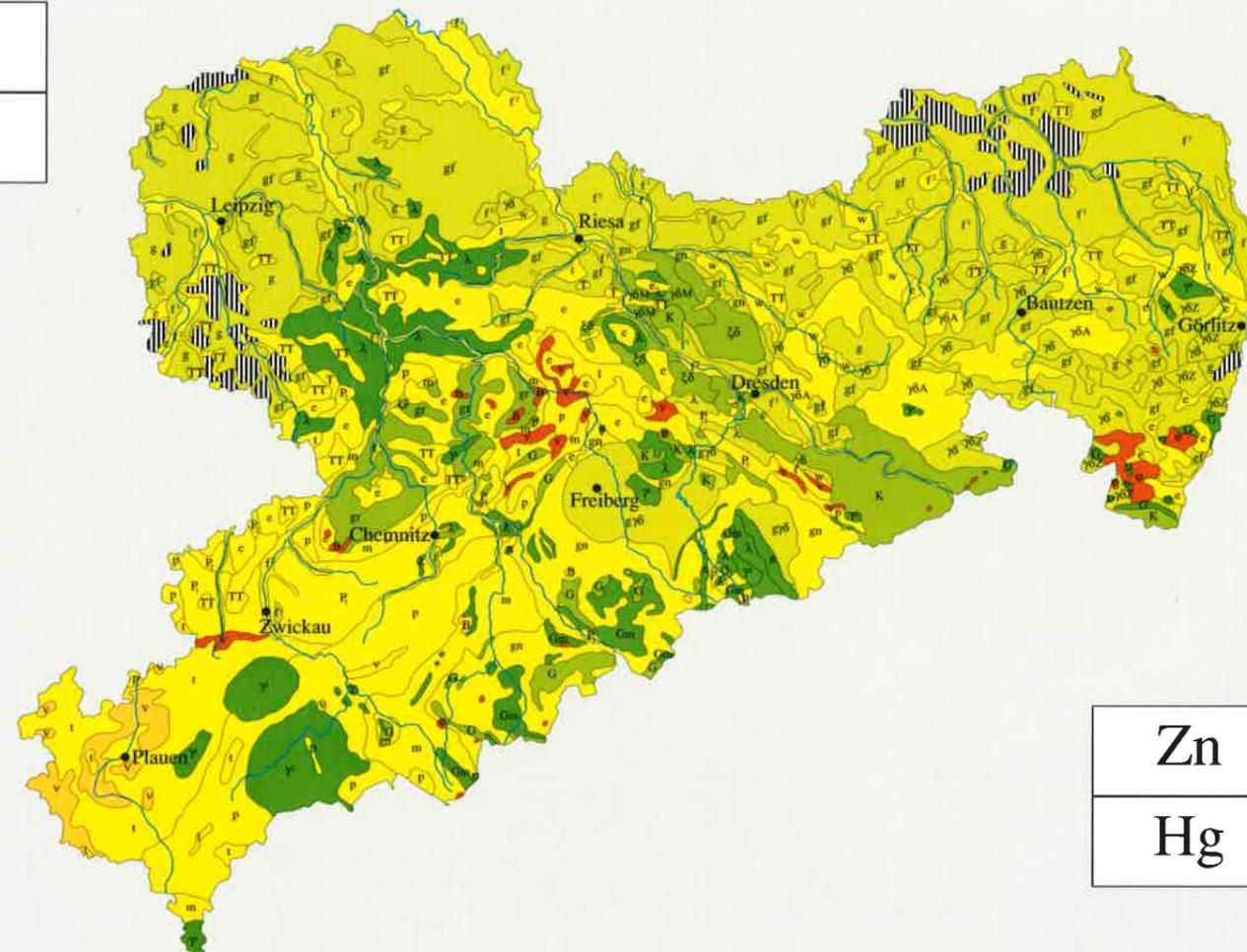




Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen

As	B
Ba	Co
Cr	
Cu	
F	



	Pb
	Sn
	Th
Zn	U
Hg	Ni

Teil 1
Spurenelementgehalte in Gesteinen

Materialien zum Bodenschutz 1996
Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen

Impressum

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Wasastr. 50, D-01445 Radebeul

Bearbeitung:
Abteilung Boden/Geochemie
Dipl.-Min. Kati Kardel; Dipl.-Geol. Günter Rank; Dr. Werner Pälchen

Redaktionsschluß:
September 1995

Redaktion:
Geschäftsstelle, Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung, Satz, Repro:
Werbeagentur Friebel
Pillnitzer Landstr. 37, D-01326 Dresden

Druck:
Offsetdruck Coswig GmbH
Hohensteinstr. 51, D-01640 Coswig

Bezugsbedingungen:
Der Bezug erfolgt beim Herausgeber gegen Schutzgebühr in Höhe von 26,- DM.

