besitzen die kambroordovizischen basischen Vulkanite (vogtländische Diabase), die Metabasite und die tertiären Basaltoide (Oberlausitz). Innerhalb der Magmatite ist das Element Cu in den intermediären und basischen Gesteinen angereichert (KARDEL et al., 1996).

Kupfer tritt in Form von Kupfersulfiden in Zinnlagerstätten des Greisentyps auf (z.B. Gottesberg, Sadisdorf). Im östlichen Erzgebirge ist die kupferbetonte Abfolge der Quarz-Sulfid-Assoziation im Gebiet von Dippoldiswalde-Schmiedeberg verbreitet (HÖSEL et al., 1997).

Die Cu-Gehalte der Bachsedimente zeigen nur partiell die typischen Differenzierungstendenzen basischer Elemente gemäß des geologischen Aufbaus. Zusätzlich ist Cu, ein chalcogenes Element, Komponente vieler Mineralisationen/Lagerstätten (Chalkopyrit als Durchläufermineral) und wird bei seiner Nutzung technogen dispergiert. Weiterhin ist Cu ein typischer Anzeiger der Lebenstätigkeit der Menschen, ein sogenanntes „Zivilisationselement“ (industrielle und kommunale Abwässer).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.7-2)

In Bachsedimenten des Erzgebirges stehen geringe Cu-Gehalte (≤ 18 mg/kg) in Verbreitungsgebieten von sauren Magmatiten und Orthometamorphiten mittleren Cu-Gehalten in Parametamorphiten (18–31 mg/kg) und hohen kontrastreichen Cu-Anreicherungen (>31 mg/kg) in Gebieten mit Basiten gegenüber. Die lithogen geprägte Cu-Verteilung wird durch Cu-haltige epigenetische Mineralisationen (Skarne, polymetallische, BiCoNi-, Fluorit- und Kassiteritmineralisationen) überprägt, z.B. in den Gebieten Klingenthal - Schneckenstein, Johanngeorgenstadt - Schwarzenberg, Schneeberg - Aue, Annaberg, Geyer - Ehrenfriedersdorf, Wolkenstein - Marienberg, Freiberg - Brand-Erbisdorf, Sadisdorf - Pretzschendorf, Sachsenhöhe - Schenkenshöhe.

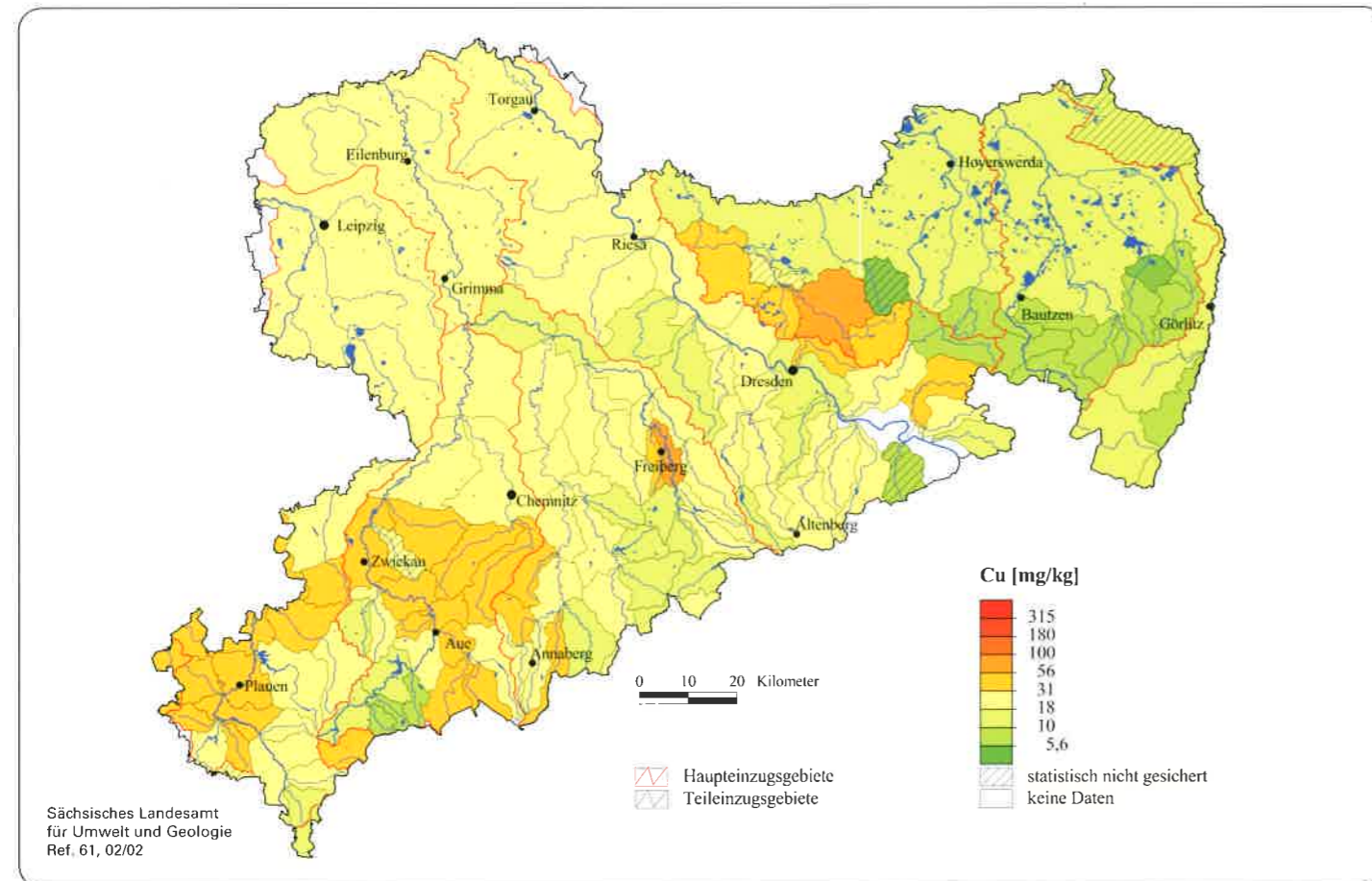


Abb. 4.1.7-1: Kupfer in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

Tab. 4.1.7: Statistische Kenngrößen für Kupfer in Bachsedimenten (<200 μ m) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	6,0	12	47	9,0	18
Spree	587	4,5	8,0	21	4,5	16
Schwarze Elster	418	4,0	25	69	3,5	62
Elbe i. e. S.	2.493	10	22	60	9,0	40
Zwota/Eger	128	6,0	30	137	11	46
Freiberger Mulde	2.824	10	21	55	12	89
Zwickauer Mulde	1.796	8,0	29	81	7,0	46
Vereinigte Mulde	54	12	24	62	—	—
Weißer Elster	1.538	4,0	32	76	17	52
Saale i. e. S.	51	22	41	83	27	45
Sachsen, ungewichtet	10.105	8,0	23/23*	65	3,5	89

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Östlich der Elbe (Elbezone) zeigt sich eine NW-SO-gerichtete Zone erhöhter Cu-Gehalte in Bachsedimenten. Erhöhte Cu-Gehalte setzen sich entlang der Lausitzer Überschiebung fort und lassen sich mit Mineralisationsindikationen (Polenztal) strukturell erklären. Das sulfidische Cu-Ni-Vorkommen von Sohland deutet sich durch eine Anomalie an. Anthropogene anomale Cu-Gehalte treten in Stadtgebieten (Meißen, Weißböhla, Radeberg) auf. In der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft korrespondieren erhöhte Cu-Gehalte in Bachsedimenten mit der geochemischen Spezialisierung der Magmatite. Über dem lössverdeckten Teil des Quarzmonzodiorits des Meißner Komplexes wurden gegenüber der Lithologie geringere Cu-Gehalte festgestellt. Im Gebiet der Dresdner Heide sind ebenfalls erhöhte Cu-Gehalte diagnostizierbar (RENTZSCH et al., 1982). Die erhöhten Cu-Konzentrationen im N des Zittauer Gebirges werden ebenfalls durch die Lausitzer Störung kontrolliert (MÜLLER & RENTZSCH, 1985). Das Gebiet östlich der Spree weist ansonsten geringe Cu-Gehalte in den Bachsedimenten auf (≤ 18 mg/kg). Besonders gering sind die Cu-Gehalte in den Bachsedimenten über dem Königshainer Granit ($\leq 5,6$ mg/kg).

Im Granulitgebirge liegen die Cu-Gehalte in den Bachsedimenten im unteren bis mittleren Niveau (≤ 31 mg/kg). Die im Gangrevier Schönborn-Dreiwerden nachgewiesenen Anomalien sind auf die Sulfidführung, Anomalien südlich Waldheim und südöstlich Penig auf anthropogene Quellen zurückzuführen (HARTISCH et al., 1989).

Für das Rotliegendbecken im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde wurden im Rahmen der jüngeren Untersuchungen anomale Cu-Gehalte gefunden. Die Unterscheidung in geogen bzw. anthropogen fällt hier besonders schwer, da zwischen Zwickau und Chemnitz zahlreiche Betriebe der Metallverarbeitung angesiedelt sind. Die geringen bis mittleren Cu-Gehalte in Bachsedimenten Nordsachsens werden durch erhöhte Cu-Gehalte im Bereich der Auen der Mulde, Elbe und Weißen Elster sowie in Stadtgebieten (Leipzig) und dem mitteldeutschen Braunkohlenrevier überlagert.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.7-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Cu-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 23 mg/kg. Die linear (Auen), punktuell (Stadtgebiete) und flächenhaft (Tagebaue) erhöhten Cu-Gehalte in Bachsedimenten nordwestsächsischer Teileinzugsgebiete führen gegenüber den nordwestsächsischen Teileinzugsgebieten zu höheren Medianwerten (Weiße Elster NW-Sachsen 31 mg/kg gegenüber Spree NO-Sachsen 16 mg/kg). Erhöhte Cu-Gehalte in Teileinzugsgebieten der oberen Weißen Elster, der mittleren Zwickauer Mulde, der Freiberger Mulde bei Freiberg und der Großen Röder sowie der Zwota sind vorwiegend lithogen \pm chalcogen bedingt. Lithogen bedingt niedrige Cu-Gehalte konnten in Teileinzugsgebieten über Graniten (z.B. obere Zwickauer Mulde) und Orthometamorphiten (z.B. Teileinzugsgebiete der Flöha) ermittelt werden.

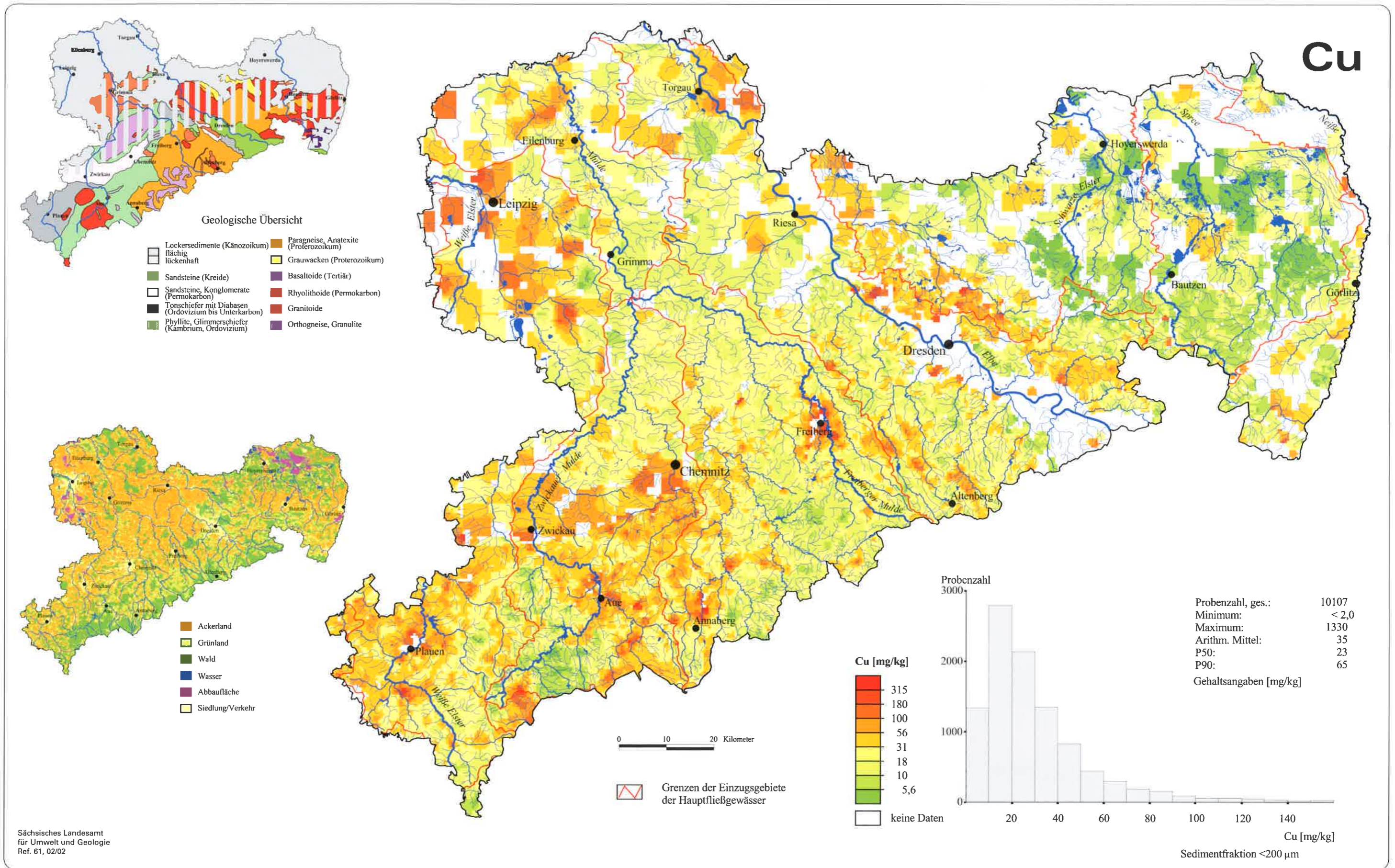


Abb. 4.1.7-2: Kupfer in Bachsedimenten Sachsens

4.1.8 Quecksilber (Hg)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste liegt nach WEDE-POHL (1995) bei 0,056 mg/kg, nach BEUGE (1976) bei 0,053 mg/kg. Für einige sächsische Gesteine wurden Hg-Untersuchungen durchgeführt. Die mittleren Hg-Gehalte mesozoischer Sedimente liegen bei 0,030 mg/kg. Die sauren und intermediären Magmatite haben Medianwerte von 0,025 bis 0,030 mg/kg. Die mittleren Gehalte der Tonschiefer schwanken zwischen 0,075 und 0,120 mg/kg (BEUGE, 1976). Dabei nimmt der Hg-Gehalt der Sedimente mit deren Anteil an pelitischem Material zu. Die Hg-Gehalte der metamorphen Gesteine liegen deutlich unter denen ihrer sedimentären Ausgangsprodukte. Für Phyllite werden 0,008–0,014 mg/kg, für Glimmerschiefer 0,006 mg/kg und für Gneise 0,020 mg/kg angegeben (KARDEL et al., 1996).

Quecksilber spielt in den erzgebirgischen Mineralisationen praktisch keine Rolle. Die wenigen Vorkommen (Hartenstein bei Schneeberg, Wilkau-Haßlau bei Zwickau, Mobendorf bei Hainichen) haben nur mineralogische Bedeutung. Beachtung verdienen jedoch Lokalitäten, an denen Quecksilber zur Amalgamierung im Prozess der Silbergewinnung verwendet, z.B. in Halsbrücke (HÖSEL et al., 1997) oder durch Großfeuerungs-

(Kohle, Gas) oder Müllverbrennungsanlagen (RANK et al., 1999) ebenfalls anthropogen verbreitet wurde.

Bei Bodenuntersuchungen in Sachsen (RANK et al., 1999) wurde festgestellt, dass der Hg-Gehalt im mineralischen Oberboden gegenüber dem Unterboden deutlich erhöht ist, was auf einen verstärkten anthropogen-ubiquitären Eintrag hinweist. Diese Unterschiede werden besonders im Raum Freiberg, Chemnitz, Zwickau und Leipzig deutlich.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.8-2)

In den 70er Jahren wurden Analysen von Quecksilber im Erzgebirge/Vogtland nur auf den Messtischblättern 5438 (Plauen-Süd), 5538 (Bobenneukirchen), 5343 (Geyer) und 5149 (Gottleuba) durchgeführt. Verdichtungsanalysen an den Rückstellproben des erzgebirgisch/vogtländischen Untersuchungsgebietes erfolgte im Rahmen des BMBF-Projektes (1000 Analysen) und ermöglichen in der Kartendarstellung einen Überblick.

PÄLCHEN et al. (1982) konnten für die Blätter Geyer und Gottleuba keine oder nur eine geringe Widerspiegelung der lithologischen Einheiten und Mineralisationen durch die Hg-Verteilung in den Bachsedimenten feststellen (niedrige Hg-Gehalte über Markersbacher Granit). Bereiche erhöhter Hg-Gehalte

Tab. 4.1.8: Statistische Kenngrößen für Quecksilber in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min} / P50 _{max}
Lausitzer Neiße	217	0,05	0,10	0,23	0,08 / 0,14
Spree	586	<0,05	0,08	0,15	0,06 / 0,10
Schwarze Elster	418	0,05	0,11	0,26	0,06 / 0,23
Elbe i.e.S.	1.592	<0,05	0,08	0,20	<0,05 / 0,22
Zwota/Eger	59	<0,05	0,05	0,34	<0,05 / 0,31
Freiberger Mulde	684	<0,05	0,08	0,18	0,05 / 0,30
Zwickauer Mulde	465	0,05	0,11	0,41	<0,05 / 0,46
Vereinigte Mulde	54	0,07	0,10	0,26	— / —
Weißer Elster	899	0,06	0,12	0,31	0,06 / 0,46
Saale i.e.S.	50	0,08	0,16	0,58	0,15 / 0,19
Sachsen, ungewichtet	5.022	<0,05	0,09/0,11*	0,24	<0,05 / 0,46

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

stehen in Verbindung mit Störungszonen, diskordant zu lithostratigraphischen Einheiten. Die Verteilung des Hg in den Bachsedimenten des Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirges wird ebenfalls in erster Linie durch die lithologische Situation, d.h. durch das Auftreten bestimmter Schwarzschiefer, vulkanogener und vulkanogen-sedimentärer Formationen bestimmt (RENTZSCH et al., 1987).

Die Interpretation der Hg-Verteilung in den erzgebirgischen Bachsedimenten wird erschwert, da größere Flächen mit nahezu äquivalenten Hg-Gehalten nur selten anzutreffen sind. Der Eibenstocker Granit weist als relativ homogene Fläche die geringsten Hg-Gehalte ($\leq 0,08$ mg/kg) auf. Im Verbreitungsgebiet erzgebirgischer Gneise und Glimmerschiefer finden sich mittlere Hg-Gehalte (0,08–0,20 mg/kg) in den Bachsedimenten. Eine Fläche mit punktuell positiven Hg-Anreicherungen ($> 0,20$ mg/kg) wird im Gebiet zwischen Aue und nördlich Zwickau gefunden. Diese Zone deckt sich mit dem Hauptast der Gera-Jáchymov-Störungzone, in der punktuell Hg-Mineralisationen auftreten (Hartenstein). Weitere positive Hg-Anomalien in Stadtgebieten (Freiberg, Chemnitz, Plauen) werden als anthropogen eingeschätzt.

In der Elbezone/SW-Lausitz werden anomale Hg-Gehalte über den nicht lössbedeckten Gesteinen des Meißner Komplexes, den Gneisen der Elbezone und den Lausitzer Granodioriten bis südöstlich Radeberg verzeichnet. Während für den Meißner Komplex ein Zusammenhang mit einer Ba-Sr-Cu-Pb-Spezialisierung gesehen wird, sind weiterhin mineralisations- (z.B. Fluorindikationen) und störungsgebundene (z.B. parallel zur Lausitzer Überschiebung) sowie anthropogene (z.B. industrielle) Quellen zu erkennen (RENTZSCH et al., 1982). Im Gebiet der Ostlausitz zeichnet sich eine strukturell gebundene Indikation durch die Lausitzer Überschiebung auf einem störungsparallelen Streifen nördlich des Zittauer Gebirges ab.

Zahlreiche kleine Anomalien werden als anthropogen eingeschätzt (z.B. Ebersbach - Neugersdorf) (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Nordsächsische Bachsedimente zeichnen sich wie die Oberböden durch niedrige bis mittlere Gehalte mit einigen Anreicherungen in Stadtgebieten (z.B. Leipzig, Hoyerswerda) und Auenlandschaften (Elbe zwischen Riesa und Torgau) und im mitteldeutschen Braunkohlengebiet südlich Leipzig aus. Hier sind überwiegend anthropogene Ursachen (Großfeuerungsanlagen) zu vermuten.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.8-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Hg-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 0,11 mg/kg. Darüber liegen Teileinzugsgebiete der Weißen Elster nördlich Plauen, der mittleren Zwickauer Mulde, der Freiberger Mulde bei Freiberg, der Elbe i.e.S. bei Dresden, der Großen Röder und das Einzugsgebiet der Zwota. Niedrige Hg-Gehalte weisen die meisten Teileinzugsgebiete der Eger, der oberen Zwickauer Mulde (über dem Eibenstocker Granit), der Freiberger Mulde und der Elbe i.e.S. auf.

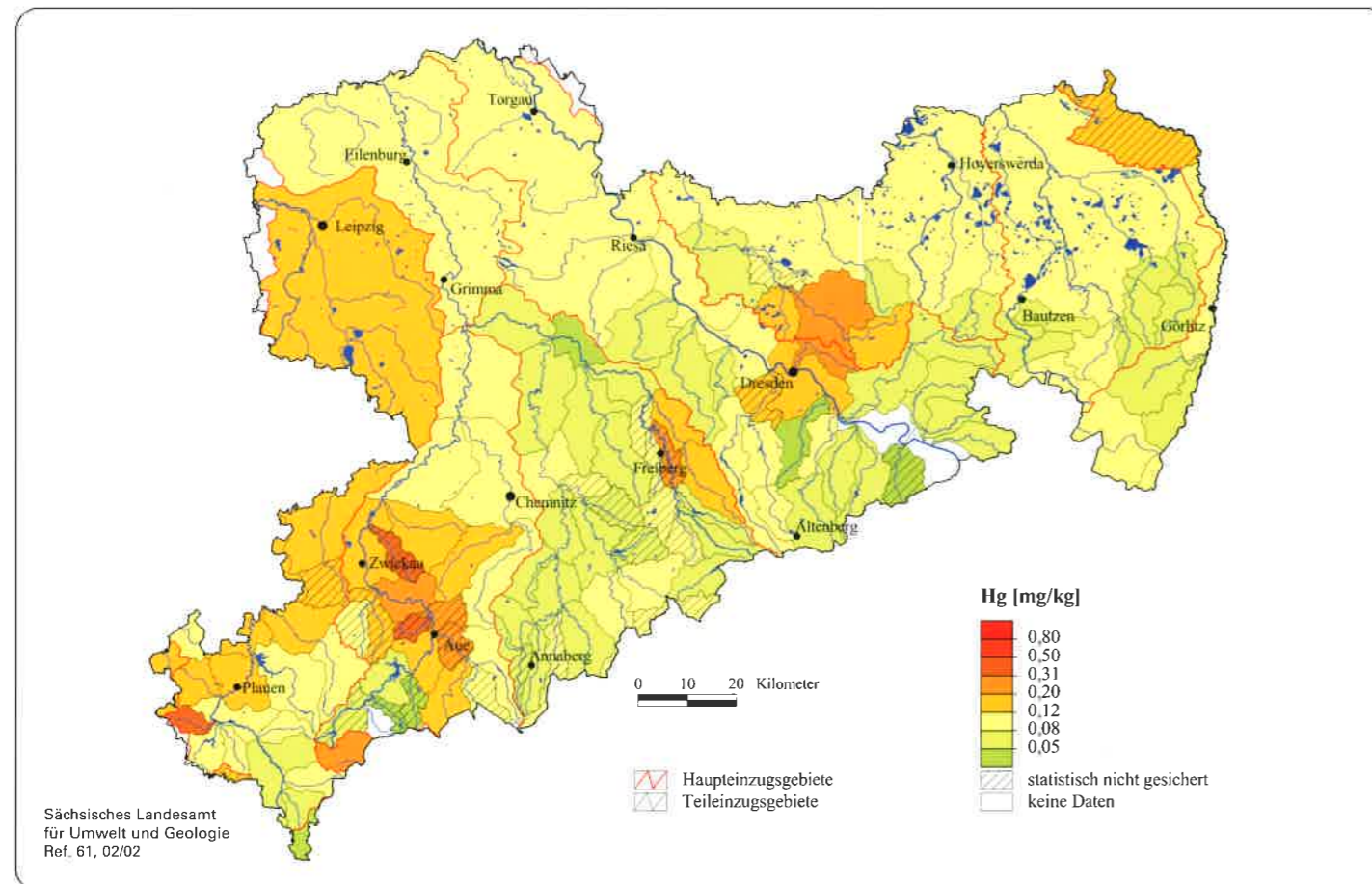


Abb. 4.1.8-1: Quecksilber in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

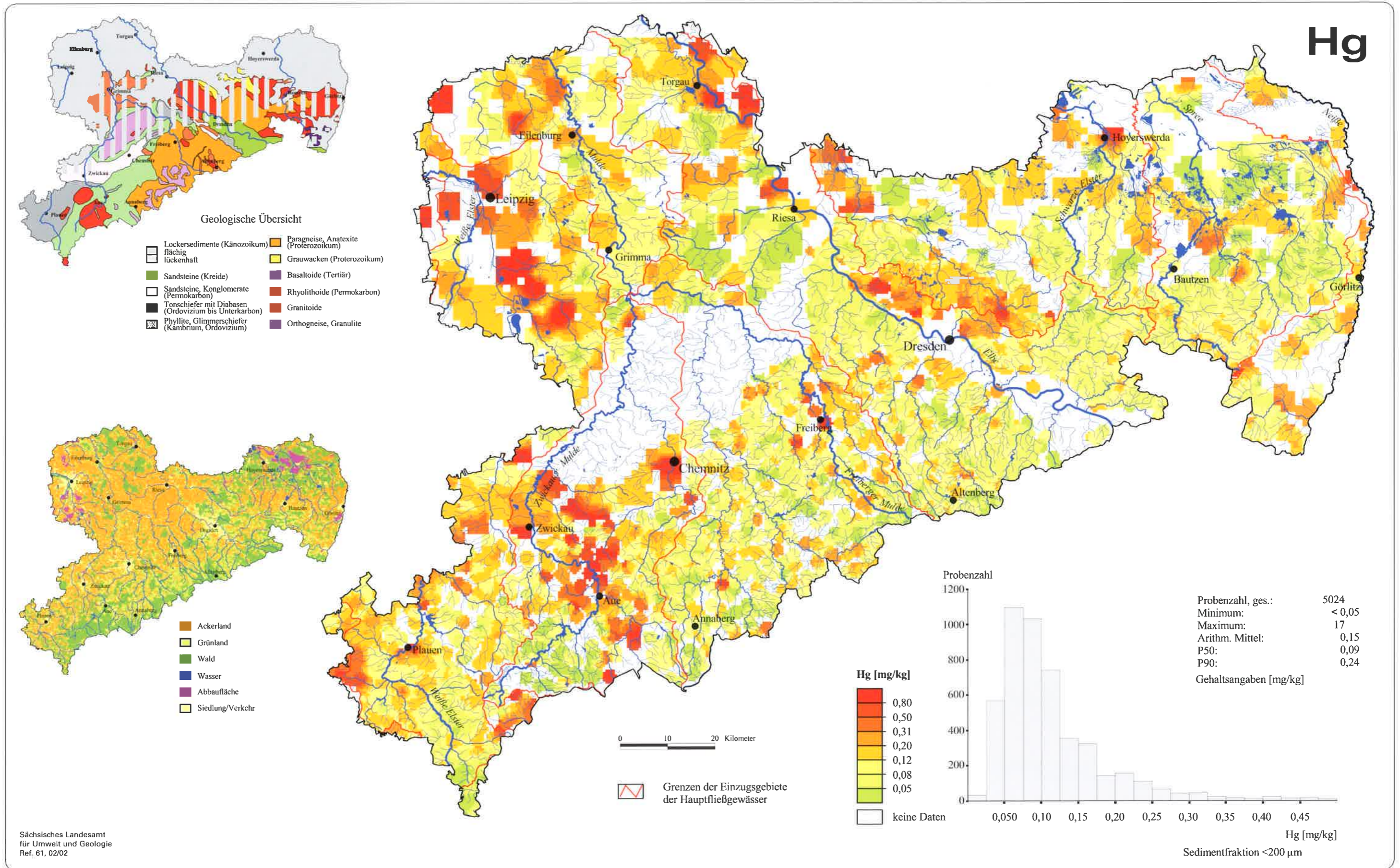


Abb. 4.1.8-2: Quecksilber in Bachsedimenten Sachsens

4.1.9 Lithium (Li)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen Erdkruste beträgt nach WEDEPOHL (1995) 22 mg/kg. Für Sachsen liegt kein mittlerer Li-Gehalt für Gesteine vor. PÄLCHEN et al. (1987) geben regionale Mittelwerte der hauptsächlich Gesteinstypen im NE-Teil der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone an. Demnach besitzen Metarhyolithoide und Metabasite geringe Li-Gehalte (30 bzw. 35 mg/kg), Metagranitoide, Glimmerschiefer und Paragneise mittlere Gehalte (46, 53 bzw. 66 mg/kg). Erhöhte Li-Gehalte finden sich in Phylliten (84 mg/kg) und Älteren Graniten (140 mg/kg). Die höchsten Li-Gehalte weisen Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes (415 mg/kg) auf. RENTZSCH et al. (1982) geben für Quarzmonzodiorite 49 mg/kg, für Lausitzer Granodiorite und Anatexite 39 bis 41 mg/kg an.

Lithium ist sowohl in den Zinnmineralisationen der Kassiterit-Quarz-Assoziation (z.B. Altenberg, Zinnwald) als auch in den Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes (z.B. Eibenstock, Schellerhau) in Form Li-führender Glimmer enthalten. Bei der Verwitterung wird es mobil und kann daher lokal zu erhöhten Gehalten in Wässern führen (HÖSEL et al., 1997).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.9-2)

Erwartungsgemäß treten die höchsten Li-Gehalte (>215 mg/kg) in Bachsedimenten des Erzgebirges/Vogtlandes über den oberflächlich angeschnittenen Li-spezialisierten Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes auf (Eibenstock, Schellerhau). Deutlich erhöht (120–215 mg/kg) sind auch die Li-Gehalte in Bachsedimenten über dem Bergener Granit, während die anderen Granite des Älteren Intrusivkomplexes eher unauffällig sind. PÄLCHEN et al. (1982) stellten fest, dass eine Indikation von verborgenen Granitkörpern durch Li-Anomalien in Bachsedimenten praktisch nicht möglich ist, sofern nicht eine Li-führende Mineralisation angeschnitten ist. Das Element Li tritt in seinem Indikationswert hinter Be zurück. Die Gneise und Glimmerschiefer des östlichen und mittleren Erzgebirges weisen in Bachsedimenten geringere Li-Gehalte (≤ 68 mg/kg) als die Phyllite (68–120 mg/kg) des westlichen Erzgebirges auf. Bachsedimente über basischen Vulkaniten des Vogtlandes besitzen ebenfalls geringe Li-Gehalte. Positive Li-Anomalien, die nicht mit granitischen Intrusionen oder Li-führenden Mineralisationen erklärt werden können, liegen u.a. in den Bereichen Wilkau - Haßlau, Stollberg - Thalheim, Lößnitz - Zwönitz, Nossen - Zellwald vor.

Tab. 4.1.9: Statistische Kenngrößen für Lithium in Bachsedimenten (<200 μm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	<20	<20	28	<20	24
Spree	586	<20	20	34	<20	26
Schwarze Elster	418	<20	22	57	<20	44
Elbe i.e.S.	2.464	<20	37	81	<20	67
Zwota/Eger	128	48	84	136	<20	104
Freiberger Mulde	2.633	30	51	84	<20	89
Zwickauer Mulde	1.605	57	104	256	<20	262
Vereinigte Mulde	54	<20	20	31	—	—
Weißer Elster	1.535	26	76	134	24	112
Saale i.e.S.	51	24	49	88	<20	82
Sachsen, ungewichtet	9.690	<20	51/37*	123	<20	62

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

In der Elbezone treten erhöhte Li-Gehalte über den Intrusiva des Meißner Komplexes auf. Abgeschwächt setzt sich diese Tendenz über die Westlausitzer Störung in die Grauwacke und den Westlausitzer Granit von Großenhain bis Radeberg fort (RENTZSCH et al., 1982). Einzelne Maxima korrespondieren mit lithologischen (z.B. Quarzgänge im Golkwald) und Milieugrenzen (adsorptive Bindung an Mn-Verbindungen in der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft). Westlich der Elbe dämpfen Gebiete mit Lössverbreitung die Li-Gehalte. Auch die Bachsedimente in Gebieten mit Westlausitzer Granodiorit und Anatexit besitzen wie die Bachsedimente der Ostlausitz niedrige Li-Gehalte (≤ 38 mg/kg).

Nordsachsen hebt sich durch niedrige Li-Gehalte (≤ 38 mg/kg) in den Bachsedimenten von den nicht lössbedeckten Grundgebirgsgebieten ab. Bachsedimente der Vorerzgebirgssenne nehmen eine Zwischenstellung ein. Innerhalb Nordsachsens weisen Bachsedimente in den Auen der Weißen Elster, Mulde und Elbe höhere Konzentrationen (21–38 mg/kg) auf.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.9-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Li-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 37 mg/kg. Durch geringe Li-Gehalte in den nordsächsischen Gebieten liegt der flächenbezogenen Medianwert deutlich unter dem Sachsenmedian über alle Punkte. Die meisten Teileinzugsgebiete der Neiße, Spree, Schwarzen Elster, östlichen und nördlichen Elbe i.e.S., Mulde und unteren Weißen Elster besitzen geringe Li-Gehalte in den Sedimenten (≤ 38 mg/kg). Erhöhte Li-Gehalte in Phylliten führen auch zu erhöhten Li-Gehalten in Bachsedimenten und somit in Teileinzugsgebieten der Weißen Elster (z.B. Oberlauf der Göltzsch 109 mg/kg) und der Zwickauer Mulde (z.B. Zwickauer Mulde 1: 117 mg/kg). Teileinzugsgebiete über dem Eibenstocker Granit im Oberlauf der Zwickauer Mulde (z.B. Wilzsch 262 mg/kg) können noch höhere Li-Gehalte in ihren Sedimenten aufweisen.

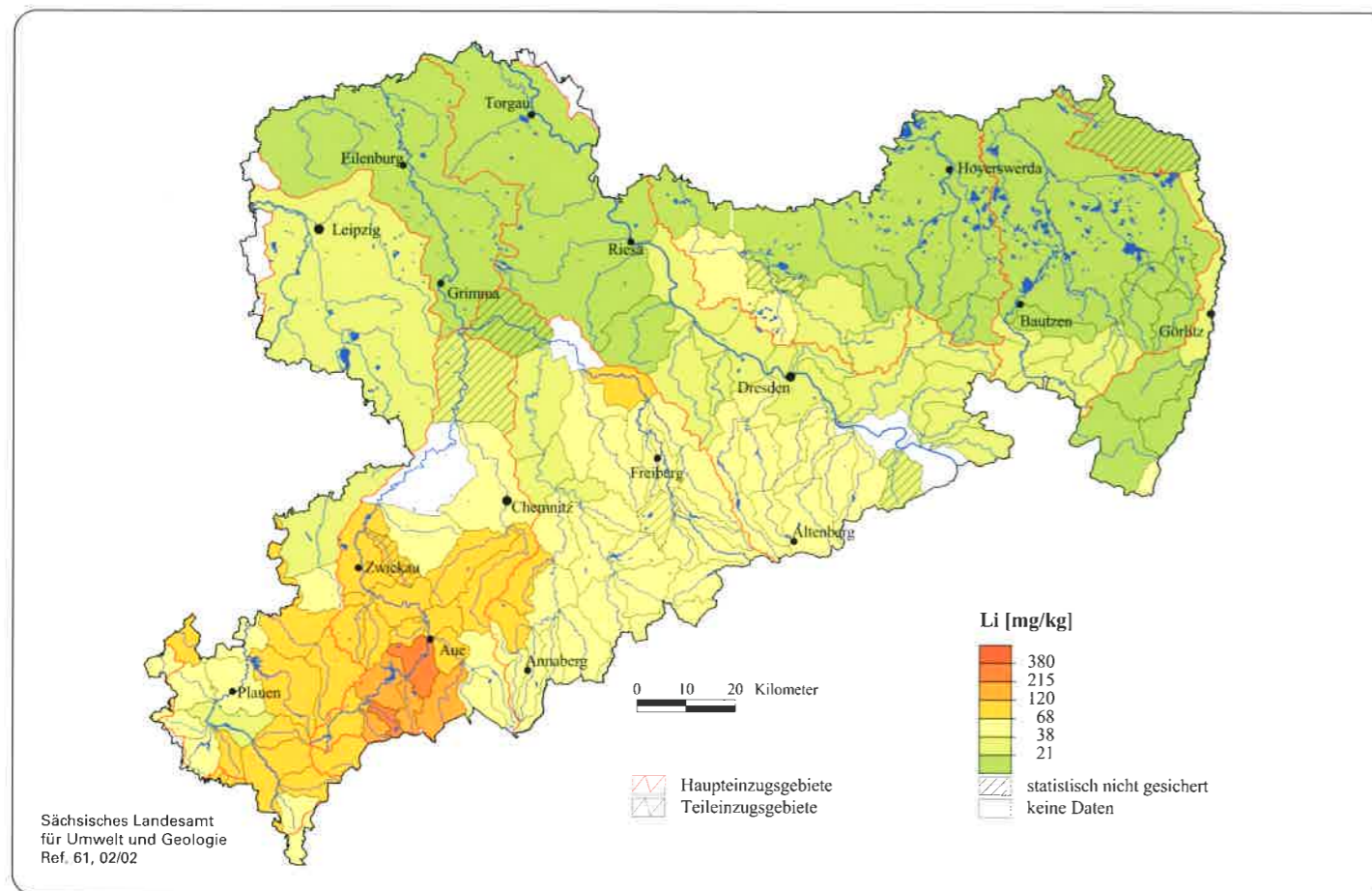


Abb. 4.1.9-1: Lithium in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

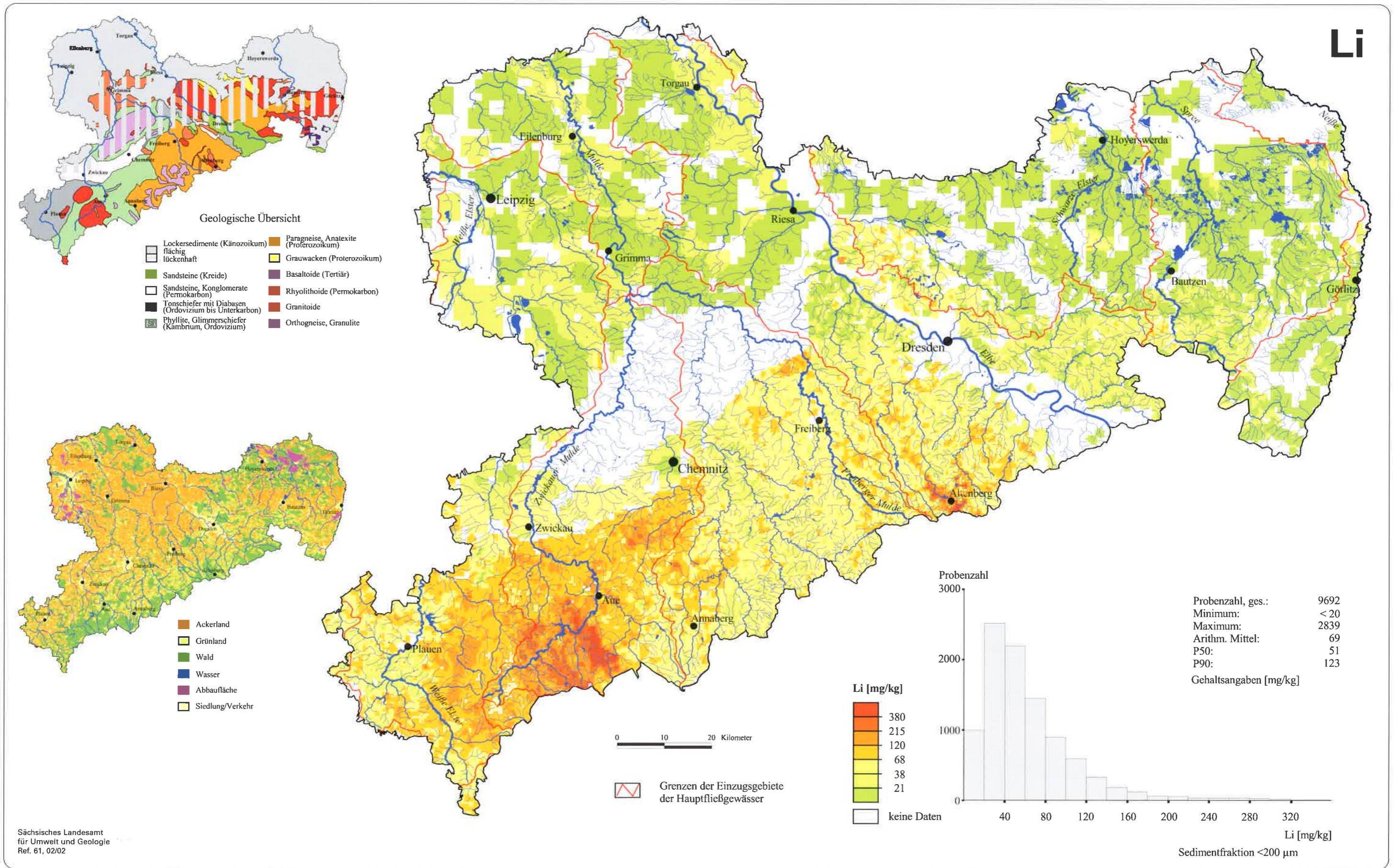


Abb. 4.1.9-2: Lithium in Bachsedimenten Sachsens

4.1.10 Mangan (Mn)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen Erdkruste (WEDEPOHL, 1995) beträgt 527 mg/kg. Für die sächsischen Gesteine liegen hauptsächlich Analysen aus dem Kristallinbereich vor. Im Erzgebirge besitzen Metarhyolithoide (160 mg/kg), Metagranitoide (205 mg/kg) und Granite (Ältere 335 mg/kg, Jüngere 190 mg/kg) geringe Mn-Gehalte. Mittlere Mn-Gehalte weisen Paragneise (460 mg/kg) und Glimmerschiefer (485 mg/kg) auf. In Phylliten (1.050 mg/kg) und Metabasiten (1.450 mg/kg) ist das Element Mn angereichert (PÄLCHEN et al., 1987). Für die Elbezone und den SW-Rand der Lausitz werden geringe Mn-Gehalte für Kreidesandsteine (40 mg/kg), mittlere für Anatexite (505 mg/kg) und Westlausitzer Granodiorite (379 mg/kg) und sehr hohe Gehalte für Ostlausitzer Granodiorite (11.250 mg/kg) angegeben (RENTZSCH et al., 1982).

Im Ausbissbereich hydrothermalen Gangmineralisationen kann es lokal zu chalkogenen Mn-Anreicherungen in Böden kommen. Das durch Verwitterung freigesetzte Mn wird dabei meist als Mn-Oxid gebunden (RANK et al., 1999).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.10-2)

Die Mn-Verteilung in den Bachsedimenten des Erzgebirges wird hauptsächlich von den primären Gehalten der anstehenden Gesteine bestimmt, obwohl Mn infolge seiner Eh-pH-abhängigen Mobilität in der Hypergenesezone einem starken Differenzierungsprozess unterliegen kann (PÄLCHEN et al., 1982). Demnach sind erhöhte Mn-Gehalte (> 745 mg/kg) in Bachsedimenten an erhöhte Gehalte der unterliegenden Phyllite und Tonschiefer gebunden. In vogtländischen Gebieten mit häufigen Basiteinschaltungen können die Mn-Konzentrationen in den Bachsedimenten weiter ansteigen (> 1.180 mg/kg). Die im Mittel- und Osterzgebirge dominierenden Paragneise weisen mittlere Mn-Gehalte (295–745 mg/kg) auf. Orthogneise (Olbernhau-Reitzenhain, Sayda) besitzen wie Granitoide (Eibenstock) und Rhyolithoide (Tharandter Wald, Teplitz) deutlich geringere Mn-Gehalte (≤ 295 mg/kg) als ihre Rahmgesteine. Mineralisationsinduzierte Mn-Anomalien sind selten (Hämatit-Baryt-Assoziation südlich Eibenstock), häufiger werden störungsinduzierte Mn-Anomalien (z.B. Zone Schneeberg-Aue-Lauter) vermutet (PÄLCHEN et al., 1982).

Die Auswertung der Mn-Gehalte in Bachsedimenten erweist sich als sehr schwierig, da oft mehrere Faktoren (lithologische, milieubedingte, mineralisationsbedingte, anthropogene) für die Verteilung verantwortlich sind. Die Moritzburger

Tab. 4.1.10: Statistische Kenngrößen für Mangan in Bachsedimenten (<200 μm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	234	662	1.520	176	815
Spree	579	181	444	1.030	180	715
Schwarze Elster	417	214	440	1.680	350	1.000
Elbe i.e.S.	2.492	238	514	1.220	303	790
Zwota/Eger	128	161	582	2.240	343	731
Freiberger Mulde	2.822	260	498	1.210	347	1.020
Zwickauer Mulde	1.796	234	636	1.740	231	1.130
Vereinigte Mulde	54	163	518	1.880	—	—
Weißer Elster	1.537	327	842	2.200	480	1.480
Saale i.e.S.	51	267	934	3.670	267	1.380
Sachsen, ungewichtet	1.092	245	557/547*	1.530	176	1.480

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Teich- und Kuppenlandschaft hebt sich mit hohen Mn-Gehalten in ihren Bachsedimenten heraus, von denen die Gehalte im störungsnahen Bereich Coswig - Auer auf lithologische und mineralisationsbedingte Quellen, alle anderen auf Oxidationsbarrieren zurückgeführt werden können (RENTZSCH et al., 1982). Erhöhte geogene Mn-Gehalte (lithogen + chalkogen) liegen auch in Verbreitungsgebieten basischer Ganggesteine und Vulkaniten im Westlausitzer Granodiorit und im Anatexit vor (z.B. im Bereich des Hohwaldes). Ortslagengebundene Mn-Anreicherungen (z.B. im Bereich der Lausitzer Platte) werden als anthropogen eingestuft. Im Gebiet der Ostlausitz stehen die vorwiegend kleinräumigen Anreicherungen von Mn in Bachsedimenten mit basischen Ganggesteinen und Vulkaniten (Mandauer Bergland, Zittauer Gebirge), Redoxbarrieren sowie anthropogenen Kontaminationen im Zusammenhang. Für erhöhte Mn-Gehalte in Bachsedimenten des Klosterwaldes können auch Flugaschenimmersionen eine mögliche Quelle darstellen. Im Bereich des Königshainer Granits tritt ein gesteinsbedingtes Mn-Minimum auf (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Im Granulitgebirge treten zahlreiche kleinräumige Anomalien auf, deren Ursache nicht immer eindeutig bestimmbar ist. Als lithologisch bedingt wird die größte Anomalie im Zellwald eingeschätzt (Phyllite), als mineralisationsbedingt Cu-Anreicherungen im Roßweiner und Schönborn-Dreiwerdener Gangrevier sowie nördlich von Burgstädt. Anomalien am SW-Rand des Granulitgebirges treten aufgrund von Milieuveränderungen auf (HARTISCH et al., 1989).

Im Bereich der Vorerzgebirgssenke werden mit Ausnahme der westlichen Zuflüsse der Zwickauer Mulde mittlere Mn-Gehalte (≤ 745 mg/kg) gefunden. Diese Größenordnung trifft auch für Bachsedimente in Nordsachsen mit einigen punktuellen Anreicherungen zu.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.10-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Mn-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 547 mg/kg. Darüber liegen hauptsächlich die mittleren Mn-Gehalte der Teileinzugsgebiete der Weißen Elster (z.B. Kemnitzbach 1.480 mg/kg), Zwickauer Mulde (z.B. Würschnitz 1.130 mg/kg) und Freiberger Mulde (z.B. Freiberger Mulde 5: 1.020 mg/kg) über dem Verbreitungsgebiet basischer Vulkanite, von Tonschiefern und Phylliten, das sich vom Vogtland über die Erzgebirgsnordrandzone erstreckt. Gesteine mit geringen primären Mn-Gehalten führen zu einer geringen Mn-Führung in den Bachsedimenten, was deutlich im Oberlauf der Zwickauer Mulde (z.B. Große Pyra 231 mg/kg) und am S-Rand des Erzgebirges zwischen Annaberg und Altenberg (z.B. Schweinitz 347 mg/kg) sowie in Nordsachsen zu erkennen ist (nördliche Bereiche der Elbe i.e.S., der Spree und der Neiße).

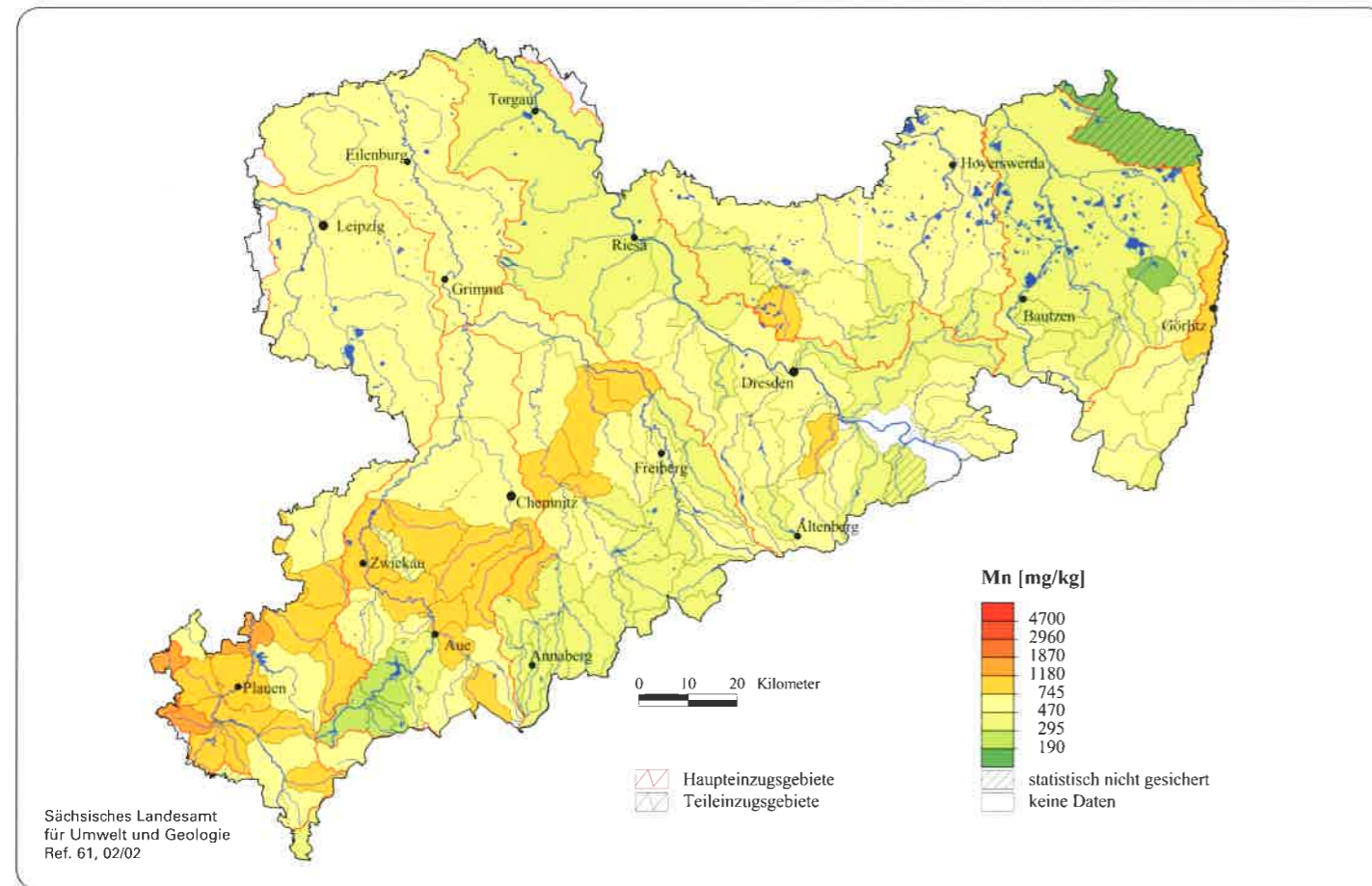


Abb. 4.1.10-1: Mangan in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

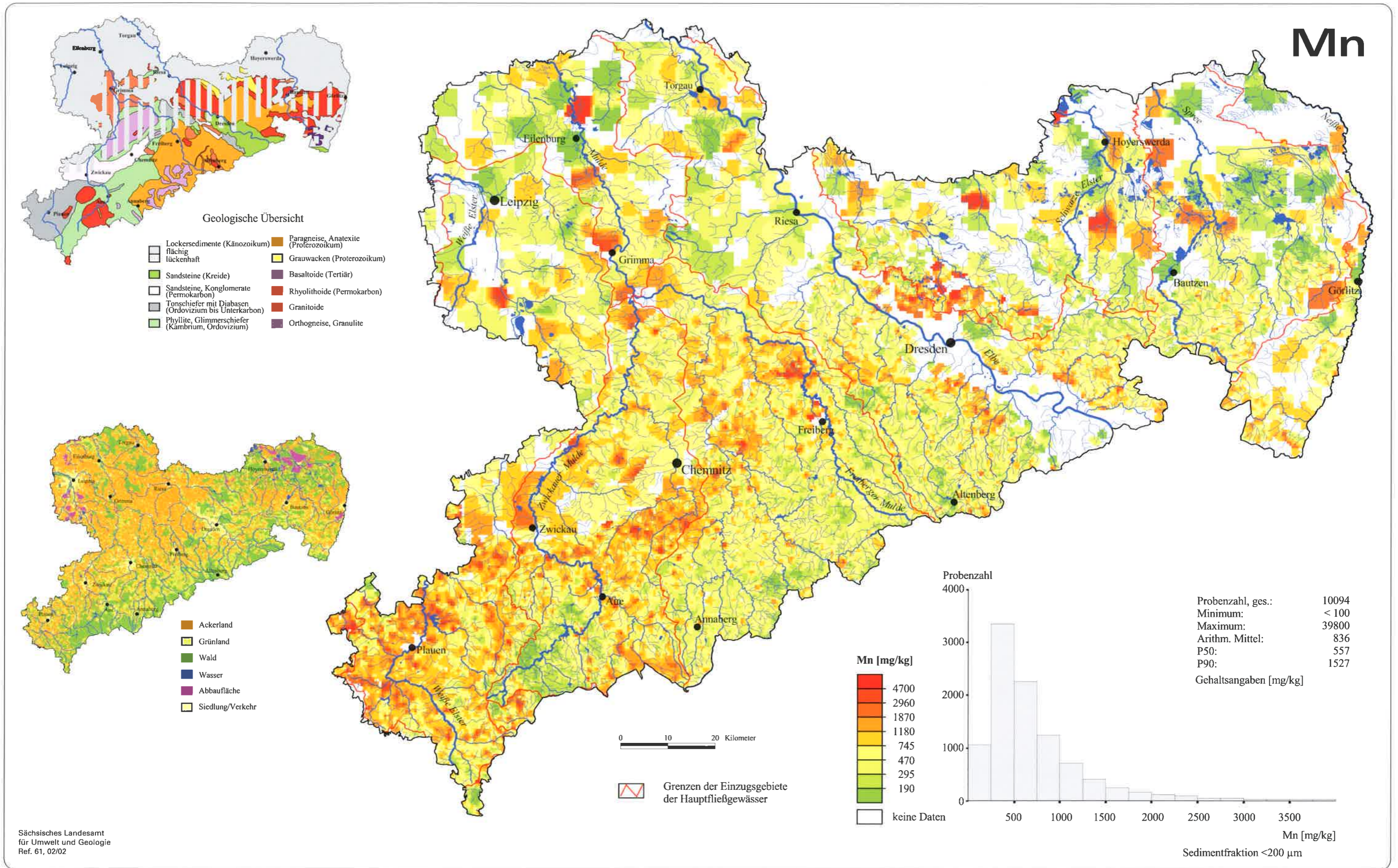


Abb. 4.110-2: Mangan in Bachsedimenten Sachsens

4.1.11 Molybdän (Mo)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen Erdkruste (WEDEPOHL, 1995) beträgt 1,4 mg/kg. Für sächsische Gesteine liegen nur wenige Mo-Analysen vor. Es ist bekannt, dass erhöhte Mo-Gehalte generell in kohlenstoffreichen Gesteinen (Typ Schwarzschiefer/Metaschwarzschiefer) auftreten, z.B. in graphitischen Glimmerschiefern bei Marienberg (bis 40 mg/kg). Geochemisch spezialisiert sind auch Metalydite (5 mg/kg) des Silurs und Karbons (RANK et al., 1999).

Molybdän wurde im Erzgebirge in Form von Molybdänit in Zinn- und Wolframerzen als Nebenprodukt gewonnen. Im sächsischen Erzgebirge waren diese Erze u.a. in der Altenberger Zinnerzlagertstätte und in der Wolframitlagertstätte Pechtelsgrün bekannt (HÖSEL et al., 1997). Als Element von Zinn-Wolfram-Mineralisationen wurden im Rahmen geochemischer Prospektionsarbeiten auf Sn im Osterzgebirge bis zu 400 mg/kg Mo im Unterboden ermittelt (RANK et al., 1999).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.11-2)

Bei der Auswertung ist zu berücksichtigen, dass die analytische Nachweisgrenze für die Altdaten bei 2 mg/kg liegt und Werte darunter reine Rechenwerte und somit fehlerbehaftet sind. Da die neueren nordsächsischen Analysen unter die 2-mg/kg-Grenze reichen, wurde festgelegt, dass alle statistischen Maßzahlen unter 1 mg/kg nicht mehr ausgewiesen werden. Durch diese Vereinbarung verkürzt sich die Kartenlegende um die grünen Klassen im geringen Konzentrationsbereich.

Die Gneis- und Glimmerschieferareale im östlichen und mittleren Erzgebirge weisen geringe Mo-Gehalte ($\leq 1,1$ mg/kg) in den Bachsedimenten auf. Demgegenüber sind die Bereiche über Phylliten und Tonschiefern im Westerzgebirge und Vogtland mit Mo angereichert ($\leq 1,1$ mg/kg). Positive Mo-Anomalien treten in Gebieten mit kohlenstoffführenden Metapeliten auf, die im rezenten Mineralisationsanschnitt liegen: Reichenbach, Thoßfeller Störung, Brunndöbra, Erlbach, Lößnitz-Zwönitzer Mulde. Einige Anomalien sind an Gebiete mit Bi-Co-Ni-Mineralisationen gebunden bzw. mit der erstgenannten Gruppe kombiniert: Schneeberg, Annaberg, Glashütte, Niederpöbel. Mineralisationsbedingt sind die Mo-Anomalien im W-Teil des Kirchberger Granitmassivs, im oberen Osterzgebirge bei Altenberg - Zinnwald - Sachsenhöhe sowie im Schneckensteingebiet nördlich Klingenthal. Auffällig hoch ist der Mo-Gehalt im W-Teil des Markersbacher Granits und

Tab. 4.1.11: Statistische Kenngrößen für Molybdän in Bachsedimenten (<200 μ m) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min} / P50 _{max}
Lausitzer Neiße	180	<1,0	<1,0	1,5	<1,0 / 2,4
Spree	531	<1,0	<1,0	1,5	<1,0 / <1,0
Schwarze Elster	402	<1,0	<1,0	2,0	<1,0 / 1,0
Elbe i.e.S.	2.470	<1,0	<1,0	1,6	<1,0 / 2,0
Zwota/Eger	128	<1,0	1,0	2,5	<1,0 / 1,0
Freiberger Mulde	2.616	<1,0	<1,0	1,5	<1,0 / 1,0
Zwickauer Mulde	1.604	<1,0	1,0	2,5	<1,0 / 1,5
Vereinigte Mulde	54	<1,0	<1,0	1,8	— / —
Weißer Elster	1.416	<1,0	1,0	3,0	<1,0 / 5,2
Saale i.e.S.	39	<1,0	1,6	6,0	<1,0 / 2,5
Sachsen, ungewichtet	9.438	<1,0	1,0/<1,0*	2,0	<1,0 / 5,2

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

seinem Exokontakt. Anomale Mo-Konzentrationen im Raum Freiberg, Chemnitz, Olbernhau u.a. sind durch anthropogene Einflüsse erklärbar, z.B. durch Bergbau bzw. Metallverarbeitung (PÄLCHEN et al., 1982).

Die Mehrheit der Mo-Analysen im Untersuchungsgebiet Elbezone/SW-Rand Lausitz liegt unter der Grenze von 2 mg/kg. Damit lassen sich hier kaum Abhängigkeiten vom geologischen Untergrund erkennen. Gehaltserhöhungen aufgrund anthropogener Einflüsse werden für den Großraum Dresden (Kaitzbach), Radeberg und das südwestliche Einzugsgebiet der Röder angegeben (RENTZSCH et al., 1982). Die Bachsedimente der Ostlausitz spiegeln die im Verhältnis zu den Lausitzer Granodioriten erhöhte Mo-Führung des Königshainer Granits wieder. Gegenüber dem Untergrund leicht erhöhte Gehalte treten weiterhin im Verbreitungsgebiet des Rumburger Granits, entlang der Lausitzer Störung am Nordabfall des Zittauer Gebirges und bei Cunewalde auf (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Für Nordsachsen sind im allgemeinen Mo-Konzentrationen unter 1,1 mg/kg analysiert worden. Punktuelle Mo-Anreicherungen wurden v.a. in den Bereichen der Elbaue bei Torgau und der Braunkohlenreviere südlich Leipzig und nördlich Hoyerswerda bestimmt. Da gerade im Leipziger Raum die Mo-Gehalte im Oberboden höher als die im Unterboden sind (RANK et al., 1999), wird auf einen anthropogen-ubiquitären luftgebundenen Eintrag (u.a. durch Kohleverbrennung) in die Oberböden geschlossen.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.11-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Mo-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens liegt unter 1,0 mg/kg. Die Differenzierung der Teileinzugsgebiete fällt sehr gering aus. Als größte zusammenhängende Fläche erhöhter Mo-Gehalte zeigen sich Teileinzugsgebiete der Weißen Elster (z.B. Weida 5,2 mg/kg) und Zwickauer Mulde (z.B. Rödelbach 1,5 mg/kg) zwischen Plauen und Zwickau. Zu den Teileinzugsgebieten mit erhöhten Mo-Gehalten zählt neben der Müglitz 1 (1,5 mg/kg) mit der Altenberger Zinnerzlagertstätte auch die Weißeritz (2,0 mg/kg) mit erzführenden Kohlen bei Freital – Gittersee.

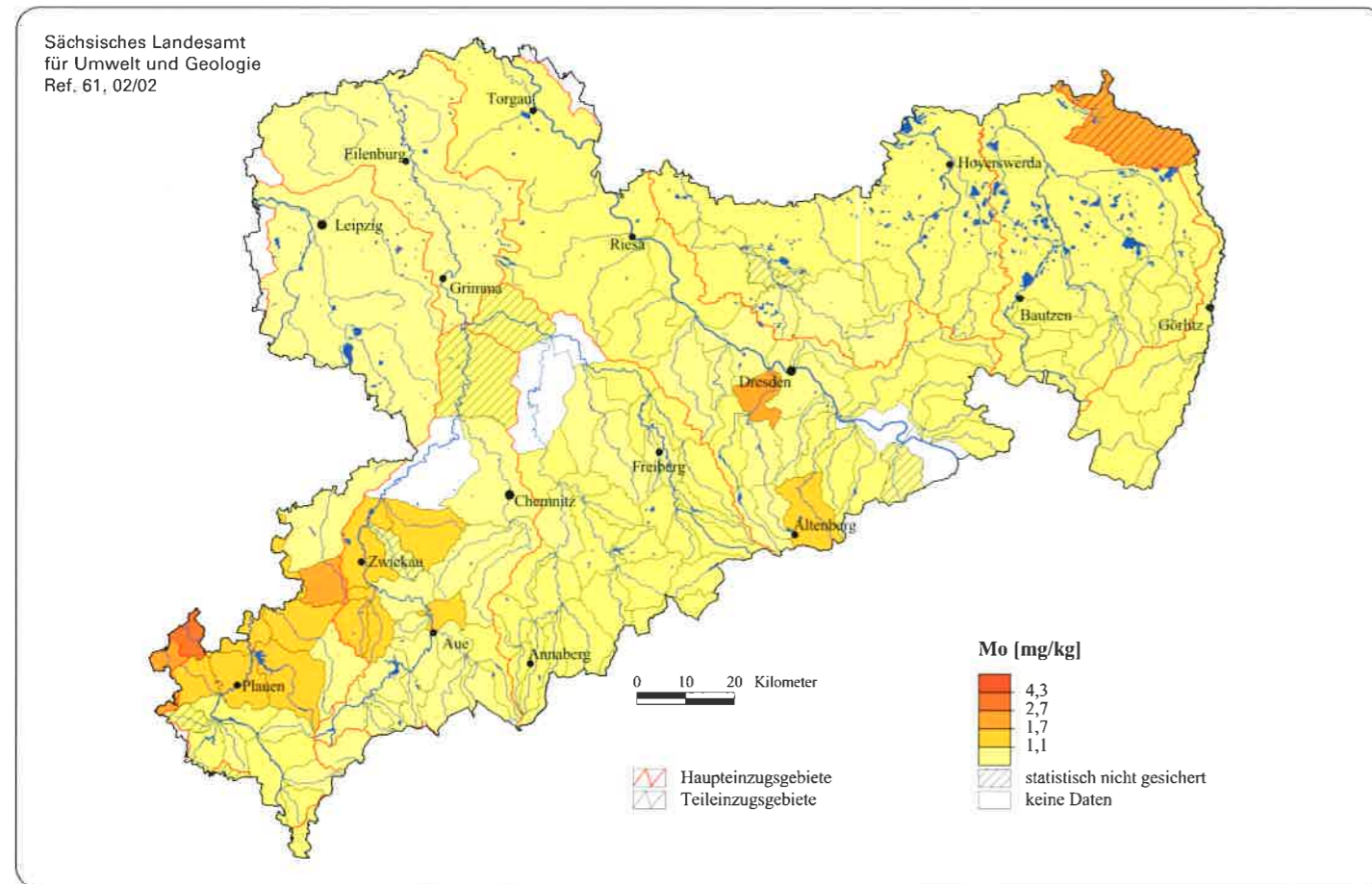


Abb. 4.1.11-1: Molybdän in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

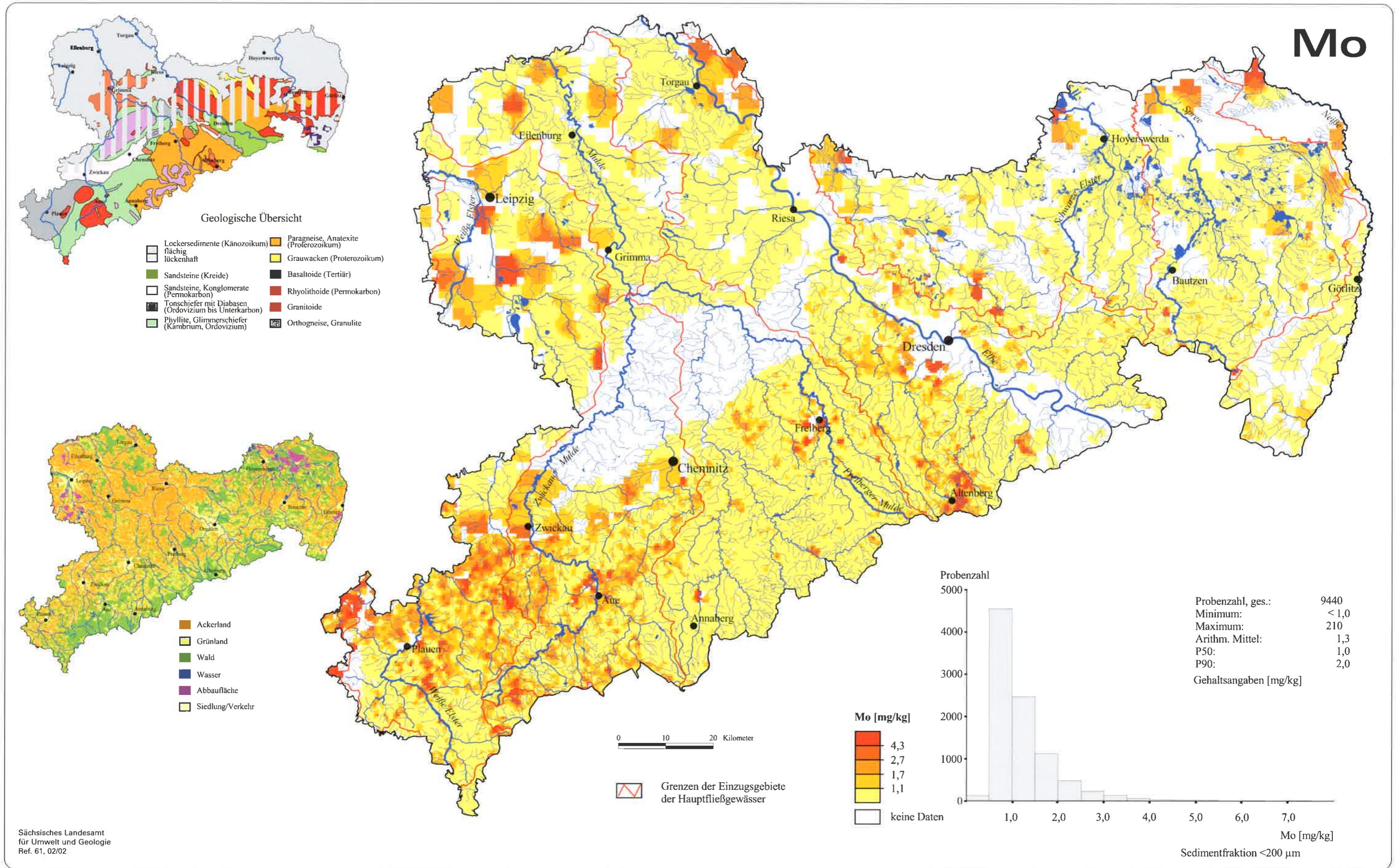


Abb. 4.111-2: Molybdän in Bachsedimenten Sachsens

4.1.12 Nickel (Ni)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste (WEDEPOHL, 1995) von 19 mg/kg repräsentiert auch die Gesteine Sachsens mit einem mittleren Gehalt von 20 mg/kg. Niedrige Ni-Gehalte treten in sauren Magmatiten, Orthometamorphiten und Sedimenten der Kreide (≤ 10 mg/kg) sowie intermediären Magmatiten auf (≤ 20 mg/kg). Mittlere Gehalte (20–40 mg/kg) haben analog zu Cu und Cr die Parametamorphite sowie die Sedimente aus Perm, Trias und Tertiär. Erhöhte Ni-Gehalte (> 40 mg/kg) treten in basischen Vulkaniten sowie in Metabasiten auf (KARDEL et al., 1996).

Nickel tritt wie Cobalt in der Quarz-Arsenid-Assoziation in Erscheinung, deren Umweltrelevanz als gering eingeschätzt wird (HÖSEL et al., 1997). Zusätzliche chalkogene Ni-Anreicherungen sind im Bereich der Ni-Verwitterungslagerstätten über Serpentiniten im Granulitgebirge und dessen Schiefermantel anzutreffen (RANK et al., 1999). Nickel neigt wie Co zur Kopräzipitation mit Mn-Hydroxiden und bildet daher teilweise punktuelle Anreicherungen (milieubedingte Anomalien).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.12-2)

Nickel spiegelt in den Bachsedimenten des Erzgebirges/Vogtlandes die petrogeochemischen Verhältnisse der anstehenden Gesteine sehr gut wider (lithophiles Element). Es zeigt seine stärkere Bindung an basische Gesteine durch höchste Gehalte über Ultrabasiten (Zöblitz, Siebenlehn), hohe Gehalte über Diabasen und Tonschiefern des Vogtlandes (> 59 mg/kg), gefolgt von Phylliten (33–59 mg/kg), mittlere Ni-Gehalte in Bachsedimenten über Glimmerschiefern und Gneisen (19–33 mg/kg) und geringe Gehalte über Metagranitoiden und -rhyolithoiden (11–19 mg/kg) sowie sauren Magmatiten, Rhyolithen und Kreidesandsteinen (≤ 11 mg/kg). Ni-Anomalien, die durch Mineralisationen hervorgerufen werden (z.B. Bi-Co-Ni), treten gegenüber dem lokalen Untergrund zurück.

In der Elbezone und dem SW-Rand der Lausitz überwiegen mittlere bis leicht erhöhte Ni-Gehalte (19–59 mg/kg). Die mineralisationsbedingten Ni-Anomalien treten im wesentlichen in den Lausitzer Granodioriten/Anatexiten auf und werden durch die Lausitzer Überschiebung kontrolliert, z.B. bei Sebnitz. Basische Ganggesteine und daran gebundene Cu-Ni-Sulfide lassen sich wiederum im Hohwaldgebiet nachweisen. Lithologisch bedingt sind erhöhte Nickelgehalte in Bachsedimenten des Elbsandsteingebirges, die durch die Verwitterungsprodukte des Zschirnsteinbasaltes beeinflusst sind. Diese Einzelpro-

Tab. 4.1.12: Statistische Kenngrößen für Nickel in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	10	19	43	<5,0	23
Spree	587	8,0	15	109	8,0	18
Schwarze Elster	418	10	19	44	13	31
Elbe i.e.S.	2.493	9,0	21	44	8,0	34
Zwota/Eger	128	5,9	26	51	8,0	30
Freiberger Mulde	2.824	12	21	44	13	37
Zwickauer Mulde	1.796	8,0	29	59	6,0	55
Vereinigte Mulde	54	8,5	22	50	—	—
Weißer Elster	1.538	23	51	149	28	114
Saale i.e.S.	51	27	89	225	15	98
Sachsen, ungewichtet	10.105	10	24/25*	65	<5,0	114

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

ben sind nicht repräsentativ für die oberen Teileinzugsgebiete der Elbe i.e.S. Südlich Kalkreuth treten erhöhte Ni-Gehalte in Bachsedimenten über Grauwacke auf, die Vorkommen von Raseneisenerzen enthält. Milieubedingt sind Ni-Anomalien im Übergangsbereich zwischen Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft und der Dresdner Heide. Lokale Erhöhungen anthropogener Art liegen im Kaitzbach, um Radeberg und Meißen vor (RENTZSCH et al., 1982). Die Ni-Verteilung in den Bachsedimenten der Ostlausitz bewegt sich auf niedrigem Niveau (≤ 33 mg/kg), unterbrochen durch kleine Flächen mit höheren Gehalten. Besonders geringe Ni-Gehalte (≤ 11 mg/kg) treten über dem Königshainer Granit auf. Lithologisch erhöhte Ni-Gehalte treten demgegenüber punktuell über Basaltoiden auf. Im Klosterwald korrelieren hohe Ni-Gehalte mit hohen Mn- und Co-Gehalten, die nicht lithologisch bedingt sind sondern durch Flugstäube verursacht sein können (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Lithologisch zeigt Ni seine bevorzugte Bindung an basische und ultrabasische Gesteine durch hohe Ni-Gehalte in Bachsedimenten über Serpentiniten am NW- und SO-Rand des Granulitgebirges. Im Bereich des Zellwaldes ist ebenfalls eine Anomalie erkennbar, die auf unterliegende Phyllite zurückzuführen ist. Eine markante Ni-Anomalie (> 59 mg/kg) tritt zwischen Hohenstein-Ernstthal und Waldenburg im Bereich der Ni-Hydrosilikat-Lagerstätte Callenberg-Süd auf (HARTISCH et al., 1989). Über dem Mittweidaer Granit tritt Ni wie in allen Älteren und Jüngeren Graniten zurück (≤ 19 mg/kg).

Während Bachsedimente der Vorerzgebirgssenke leicht erhöhte Ni-Gehalte (33–59 mg/kg) aufweisen, liegen die nordsächsischen mindestens eine Klasse darunter (≤ 33 mg/kg). Das stimmt tendenziell gut mit den Gesteinsanalysen überein. Die Vorerzgebirgssenke repräsentiert einen Querschnitt erzgebirgischen Materials. Die sehr geringen Gehalte der sauren Vulkanite um Grimma werden von den Bachsedimenten nicht widerspiegelt.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.12-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Ni-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 25 mg/kg. Die mittleren Ni-Gehalte der Einzugsgebiete folgen lithologischen Gesetzmäßigkeiten. Für Einzugsgebiete mit einem hohen Anteil an Basiten/Tonschiefern wurde ein hoher Hintergrundwert ermittelt, z.B. für Teileinzugsgebiete der Weißen Elster (z.B. Pleiße 1: 122 mg/kg). Einzugsgebiete im Bereich von sauren Intrusiva werden durch niedrige Hintergrundwerte charakterisiert, z.B. der Oberlauf der Zwickauer Mulde bis Mündung Schwarzwasser (z.B. Große Pyra 6,0 mg/kg) über dem Eibenstocker Granit, das Crinitzer Wasser (15 mg/kg) über dem Kirchberger Granit, der Oberlauf der Roten Weißeritz (8,0 mg/kg) über Rhyolithoiden/Vulkaniten, das Teileinzugsgebiet Fleißenbach/Hennebach (8,0 mg/kg) über dem Fichtelgebirgsgranit und der Schwarze Schöps 2-Süd (8,0 mg/kg) über dem Königshainer Granit.

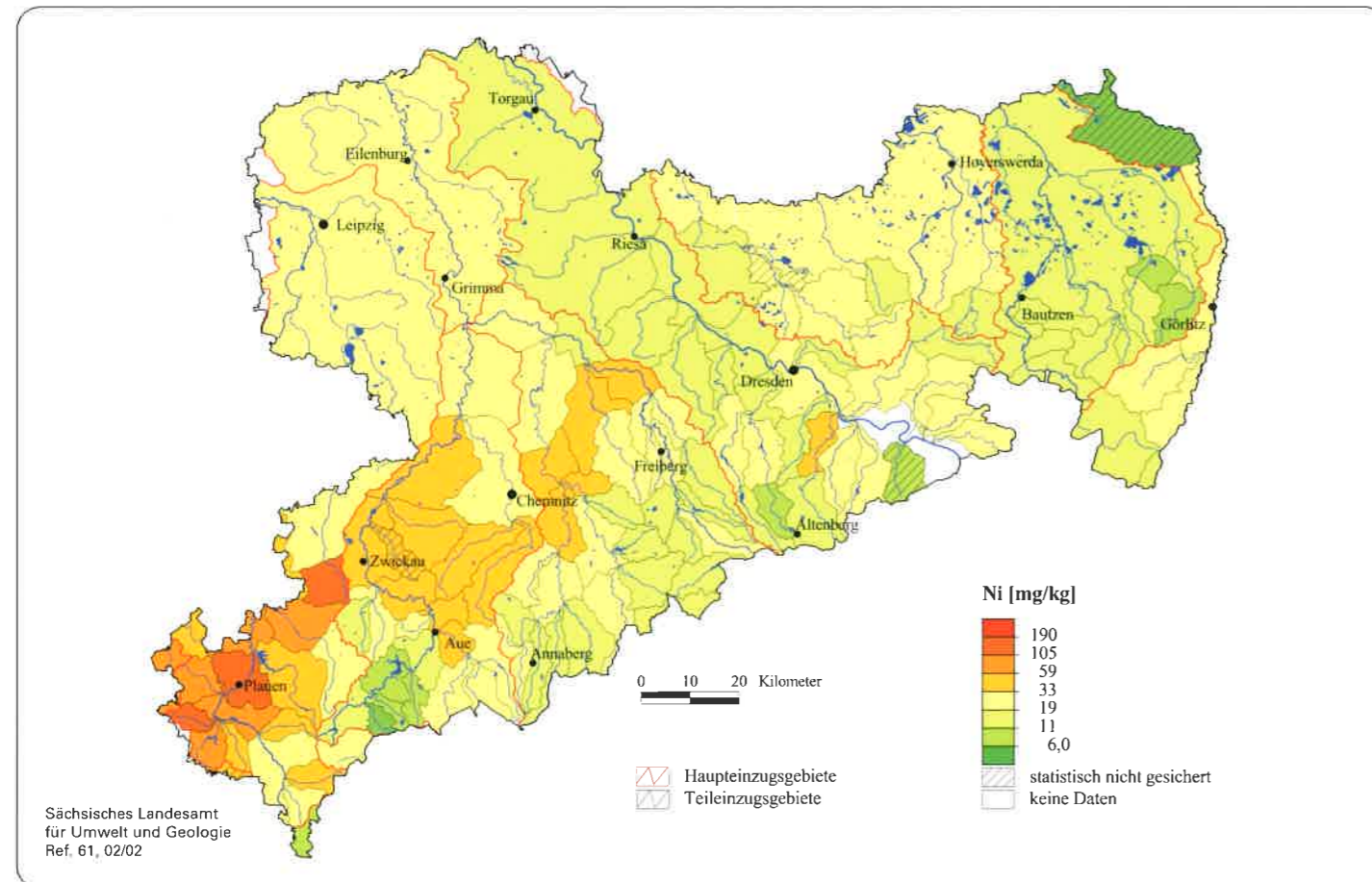


Abb. 4.1.12-1: Nickel in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

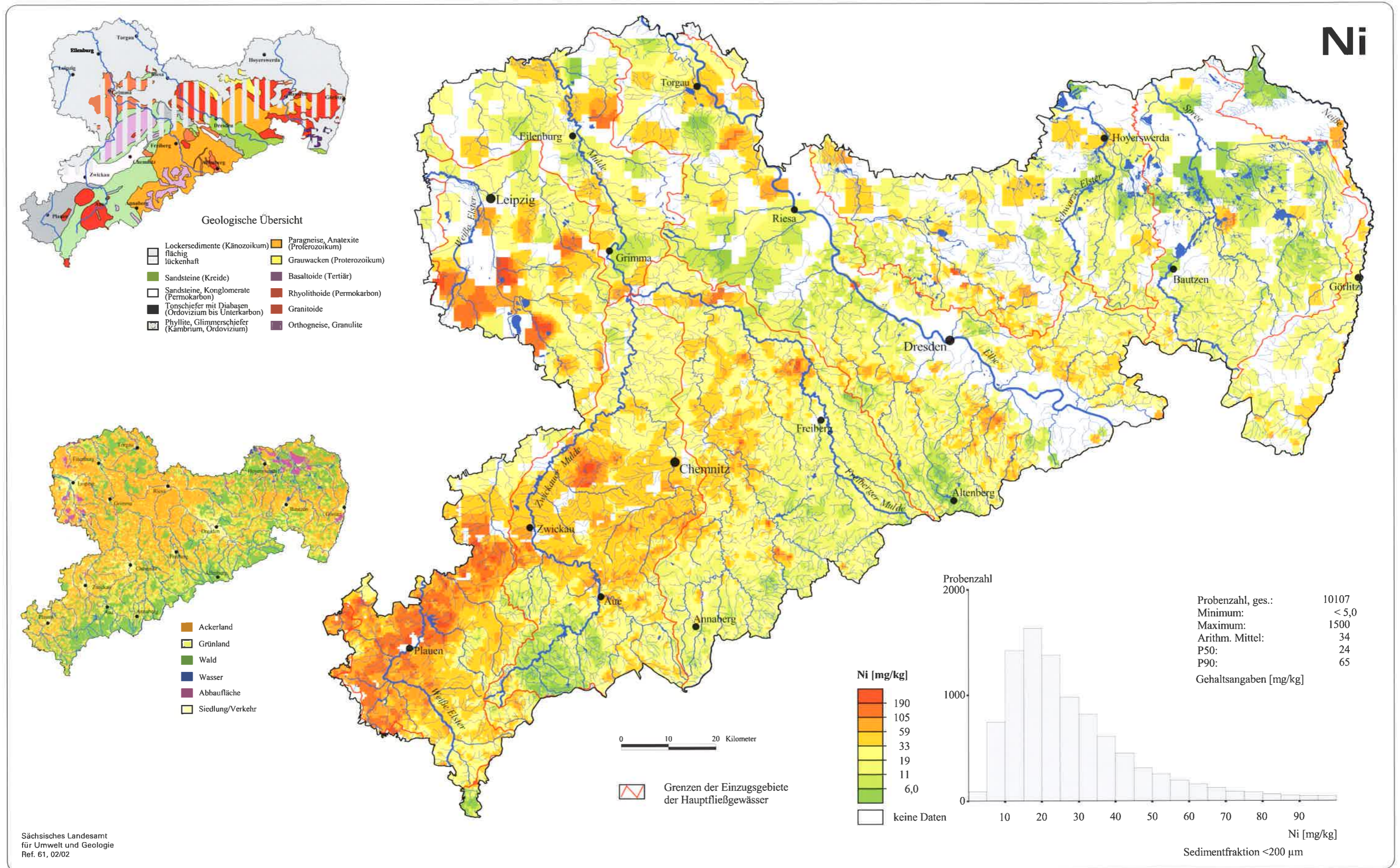


Abb. 4.112-2: Nickel in Bachsedimenten Sachsens

4.1.13 Blei (Pb)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste wird von WEDEPOHL (1995) mit 17 mg/kg angegeben. Der mittlere Pb-Gehalt sächsischer Gesteine liegt mit 20 mg/kg ähnlich. Niedrige Gehalte (≤ 12 mg/kg) weisen basische Magmatite und Metamorphite auf. Über mittlere Pb-Gehalte (12–24 mg/kg) verfügen alle prävariszischen Metamorphite, Magmatite und Sedimentite, die Gesteine des Nordwestsächsischen Eruptivkomplexes und die Sedimente der Rotliegendebenen. Erhöhte Pb-Gehalte (> 24 mg/kg) weisen quartäre Bildungen, Glimmerschiefer und Rhyolithoide auf. Innerhalb der variszischen Granite ist eine Differenzierung der Pb-Gehalte zu beobachten. Während in den Jüngeren Graniten des Vogtlandes und West-erzgebirges niedrige Gehalte (≤ 20 mg/kg) auftreten, liegen die Pb-Gehalte in den Granitoiden der Elbezone, den Lausitzer Stockgraniten und kleinen Intrusivkörpern des Granulitgebirges um den Faktor 2 höher (KARDEL et al., 1996).

Das Element Blei ist bevorzugt an Galenit in Gängen gebunden. Die überwiegende bergmännisch geförderte Menge stammt aus der Quarz-Sulfid-Assoziation der Bergbaureviere Freiberg und Brand und aus der Baryt-Fluorit-Assoziation des Reviers Halsbrücke. In den Revieren Marienberg, Annaberg und Schneeberg tritt die Pb-Abfolge im Vergleich zu Freiberg

zurück. Die Korrelation der Lage und Intensität von Pb-Anomalien mit dem Auftreten von Sulfidmineralisationen ist offensichtlich (HÖSEL et al., 1997). Im Raum Freiberg wird die geogene Anomalie durch anthropogene Effekte räumlich vergrößert und hinsichtlich ihrer Konzentration verstärkt. Ursache für die großräumige Verbreitung sind Prozesse der Verhüttung, bei denen beträchtliche Anteile der Elemente Blei, Zink und Cadmium als Stäube emittiert wurden. Die Schwermetallkonzentrationen sind auch in den aktiven Fließgewässersedimenten der Freiburger Mulde mit Eintritt in das Bergbaurevier bis heute nachzuweisen (BEUGE et al., 1999).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.13-2)

Im Erzgebirge lässt sich ein erhöhtes Niveau für das Element Pb feststellen. Die stärkste positive Pb-Anomalie befindet sich im Freiburger Raum und ist an das Vorkommen von Pb in Pb-Zn-Ag-Mineralisationen gebunden. Für Größe und Intensität der Pb-Anomalie sind neben der chalkogenen Komponente auch anthropogene Einflüsse aus Bergbau, Aufbereitung und Industrie verantwortlich. Die Anomalie setzt sich auf geringem Konzentrationsniveau nach Südosten bis zum Erzgebirgskamm fort und wird auf geogene Ursachen zurückgeführt (PÄLCHEN et al., 1996). Dagegen ist eine Ostnordost-Ausdehnung, entsprechend der vorherrschenden Windrichtung, in den Bachsedimenten – im Gegensatz zur organischen Auflage der Waldböden, z.B. im Tharandter Wald (RANK et al., 1999),

Tab. 4.1.13: Statistische Kenngrößen für Blei in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	218	22	36	71	30	50
Spree	587	22	34	55	27	38
Schwarze Elster	418	24	46	109	33	83
Elbe i.e.S.	2.493	29	60	137	29	121
Zwota/Eger	128	26	47	106	37	51
Freiberger Mulde	2.824	35	63	157	33	350
Zwickauer Mulde	1.796	30	52	108	35	82
Vereinigte Mulde	54	30	44	82	—	—
Weißer Elster	1.538	21	37	66	26	52
Saale i.e.S.	51	24	46	78	43	62
Sachsen, ungewichtet	10.105	27	51/50*	120	26	350

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

nicht nachweisbar. Weitere Pb-Anomalien treten in Bachsedimenten auch in mittel- und westerzgebirgischen Gebieten mit Sulfidvererzung auf, z.B. Annaberg, Wolkenstein, Marienberg, Aue, Johanngeorgenstadt. Negative Pb-Anomalien befinden sich in Bachsedimenten über dem Eibenstocker Granit im westlichen Erzgebirge, über geringvererzten Bereichen des mittleren Erzgebirges (Metagranitoide, -rhyolithoide) und sauren Vulkaniten des östlichen Erzgebirges.

Innerhalb der Elbezone/SW-Rand Lausitz sind die Pb-Gehalte in der Moritzburger Kuppen- und Teichlandschaft (schwache Spezialisierung des Quarzmonzodiorites) und der Dresdner Heide am höchsten. Entlang der Lausitzer Störung treten lokale Pb-Anreicherungen auf, in Richtung Lausitzer Bergland sinken die Gehalte ab. Pb-Anomalien im Bergbaurevier Scharfenberg sind mineralisationsbedingt. Anthropogene Einflüsse werden von Radeberg, Sebnitz, Hermsdorf und Dresden-Klotzsche beschrieben (RENTZSCH et al., 1982). Die Pb-Gehalte der Bachsedimente der Ostlausitz bewegen sich regional betrachtet auf niedrigem Niveau (≤ 43 mg/kg), mit einem Minimum über dem Königshainer Granit (≤ 17 mg/kg). Damit ist die in KARDEL et al. (1996) beschriebene Pb-Spezialisierung der Lausitzer Stockgranite in den Bachsedimenten nicht nachweisbar. Anomalien an Grenzen geochemischer Landschaften werden als milieubedingt angesehen, Anomalien im Vorland des Zittauer Gebirges sind in Zusammenhang mit der Lausitzer Störung zu bringen (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Die Pb-Gehalte steigen in den Bachsedimenten im Granulitgebirge von NO (≤ 43 mg/kg) nach SW (> 69 mg/kg) an. Als mineralisationsbedingt gelten die Pb-Anreicherungen in Schönborn-Dreiwerden und Callenberg-Süd. Die zwischen Waldenburg und Penig in östlichen Zuflüssen der Zwickauer Mulde ermittelten höheren Pb-Gehalte konnten auf Sulfide im Schlich zurückgeführt werden (HARTISCH et al., 1989).

Die Pb-Gehalte in Bachsedimenten der Vorerzgebirgssenkung sind als erhöht einzuschätzen (69–170 mg/kg). Bei der Untersuchung von Oberböden zeigten sich hier ebenfalls erhöhte Pb-Gehalte, wobei sich das Gehaltsniveau der Erzgebirgsböden in der Senke im Gebiet zwischen Zwickau und Chemnitz fortsetzt. Generell wurde bei den Bodenuntersuchungen festgestellt, dass Pb im Oberboden gegenüber dem Unterboden besonders akkumuliert wird (RANK et al., 1999). Eine Verfrachtung des Elements über den Luftpfad (Kohleverbrennung, Sekundärstäube) ist sowohl in Hüttenzentren (Freiberg) als auch in Ballungszentren (Leipzig, Chemnitz) angezeigt. Die Bachsedimente Nordsachsens weisen überwiegend mittlere Gehalte auf (27–69 mg/kg), die von punktuellen Anomalien unterbrochen werden. Pb besitzt ebenfalls eine hohe Akkumulationsrate in Auenböden der Flusssysteme Elbe, Mulde und Weiße Elster.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.13-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Pb-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 50 mg/kg. In der Kartendarstellung der Einzugsgebiete treten wiederum die von Mineralisationen und bergbaulichen Aktivitäten beeinflussten Bereiche hervor: der Mittellauf der Freiburger Mulde (bis 350 mg/kg) mit dem Lagerstätten- und Hüttenbezirk Freiberg - Halsbrücke (Pb, Zn, Cu, Ag) sowie die Einzugsgebiete der Wilden/Roten Weißeritz und der Oberlauf der Müglitz (bis 121 mg/kg). In der Elbezone sind die Pb-Gehalte in der Dresdner Heide und der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft am höchsten. Das widerspiegelt sich in den Einzugsgebieten der Prießnitz (75 mg/kg) und der Großen Röder (83 mg/kg). Die Pb-Hintergrundgehalte sinken ausgehend von den erzgebirgischen Teileinzugsgebieten in östlicher, nördlicher und südwestlicher Richtung ab (≤ 43 mg/kg).

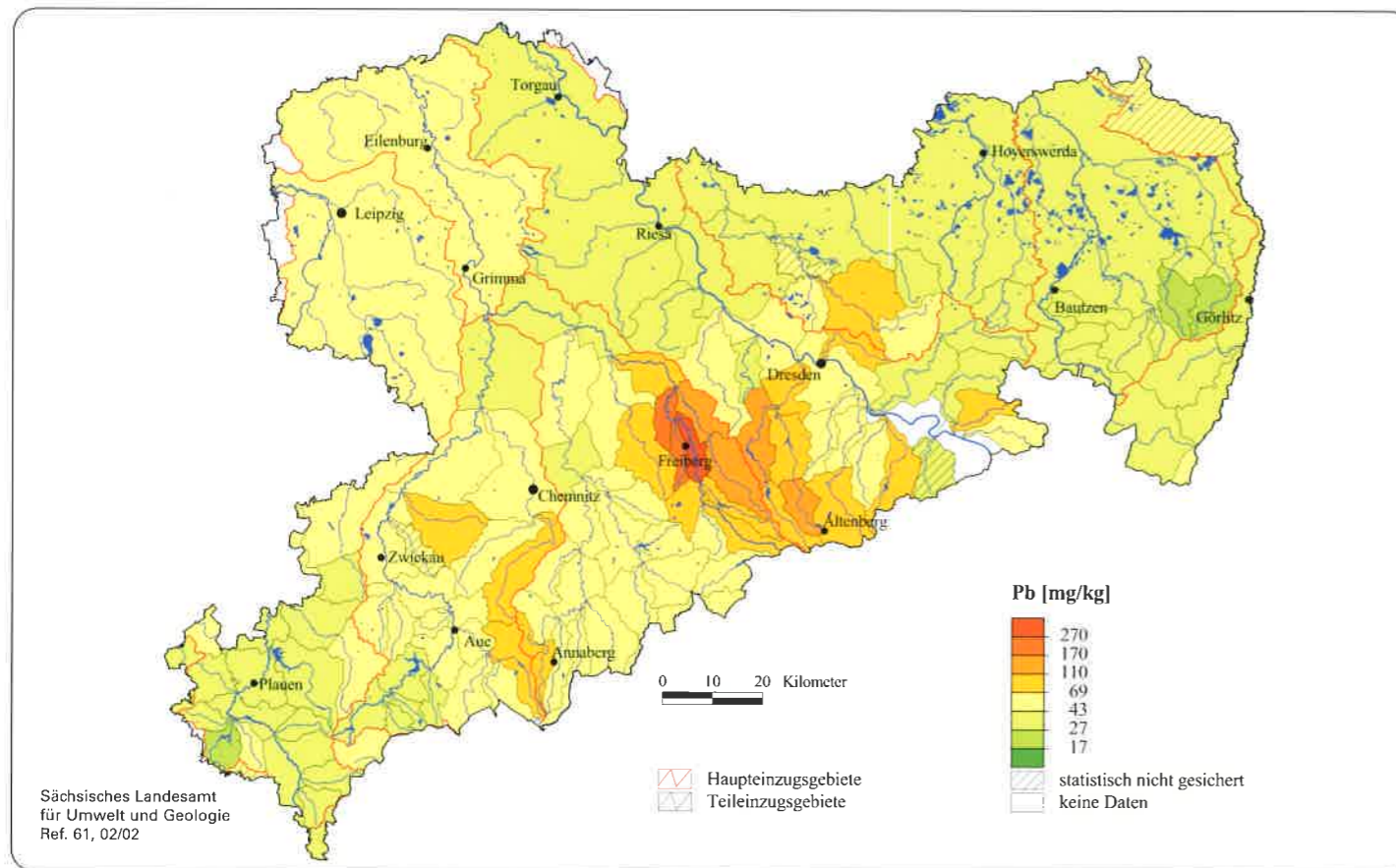


Abb. 4.1.13-1: Blei in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

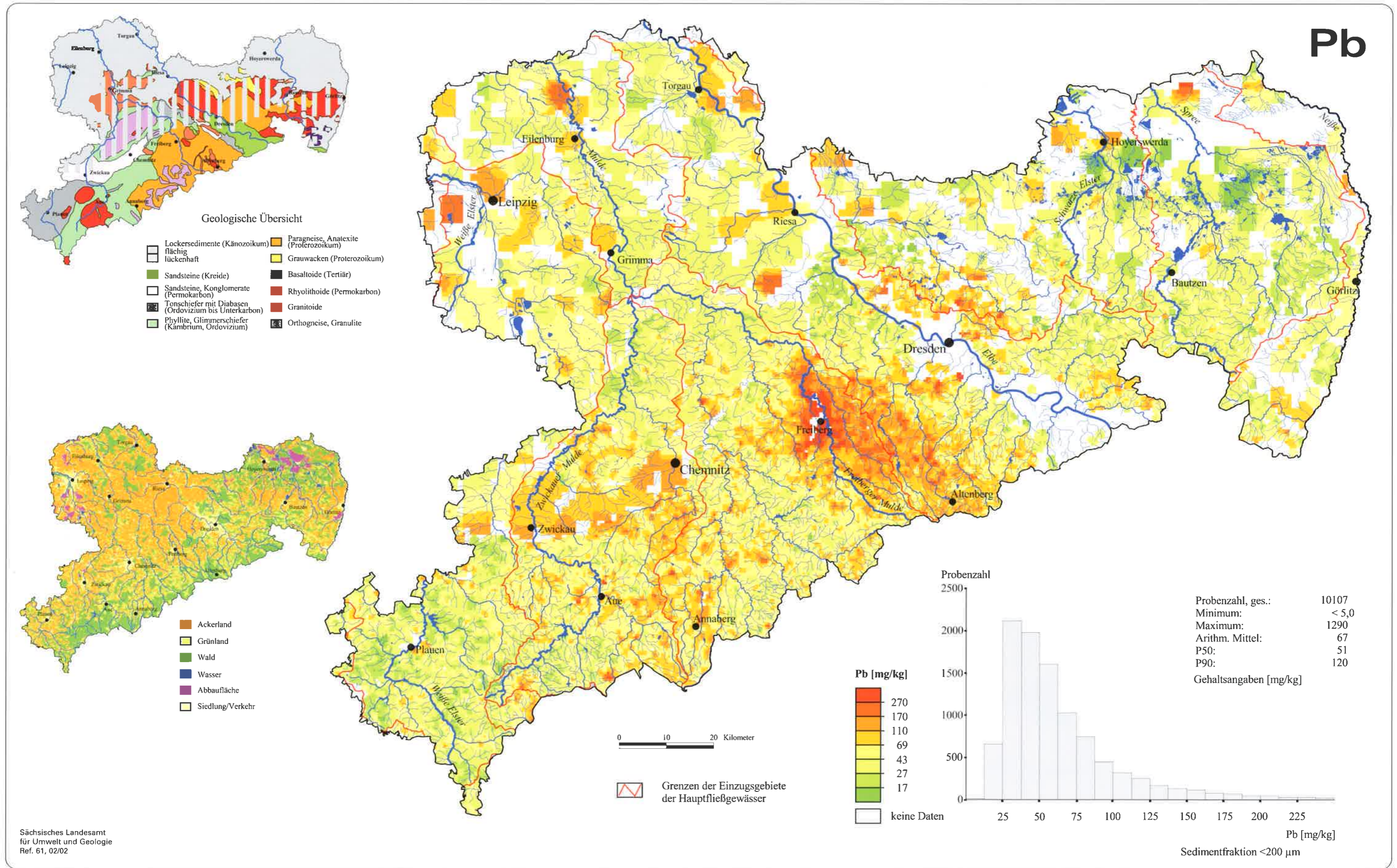


Abb. 4.1.13-2: Blei in Bachsedimenten Sachsens

4.1.14 Zinn (Sn)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste von 2,5 mg/kg (WEDEPOHL, 1995) wird von den sächsischen Gesteinen mit 4,4 mg/kg übertroffen. Geringe Sn-Gehalte ($\leq 2,5$ mg/kg) treten im Löss, in Basaltoiden und Phonolithen des Tertiärs, in paläozoischen basischen Vulkaniten und Metabasiten auf. Der Hauptteil sächsischer Gesteine weist Sn-Gehalte auf, die über dem Clarke liegen, weswegen das Erzgebirge den Charakter einer Zinnprovinz besitzt, der sich über Verwitterung, Abtragung und Sedimentation bis in die Molasse- und Tafelsedimente fortsetzt. Besondere Bedeutung erlangen variszische saure Vulkanite und Granite, die eine geochemische Sn-Spezialisierung besitzen. Die höchsten Sn-Gehalte werden in den Jüngeren Graniten erreicht (47 mg/kg), die häufig mit Sn-Lagerstätten assoziiert sind. Sn tritt in diesen Graniten als Kassiterit auf, der sehr verwitterungsresistent ist und zu lokalen Anreicherungen in Kreide- und Tertiärsedimenten führen kann (KARDEL et al., 1996).

In den Zinnmineralisationen des Erzgebirges ist Kassiterit der bestimmende Rohstoffträger für das Element Zinn (TISCHENDORF, 1989). Dabei kann das Mineral gelegentlich in mehreren Generationen der endogen-epigenetischen Zinnlagerstätten variszischen Alters auftreten, die ausschließlich an zinnspezialisierte Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes gebunden sind. Im Exokontaktbereich der Granite ist der Gangtyp am stärksten verbreitet (z.B. mittleres Erzgebirge: Ehrenfriedersdorf, Greifensteingebiet, Geyer, Buchholz, Wiesenbad, Pobershau; westliches Erzgebirge/Vogtland: Mühlleiten; östliches Erzgebirge: Hegelshöhe, Schenkenshöhe, Sachsenhöhe). Zinnführende Skarne enthalten schichtgebundene epigenetische Zinnakkumulationen (z.B. im Gebiet der Schwarzenberger Gneiskuppel bei Pöhl-Globenstein, Breitenbrunn, Antonsthal, Hämmerlein und Tellerhäuser). Im Endokontaktbereich der hoch indurierten Granitkuppeln im Osterzgebirge überwiegen zinnführende Greisenstockwerke (z.B. Altenberg, Sadisdorf) (HÖSEL et al., 1997).

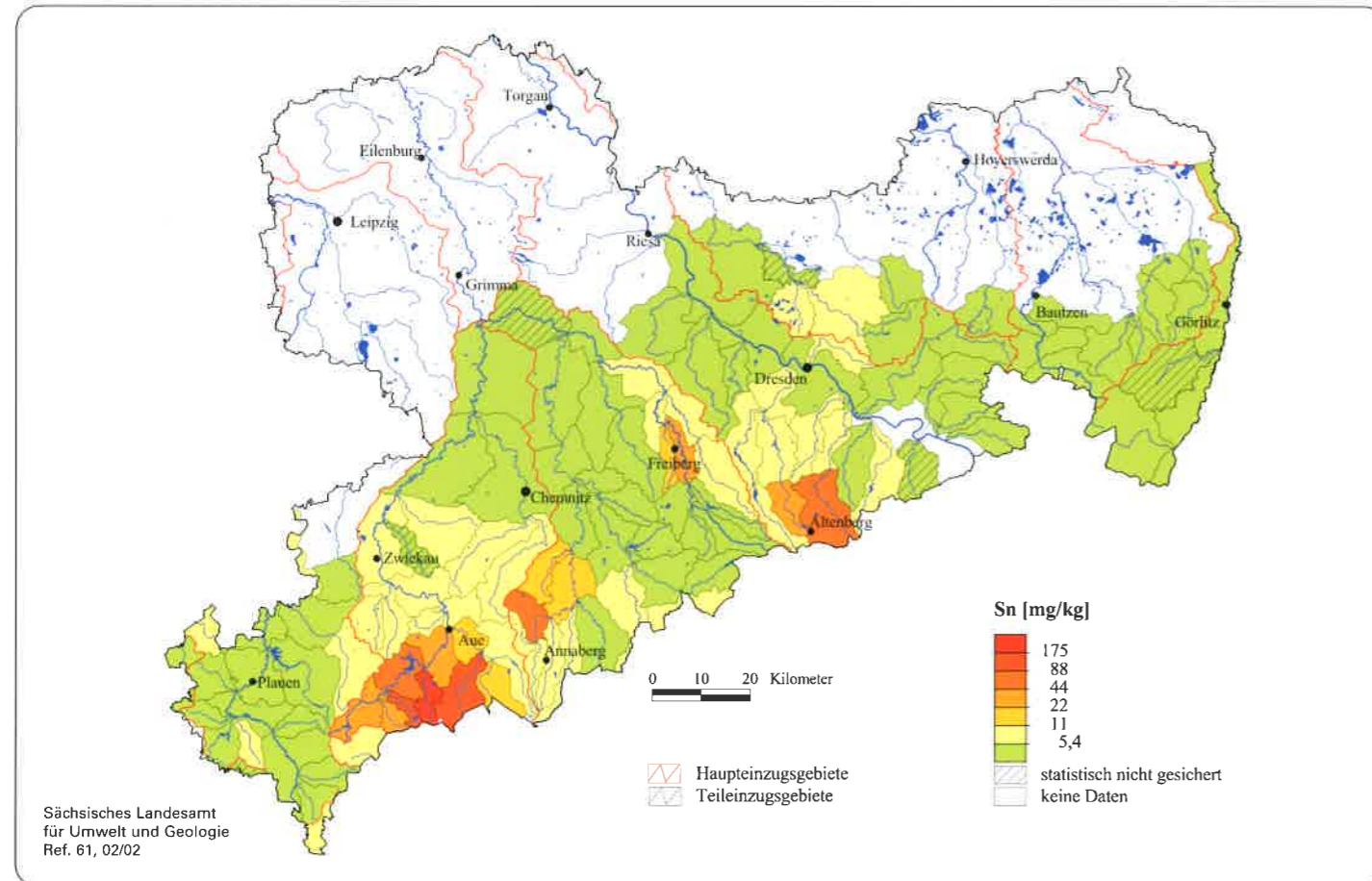


Abb. 4.1.14-1: Zinn in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

Tab. 4.1.14: Statistische Kenngrößen für Zinn in Bachsedimenten ($<200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min} / P50 _{max}
Lausitzer Neiße	193	<5,0	<5,0	7,6	<5,0 / <5,0
Spree	526	<5,0	<5,0	7,0	<5,0 / 5,0
Schwarze Elster	342	<5,0	<5,0	8,0	<5,0 / 6,0
Elbe i. e. S.	2.431	<5,0	5,0	37	<5,0 / 48
Zwota/Eger	128	<5,0	9,0	159	7,0 / 10
Freiberger Mulde	2.811	<5,0	6,0	24	<5,0 / 49
Zwickauer Mulde	1.764	<5,0	9,0	218	<5,0 / 301
Vereinigte Mulde	0	—	—	—	— / —
Weißer Elster	1.460	<5,0	<5,0	10	<5,0 / 10
Saale i. e. S.	47	<5,0	<5,0	7,0	<5,0 / 5,0
Sachsen, ungewichtet	9.702	<5,0	5,0	36	<5,0 / 301

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.14-2)

Die Bindung des Sn an zinnspezialisierte Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes äußert sich am deutlichsten in stark erhöhten Sn-Gehalten (>22 mg/kg) in Bachsedimenten über dem Eibenstocker Granit. Hohe lagerstättenanzeigende Sn-Gehalte treten in den Gebieten Johanngeorgenstadt, Annaberg-Buchholz – Ehrenfriedersdorf – Marienberg - Pobershau, Seiffen, Edle Krone und Sadisdorf – Altenberg – Zinnwald – Schenkenshöhe auf.

Im Bereich der Elbezone und südwestlichen Lausitz treten in der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft, der Dresdner Heide und Teilen der Lausitzer Platte leicht erhöhte Sn-Gehalte auf. Für den Meißner Komplex kommt wiederum die Spezialisierung der Granitoide zum Tragen. Sn- bzw. fluoritführende Mineralisationen sind für Einzelproben (Spitzgrund bzw. Lößnitzgrund) beschrieben worden (RENTZSCH et al., 1982). Anthropogene Beeinflussungen werden für Meißen, Radeberg und Hermsdorf/Röder angegeben. Im wesentlichen bewegen sich die Sn-Gehalte in den Bachsedimenten der Ostlausitz im Niveau ≤ 11 mg/kg.

Im Granulitgebirge dominieren im regionalen Verteilungsbild niedrige Sn-Gehalte (≤ 11 mg/kg) in Bachsedimenten. Eine Anomalie wurde südöstlich von Mittweida in Bachsedimenten über dem Mittweidaer Granit festgestellt (HARTISCH et al., 1989).

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.14-1)

Der mittlere Sn-Gehalt in Bachsedimenten des Grundgebirgsbereichs beträgt 5 mg/kg. Aufgrund der starken lagerstättengebundenen Anreicherung fallen in der Flächendarstellung nur wenige Teileinzugsgebiete mit dafür hohen mittleren Sn-Gehalten heraus, so im Bereich der oberen Zwickauer Mulde über dem Eibenstocker Granit (z.B. Große Bockau 301 mg/kg), im Mittellauf der Zschopau (49 mg/kg), in der Freiberger Mulde bei Freiberg (25 mg/kg) und in den Oberläufen der Roten Weißeritz (36 mg/kg) und Müglitz (48 mg/kg).

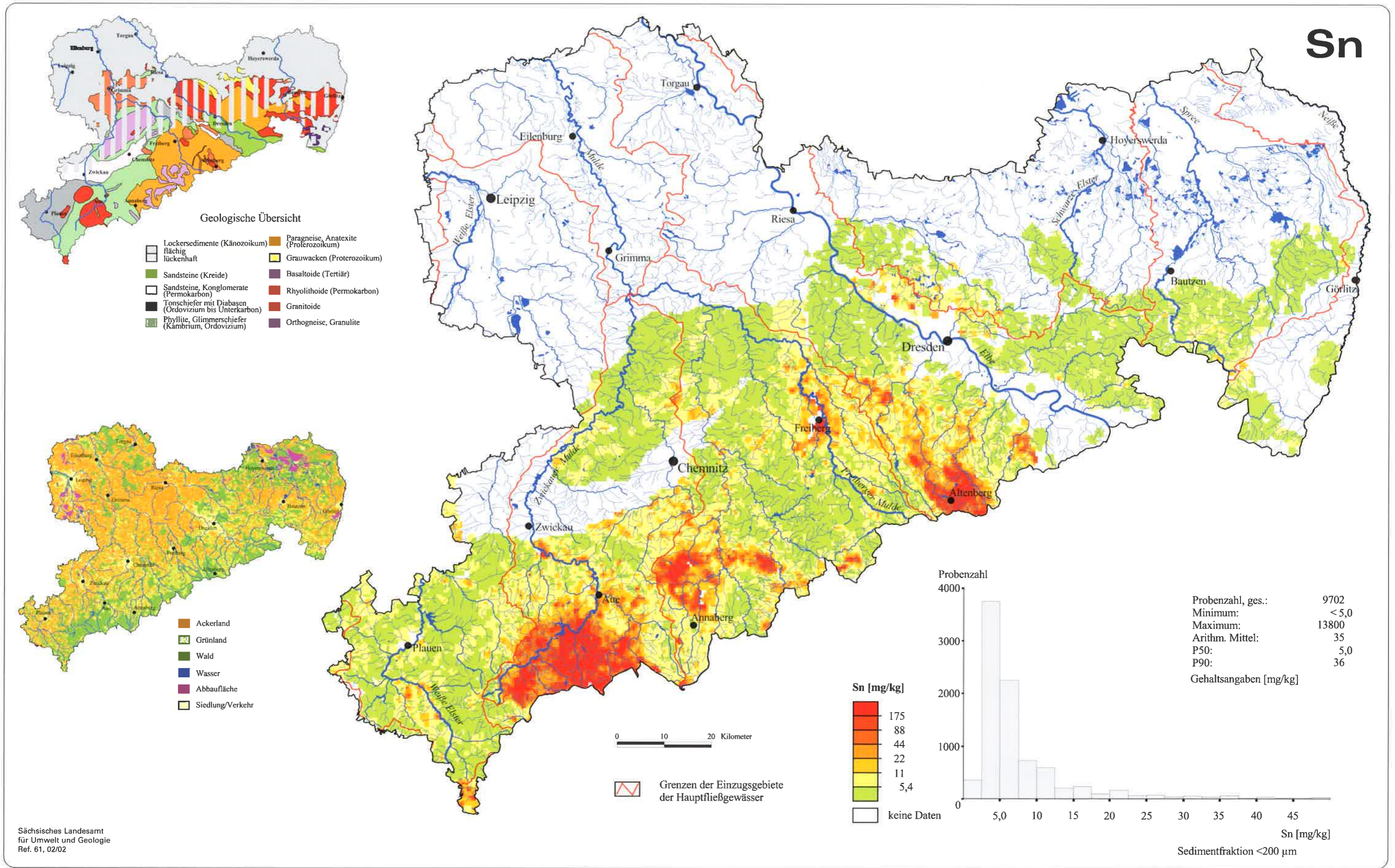


Abb. 4.1.14-2: Zinn in Bachsedimenten Sachsens

4.1.15 Titan (Ti)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste beträgt 3.117 mg/kg (WEDEPOHL, 1995). Für Sachsen liegt kein mittlerer Gehalt vor. Titan als basaltophiles Element findet sich in sächsischen Gesteinen hochkonzentriert in Metabasiten (>9.000 mg/kg) und verwandten basischen Gesteinen, z.B. Diabasen. Metamorphe Gesteine weisen mittlere Ti-Gehalte auf (Paragneise 4.150, Glimmerschiefer 4.750, Phyllite 5.600 mg/kg). Für die Lausitzer Granodiorite und Anatexite werden ähnliche Gehalte (2.280–3.920 mg/kg) angegeben. Ältere Granite (1.920 mg/kg), Metarhyolithoide (1.000 mg/kg) und Metagranitoide (1.500 mg/kg) sind Ti-verarmt. In dieser Größenordnung bewegen sich auch die Intrusiva des Meißner Massivs. In Jüngeren Graniten (525 mg/kg) und Kreidesandsteinen (504 mg/kg) ist ein Minimum zu verzeichnen (PÄLCHEN et al., 1987). Hohe Ti-Gehalte haben auch die tertiären Basaltoide. Wegen der geringen Anschnittflächen finden sie jedoch nur eine geringe Widerspiegelung in der Verteilungskarte.

Mineralisationsrelevante Indikationen liegen für das Erzgebirge/Vogtland nicht vor (PÄLCHEN et al., 1982).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.15-2)

Titan zeigt seinen lithophilen, speziell basaltophilen geochemischen Charakter im Verteilungsbild der Ti-Konzentrationen im Erzgebirge/Vogtland. Höchste Konzentrationen (>5.380 mg/kg) werden in Bachsedimenten über vogtländischen Diabasen, westerzgebirgischen Tonschiefern und Phylliten sowie basischen Vulkaniten und mit ihnen assoziierten Metapeliten bei Lößnitz – Zwönitz und Wildenfels lokalisiert. Im Bereich des Medians (3.640–5.380 mg/kg) befinden sich Gebiete über Paragneisen. Ti-verarmt sind Bachsedimente über Metarhyolithoiden und Metagranitoiden (2.460–3.640 mg/kg). In diesem Bereich liegen auch die Bachsedimente über Graniten des Älteren Intrusivkomplexes (Kirchberg, Bergen, Niederborsitzsch). Als deutlichste negative Ti-Anomalie (≤ 2.460 mg/kg) heben sich die Jüngeren Granite von Eibenstock und Schellerhau heraus. Ähnlich geringe Gehalte sind in Gebieten mit Rhyolithen anzutreffen. Anthropogene Ti-Anreicherungen konnten in Bachsedimenten nicht beobachtet werden (PÄLCHEN et al., 1982).

Die Verteilung des Ti wird durch Quartärverbreitung, mechanische Barrieren und z.T. lithologische Unterschiede kontrolliert (RENTZSCH et al., 1982). Im westelbischen mittelsächsischen Lössgebiet treten niedrige Ti-Gehalte (≤ 3.640 mg/kg) auf.

Tab. 4.1.15: Statistische Kenngrößen für Titan in Bachsedimenten (<200 μ m) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	193	3.860	4.920	6.590	4.060	5.240
Spree	518	3.120	4.310	4.990	3.310	4.780
Schwarze Elster	341	2.700	3.920	5.300	2.770	4.640
Elbe i.e.S.	2.430	2.400	3.830	5.900	1.520	5.580
Zwota/Eger	128	1.680	3.920	6.120	2.300	4.130
Freiberger Mulde	2.811	2.700	4.120	6.110	3.220	5.840
Zwickauer Mulde	1.764	1.890	4.350	1.890	1.760	8.010
Vereinigte Mulde	0	—	—	—	—	—
Weißer Elster	1.461	3.960	6.890	15.300	3.870	14.300
Saale i.e.S.	47	4.680	10.300	18.000	4.790	11.600
Sachsen, ungewichtet	9.693	2.550	4.370	7.900	1.520	14.300

Ostelbisch steigen die Ti-Gehalte elbeaufwärts an. Südlich der Linie Radeberg - Stolpen – Neustadt sind die Lausitzer Granitoide weniger quartärbedeckt. Eine Beziehung zwischen Ti und Basiten kann nur punktuell nachgewiesen werden, z.B. Sohland (RENTZSCH et al., 1982). Gegenüber den in der Ostlausitz verbreiteten mittleren Ti-Gehalten (3.640–5.380 mg/kg) in den Bachsedimenten werden die tertiären Basaltoide (Mandauer Bergland) durch erhöhte Ti-Gehalte (5.380–11.800 mg/kg), der Königshainer Granit und die Sedimente der Kreide in der Rasterkarte durch geringe Ti-Gehalte (2.640–3.640 mg/kg) abgebildet.

Die Ti-Gehalte in Bachsedimenten des Granulitgebirges liegen im mittleren Bereich (3.640–5.380 mg/kg) und ihre Verteilung ist kontrastarm. In der stärksten Anomalie SE Waldenburg wurden ebenfalls erhöhte Gehalte an Cr, Ni und Mn nachgewiesen. Die Ti-Anreicherungen am SE-Rand werden auf mechanische Barrieren zurückgeführt (HARTISCH et al., 1989).

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.15-1)

Der mittlere Ti-Gehalt in Bachsedimenten der Grundgebirgseinheiten beträgt 4.370 mg/kg. Die regionale Verbreitung erhöhter Ti-Gehalte in den Bachsedimenten des sächsischen Grundgebirges wird durch die oben beschriebene geochemische Spezialisierung der Gesteine bestimmt. Durch die hohe Affinität des Ti zu basischen Gesteinen sind daher Ti-Anreicherungen überwiegend in Teileinzugsgebieten der oberen Weißen Elster (z.B. Kemnitzbach 14.300 mg/kg) und der mittleren Zwickauer Mulde (z.B. Zwickauer Mulde 6: 8.010 mg/kg) zu finden. Geringe Gehalte verzeichnen Teileinzugsgebiete der oberen Zwickauer Mulde (z.B. Wiltsch 1.760 mg/kg), der oberen Freiberger Mulde (z.B. Schweinitz 3.220 mg/kg), der Elbe zwischen Dresden und Riesa sowie der Fleißenbach/Hennebach (2.300 mg/kg) und die obere Rote Weißeritz (2.340 mg/kg).

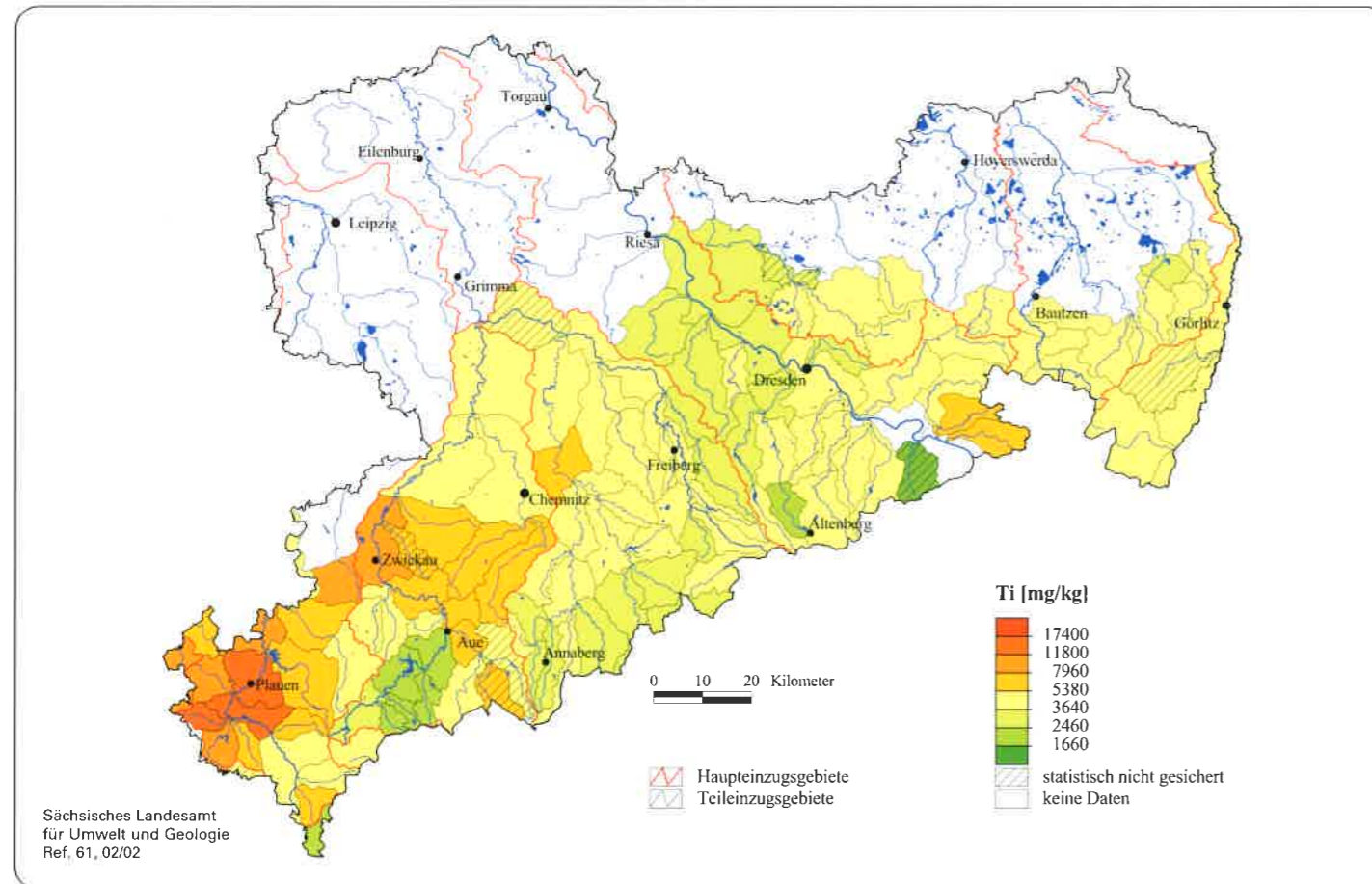


Abb. 4.1.15-1: Titan in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

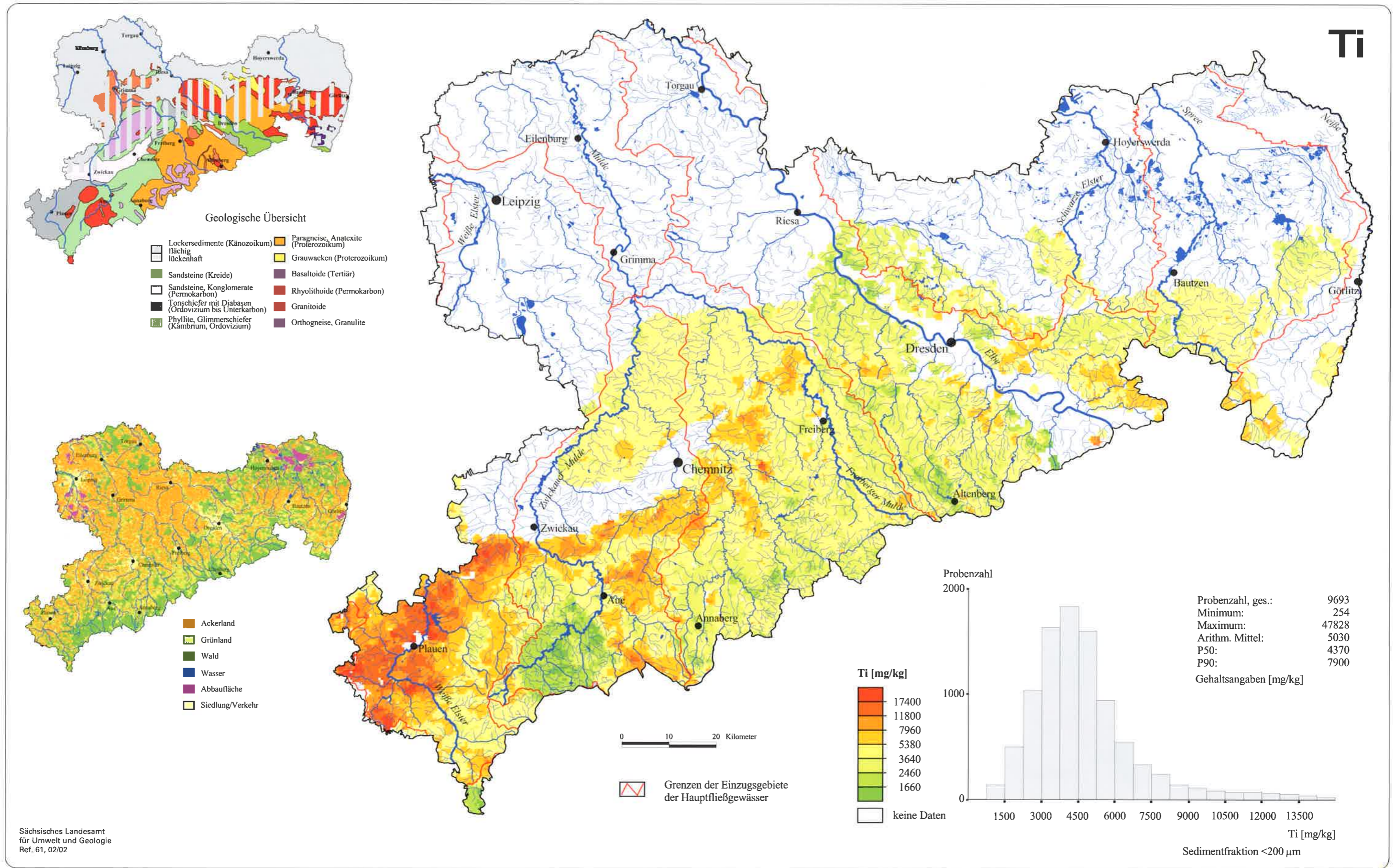


Abb. 4.1.15-2: Titan in Bachsedimenten Sachsens

4.1.16 Wolfram (W)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste beträgt 1,4 mg/kg (WEDEPOHL, 1995). Von PÄLCHEN et al. (1982) durchgeführte Analysen belegen hohe W-Konzentrationen für Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes (12 mg/kg). Auch Granite des Älteren Intrusivkomplexes (4,7 mg/kg), Metagranitoide (4,2 mg/kg) und -rhyolithoide (3,5 mg/kg) besitzen gegenüber dem Clarke eine deutliche W-Anreicherung. Paragneise (1,8 mg/kg), Glimmerschiefer (1,6 mg/kg) und Phyllite (1,9 mg/kg) unterscheiden sich in ihren W-Konzentrationen nur gering voneinander. Metabasite sind W-verarmt (1,0 mg/kg) (PÄLCHEN et al., 1987).

Als gewinnbarer Rohstoff kommt Wolfram im Erzgebirge in drei Mineralisationstypen vor (HÖSEL et al., 1997):

- als Wolframit in Quarzgängen: in den Graniten des Älteren Intrusivkomplexes bzw. in kontaktmetamorphen Schichten im Dach des Westerzgebirgischen Teilplutons (z.B. Pechtelsgrün), aber auch in räumlicher Beziehung mit Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes (z.B. Gottesberg)
- als Nebenkomponente (Wolframit) in kassiteritführenden Greisen

– in scheelitführenden Skarnen, gebunden an einen Kalksteinhorizont in Phylliten (z.B. an den Flanken des Bergener Granits bei Zobes und Tirpersdorf).

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.16-2)

Im Erzgebirge und Vogtland weisen die Bachsedimente über Graniten des Jüngeren und Älteren Intrusivkomplexes hohe W-Konzentrationen auf (> 17 mg/kg) und zeichnen in der Karte die Konturen der großen Granitkörper nach (Eibenstock, Kirchberg, Bergen). In die äußeren Konturen eingeschlossen sind dabei W-Mo-Mineralisationen (z.B. Pechtelsgrün im Kirchberger Granit) und Sn-W-Mineralisationen (z.B. Gottesberg - Mühlleiten am SW-Rand des Eibenstocker Granits). Auch die lithologisch W-angereicherten Metagranitoide und -rhyolithoide werden als Flächen erhöhter W-Gehalte sichtbar (8,4–34 mg/kg). Dazu kommen W-Anreicherungen in Gebieten mit intensiven Sn-Vererzungen, z.B. Greifensteingebiet, Sadisdorf – Zinnwald – Altenberg – Sachsenhöhe. Die Verbreitungsgebiete der Tonschiefer, Phyllite, Glimmerschiefer und Paragneise zeichnen sich durch überwiegend geringe W-Gehalte in den Bachsedimenten aus (≤ 4,2 mg/kg).

Im Bereich der Elbezone und am SW-Rand der Lausitz wurden nur Übersichtsuntersuchungen durchgeführt. Im Gebiet

Tab. 4.1.16: Statistische Kenngrößen für Wolfram in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min} / P50 _{max}
Lausitzer Neiße	179	<4,0	5,0	10	<4,0 / 7,0
Spree	532	<4,0	4,0	10	<4,0 / 7,0
Schwarze Elster	193	<4,0	<4,0	9,0	<4,0 / 6,0
Elbe i. e. S.	1.292	<4,0	8,0	25	<4,0 / 18
Zwota/Eger	127	<4,0	9,0	25	8,0 / 9,0
Freiberger Mulde	2.605	<4,0	8,0	19	<4,0 / 17
Zwickauer Mulde	1.601	<4,0	11	39	<4,0 / 29
Vereinigte Mulde	54	<4,0	<4,0	2,8	— / —
Weißer Elster	1.518	<4,0	5,0	17	<4,0 / 12
Saale i. e. S.	48	<4,0	<4,0	15	<4,0 / 18
Sachsen, ungewichtet	8.149	<4,0	7,0/4,1*	23	<4,0 / 29

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

des Stolpener Stockgranits ergaben diese im Bereich des nördlichen Teils erhöhte W-Gehalte (> 10 mg/kg). Analysen aus dem SW-Kontakt des Meißner Massivs zeigten nur bei wenigen Proben erhöhte W-Gehalte über dem Exo- und Endokontaktbereich (RENTZSCH et al., 1982). Gegenüber dem Erzgebirge treten in der Ostlausitz neben Bereichen mit geringen Gehalten vorwiegend kleinräumige Anomalien in den Bachsedimenten auf, z.B. über dem Kontaktbereich Lausitzer Grauwacke – Westlausitzer Granodiorit (Kamenz), in Kontaktnähe des Westlausitzer Granodiorits zum Anatexit (Bischofswerda), über dem Anatexit (Cunewalde), über dem Rumburger Granit (bei Ostritz) und über dem nördlichen Teil des Königshainer Granits (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Aufgrund der hohen Nachweisgrenze von 15 mg/kg im Datenpool/Granulitgebirge, unter der ca. 97 % der Analysenergebnisse liegen, muss für diese Einheit auf die Kartendarstellung und Interpretation verzichtet werden.

Bei der Betrachtung der Verteilungskarte fällt auf, dass sich die abgedeckten Teile Nordsachsens durch geringe W-Gehalte (≤ 4,2 mg/kg) deutlich von den Grundgebirgseinheiten abheben. In Einzugsgebieten mit periglaziären Sanden/Kiesen finden sich geringe W-Gehalte (≤ 1,1 mg/kg) und auch in den nordsächsischen Böden sind ähnlich geringe W-Konzentrationen (≤ 1,8 mg/kg) anzutreffen (RANK et al., 1999). Geringfügige W-Anreicherungen können in der Vorerzgebirgssenke (bis 8,4 mg/kg) und der Elbaue bei Torgau (bis 17 mg/kg) beobachtet werden. Die in den Unterböden bestätigte W-Spezialisierung der Chemnitz - Flöhaer Vulkanite (RANK et al., 1999; RANK & PÄLCHEN, 1989) ist auch in den Bachsedimenten (8,4–34 mg/kg) zu erkennen.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.16-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere W-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 4,1 mg/kg. Unter dem Median liegen alle beprobten Teileinzugsgebiete Nordsachsens. Im Vogtland und Erzgebirge besitzen Teileinzugsgebiete über Graniten, Metagranitoiden und -rhyolithoiden sowie Verbreitungsgebiete von Sn-Lagerstätten erhöhte W-Gehalte, z.B. Teileinzugsgebiete der oberen Zwickauer Mulde bis zur Mündung des Schwarzwassers (z.B. Große Bockau 29 mg/kg), das Crinitzer Wasser (24 mg/kg), Teileinzugsgebiete der Freiberger Mulde (z.B. Natzschung 17 mg/kg) und Teileinzugsgebiete im Altenberger Gebiet (z.B. Oberläufe der Roten Weißeritz und Müglitz 18 mg/kg).

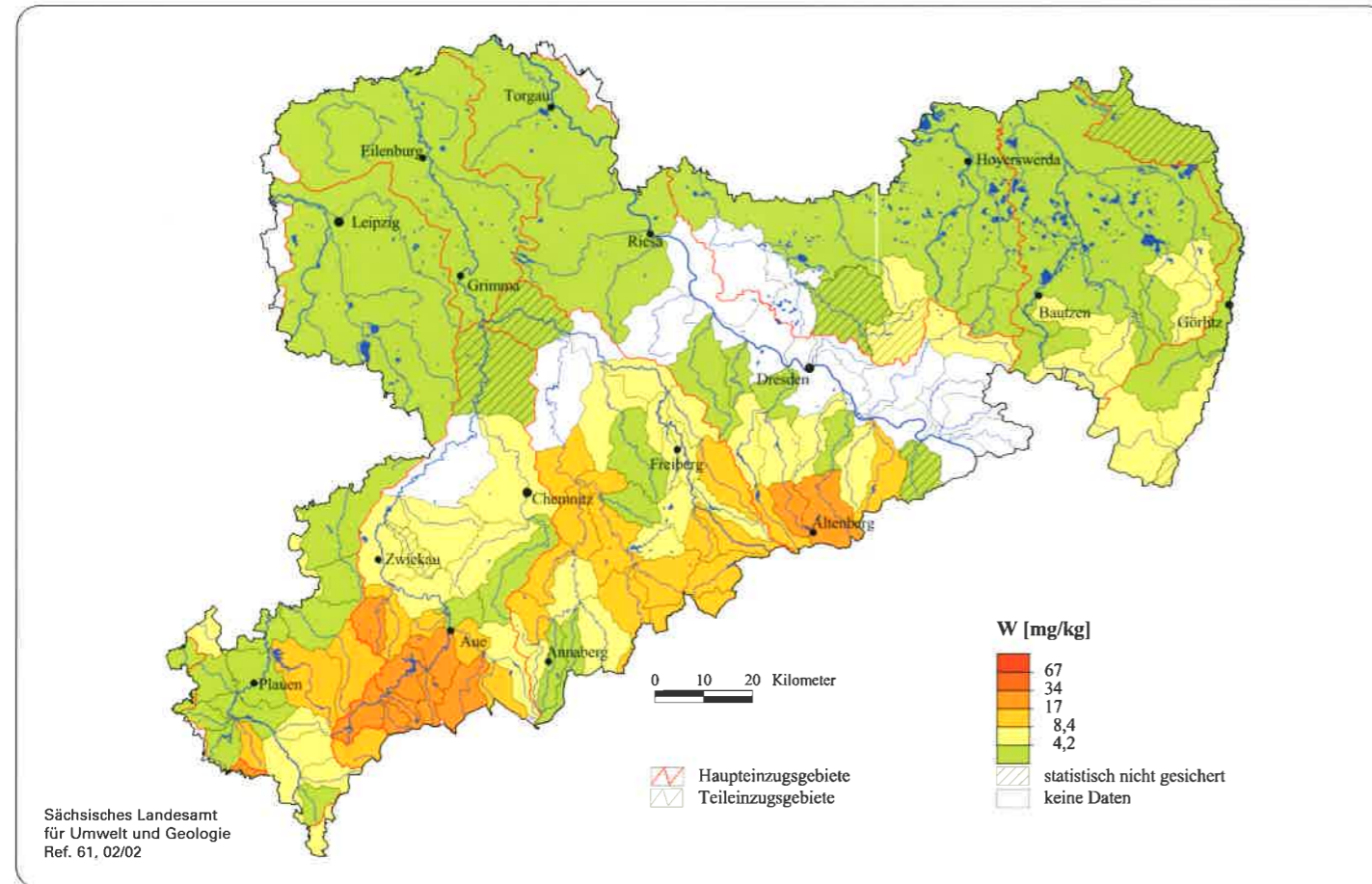


Abb. 4.1.16-1: Wolfram in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

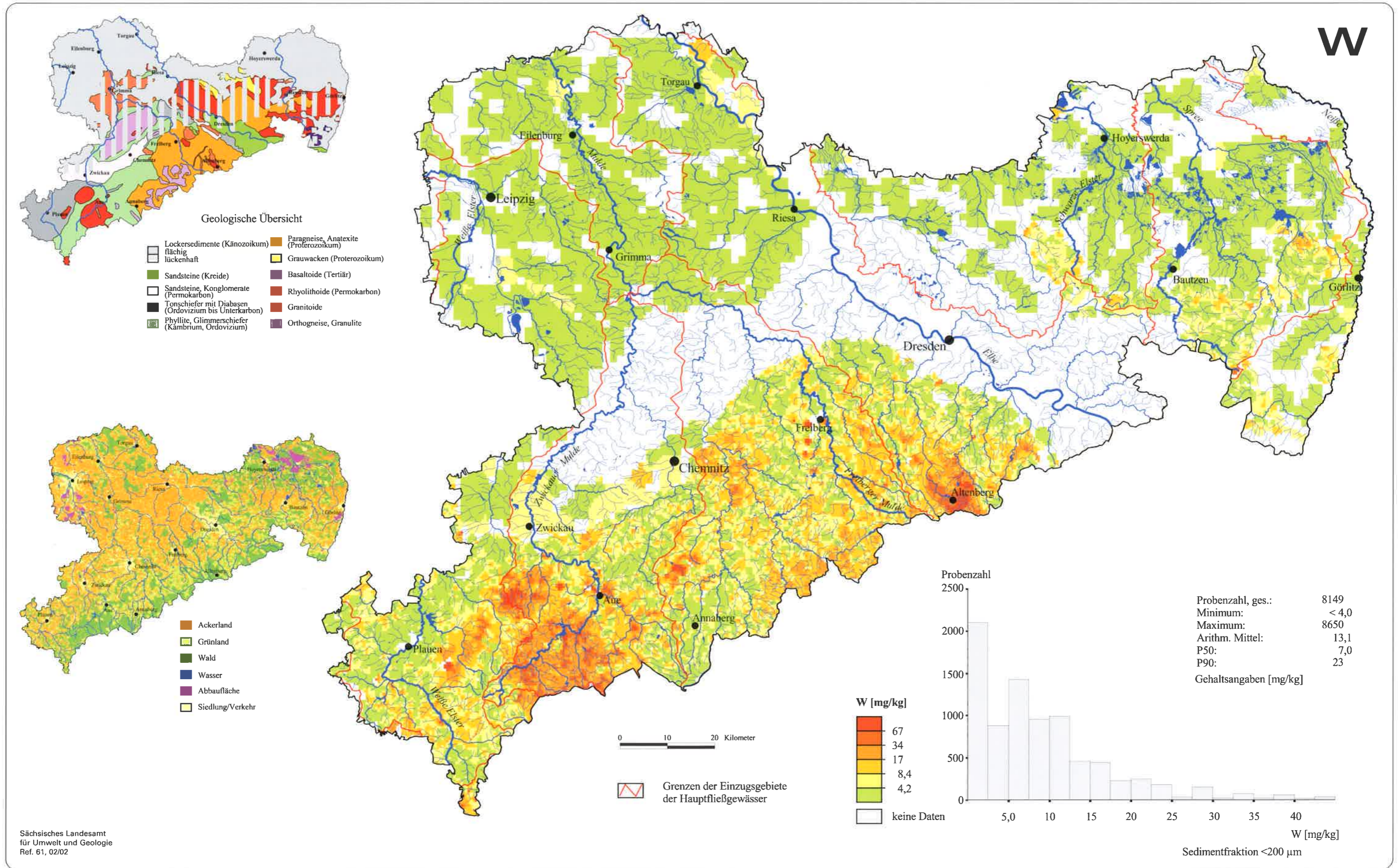


Abb. 4.1.16-2: Wolfram in Bachsedimenten Sachsens

4.1.17 Zink (Zn)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Für Sachsens Gesteine wird ein mittlerer Zn-Gehalt von 60 mg/kg angegeben, der Clarke für die obere kontinentale Kruste (WEDEPOHL, 1995) beträgt 52 mg/kg. Niedrige Zn-Gehalte (≤ 45 mg/kg) weisen fast alle Gesteine Nordwest- und Mittelsachsens, der Elbezone und der Lausitz auf. Im Erzgebirge/Vogtland und der Vorerzgebirgssenke heben sich die sauren Magmatite und Orthometamorphite größtenteils durch ihre niedrigen Zn-Gehalte (30–60 mg/kg) gut von den sie umgebenden kambroordovizischen Sedimenten (Phyllite, Glimmerschiefer) und Metamorphiten (> 75 mg/kg) ab (KARDEL et al., 1996).

Das Element Zink ist bevorzugt an Sphalerit in Gängen gebunden. Analog zum Element Blei stammt der größte Teil der geförderten Menge aus der Quarz-Sulfid-Assoziation der Bergbaureviere Freiberg und Brand und aus der Baryt-Fluorit-Assoziation des Reviers Halsbrücke. Blei-Zink-Vererzungen treten in den Revieren Marienberg, Annaberg und Schneeberg gegenüber Freiberg zurück. Variszisch postkinematisch gebildete Skarne führen in einigen Vorkommen polymetallische Vererzungen, u.a. mit Sphalerit, z.B. Geyer, Tellerhäuser, Breitenbrunn (HÖSEL et al., 1997).

Zink ist ein typisches „Zivilisationselement“. Seine Gehaltsverteilung wird daher auch stark von anthropogenen Einträgen geprägt. Luftgetragene Immissionen (Verhüttung) und lokale Einträge (Metallverarbeitung, kommunale Emissionen) sind dabei die Hauptquellen.

Elementverteilung in Bachsedimenten (Abb. 4.1.17-2)

Beim Element Zn lassen sich im Erzgebirge/Vogtland lithologische Zusammenhänge erkennen, die von chalkogenen Einflüssen überlagert werden. Lithologisch sicher identifizieren lassen sich Granite, Metagranitoide und -rhyolithoide, saure Vulkanite, Rhyolithoide in Gängen sowie Sedimente der Kreide mit geringen Zn-Gehalten (≤ 43 mg/kg). Tonschiefer und Phyllite des Vogtlandes und Westerbirgtes mit ihren basischen Einschaltungen weisen deutlich erhöhte Zn-Gehalte in den Bachsedimenten auf (> 69 mg/kg). Im Verbreitungsgebiet der Glimmerschiefer und Paragneise wird die lithologische Beschreibung durch zahlreiche Mineralisationen und Lagerstätten sowie anthropogene Prozesse erschwert. Analog zum Element Pb befinden sich die höchsten Zn-Konzentrationen (> 295 mg/kg) in Bachsedimenten im Bereich des Freiburger Lagerstättenreviers aufgrund gebündelter Mineralisationen und der damit verbundenen hohen Pb-Zn-Erz-Fördermenge. Diese Zone streicht mit langsam abnehmenden Gehalten in südöstliche Richtung bis Altenberg. Mineralisationsbedingte

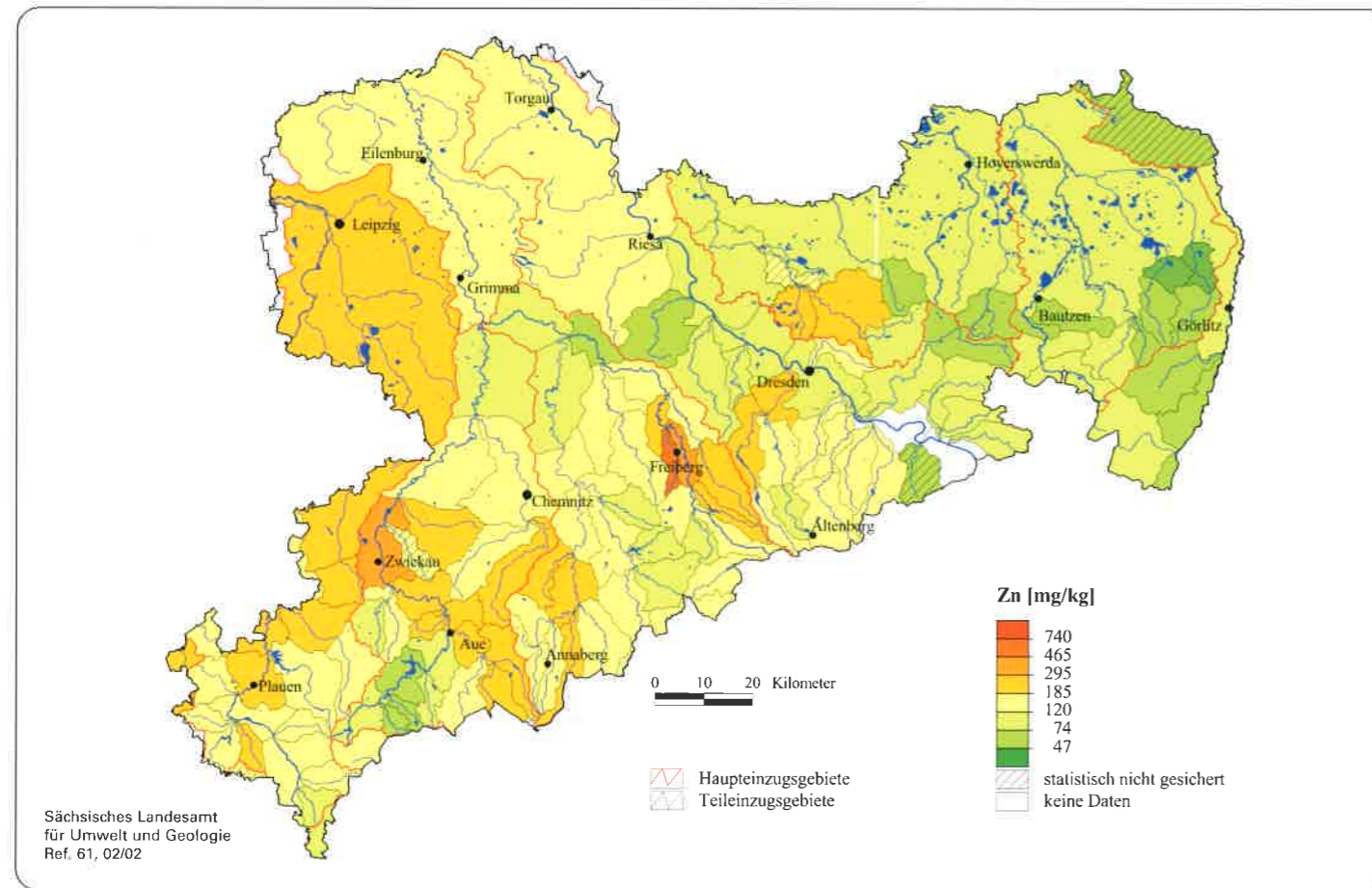


Abb. 4.1.17-1: Zink in Bachsedimenten der Teileinzugsgebiete Sachsens

Tab. 4.1.17: Statistische Kenngrößen für Zink in Bachsedimenten ($< 200 \mu\text{m}$) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	21	40	89	231	60	106
Spree	574	<30	68	160	<30	90
Schwarze Elster	367	40	105	344	55	256
Elbe i. e. S.	2.208	55	120	315	50	218
Zwota/Eger	127	40	127	296	80	140
Freiberger Mulde	2.817	65	150	370	65	467
Zwickauer Mulde	1.794	54	155	370	50	322
Vereinigte Mulde	54	54	124	304	—	—
Weißer Elster	1.525	95	175	380	105	255
Saale i. e. S.	48	124	217	580	160	217
Sachsen, ungewichtet	9.725	55	140/134*	350	<30	467

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Anomalien geringerer Ausdehnung und Stärke werden u.a. auch in den Bergbaureviere Annaberg, Marienberg - Wolkenstein, Geyer und Tellerhäuser nachgewiesen.

Im Bereich der Elbezone fällt ein Gebiet zwischen Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft und N-Rand der Dresdner Heide durch hohe Zn-Gehalte in den Bachsedimenten auf, obwohl für die unterlagernden Gesteine mit Ausnahme der östlich gelegenen Grauwacken nur mittlere Gehalte (KARDEL et al., 1996) beschrieben werden. Im Gebiet der Ostlausitz überwiegen niedrige bis mittlere Zn-Gehalte (≤ 185 mg/kg) in den Bachsedimenten. Erhöhte Zn-Gehalte wurden im Vorland des Zittauer Gebirges (störungsbedingt) und im Verbreitungsgebiet von Basitgängen nachgewiesen (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Die Zn-Gehalte in Bachsedimenten des Granulitgebirges liegen im unteren bis mittleren Niveau (≤ 185 mg/kg). Mineralisationsbedingte Anomalien treten über den Revieren Schönborn-Dreiwerden, Treppenhauer, Roßwein, weiterhin im Zellwald sowie westlich Geringswalde auf. In dem unter Pb beschriebenen Gebiet zwischen Waldenburg und Penig wurden ebenfalls erhöhte Zn-Gehalte in Bachsedimenten beobachtet. Als milieubedingt wird die Anomalie im Nonnenwald angesehen. Anomalien in Stadtnähe sind mit einem hohen anthropogenen Faktor behaftet, z.B. Limbach-Oberfrohna, Burgstädt (HARTISCH et al., 1989).

Für die Vorerzgebirgssenke werden erhöhte Zn-Gehalte (> 295 mg/kg) in Bachsedimenten vorwiegend im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde festgestellt. Neben geologischen sind hier auch anthropogene Prozesse (metallverarbeitende Industrie) in Betracht zu ziehen. Die Bachsedimente Nord-sachsens weisen stark variierende Zn-Gehalte auf und nehmen von Ost nach West zu, wo sie im Großraum Leipzig ihr Maximum erreichen. Es treten punktuelle Maxima auf, die bevorzugt im Bereich von Auenterrassen (Elbe, Mulde, Weiße Elster) oder Ballungsräumen (Großraum Leipzig mit mitteldeutschem Braunkohlenrevier und Ballungszentrum von Großfeuerungsanlagen) liegen.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.1.17-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere Zn-Gehalt in Bachsedimenten Sachsens beträgt 134 mg/kg. Mit enormen Zn-Akkumulationen in den Bachsedimenten ist in den Teileinzugsgebieten der Freiburger Mulde bei Freiberg (z.B. Münzbach 467 mg/kg) zu rechnen. Der Bereich der Zwickauer Mulde bei Zwickau ist durch einen hohen Zn-Gehalt (322 mg/kg) charakterisiert. Auch Teileinzugsgebiete in mittlerzgebirgischen Bergbaureviere haben erhöhte Zn-Gehalte (z.B. Pöhlbach 225 mg/kg). Im Bereich der nordwestlichen Weißen Elster werden 192 mg/kg ausgewiesen. Generell sind die ostelbischen Einzugsgebiete Neiße, Spree und Schwarze Elster durch deutlich geringere Medianwerte gekennzeichnet als die westelbischen.

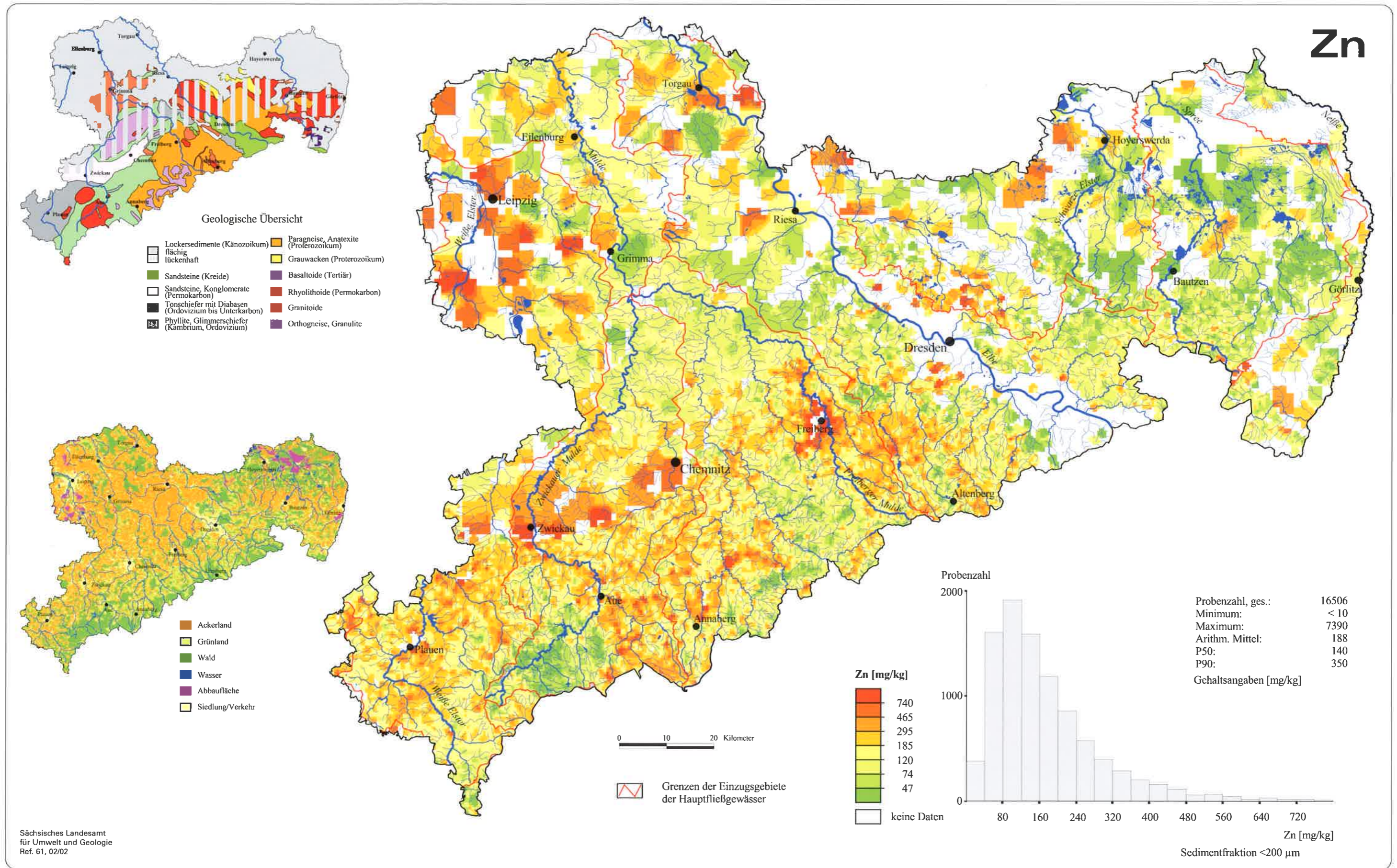


Abb. 4.1.17-2: Zink in Bachsedimenten Sachsens

4.2 Parameter im Wasser

4.2.1 pH-Wert

Parametercharakterisierung

Als pH-Wert wird der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration bezeichnet. Der pH-Wert beeinflusst die Löslichkeit vieler Stoffe und deren Ionenkonzentration im Wasser. Änderungen der pH-Werte in natürlichen Wässern werden häufig durch unterschiedliche Kohlensäuregehalte bewirkt. Elemente mit amphoteren Eigenschaften (Zn, Sn, Cr, Mo, W, Al, As) sind in saurem Milieu leicht löslich, fallen bei steigendem pH-Wert als Hydroxid oder Salz aus, gehen aber bei weiterer Alkalisierung (pH-Wert >9) unter Bildung von Komplexen wieder in Lösung. Praktisch nicht amphoter sind Cu, Cd, Hg (HÖLTING, 1992).

Der Einfluss der pH-Werte der Oberflächengewässer auf die Spurenelementgehalte der Bachsedimente kann beträchtlich sein. Bei pH-Werten ≤5,5 verarmen die Sedimente gegenüber dem regionalen geochemischen Untergrund an Mn, As, Zn, Pb, Co, Ni, Cu. Diese in der gelösten Phase befindlichen Elemente können danach wieder an geochemischen Barrieren abgeschieden werden und hypergene Anomalien in den Bachsedimenten ohne metallogenetische Relevanz hervorrufen.

Der pH-Wert stellt neben dem Redoxpotential den wichtigsten äußeren Migrationsfaktor im exogenen geochemischen Feld dar. Als Referenzwert für unbelastetes kohlen-saures Regenwasser, das sich mit dem CO₂-Partialdruck der Luft im Gleichgewicht befindet, gilt 5,6. Die pH-Werte der Niederschläge werden durch Säurebildner in der Atmosphäre beeinflusst, woran in Mitteleuropa SO_x einen Anteil von ca. 60 % und NO_x von ca. 30 % hat. Im Erzgebirge sind Standorte wie Olbernhau, Klingenthal und Cunnersdorf durch sehr niedrige pH-Werte im Bestandsniederschlag (teilweise pH-Wert <3) gekennzeichnet. Sulfat und Nitrat auf der Anionenseite sowie Aluminium auf der Kationenseite bestimmen die Ionenzusammensetzung der Lösungsphase stark versauerter Waldböden bis in den Grundwasserleiter (BARTH et al., 2001).

Die pH-Werte der Oberflächenwässer schwanken im Untersuchungsgebiet zwischen 3,2 und 10,9. Die Verteilung der Werte ist deutlich bimodal, daher können sowohl der arithmetische Mittelwert als auch der Median nur als relative Angaben gelten. Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere pH-Wert in Bachwässern Sachsens beträgt 6,7. Das in Abb. 4.2.1-2 dargestellte Histogramm zeigt ein Hauptmaximum zwischen 6,5 und 7,0 und ein Nebenmaximum zwischen 4,5 und 5,0. Der pH-Wert ist eine von hypergenen Faktoren (Boden, Verwitterung, Vegetation etc.) des Gebietes abhängige Größe, der geologische Untergrund spielt in den meisten Fällen nur eine mittelbare Rolle als Standortfaktor der

Tab. 4.2.1: Statistische Kenngrößen für den pH-Wert in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	252	4,5	7,0	7,9	5,2	7,6
Spree	553	5,9	7,2	7,8	6,7	7,8
Schwarze Elster	536	5,4	6,9	7,4	6,4	7,1
Elbe i. e. S.	2.899	4,6	6,5	7,4	4,6	7,4
Zwota/Eger	130	4,3	5,6	6,6	5,2	6,0
Freiberger Mulde	2.827	4,8	6,3	7,0	5,2	7,2
Zwickauer Mulde	1.739	4,0	6,1	7,1	4,0	7,2
Vereinigte Mulde	54	6,8	7,3	7,6	—	—
Weißer Elster	1.515	5,0	6,6	7,2	5,9	7,3
Saale i. e. S.	50	5,8	6,8	7,5	6,3	7,5
Sachsen, ungewichtet	10.554	4,5	6,5/6,7*	7,3	4,0	7,5

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Vegetation. Demnach liegen die Proben aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit pH-Werten über 6,5 im Hauptmaximum, Proben aus Waldgebieten mit pH-Werten unter 5,0 im Nebenmaximum. Zusätzliche anthropogene Einflüsse (Vegetationswechsel, Düngung, kommunale Abwässer etc.) können das empfindliche System in beide Richtungen beeinflussen.

Geringe pH-Werte treten auch in den geochemischen Landschaften Hohwald, Klosterwald, Königshainer Berge und Zittauer Gebirge auf. Im Zittauer Gebirge, wo basenarme Kreidesandsteine anstehen, die über eine geringe Pufferkapazität verfügen, wirkt sich neben dem Bewuchs auch der Chemismus des anstehenden Gesteins entscheidend aus. Große zusammenhängende Bereiche erhöhter pH-Werte kennzeichnen vor allem Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, teilweise bedingt durch weitverbreiteten Löss (Lausitzer Bergland, Ostlausitzer Platten- und Hügelland). Neben dem Einsatz von Agrochemikalien haben auch Immissionen von Flugaschen die pH-Werte der Bachwässer zusätzlich erhöht (z.B. im südlichen Teil der geochemischen Landschaft Klosterwald).

Bei der Ausweisung naturräumlicher Einheiten (RENTZSCH et al., 1990) wurde festgestellt, dass bei gleichem granodioritischem Gestein im Anstehenden und geringmächtiger Sandbedeckung mit forstwirtschaftlicher Bodennutzung in der Dresdner Heide einerseits und Lösslehmbedeckung mit landwirtschaftlicher Bodennutzung auf der Schönfelder Platte andererseits wesentliche Unterschiede in den pH-Werten, F-Gehalten der Oberflächenwässer und in den Hg-, Pb-, Co-, Ni- und As-Gehalten der Bachsedimente bestehen. So ist die pH-Wert-abhängige Wegfuhr des Mn in den Bachsedimenten mit Versauerungstendenz (Dresdner Heide) und die Anreicherung der Elemente Hg, As und z.T. Pb milieubedingt.

Über dem Granulitgebirge wurden neutrale pH-Werte (6,5–7,5) in den Bachwässern bestimmt. Basische Wässer konnten in Siedlungen und auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, saure Wässer in Waldgebieten beobachtet werden (Zellwald, Nonnenwald).

Die neuen Untersuchungen in Nordsachsen ergaben neutrale bis schwach basische Bachwässer (7,0–8,0) in den westelbi-

Verteilung der pH-Werte in Bachwässern (Abb. 4.2.1-2)

Generell ist erkennbar, dass der pH-Wert in Bachwässern Sachsens von den Mittelgebirgslagen zum Flachland zunimmt, was sich mit der zunehmenden landwirtschaftlichen Nutzung und der höheren Besiedlungsdichte bei abnehmender Höhenlage erklären lässt. Besonders in den oberen Lagen des Erzgebirges fallen Flächen mit sehr niedrigen pH-Werten auf, die in PÄLCHEN et al. (1982) als geochemische Elementarlandschaften bezeichnet werden, z.B. das Granitmassiv von Eibenstein und der Metagranitoid-Komplex am NW-Rand der Katharinaberger Kuppel. Im Osterzgebirge fallen der Tharandter Wald, das Verbreitungsgebiet des Teplitzer Rhyoliths, des Schellerhauer und Markersbacher Granits mit niedrigen pH-Werten auf. Allen diesen Gebieten ist gemeinsam, dass quarzreiche nährstoffarme Gesteine anstehen, deren saure Böden kaum zur landwirtschaftlichen Nutzung geeignet sind. Dort treten die im Erzgebirge fast als Monokultur verbreiteten Fichtenwälder auf. Umgekehrt sind Gebiete mit hohen pH-Werten zum größten Teil auch an basische Substrate gebunden, z.B. Diabasverbreitungsgebiet im Vogtland (PÄLCHEN et al., 1996).

In der Elbezone und Lausitz treten in geschlossenen Nadelwaldgebieten die dort typischen sauren pH-Werte der Böden und Oberflächenwässer auf, die bis auf Werte von 3,9 zurückgehen können (z.B. in Teilen der Dresdner Heide, des Carswaldes und der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft).

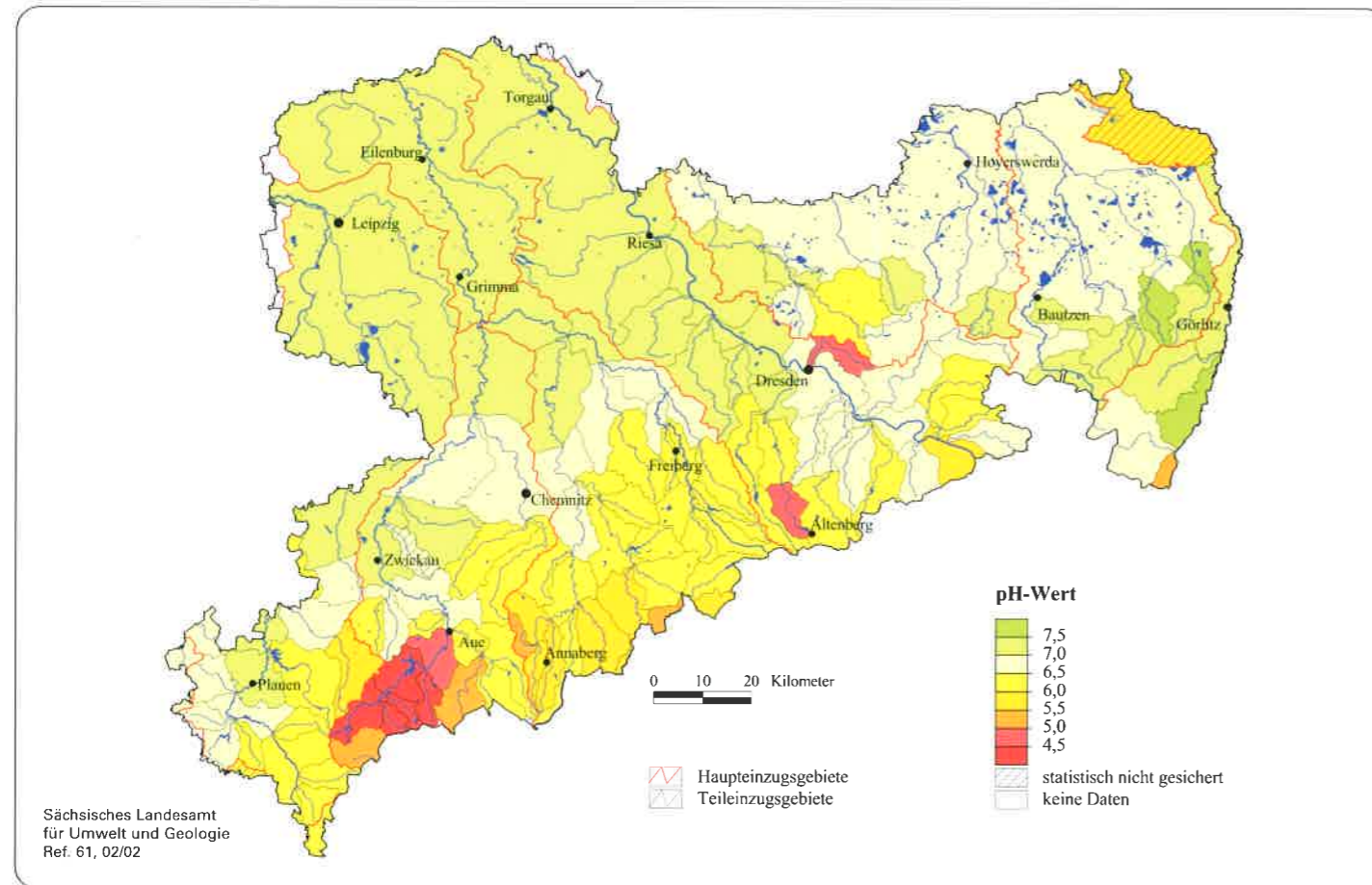
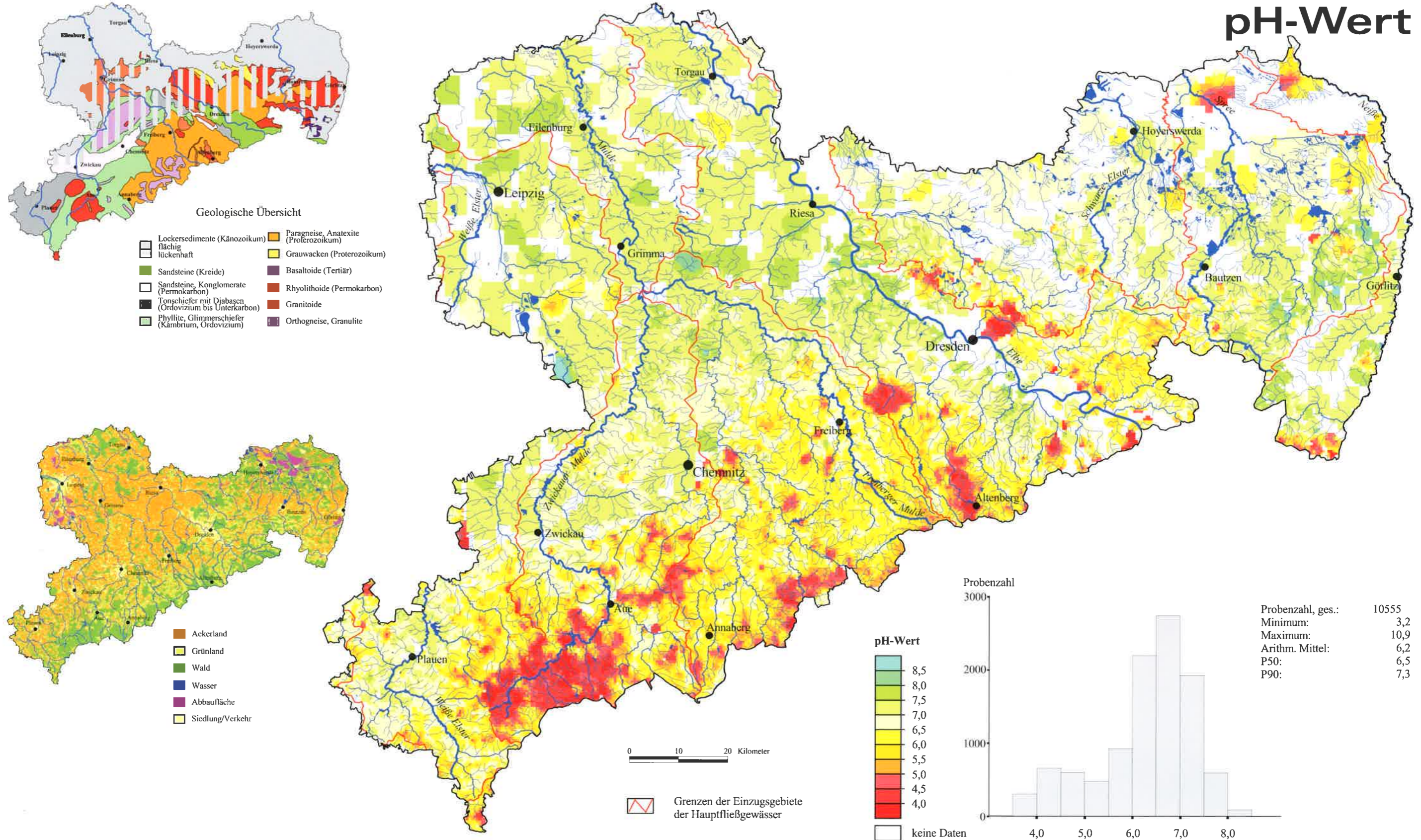


Abb. 4.2.1-1: pH-Wert in Bachwässern der Teileinzugsgebiete Sachsens

pH-Wert



Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Ref. 61, 02/02

Abb. 4.2.1-2: pH-Wert in Bachwässern Sachsens

schen Einzugsgebieten, nahezu neutrale pH-Werte (6,5–7,0) in den ostelbischen Einzugsgebieten. Die pH-Wert-Messungen in der Lausitz bestätigen den Einfluss der Bodennutzung auf die pH-Werte in den Bachwässern, denn der relativ hohe Waldanteil in den nördlichen Einzugsgebieten der sächsischen Spree und der Schwarzen Elster bewirkt eine Absenkung der pH-Werte um 0,5 bis 1,0 Einheiten. Der hohe Anteil an Tagebau(rest)flächen schränkte die repräsentative Probenahme natürlicher Bachläufe ein.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.2.1-1)

Die einzugsgebietsbezogene Darstellung der pH-Werte in den Einzugsgebieten spiegelt die bereits beschriebene Zunahme der pH-Werte in den Bachwässern vom Mittelgebirge zum Tiefland wider. Deutliche Versauerungstendenzen (Median $\leq 5,5$) zeigen der Oberlauf der Zwickauer Mulde (4,1–4,8) mit den Zuflüssen Große Pyra (4,1), Wilzsch (4,0), Große Bockau (4,1) sowie der Oberlauf des Schwarzwassers (5,1). Weiterhin sind die Zwota (5,2), die Natzschung (5,2), die Schweinitz (5,5), der Oberlauf der Roten Weißeritz (4,6) und die Prießnitz (4,9) betroffen. Teileinzugsgebiete der mittleren und unteren Höhenlagen des Erzgebirges weisen pH-Werte zwischen 6,0 und 6,5, die der Vorerzgebirgssenke und des nordostsächsischen Tieflandes zwischen 6,5 und 7,0 und die des nordwestsächsischen Tieflandes zwischen 7,0 und 7,5 auf.

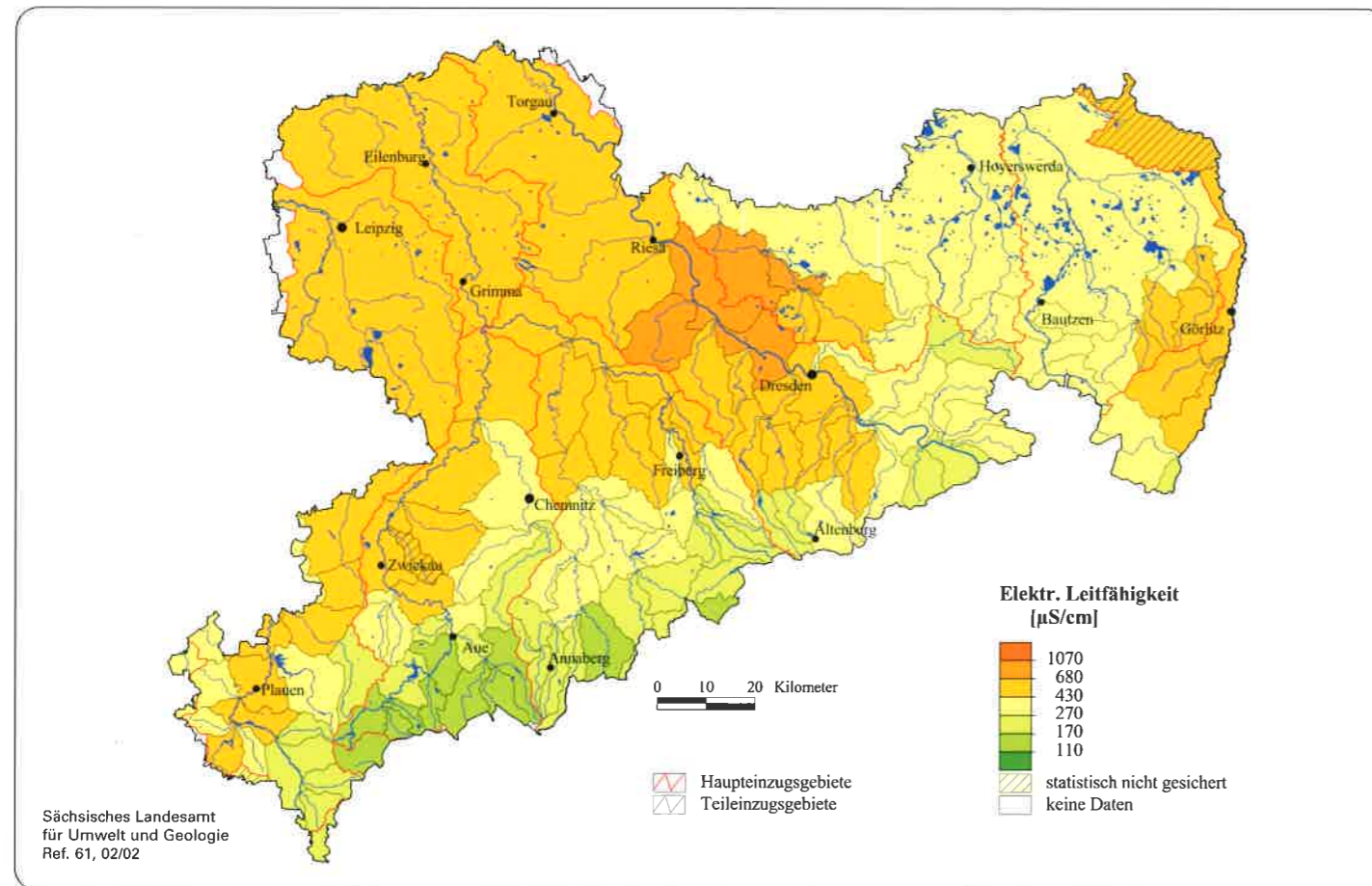


Abb. 4.2.2-1: Elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern der Teileinzugsgebiete Sachsens

4.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Parametercharakterisierung

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Konzentration von Elektrolyten in der flüssigen Phase (KÜMMEL & PAPP, 1988). Sie dient der allgemeinen Charakterisierung der Mineralisation und ist ein empfindlicher Anzeiger anthropogener Kontaminationen (kommunale, industrielle und landwirtschaftliche Abwässer, Düngung u.a.).

Parameterverteilung in Bachwässern (Abb. 4.2.2-2)

Die Karte der elektrischen Leitfähigkeit ähnelt in ihrer Grundstruktur dem Bild der pH-Wert-Verteilung: geringe Werte ($\leq 170 \mu\text{S/cm}$) im Kammbereich der Mittelgebirge, mittlere Werte in den mittleren (170–430 $\mu\text{S/cm}$) und hohe Werte in den unteren Höhenlagen ($> 430 \mu\text{S/cm}$). PÄLCHEN et al. (1996) stellen fest, dass die Korrelation mit der absoluten Höhenlage wesentlich stärker ausgeprägt ist, was offenbar durch die enge Beziehung zur ackerbaulichen Nutzung zu erklären ist. Wie beim pH-Wert ist eine direkte geologisch relevante Indikation nicht abzuleiten. Im Gegensatz zum pH-Wert verläuft die Verteilungskurve der elektrischen Leitfähigkeit nicht bimodal.

Tab. 4.2.2: Statistische Kenngrößen für die elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in $\mu\text{S/cm}$

	Haupteinzugsgebiete				Teileinzugsgebiete	
	n	P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	252	163	373	691	224	529
Spree	553	225	372	660	272	607
Schwarze Elster	536	284	492	937	321	850
Elbe i.e.S.	2.936	204	412	800	171	896
Zwota/Eger	130	80	140	292	113	190
Freiberger Mulde	2.827	145	324	553	157	629
Zwickauer Mulde	1.739	113	260	563	121	598
Vereinigte Mulde	54	398	568	858	—	—
Weißer Elster	1.515	158	393	696	188	674
Saale i.e.S.	50	166	334	918	293	1.110
Sachsen, ungewichtet	10.591	150	359/446*	685	121	1.110

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Die Übereinstimmung geringer Leitfähigkeiten mit Waldgebieten nimmt, wie ihre Nachweisbarkeit in der Karte, mit abnehmender Höhenlage ab. Gegenüber den Wäldern im Kammbereich können Waldgebiete im mittleren Erzgebirge (Geyerscher Wald, Bornwald/Heinzwald) und am Erzgebirgsvordrand (Tharandter Wald) mit geringerem Kontrast zu ihrer Umgebung abgegrenzt werden.

Hohe elektrische Leitfähigkeiten sind im Erzgebirge nicht nur an Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung gebunden, sondern treten auch in Bergbaugebieten mit Sulfidmineralisation oder größeren Siedlungsgebieten auf (Annaberg, Freiberg, Schneeberg - Aue - Schwarzenberg, Johanngeorgenstadt).

Leitfähigkeitsminima relativ zur Umgebung (110–430 $\mu\text{S/cm}$) sind in Waldgebieten der Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft, der Dresdner Heide, des Lausitzer Berglandes und des Elbsandsteingebirges anzutreffen. In Lössgebieten ist die Leitfähigkeit als Summe der primären Einflüsse durch die Lockersedimente und sekundären Einflüsse durch landwirtschaftliche Nutzung mit all ihren Maßnahmen anzusehen und hebt sich durch erhöhte Messwerte ($> 430 \mu\text{S/cm}$) ab (RENTZSCH et al., 1982). In der Ostlausitz sind geringe Leitfähigkeitswerte ($\leq 270 \mu\text{S/cm}$) in Bachwässern in Waldgebieten des Hohwaldes und Zittauer Gebirges anzutreffen. Im Vergleich zu anderen Waldgebieten weisen die Bachwässer im Klosterwald relativ hohe Leitfähigkeitswerte (430–680 $\mu\text{S/cm}$) auf. Die Ursache liegt in einer langjährigen Akkumulation von Flugasche in diesem Gebiet, die von benachbarten Braunkohlekraftwerken emittiert wurde. Erhöhte Werte sind auch in und um Ortschaften anzutreffen (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Im Bereich des Granulitgebirges zeigen sich gegenüber dem Erzgebirge bereits erhöhte elektrische Leitfähigkeiten als Folge der Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Bodennutzung (430–680 $\mu\text{S/cm}$). Nur in Waldgebieten werden noch mittlere Leitfähigkeiten (270–430 $\mu\text{S/cm}$) angetroffen.

Die durchgängig erhöhte Mineralisation der Wässer am NW- und NE-Rand des Erzgebirges ist wahrscheinlich auf die Molassesedimente (Erzgebirgssenke und Döhlener Senke) zurückzuführen (PÄLCHEN et al., 1982). Bei den Nachuntersuchungen in der Erzgebirgssenke wurden erhöhte Leitfähigkeiten (430–1070 $\mu\text{S/cm}$) bestätigt, allerdings sind in diesem Bereich auch eine Vielzahl von Industriebetrieben ansässig. In Nord-sachsen setzen sich erhöhte Leitfähigkeitswerte auf dem Niveau 270–430 $\mu\text{S/cm}$ (nordöstlich der Elbe) bzw. 430–1070 $\mu\text{S/cm}$ (nordwestlich der Elbe) fort. Hier wird ein Zusammenhang mit der Bodennutzung (hoher Waldanteil in Nordostsachsen) sowie Ballungsräumen (Leipzig) gesehen.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.2.2-1)

Die über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern Sachsens beträgt 446 $\mu\text{S/cm}$. Anhand der Darstellung der mittleren Gehalte in Teileinzugsgebieten ist ein Süd-Nord-Trend gut zu verfolgen. Teileinzugsgebiete im Bereich des Erzgebirgskammes haben sehr geringe elektrische Leitfähigkeiten (z.B. Große Pyra 121, Preßnitz 162 $\mu\text{S/cm}$), in den mittleren Lagen steigen sie an (z.B. Chemnitz 429, Saidenbach 322 $\mu\text{S/cm}$) und im Tiefland sind dann hohe Leitfähigkeiten zu beobachten (z.B. Vereinigte Mulde 568, Ketznerbach 854 $\mu\text{S/cm}$).

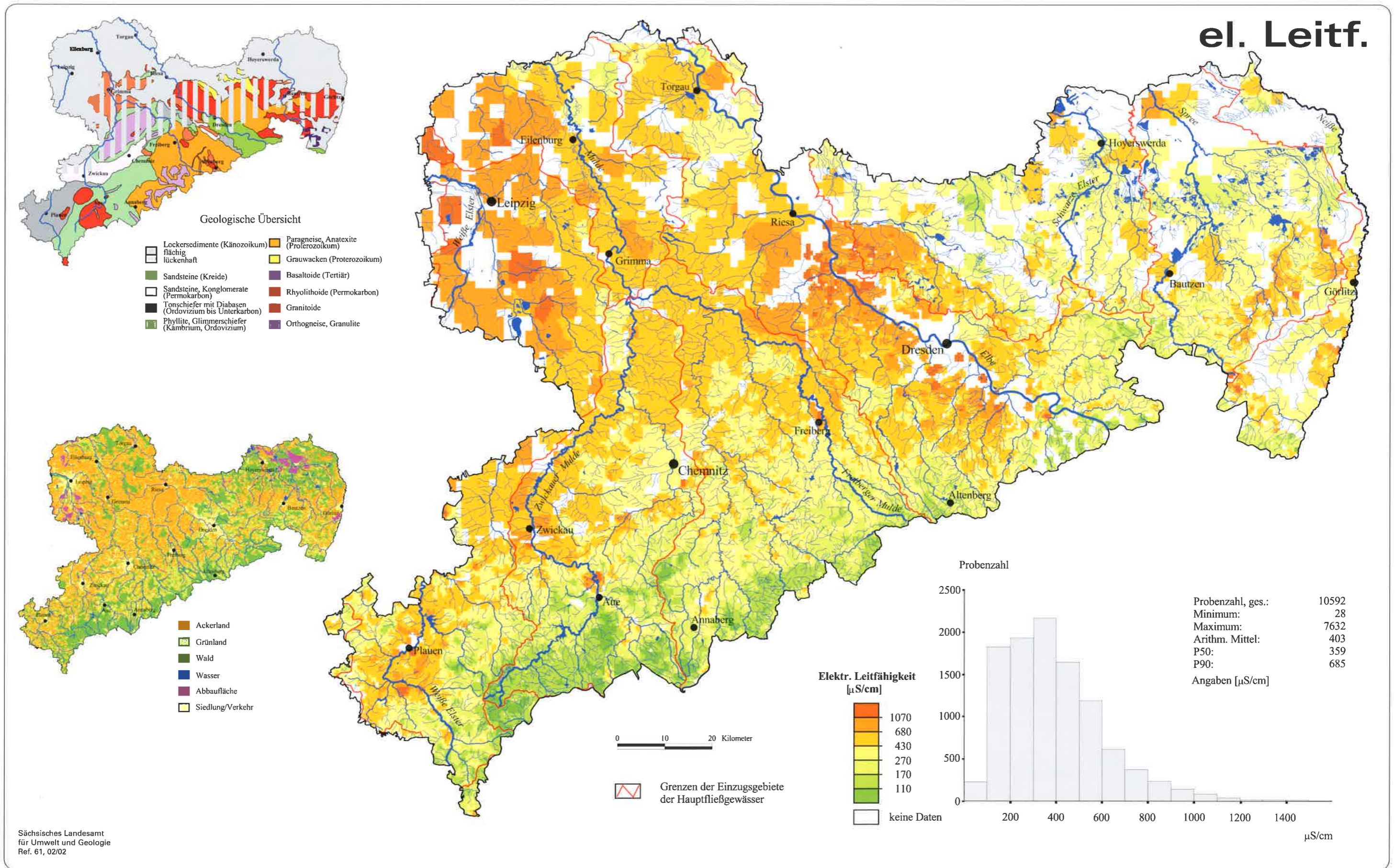


Abb. 4.2.2-2: Elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern Sachsens

4.2.3 Fluor (F)

Stoffquellen und geochemisches Feld

Der mittlere Fluorgehalt in sächsischen Gesteinen liegt mit 670 mg/kg nur geringfügig über dem Clarke (WEDEPOHL, 1995) von 611 mg/kg. Für die Beurteilung der Fluoridgehalte in den Bachwässern sind erhöhte Fluorgehalte in den Gesteinen von besonderem Interesse. F-Gehalte über 1.100 mg/kg besitzen die Granite von Eibenstock, Schellerhau und Markersbach. Sie sind auf die Anreicherung von granitophilen Elementen (Rb, F, Sn) der Jüngerer Granite zurückzuführen. Bei normalen Gehalten ist Fluor in Gesteinen meist an Tonminerale und Glimmer gebunden. In sauren Magmatiten mit stark erhöhten F-Gehalten treten Fluorit und Topas als Trägerminerale auf (TISCHENDORF et al., 1989).

Wie im Kapitel 4.1.3 bereits ausgeführt wurde, galt Fluorit über lange Zeit nur als Gangart, weniger als Rohstoff. Die wichtigsten Fluoritlagerstätten sind Schönbrunn und Bösenbrunn. Stärkere Assoziationen mit Baryt treten z.B. in der Lagerstätte Niederschlag und den Vorkommen Schlottwitz und Johnsbach auf. Neben den fluoritführenden hydrothermalen Mineralisationen tritt Fluor wie Lithium auch in Zinnmineralisationen und Graniten des Jüngerer Intrusivkomplexes als charakteristisches Element auf. Der in den Glimmern und im

Fluorit gebundene Anteil geht bei der Verwitterung in die wässrige Phase und kann zu lokal erhöhten Gehalten in den Wässern führen (HÖSEL et al., 1997). Lokal kann die F-Verteilung auch anthropogen beeinflusst sein (chemische Industrie, Haushaltsabwässer). Auch Großfeuerungsanlagen können flächenhafte Immissionen verursachen.

Elementverteilung in Bachwässern (Abb. 4.2.3-2)

Die Karte der F-Gehalte in Bachwässern ist sehr differenziert. Positive mineralisationsbedingte Anomalien mit F-Gehalten über 1 mg/l zeigen sich im Erzgebirge, so in den Gebieten Altenberg - Zinnwald - Sadisdorf, Freiberg - Halsbrücke, Annaberg, Ehrenfriedersdorf - Geyer, Wolkenstein - Marienberg, Johanngeorgenstadt, Gottesberg - Mühlleiten. Die stärkste F-Anomalie in Bachwässern ist an Fluoritmineralisationen von Schönbrunn im Vogtland gebunden (PÄLCHEN et al., 1996). Flächenhafte positive F-Anomalien sind in Bachwässern im Gebiet der Jüngerer Granite (Eibenstock, Schellerhau) aufgrund der erwähnten F-Spezialisierung zu lokalisieren.

Geochemisch spezialisierte variszische Intrusivkörper und deren Kontakthöfe fallen auch im Bereich der Elbezone/SW-Rand Lausitz durch starke (Markersbacher Granit) bis deutliche (Stolpener Stockgranit, Teile des Meißner Komplexes: Moritzburger Teich- und Kuppenlandschaft) F-Anomalien auf.

Tab. 4.2.3: Statistische Kenngrößen für Fluor in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/l

	n	Haupteinzugsgebiete			Teileinzugsgebiete	
		P10	P50	P90	P50 _{min}	P50 _{max}
Lausitzer Neiße	251	0,10	0,24	0,76	0,17	0,48
Spree	552	0,06	0,16	0,45	0,10	0,50
Schwarze Elster	536	0,09	0,23	0,61	0,11	0,41
Elbe i. e. S.	3.092	0,10	0,26	0,70	0,11	0,60
Zwota/Eger	130	0,07	0,16	0,37	0,13	0,27
Freiberger Mulde	2.825	0,09	0,21	0,48	0,09	0,50
Zwickauer Mulde	1.739	0,09	0,21	0,48	0,13	0,42
Vereinigte Mulde	54	0,20	0,30	0,51	—	—
Weißer Elster	1.513	0,10	0,20	0,40	0,14	0,34
Saale i. e. S.	50	0,13	0,27	0,41	0,18	0,28
Sachsen, ungewichtet	10.741	0,09	0,22/0,24*	0,54	0,09	0,60

*gewichtet über die Flächen der kleinen Einzugsgebiete

Großflächig ausgebildete Anomalien ohne geologischen Bezug treten in der Dresdner Heide und im Carswald auf. Eine strukturelle Bindung von F-Anomalien im Wasser liegt zwischen dem oberen Bielatal und dem Großen Zschirnstein und für einzelne Bereiche der Lausitzer Störung vor, wo Fluoritmineralisationen bzw. -indikationen (Auftreten epigenetisch verkieselter Sandsteine) auftreten (RENTZSCH et al., 1982). Anthropogene F-Anomalien wies der Autor im Gebiet des Bergbaubetriebes Königstein, dem Ballungsraum Dresden, der Industriestadt Radeberg und dem Chemiewerk Nünchritz nach. In der Ostlausitz werden erhöhte F-Gehalte im Gestein gleichfalls durch erhöhte F-Gehalte in den Bachwässern reflektiert, so im Verbreitungsgebiet des Granits von Königshain, gleichfalls über dem Rumburger Granit und dem Ostlausitzer Granodiorit. Tertiäre Basaltoide zeichnen sich auch durch erhöhte Fluorgehalte aus. Lithologisch begründet sind wahrscheinlich auch erhöhte F-Gehalte im Bereich des Görlitzer Schiefergebirges. Im Zittauer Gebirge sind erhöhte F-Gehalte teilweise an verkieselte Sandsteine gebunden. In Waldgebieten auftretende erhöhte F-Gehalte korrelieren mit sauren pH-Werten und sind somit landschaftsgeochemisch bedingt. Wegen der starken Abhängigkeit der F-Gehalte von der Landschaftsgeochemie weisen dort anomale Werte nur selten auf Fluoritmineralisationen hin (MÜLLER & RENTZSCH, 1985).

Im Granulitgebirge ist eine Abhängigkeit der F-Gehalte in Bachwässern von der Bodennutzung nur in Waldgebieten ersichtlich, wo durch niedrige pH-Werte die F-Gehalte in den Wässern punktuell ansteigen. Anomale F-Gehalte treten im Zusammenhang mit fluoritführenden Barytmineralisationen auf, z.B. im Roßweiner Gangrevier (HARTISCH et al., 1989).

Für die Vorerzgebirgssenne und Nordsachsen konnten mittlere bis leicht erhöhte F-Konzentrationen (0,17–0,44 mg/l) in den Wässern analysiert werden. Dabei weisen Bäche der nördlichen Teileinzugsgebiete der Schwarzen Elster die geringeren, die der Mulde und Elbe die höheren Gehalte auf.

Einzugsgebietsbezogene Charakterisierung (Abb. 4.2.3-1)

Der über die Teileinzugsgebiete gewichtete mittlere F-Gehalt in Bachwässern Sachsens beträgt 0,24 mg/l. Aufgrund F-spezialisierter Granite und Mineralisationen kommt es in folgenden Teileinzugsgebieten zu erhöhten mittleren F-Gehalten: Feilebach und Triebelbach (0,34 mg/l) über den Lagerstätten Schönbrunn - Bösenbrunn, Oberlauf der Zwickauer Mulde (0,42 mg/l) über dem Eibenstocker Granit, Freiberger Mulde bei Freiberg (0,50 mg/l) über dem Pb-Zn-Lagerstättenrevier, Altenberger Gebiet (z.B. Oberlauf der Müglitz 0,60 mg/l) über dem Schellerhauer Granit und Sn-Mineralisationen, Schwarzer Schöps 2-Süd (0,50 mg/l) über dem Königshainer Granit.

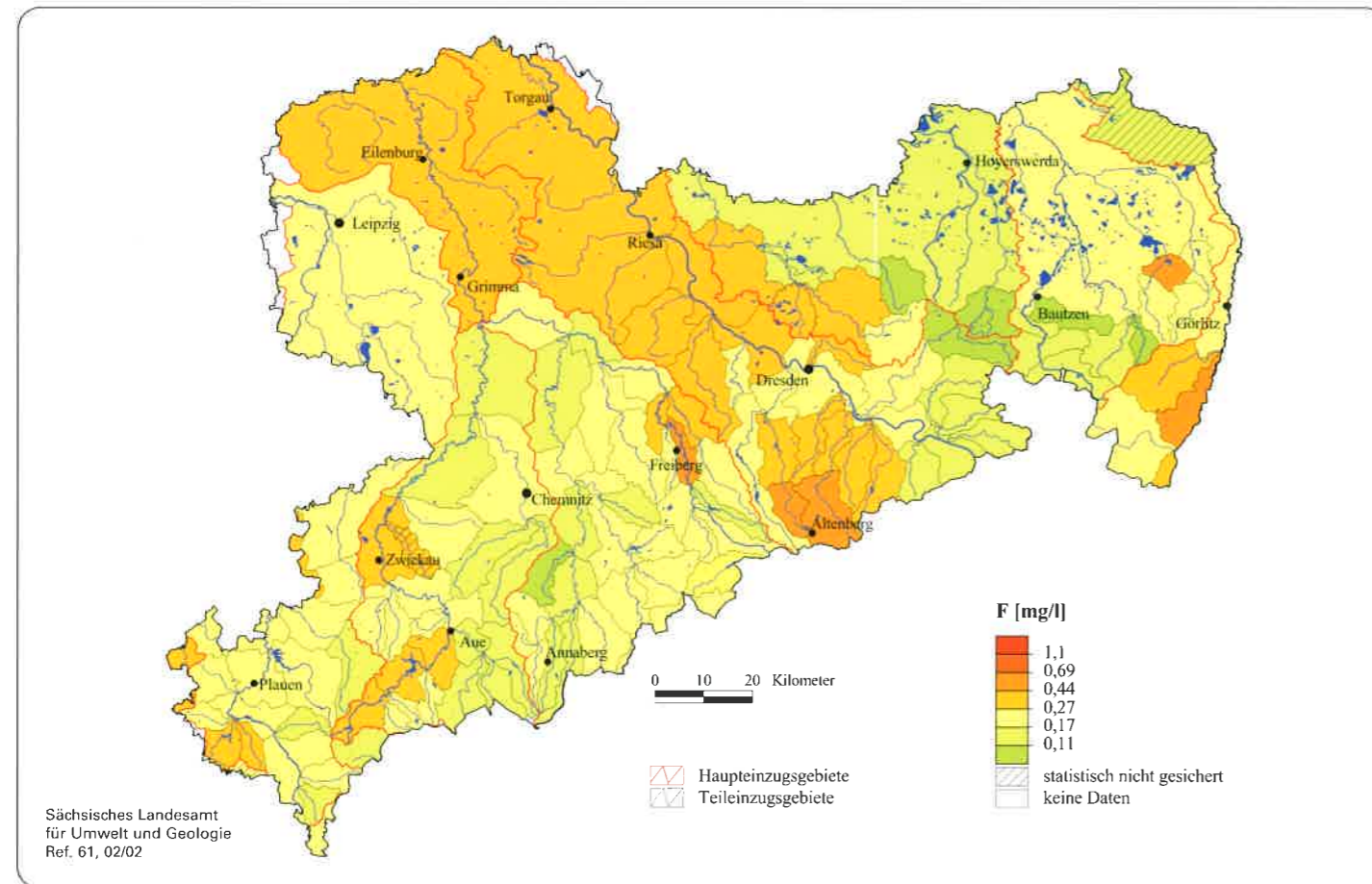


Abb. 4.2.3-1: Fluor in Bachwässern der Teileinzugsgebiete Sachsens

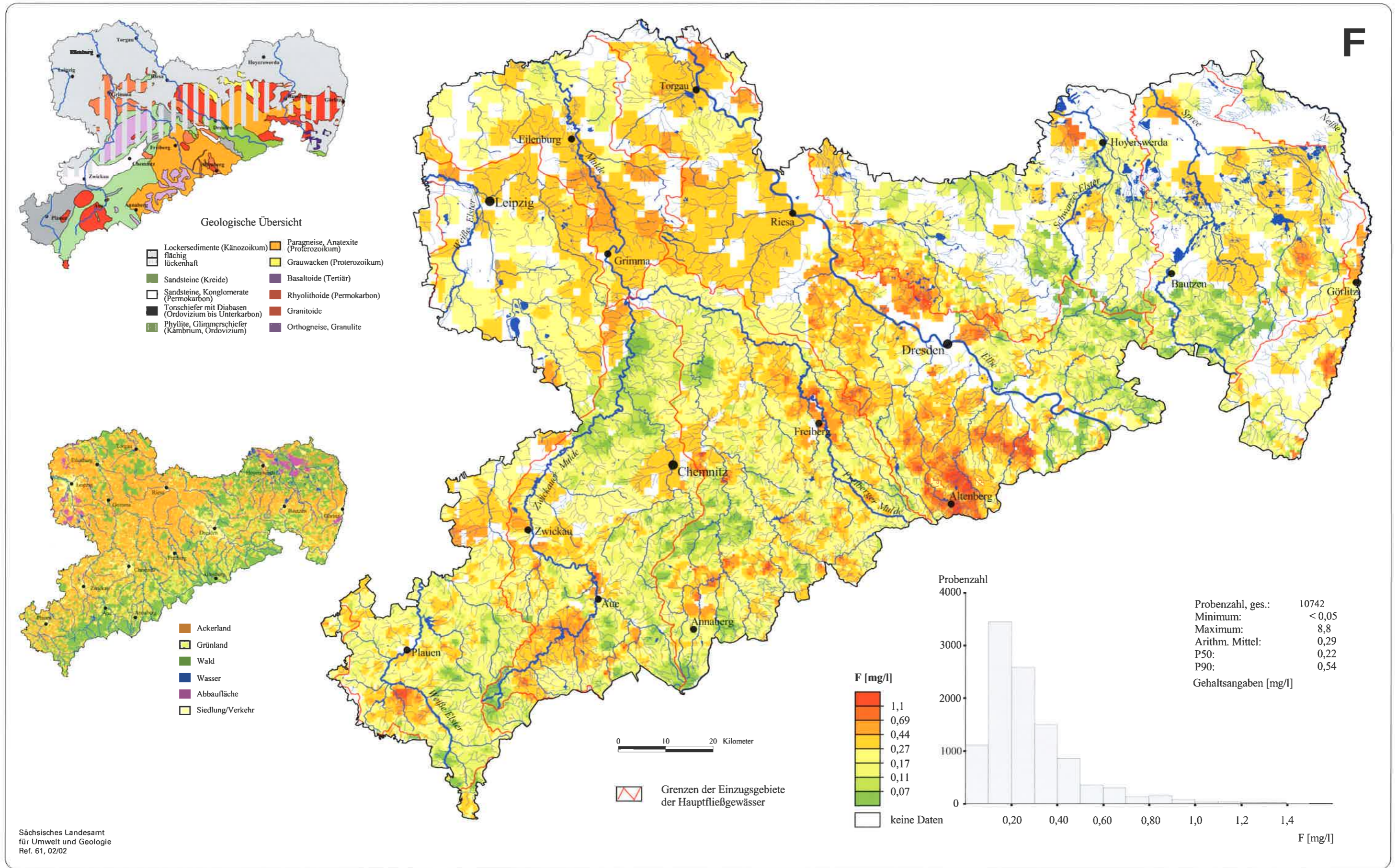


Abb. 4.2.3-2: Fluor in Bachwässern Sachsens

5 Komplexe Bewertung der Ergebnisse

Die im Vorstehenden angeführte Darstellung der Einzelparameter ist Grundlage für die Bewertung der Belastungssituation und für die Diagnose der Stoffquellen. Darüber hinaus ist es jedoch wünschenswert, Zusammenhänge zwischen den Elementen zu ermitteln und geochemische Gesetzmäßigkeiten ihrer Vergesellschaftung zu erkennen. Dazu wurden die in Kap. 2.2 beschriebenen Verfahren der multivariaten Statistik angewendet.

Auswertung der Faktorenanalyse (Abb. 5-1)

Nach dem im Kap. 2.2 beschriebenen Verfahren wurden drei Faktoren extrahiert:

- Faktor 1: Ni (0,91) – Co (0,89) – Cr (0,77) – Mn (0,76)
- Faktor 2: Pb (0,87) – As (0,79) – Zn (0,68) – Cu (0,64)
- Faktor 3: elektrische Leitfähigkeit (0,71) – pH-Wert (0,67) // B (-0,71) – Be (-0,70).

Faktor 1 ist als lithogener Faktor einzuschätzen, der alle Bachsedimentproben charakterisiert, deren Ausgangsmaterial Tonschiefer, Grauwacken, Phyllite, Granulite und basische Gesteine ohne erkennbare Mineralisationen und Lagerstätten bilden (Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge, Westerzgebirge ohne Granitverbreitung, Erzgebirgsnordrandzone, Granulitgebirge).

Tab. 5-1: Mittlere Elementgehalte (P50) in den drei extrahierten Faktoren der Faktorenanalyse (fett: Faktorzugehörigkeit)

Parameter	Einheit	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Anzahl		2.988	3.074	3.169
As	mg/kg	18	48	13
B	mg/kg	69	52	50
Ba	mg/kg	500	482	452
Be	mg/kg	4,0	4,5	2,5
Co	mg/kg	13	6,0	6,0
Cr	mg/kg	67	33	44
Cu	mg/kg	31	27	15
Mn	mg/kg	933	467	450
Ni	mg/kg	45	19	18
Pb	mg/kg	44	83	43
Zn	mg/kg	175	185	94
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	346	272	442
pH-Wert		6,5	6,0	6,8

Faktor 2 charakterisiert als *chalkogener (+ anthropogener) Faktor* alle Bachsedimentproben, die von Erzmineralisationen und -lagerstätten bzw. nachfolgenden Prozessen wie der Verhüttung beeinflusst werden (östliches und mittleres Erzgebirge). Bemerkenswert ist die Zuordnung der Bachsedimente über westerzgebirgischen Graniten zu diesem Faktor, wofür vermutlich die dort vorkommenden As-führenden Mineralisationen ausschlaggebend sind. Da wegen des teilweise inkonsistenten Datenpools (s. Tab. 2.1.2) wichtige Elemente typischer Vererzungen (Sn, Li, F) nicht einbezogen werden konnten, ist eine weitere Differenzierung charakteristischer Mineralisationen nicht möglich (siehe PÄLCHEN et al., 1996).

Faktor 3 ist als *lithogen-nutzungsbedingter Faktor* zu charakterisieren, der Bachsedimente über mineralisationsarmen Gesteinen (Paragneise, Granodiorite, quartäre Bildungen) kennzeichnet. In diesen Gebieten (Übergang östliches-mittleres Erzgebirge, Lausitz, Elbezone, Nordsachsen), die teilweise bevorzugt landwirtschaftlich genutzt werden, sind hohe elektrische Leitfähigkeiten und pH-Werte in Wässern sowie geringe B- und Be-Gehalte in Sedimenten anzutreffen.

Auswertung der Clusteranalyse (Abb. 5-2)

Im Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse (vgl. Kap. 2.2) wurde eine 7-Clusterlösung gefunden, die deutliche lithogen bzw. chalkogen bedingte Unterschiede im geochemischen Inventar der Grund- und Deckgebirgseinheiten zeigt:

- Cluster 1 umfasst weite Teile der Einzugsgebiete der Neiße, Spree und Schwarzen Elster, die sowohl über dem in weiten Teilen lössbedeckten Lausitzer Granodioritkomplex als auch über pleistozänen Flussterrassen (bevorzugt Spree) und Schmelzwasserbildungen (bevorzugt Schwarze Elster) liegen;
- Cluster 2 liegt im Bereich von Paragneisen (Äußerer Graugneis), Metagranitoiden und Metarhyolithoiden und grenzt sich von Cluster 4 durch eine verstärkte As-Anreicherung aufgrund von Mineralisationen ab;
- Cluster 3 charakterisiert Teileinzugsgebiete über Phylliten und Glimmerschiefern im Westerzgebirge und deckt sich gut mit dem Verbreitungsgebiet dieser Gesteine einschließlich einer Zone im Rotliegendebcken zwischen Zwickau und Chemnitz;
- Cluster 4 repräsentiert einerseits die nordwestsächsischen Einzugsgebiete der Weißen Elster, Vereinigten Mulde und Elbe i.e.S. über Löss, Grundmoränen und Schmelzwasserbildungen, andererseits Teileinzugsgebiete des Grundgebirges zwischen Altenburg, Freiberg und Dresden;
- Cluster 5 grenzt zwei Teileinzugsgebiete im Kernbereich der Freiburger Lagerstätte und im Gebiet der maximalen Immissionsbelastung ab, die durch Maximalgehalte von As, Cu, Pb und Zn in den Bachsedimenten auffallen;
- Cluster 6 grenzt Teileinzugsgebiete über Tonschiefern, Grauwacken und basischen Vulkaniten ab, die sich auf Teileinzugsgebiete der südlichen Weißen Elster beschränken und die Elementassoziation Co-Cr-Cu-Ni-Zn repräsentieren;
- Cluster 7 schließt Teileinzugsgebiete über dem Eibenstocker Granit im Bereich des Oberlaufes der Zwickauer Mulde ein, die durch B- und Be-Anreicherungen gekennzeichnet sind.

Tab. 5-2: Ergebnis der Clusteranalyse über die mittleren Elementgehalte (P50) der Teileinzugsgebiete

Cluster	Vorwiegende geologische Prägung	Charakteristische Gewässereinzugsgebiete
1	Granodiorit, Anatexit, Löss, Schmelzwasserbildungen, pleistozäne Flussterrassen	weite Teile der Neiße, Spree und Schwarzen Elster
2	Paragneise (Äußerer Graugneis), Metagranitoiden, Metarhyolithoide	Oberläufe der Zschopau, Flöha, Freiburger Mulde
3	Phyllite, Glimmerschiefer, Sedimente des Rotliegenden	Oberlauf der Weißen Elster Zwota, Schwarzwasser, Mittellauf der Zwickauer Mulde, Chemnitz, Mittellauf der Zschopau
4	Paragneise (z.T. anatektisch), saure Vulkanite, Granite, Grundmoränen, Löss, Schmelzwasserbildungen, Auenterrassen	Mittellauf der Freiburger Mulde, Elbe N-Sachsen, Vereinigte Mulde und Weiße Elster NW-Sachsen – westelbische Einzugsgebiete – von Gottleuba bis Weißeritz
5	Paragneise	Freiburger Mulde bei Freiberg, Münzbach, Immissionsbelastung durch Hütten
6	Tonschiefer, Grauwacken, basische Vulkanite	Weiße Elster von Mündung Görnitzbach bis Landesgrenze
7	Eibenstocker Granit	Oberlauf der Zwickauer Mulde bis zur Mündung des Schwarzwassers einschließlich Große Pyra, Wilzsch und Große Bockau

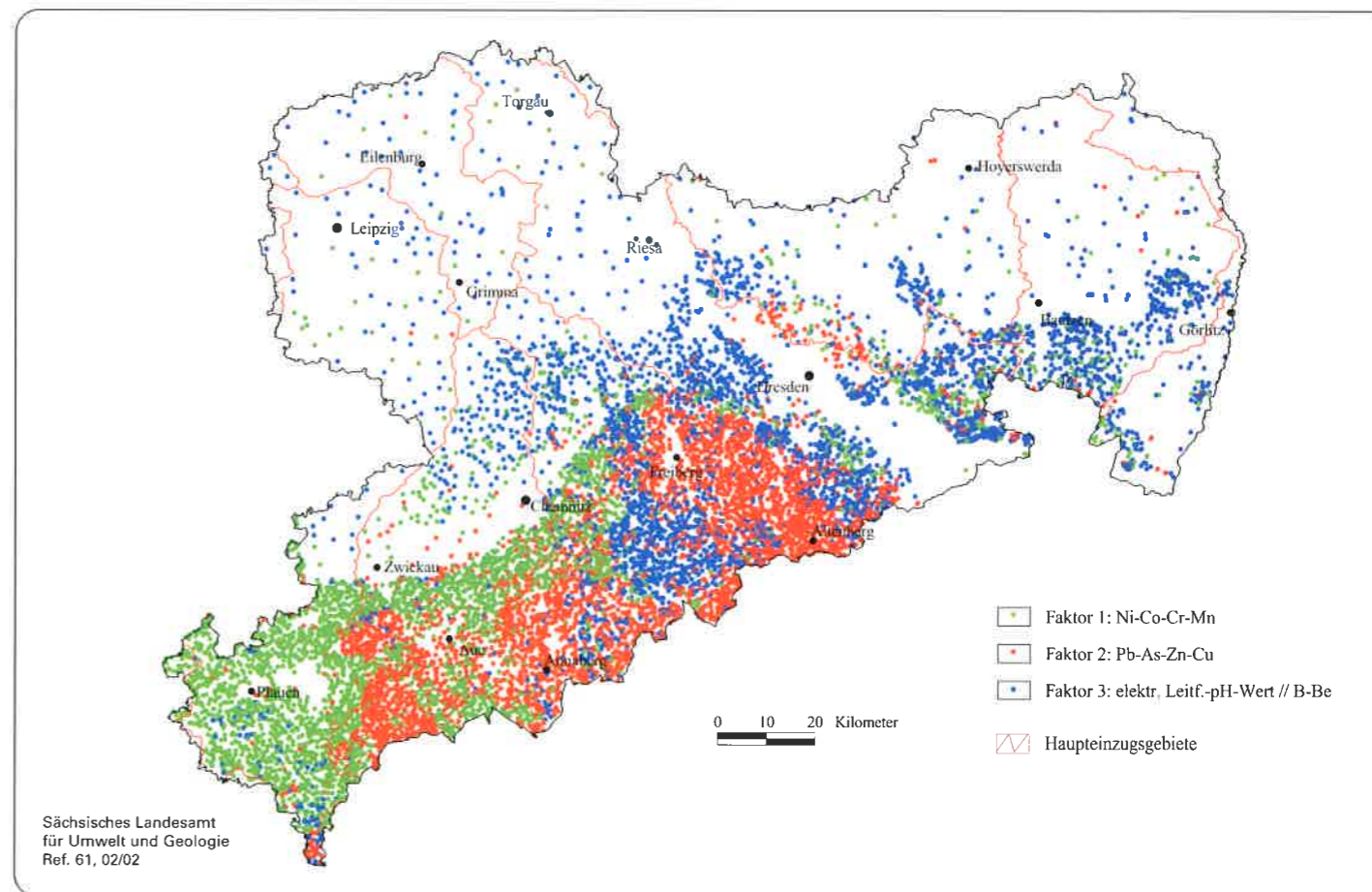


Abb. 5-1: Ergebnis der Faktorenanalyse über Einzelproben: Faktorprädominanzdarstellung

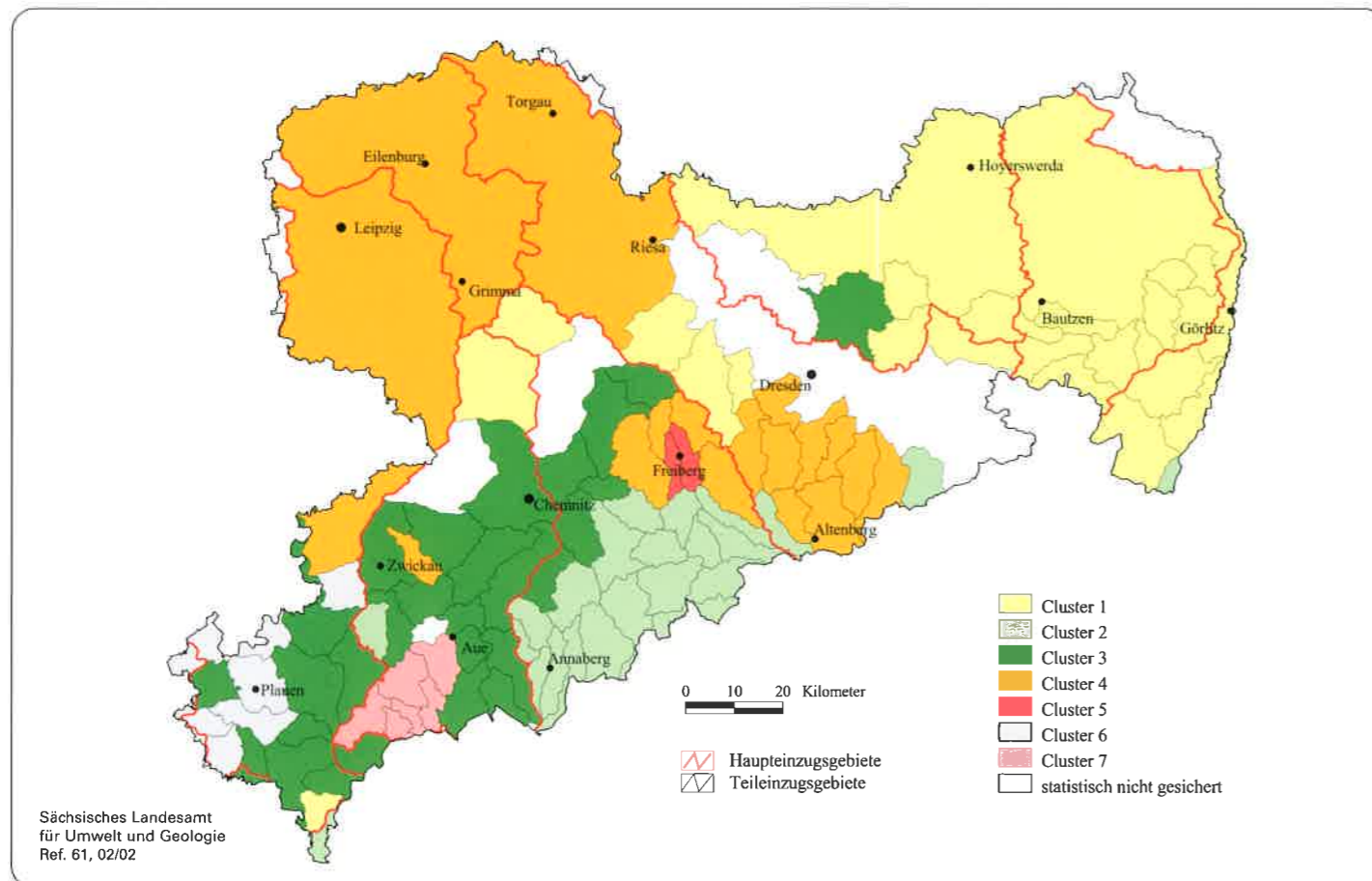


Abb. 5-2: Ergebnis der Clusteranalyse über die mittleren Elementgehalte (P50) der Teileinzugsgebiete

Charakterisierung der Haupteinzugsgebiete

Neiße

Die Neiße als linker Zufluss der Oder entwässert Teile des Lausitzer Grundgebirges südlich von Görlitz. Nördlich von Görlitz schneidet sie pleistozäne Flussterrassen und Schmelzwasserbildungen an. Im Vergleich zum ermittelten Sachsen-Clarke für Bachsedimente besitzen die Bachsedimente des Neißeeinzugsgebietes deutlich geringere (As, B, Cu, Li, Ni, Pb, Zn) oder ähnliche Elementgehalte (B, Be, Co, Cr, Hg, Mo). Höhere Gehalte wurden für Mn (Gesamtgebiet) und W (Grundgebirge) bestimmt (Tab. 5-3).

Spree

Von der Quelle bis Bautzen hat die Spree einen Mittelgebirgsflusscharakter ohne bedeutenden Einfluss von Industriestandorten. Nach Passage der Talsperre Bautzen als Sedimentationssenke wird die Spree als Tieflandfluss sowohl durch punktuell intensive industrielle Nutzung als auch durch das Niederlausitzer Braunkohlentagebauegebiet beeinflusst (HOELZMANN et al. 1994). Im sächsischen Gebiet der Spree als wichtigem Zufluss der Havel treten vorwiegend kanozoische Bildungen (71 %) auf. Im Oberlauf werden große Teile des Einzugsgebietes von Granodioriten bzw. Anatexiten (23 %) gebildet. Das Einzugsgebiet der Spree ist wie das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster generell durch geringe Elementgehalte in den Bachsedimenten gekennzeichnet (vgl. Tab. 5-4). Nur für das Element Cr ist eine geringfügige Erhöhung im Grundgebirgsbereich festzustellen.

Tab. 5-3: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], F [mg/l]) der Neiße

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Neiße	Grundgebirge	7,0	52	437	3,0	9,0	53	12
	Nordsachsen	7,5	42	437	2,5	8,6	46	13
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Neiße	Grundgebirge	0,09	<20	664	<1,0	19	36	<5,0
	Nordsachsen	0,11	22	648	<1,0	20	40	—
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Neiße	Grundgebirge	5.010	6,0	90		7,0	363	0,24
	Nordsachsen	—	<4,0	84		7,2	443	0,23
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

Tab. 5-4: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], F [mg/l]) der Spree

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Spree	Grundgebirge	5,0	54	415	2,5	7	51	8
	Nordsachsen	8,5	29	384	2,0	12	30	16
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Spree	Grundgebirge	0,08	21	450	<1,0	14	34	<5,0
	Nordsachsen	0,09	<20	404	<1,0	18	38	—
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Spree	Grundgebirge	4.310	4,0	66		7,2	374	0,15
	Nordsachsen	—	<4,0	90		6,9	339	0,27
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

Schwarze Elster

Das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster zeichnet sich generell durch geringe Elementgehalte in den Bachsedimenten aus (vgl. Tab. 5-5). Große Teile liegen bereits über quartären Lockersedimenten, denen es an originären Schwermetallquellen, wie Mineralisationen, Lagerstätten oder deren sekundärer Verbreitung über Bergbau/Industrie mangelt. Auch im Grundgebirgsbereich sind durch fehlende bzw. seltene Mineralisationen keine großräumigen Elementanreicherungen in den fluviatilen Sedimenten zu beobachten. Einzelne als milieubedingt diskutierte Anomalien in der Elbezone werden im Gebiet der Dresdner Heide (z.B. As, Cu, Pb, Zn) im Einzugsgebiet der Großen Röder beobachtet. Das Element Zink wird auch verstärkt in Bächen, die 1998 im nordsächsischen Elstereinzugsgebiet beprobt wurden, gefunden, was aber nicht auf geogene sondern vielmehr auf anthropogene Einträge zurückgeführt wird. Gegenüber dem ermittelten Sachsen-Clarke für Bachsedimente sind die meisten Elemente im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster verarmt (As, B, Ba, Be, Co, Cr, Li, Mn, Ni, Pb Zn), selten angereichert (Cu – Grundgebirge).

Elbe i.e.S. und Eger

Bei Betrachtung der kleinen Einzugsgebiete der Elbe werden starke Differenzierungen im Elementhaushalt festgestellt (vgl. Tab. 5-6). Während in den Teileinzugsgebieten Grundgebirge SO und Nordsachsen analog der östlich der Elbe gelegenen Einzugsgebiete Spree und Schwarze Elster vergleichsweise geringe Medianwerte ermittelt wurden, sind die westelbigen Teileinzugsgebiete Grundgebirge SW zum großen Teil durch erhöhte geogene Hintergrundgehalte geprägt (As, Be, Li, Pb, Sn, W, Zn). Der Schwerpunkt liegt dabei in den Einzugsgebieten der Müglitz, der Roten und Wilden Weißeritz mit zahlreichen Bergbaugebieten, z.B. Altenberg, Zinnwald (Sn), Schmiedeberg - Niederpöbel, Schellerhau (Ag, Pb, Sn).

In den südwestsächsischen Randgebieten der Eger sind Anreicherungen von As, B, Be, Cu, Li, Sn und W zu beobachten.

Tab. 5-5: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [μ S/cm], F [mg/l]) der Schwarzen Elster

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Schwarze Elster	Grundgebirge	14	48	447	2,5	7	37	32
	Nordsachsen	9	44	434	2,2	11	36	12
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Schwarze Elster	Grundgebirge	0,12	29	430	<1,0	19	49	<5,0
	Nordsachsen	0,10	<20	482	<1,0	20	40	—
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Schwarze Elster	Grundgebirge	3.880	5,0	105		6,9	534	0,26
	Nordsachsen	—	<4,0	96		6,9	378	0,17
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

Tab. 5-6: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [μ S/cm], F [mg/l]) der Elbe i.e.S. und der Eger

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Elbe i.e.S.	Grundgebirge SO	13	52	386	2,5	6	47	26
	Grundgebirge SW	33	44	473	3,5	5	38	21
	Nordsachsen	8	48	679	2,2	11	33	20
Eger	Randstreifen	25	77	492	4,5	8	46	30
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Elbe i.e.S.	Grundgebirge SO	0,08	27	547	<1,0	23	49	<5,0
	Grundgebirge SW	0,08	51	502	1,0	19	71	8,0
	Nordsachsen	0,10	<20	399	<1,0	17	43	—
Eger	Randstreifen	0,05	84	582	1,0	26	47	9,0
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Elbe i.e.S.	Grundgebirge SO	4.420	5,0	100		6,5	373	0,19
	Grundgebirge SW	3.600	8,0	140		6,5	458	0,33
	Nordsachsen	—	<4,0	134		7,3	532	0,32
Eger	Randstreifen	3.920	9,0	127		5,6	140	0,16
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

Mulde

Die Mulde ist das Hauptentwässerungssystem des Erzgebirges und trägt entscheidend zur Schwermetallbelastung der Elbesedimente bei. Die Einzugsgebiete von Freiberg, Zwickauer und Vereinigter Mulde unterscheiden sich in ihrem Gesteinsbestand erheblich voneinander. Während im Gebiet der Vereinigten Mulde die känozoischen Sedimente (91 %) überwiegen, sind die Gebiete der Freiberg und Zwickauer Mulde durch ältere Gesteine des Grundgebirges geprägt. Im Einzugsgebiet der Freiberg Mulde dominieren Gneise deutlich gegenüber Granuliten und Glimmerschiefern, in der Zwickauer Mulde treten Phyllite, Glimmerschiefer, Gneise, Granite und Rotliegendesedimente in ähnlicher Verbreitung auf. Das Nord-Süd-Gefälle der regionalen geogenen Hintergrundwerte findet sich auch im Einzugsgebiet der Mulde wieder (vgl. Tab. 5-7). Die Trennung in die o.g. drei Einzugsgebiete ist erforderlich, da bei einer statistischen Bearbeitung aufgrund der geringen Probenzahlen im Gebiet der Vereinigten Mulde das Gesamtgebiet der Mulde als metallogenetische Provinz erscheinen würde, obwohl die Quellen eindeutig in der Freiberg und Zwickauer Mulde liegen (zahlreiche Mineralisationen, Lagerstätten und Bergbaureviere).

Charakteristisch für das Einzugsgebiet der Freiberg Mulde sind sulfidische Pb-Zn-Ag-Vererzungen im Lagerstättenbezirk Freiberg mit einem Elementaustag an As, Pb, Cu, Zn, Cd. Für das Teileinzugsgebiet der Zschopau kommen Lagerstätten im Bereich von Annaberg, Marienberg (Ag, Co, U, Ni, Sn) und Ehrenfriedersdorf, Geyer (Sn, W, As) in Betracht. Die Zwickauer Mulde ist im Oberlauf durch Fe-Mn- und Sn-Vererzungen großer Extensität aber geringer Intensität charakterisiert, bevor sie in das intensiv genutzte Lagerstättenrevier von Aue-Schneeberg (Bi-Co-Ni-U-Ag) eintritt. Hinzu treten Stoffflüsse aus dem Teileinzugsgebiet des Schwarzwassers mit den wichtigen Bergbaureviere Johanngeorgenstadt und Breitenbrunn - Pöhla (Ag, Co, Ni, U, Sn, Zn, W, Fe) (PÄLCHEN et al., 1998). Sedimente des Perms tragen ebenfalls einen Teil zum geogenen Background bei. Im Erzgebirgischen Becken bei Chemnitz - Zwickau tritt das Element As mit erhöhten geogenen Hintergrundgehalten auf, was durch Untersuchungen von WENDLAND (1997) bestätigt wurde. Während der Anlage der Leukersdorfer und Mülsener Schichten dominierte der Stofftransport aus der Erzgebirgsrichtung. Für diese Molassesedimente (Konglomerate, Sand- und Tonsteine) werden in o.g. Arbeit Arsengehalte von 20 bis 30 mg/kg angegeben.

Aus den mittleren Elementgehalten in Tab. 5-7 lassen sich lithogene sowie chalkogene Unterschiede mit anthropogenem Anteil zwischen Freiberg, Zwickauer und Vereinigter Mulde ableiten. So liegen die Medianwerte für As, B, Be, Cr, Li, Ni, Pb, W und Zn in Bachsedimenten der Vereinigten Mulde aufgrund der känozoischen Bedeckung auf niedrigem Niveau. Die Medianwerte für pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und F im Wasser erreichen hingegen hohe Medianwerte, die für nutzungsbedingte anthropogene Einflüsse sprechen. Zwischen Freiberg und Zwickauer Mulde sind chalkogen bedingte Unterschiede bei den Elementen As und Pb festzustellen, die in der Freiberg Mulde die höchsten Gehalte erreichen, die weit über dem Sachsen-Clarke für Bachsedimente liegen. Die Bachsedimente der Zwickauer Mulde heben sich durch erhöhte Gehalte an B, Be, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mn, Ni, Sn, Ti und W von denen der Freiberg Mulde ab. So lassen sich erhöhte B-, Cr-, Li- und Ni-Gehalte durch die weite Verbreitung von Glimmerschiefern und Phylliten erklären. Hohe B- und Be-Gehalte des Eibenstocker Granitmassivs heben die Medianwerte für Bachsedimente der Zwickauer Mulde an.

Weißer Elster

Große Teile des Oberlaufes der Weißen Elster, die ein wichtiger Zufluss der Saale ist, liegen im südwestlichen Sachsen (Grundgebirgsanteil). Danach verlässt der Fluss das Land, um im nordwestlichen Sachsen zusammen mit der Pleiße und der Parthe den Großraum Leipzig zu durchfließen (nordsächsischer Anteil). Die Bachsedimente unterscheiden sich in diesen zwei Abschnitten deutlich voneinander (Tab. 5-8). Hohe lithogen begründete mittlere Elementgehalten treten bei As, B, Be, Co, Cr, Li, Mn, Ni und W in den grundgebirgsbeeinflussten Bachsedimenten auf. In den nordsächsischen Bachsedimenten der Weißen Elster sind dagegen Ba, Hg, Pb und Zn angereichert.

Saale i.e.S.

Das sächsische Gebiet der Saale ohne Weiße Elster ist nur sehr klein und befindet sich am südwestlichen Rand Sachsens. Ein Vergleich der ermittelten Medianwerte mit dem Sachsen-Clarke für Bachsedimente ergibt eine deutliche Anreicherung für die Elemente Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Ti, Zn und spricht für die Verbreitung basischer Gesteine.

Tab. 5-7: Mittlere Elementgehalten (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], F [mg/l]) der Mulde

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Mulde	Freiberg	35	50	498	3,0	6	40	21
	Zwickauer	28	85	477	5,0	9	49	29
	Vereinigte	9,5	32	547	2,3	12	36	24
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Mulde	Freiberg	0,08	51	498	<1,0	21	63	6,0
	Zwickauer	0,11	104	636	1,0	29	52	9,0
	Vereinigte	0,10	20	518	<1,0	22	44	—
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Mulde	Freiberg	4.120	8,0	150		6,3	324	0,21
	Zwickauer	4.350	11	155		6,1	260	0,21
	Vereinigte	—	<4,0	124		7,3	568	0,30
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

Tab. 5-8: Mittlere Elementgehalten (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$], F [mg/l]) der Weißen Elster

Flussgebiet	Unterteilung	As	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu
Weiße Elster	Grundgebirge	14	68	516	3,5	16	72	32
	Nordsachsen	10	45	605	2,0	12	51	31
Sachsen, flächenbezogen		18	51	486	2,9	10	45	23
Flussgebiet	Unterteilung	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn
Weiße Elster	Grundgebirge	0,12	79	864	1,0	53	36	<5,0
	Nordsachsen	0,17	24	544	<1,0	29	52	—
Sachsen, flächenbezogen		0,11	37	547	<1,0	25	50	5,0*
Flussgebiet	Unterteilung	Ti	W	Zn		pH	eleit	F
Weiße Elster	Grundgebirge	6.920	6,0	175		6,6	379	0,20
	Nordsachsen	—	<4,0	192		7,3	674	0,27
Sachsen, flächenbezogen		4.370*	4,1	134		6,7	446	0,24

*Mittelwert für Grundgebirge

6 Zusammenfassung

Die geochemischen Karten der mittleren Elementgehalte in Bachsedimenten sind ein Abbild des geochemischen Feldes der Elemente in der Hypergenesezone und enthalten Informationen über natürliche und anthropogen bedingte Prozesse (PÄLCHEN et al., 1996). Sie ergänzen die Kartenwerke zu Spurenelementgehalten in Gesteinen und Böden.

Die einzelnen Teileinzugsgebiete unterscheiden sich in ihrem Elementbestand sowohl durch ihre geologische Grundsituation (Gesteine, Mineralisationen) als auch durch die bei einzelnen Prozessen in der Hypergenesezone (Verwitterung, Bodenbildung, Erosion, Transport u.a.) eingebrachten oder veränderten Anteile. Es können enge Beziehungen zwischen dem Elementbestand der Bachsedimente (geochemisches Feld) und ihrer Ausgangsgesteine (geologischer Bau) festgestellt werden. Neben dem lithogenen Stoffbestand spiegeln sich auch chalkogene Elementanreicherungen in den Bachsedimenten wider. Die mit chalkogenen Elementanreicherungen in Zusammenhang stehenden Prozesse der Verarbeitung sind anthropogener Art und erschweren die Abgrenzung und Interpretation des geogenen Grundbestandes (Background).

Im Ergebnis der Clusteranalyse, besonders bei der Betrachtung der Clustermittelwerte fallen die bei der Faktorenanalyse teilweise extrahierten Elementkombinationen gleichermaßen auf, die sich untereinander jedoch konträr verhalten: As-Pb (chalkogen-anthropogen), As-Ba-Cu-Pb-Zn (chalkogen-anthropogen: Freiberg polymetallisch), As-B-Cr-Cu-Ni-Zn (geogen: Phyllite, Glimmerschiefer), B-Be (geogen: Eibenstocker Granit), Co-Cr-Cu-Ni-Zn (geogen: Tonschiefer, Grauwacken, basische Vulkanite), elektrische Leitfähigkeit-pH-Wert (nutzungsbedingt). Dem Element As kommt als Durchläuferelement besondere Bedeutung für die Diagnose chalkogener Prozesse zu.

Für Sachsen ist eine Verrechnung der mittleren Elementgehalte über die Flächenanteile der Einzugsgebiete aufgrund nahezu flächendeckender Untersuchungen möglich. Durch die relativ dichte Datenmatrix kann eine Gegenüberstellung der Bachsedimentdaten zu ihren Ausgangskomponenten Gestein und Boden gewagt werden (Tab. 6). Die für die Gesteine angegebenen mittleren Elementgehalte gelten als repräsentativ für den lithogenen Anteil der sekundären oberflächigen Bildungen (Böden, Bachsedimente). Soweit vergleichbare Wertepaare vorliegen, ist in den meisten Fällen eine weitgehende Ähnlichkeit der Konzentrationsniveaus zwischen Gesteinen und Unterböden feststellbar (außer bei Cr, Cu, Pb, Zn). Gegen-

über den Unterböden ist bei den Oberböden eine deutliche Anreicherung von Hg, Pb und Zn zu verzeichnen, die als anthropogener (± chalkogener) Anteil (Eintrag) zu betrachten ist. Die Bachsedimente der hier untersuchten Fraktion <200 µm besitzen Elementkonzentrationen, die in der Regel deutlich über denen der Oberböden liegen (As, B, Be, Cu, Ni, W, Zn). Da die potentiellen Einflussfaktoren in beiden Fällen gleich sind, wird als Hauptursache für diesen Unterschied die unterschiedliche Korngröße (<2 mm/<0,2 mm) angesehen.

Die Abhängigkeit der Elementgehalte von der Korngröße ist bei allen Untersuchungen nachweisbar. Generell nimmt die Elementkonzentration mit abnehmender Korngröße zu. Diese Tendenz ist stark element- und substratabhängig.

Tab. 6: Gegenüberstellung mittlerer Elementgehalte in Gesteinen, Böden und Bachsedimenten in Sachsen, flächenbezogen, Angaben in mg/kg

Element	Gesteine (KARDEL et al., 1996)	Unterböden <200 µm nutzungsunabhängig (RANK et al., 1999)	Oberböden <200 µm Nutzung: Acker (RANK et al., 1999)	Bachsedimente <200 µm
As	13	9,0	10	18
B	37	42	39	51
Ba	420	—	—	486
Be	—	1,6	1,4	2,9
Co	12	—	—	10
Cr	57	39	37	45
Cu	24	13	15	23
Hg	—	0,05	0,10	0,11
Li	—	—	—	37
Mn	—	—	—	547
Mo	—	0,41	0,50	<1,0
Ni	20	16	14	25
Pb	20	37	49	50
Sn	4,4	—	—	5,0
Ti	—	—	—	4370
W	—	1,2	1,4	4,1
Zn	60	49	60	134

7 Literaturverzeichnis

- ABO-RADY, M.; WEISE, A. (1994): Braunkohlenbergbau und Re-kultivierung in Sachsen. – LfUG-Bericht, H. 2, S. 36–42, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul
- BARTH, N.; DEGERING, D.; HAASE, D.; HAFERKORN, U.; KLOSE, R.; KNAPPE, S.; KURZER, H. J.; MACHULLA, G.; MATTUSCH, J.; NEUBERT, K. H.; PÄLCHEN, W.; RABEN, G. H.; RANK, G.; SCHLENKER, S.; SCHNEIDER, B.; SUNTHEIM, L.; WENNRICH, R. (2001): Bodenmonitoring in Sachsen. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Sächs. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Sächs. Landesanstalt f. Forsten
- BARTH, N.; PÄLCHEN, W.; RANK, G.; HEILMANN, H. (1996): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in landwirtschaftlich genutzten Böden. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul
- BEUGE, P. (1976): Zur Geochemie des Quecksilbers in Magmatiten und Einzelmineralen. – Freiburger Forsch.-H. C 313, Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig
- BEUGE, P.; GREIF, A.; HOPPE, T.; KLEMM, W.; KLEBERG, R.; KLUGE, A.; MOSLER, U.; STARKE, R.; ALFARO, J.; HAURAND, M.; KNÖCHEL, A.; MEYER, A. (1994): Erfassung und Beurteilung der Schadstoffbelastung des Muldesystems. – in: Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Die Belastung der Elbe, Teil I – Elbenebenflüsse, S. 27–36
- BEUGE, P.; GREIF, A.; HOPPE, T.; KLEMM, W.; KLUGE, A.; MARTIN, M.; MOSLER, U.; STARKE, R.; ALFARO, J.; ANDERS, B.; BEHRENS, K.; GRUNWALD, N.; HAURAND, M.; KNÖCHEL, A.; MEYER, A.; POTGETER, H.; STAUB, S.; STOCKER, M. (1999): Die Schwermetallsituation im Muldesystem. – TU Bergakademie Freiberg und Universität Hamburg, Bd. 1–3
- BIRKE, M.; RASCHKA, H.; RAUCH, U. (1995): Regionale Oberflächengeochemie. Eine Methode zur umweltgeochemischen Übersichtsaufnahme. – Z. angew. Geol. 41, H. 1, S. 10–20
- DEHNER, U.; PÄLCHEN, W. (2000): Möglichkeiten der Ermittlung von geogenen Hintergrundwerten. – in Furrer, R. (Red.): Die Belastung der Elbe – Teil 2: Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse. – Forschungszentrum Karlsruhe, S. 5–9
- FURRER, R. (2000a): Die Belastung der Elbe – Teil 2: Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse. – Forschungszentrum Karlsruhe
- FURRER, R. (2000b): Hintergrundbelastung der Elbe und ihrer Nebenflüsse mit Schwermetallen. – ATV-DVWK-Schriftenreihe Nr. 21, S. 21–32
- GREIF, A.; PÄLCHEN, W. (1998a): „Ein Background in der Anomalie?“ oder die Frage: „Wieviele Backgrounds brauchen wir?“ – Betrachtungen an Bachsedimenten in Sachsen. – Wiss. Mitt. Inst. f. Geologie Nr. 7, S. 8–17, TU Bergakademie Freiberg
- GREIF, A.; PÄLCHEN, W. (1998b): Anwendung statistischer Verfahren bei der Interpretation von Bachsedimentdaten des Elbeeinzugsgebietes. – in: Geller, W. et al. (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe. – B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, S. 185–186
- GREIF, A.; PÄLCHEN, W. (2000): Grundgebirgsgeprägte Einzugsgebiete. – in: Furrer, R. (Red.): Die Belastung der Elbe – Teil 2: Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse. – Forschungszentrum Karlsruhe, S. 163–184
- HARTISCH, W.; RENTZSCH, J.; WAGENKNECHT, R.; SCHULZE, W. (1989): Abschlußbericht regionale geochemische Prospektion Mittelsachsen – Granulitgebirge. – unveröff. Bericht, Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- HÖLTING, B. (1992): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – F. Enke Verlag, Stuttgart
- HOELZMANN, P.; PACHUR, H.-J.; SCHWARZ, S. (1994): Die Schwermetallbelastung der Havel und Spree – erste Ergebnisse. – in: Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Die Belastung der Elbe, Teil I – Elbenebenflüsse, S. 88–99
- HÖSEL, G.; TISCHENDORF, G.; WASTERACK, J. (1997): Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory 1:100.000“, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. – Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Sächs. Oberbergamt, Freiberg
- ISKE (1998): Erster Bericht über die Erfüllung des „Aktionsprogramms Elbe“ – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg
- KARDEL, K.; RANK, G.; PÄLCHEN, W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul
- KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (1992): AbfKlärV vom 15. April 1992. – BGBl. I, S. 912
- KLUGE, A. (1997): Anwendung multivariater statistischer Verfahren auf geochemische Fließgewässerdaten des Muldesystems (Sachsen, BRD). – Wiss. Mitt. Inst. f. Geologie Nr. 3, TU Bergakademie Freiberg
- KUHN, K. (1994): Anforderungen der Wasserwirtschaft an den Braunkohlebergbau. – LfUG-Bericht, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul, Heft 1, S. 18–22
- KÜMMEL, R.; PAPP, S. (1988): Umweltchemie. Eine Einführung. – Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (1994): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen – Technische Regeln. – Handbuch Bodenschutz 17. LfG. XI/94, Nr. 9250, E.Schmidt-Verlag, Berlin
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1998): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band II: Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber und Zink. – Kulturbuchverlag, Berlin
- LfUG (Hrsg.) (1995): Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. – Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie Freiberg, Czech Geological Survey, Praha
- MARTIN, J. M.; WHITFIELD, M. (1983): The significance of the river water input of chemical elements to the ocean. – In: Wong, C. S.; Boyle, E.; Bzuland, K. W.; Burton, J. D.; Goldberg, E. D. (Ed.): Trace elements in sea water. – Plenum, New York, S. 265–296
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. – Umschau 79, 24, S. 778–784
- MÜLLER, H. & RENTZSCH, H. (1985): Abschlußbericht – Regionale geochemische Prospektion E-Teil Lausitz. – unveröff. Bericht, Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- PÄLCHEN, W.; GREIF, A.; SCHOLZ, H.; KETTNER, C. (1998): Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben „Geogene Hintergrundbelastung im Elbeeinzugsgebiet, Teilprojekt 5: Grundgebirgsgeprägte Einzugsgebiete.“ – unveröff. Bericht, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Freiberg
- PÄLCHEN, W.; OSSENKOPF, P. (1989): The recent geochemical field. – in: Tischendorf, G. (Hrsg.): Silicic magmatism and metallogenesis of the Erzgebirge. – Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, 107, Potsdam
- PÄLCHEN, W.; RANK, G.; BERGER, R. (1982): Regionale geochemische Untersuchungen an Gesteinen, fluviatilen Sedimenten und Wässern im Erzgebirge und Vogtland. – unveröff. Bericht, VEB Geol. Forschung und Erkundung, Freiberg
- PÄLCHEN, W.; RANK, G.; BERGER, R.; OSSENKOPF, P. (1996): Spurenelemente in Sedimenten erzgebirgischer Fließgewässer. – Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, Math.-nat. Kl., Bd. 58, H 4, S. 33–50
- PÄLCHEN, W.; RANK, G.; LANGE, H.; TISCHENDORF, G. (1987): Regionale Clarkewerte – Möglichkeiten und Grenzen ihrer Anwendung am Beispiel des Erzgebirges (DDR). – Chemie d. Erde, 47, 1/2, S. 1–17
- PÄLCHEN, W.; RANK, G.; OSSENKOPF, P.; HARPKE, B. (1992): Geochemische Karten – Gegenstand, Inhalt, Probleme (am Beispiel des Erzgebirges). – Ehrenkolloquium Friedrich Leutwein 06. Dez. 1991, Bergakademie Freiberg, S. 38–53
- PRANGE, A. et al. (2001): Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schadstoffen, Teilprojekt 2: Schwermetalle – Schwermetallspezies, Graphische Darstellung der Längsprofile – Filtrate, Schwebstoffe, Sedimente. – GKSS-Forschungszentrum, Geesthacht, Bd. 2/3
- RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W.; WEIDENSDÖRFER, H. (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3: Bodenmessprogramm, Bodenmessnetz Raster 4 km x 4 km. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul
- RANK, G.; PÄLCHEN, W. (1989): Geochemische Bearbeitung der sauren variszischen Vulkanite von Flöha – Karl-Marx-Stadt als Beitrag zur metallogenetischen Einschätzung dieses Raumes. – unveröff. Bericht, VEB Geol. Forschung u. Erkundung, Freiberg
- RAUER, H.; ROTHE, D. (1996): Zum Umgang mit Bodenaushub und Gewässersedimenten in der Region Oberes Elbtal/Ost-erzgebirge. – Materialien zum Bodenschutz Nr. 1, Sächs. Staatsministerium f. Umwelt u. Landesentwicklung, Dresden
- RENTZSCH, J.; SCHULZE, W.; BIRKE, M.; WAGENKNECHT, R. (1990): Landschaftsgeochemie als Methode zur Klärung der Elementmigration in der Umwelt und zur Gliederung geochemischer Kulturlandschaften. – Z. angew. Geol. 36, 9, S. 328–333
- RENTZSCH, H.; BERGERHOFF, BIRKE, M.; SCHULZE, W.; HARTISCH, W. (1980): Regionale geochemische Prospektion in der Elbtalzone und am SW-Rand der Lausitz. Teil I. – unveröff. Bericht, Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- RENTZSCH, H.; BIRKE, M.; PILATZKE, X.; HARTISCH, W.; SCHULZE, W. (1982): Regionale geochemische Prospektion in der Elbtalzone und am SW-Rand der Lausitz. Teil II – unveröff. Bericht, Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- RENTZSCH, H.; SCHULZE, W.; SCHREITER, E.; BIRKE, M.; WAGENKNECHT, R. (1987): Regionale geochemische Prospektion Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge. – unveröff. Bericht, Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K.-H.; SCHWERTMANN, U. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. – F. Enke Verlag, Stuttgart
- SCHUDOMA, D.; IRMER, U.; MARKARD, C.; STIX, E. (1994): Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. – Texte 52/94, Umweltbundesamt, Berlin
- SEIM, R.; TISCHENDORF, G. (1990): Grundlagen der Geochemie. – VEB Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig
- TISCHENDORF, G. (1989): Silicic magmatism and metallogenesis of the Erzgebirge. – Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, 107, Potsdam
- TUREKIAN, K. H.; WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of elements in some major units of the earth's crust. – Geol. Soc. Am. Bull. 72, S. 175–192
- WEDEPOHL, K. H. (1967): Geochemie. – Sammlung Göschen, 1224, de Gruyter, Berlin
- WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust. – Geochim. et Cosmochim. Acta, 59, 7, S. 1217–1232
- WENDLAND, A. (1997): Regionale Verteilung des Arsens in den Rotliegendesedimenten Sachsens. – unveröff. Forschungsbericht Beak Consultants GmbH im Auftrag des Sächs. Staatsministeriums f. Umwelt u. Landesentwicklung, Dresden

8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellen

- Tab. 2.1-1: Übersicht über vorliegende Daten von Bachsedimentuntersuchungen
- Tab. 2.1-2: Übersicht über die verwendeten Analyseverfahren für die Sedimente
- Tab. 2.3: Überblick über Größe und Beprobungsdichte der Haupteinzugsgebiete Sachsens
- Tab. 3.1: Übersicht über globale und regionale Clarke-Werte, Angaben in mg/kg
- Tab. 3.2: Morphologische Typen der primären und sekundären Lagerstätten im Erzgebirge/Vogtland (HÖSEL et al., 1997)
- Tab. 3.3: Mittlere Elementgehalte (Median, P50) in den Böden Sachsens, Angaben in mg/kg (RANK et al., 1999)
- Tab. 3.4: Übersicht über die Hauptnutzungsarten in den Haupteinzugsgebieten Sachsens, Angaben in Prozent
- Tab. 3.5-1: Globale bzw. regionale geogene Hintergrundgehalte für Tonschiefer (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961), für Auensedimente der Elbe (PRANGE et al. 2001), für Auenlehme von Elbenebenflüssen (FURRER, 2000a)
- Tab. 3.5-2: Güteklassifikation für Schwermetalle (LAWA, 1998) und Arsen (IKSE, 1998) in Schwebstoffen und feinkörnigen Sedimenten, Angaben in mg/kg
- Tab. 3.5-3: Grenzwerte der AbfklärV und Zuordnungswerte von Feststoffen für Boden nach LAGA, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.1: Statistische Kenngrößen für Arsen in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.2: Statistische Kenngrößen für Bor in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.3: Statistische Kenngrößen für Barium in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.4: Statistische Kenngrößen für Beryllium in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.5: Statistische Kenngrößen für Cobalt in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.6: Statistische Kenngrößen für Chrom in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.7: Statistische Kenngrößen für Kupfer in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.8: Statistische Kenngrößen für Quecksilber in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.9: Statistische Kenngrößen für Lithium in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.10: Statistische Kenngrößen für Mangan in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.11: Statistische Kenngrößen für Molybdän in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.12: Statistische Kenngrößen für Nickel in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.13: Statistische Kenngrößen für Blei in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.14: Statistische Kenngrößen für Zinn in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.15: Statistische Kenngrößen für Titan in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.16: Statistische Kenngrößen für Wolfram in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.1.17: Statistische Kenngrößen für Zink in Bachsedimenten (<200 µm) der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/kg
- Tab. 4.2.1: Statistische Kenngrößen für den pH-Wert in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens
- Tab. 4.2.2: Statistische Kenngrößen für die elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in µS/cm
- Tab. 4.2.3: Statistische Kenngrößen für Fluor in Bachwässern der Haupteinzugsgebiete und Schwankungsbreite der Medianwerte für die Teileinzugsgebiete Sachsens, Angaben in mg/l
- Tab. 5-1: Mittlere Elementgehalte (P50) in den drei extrahierten Faktoren der Faktorenanalyse
- Tab. 5-2: Ergebnis der Clusteranalyse über die mittleren Elementgehalte (P50) der Teileinzugsgebiete
- Tab. 5-3: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Neiße
- Tab. 5-4: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Spree
- Tab. 5-5: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Schwarzen Elster
- Tab. 5-6: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Elbe i.e.S. und der Eger
- Tab. 5-7: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Mulde
- Tab. 5-8: Mittlere Elementgehalte (P50) in Bachsedimenten (As – Zn [mg/kg]) und Parameter in Bachwässern (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], F [mg/l]) der Weißen Elster
- Tab. 6: Gegenüberstellung mittlerer Elementgehalte in Gesteinen, Böden und Bachsedimenten in Sachsen, flächenbezogen, Angaben in mg/kg

Abbildungen

- Abb. 1: Übersicht über die Bodenregionen Sachsens
- Abb. 2.1: Karte der Probenahmepunkte der Untersuchungen 1977–98
- Abb. 2.2: Gewässernetz des Freistaates Sachsen mit oberirdischen Einzugsgebieten
- Abb. 3.1: Vereinfachte geologische Karte des Freistaates Sachsen
- Abb. 3.2: Karte geogener und anthropogener Quellen – Mineralisationen Erzgebirge/Vogtland
- Abb. 3.3: Übersichtskarte der Böden des Freistaates Sachsen
- Abb. 3.4: Karte der Bodennutzung
- Abb. 4.1.1-1: Arsen in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.1-2: Arsen in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.2-1: Bor in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.2-2: Bor in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.3-1: Barium in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.3-2: Barium in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.4-1: Beryllium in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.4-2: Beryllium in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.5-1: Cobalt in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.5-2: Cobalt in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.6-1: Chrom in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.6-2: Chrom in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.7-1: Kupfer in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.7-2: Kupfer in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.8-1: Quecksilber in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.8-2: Quecksilber in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.9-1: Lithium in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.9-2: Lithium in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.10-1: Mangan in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.10-2: Mangan in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.11-1: Molybdän in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.11-2: Molybdän in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.12-1: Nickel in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.12-2: Nickel in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.13-1: Blei in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.13-2: Blei in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.14-1: Zinn in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.14-2: Zinn in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.15-1: Titan in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.15-2: Titan in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.16-1: Wolfram in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.16-2: Wolfram in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.1.17-1: Zink in Bachsedimenten kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.1.17-2: Zink in Bachsedimenten Sachsens
- Abb. 4.2.1-1: pH-Wert in Bachwässern kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.2.1-2: pH-Wert in Bachwässern Sachsens
- Abb. 4.2.2-1: Elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.2.2-2: Elektrische Leitfähigkeit in Bachwässern Sachsens
- Abb. 4.2.3-1: Fluor in Bachwässern kleiner Teileinzugsgebiete Sachsens
- Abb. 4.2.3-2: Fluor in Bachwässern Sachsens
- Abb. 5-1: Ergebnis der Faktorenanalyse über die Einzelproben: Faktorprädominanzdarstellung
- Abb. 5-2: Ergebnis der Clusteranalyse über die mittleren Gehalte (P50) der Teileinzugsgebiete

Impressum

Materialien zum Bodenschutz

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen
Teil 2: Spurenelementgehalte in Bachsedimenten

Titelbild:
Fotos: Annia Greif

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden
E-Mail: Abteilung2@lfug.smul.sachsen.de
(kein Zugang für elektronisch signierte sowie
für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Bearbeiter:
Dipl.-Min. Annia Greif, Dr. Werner Pälchen,
Dipl.-Geol. Günter Rank, Heinz Weidensdörfer
Referat Bodenkartierung/Geochemie
Abteilung Boden/Angewandte Geologie

Redaktionsschluss: Mai 2002

Gestaltung, Satz, Repro:
c-macs publishingservice
Tannenstr. 2, D-01099 Dresden

Druck:
Sächsische Druck- und Verlagshaus AG
Tharandter Str. 23-27, D-01159 Dresden

Versand:
Sächsisches Digitaldruckzentrum GmbH
Tharandter Str. 31-33, D-01159 Dresden
Fax: 0351/4203180 (Versand)
E-Mail: versand@sdv.de
(kein Zugang für elektronisch signierte sowie
für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Auflage: 500 Stück

Bezugsbedingungen:
Diese Veröffentlichung kann von der
Sächsischen Digitaldruckzentrum GmbH
gegen 15 EUR bezogen werden.

Hinweis:
Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit
des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie
(LfUG) herausgegeben.
Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im
Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.
Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden
Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet
werden, die als Parteinahme des Landesamtes zugunsten
einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist
es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer
Mitglieder zu verwenden.

Copyright:
Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der
fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

© Mai 2004

Artikelnummer: L VI-3/13

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie ist im Internet
(www.umwelt.sachsen.de/lfug).