Hinweis:
Diese Broschüre 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 LfUG zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

August 1996

Bitte Errata-Blätter
letzte Seite beachten!

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen

Teil 1 Spurenelementgehalte in Gesteinen

Gesteine sind das Baumaterial der Erdkruste. Sie sind zugleich Zeugen der Erdgeschichte, landschaftsprägendes Element, begehrtes Baumaterial und Standort für Bauwerke. Bei der Verwitterung werden sie physikalisch und chemisch zersetzt und bilden die Ausgangssubstanz für Böden und die Sedimente der Fließgewässer. Charakteristische Züge des Gesteinschemismus finden sich in den Grund- und Oberflächenwässern wieder. Ohne die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Gesteine sind die stofflichen Eigenschaften von Böden und natürlichen Wässern nicht erklärbar.

Der vorliegende Teil 1 des Geochemischen Atlases des Freistaates Sachsen bietet eine Übersicht über die mittleren Gehalte wichtiger Spurenelemente in Gesteinen, die die natürlich auftretenden Hintergrundwerte von Gesteinskomplexen repräsentieren. Der Atlas soll später durch ähnliche Zusammenstellungen über Wässer und Gewässersedimente ergänzt werden.

Die Daten und Kartendarstellungen sind eine wesentliche Ergänzung zu den bereits vorliegenden bzw. sich in Bearbeitung befindlichen geologischen Übersichtskarten. Sie bieten wichtige Informationen für Fachbereiche wie Geologie, Bodenkunde, Hydrologie, Land- und Forstwirtschaft. Auch für Bildungseinrichtungen sowie für Natur- und Umweltverbände und -vereine sind die Zusammenstellungen von Interesse.



Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kinze
Präsident des Sächsischen Landesamtes
für Umwelt und Geologie



Dr. Klaus Hoth
Vizepräsident und Leiter des Bereiches
Boden und Geologie

	Seite
1 Einführung.....	6
2 Gesteinsformationen Sachsens.....	6
2.1 Geologischer Bau.....	6
2.2 Verbreitung und Häufigkeit der Hauptgesteinstypen.....	6
3 Spurenelementgehalte in den Hauptgesteinstypen.....	6
3.1 Datengrundlagen.....	6
3.2 Auswertung und Kartendarstellung.....	6
3.3 Einzelbeschreibung ausgewählter Elemente.....	8
3.3.1 Arsen.....	8
3.3.2 Bor.....	10
3.3.3 Barium.....	12
3.3.4 Cadmium.....	14
3.3.5 Kobalt.....	14
3.3.6 Chrom.....	16
3.3.7 Kupfer.....	18
3.3.8 Fluor.....	20
3.3.9 Nickel.....	22
3.3.10 Blei.....	24
3.3.11 Zinn.....	26
3.3.12 Thorium.....	28
3.3.13 Uran.....	30
3.3.14 Zink.....	32
3.3.15 Quecksilber.....	34
3.4 Verwitterungsverhalten der Elemente.....	34
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	35
5 Literatur.....	36
6 Tabellenverzeichnis.....	37
7 Abbildungsverzeichnis.....	37
8 Erläuterungen von Abkürzungen und Fachbegriffen.....	37

1 Einführung

Gesteine sind die Bausteine der Erdkruste. An der Erdoberfläche unterliegen sie der Verwitterung und liefern damit die Ausgangssubstanz für die natürlichen Medien Boden und Wasser. Auf diesem Wege sind Informationen über die Zusammensetzung der Gesteine auch über alle Nahrungsketten bis hin zum Menschen, gleichsam als Fingerabdrücke, zu verfolgen.

Die Untersuchung dieses Zusammenhanges zwischen der Geochemie der Gesteine einer bestimmten Region und den Wirkungen auf Lebewesen ist Gegenstand einer speziellen Forschungsrichtung der Umweltgeochemie, die als Geochemische Ökologie bezeichnet wird (KOVALSKIJ, 1977). Unter diesem Aspekt geht das Interesse an Daten über die stoffliche Zusammensetzung der Gesteine einer bestimmten Region weit über den Rahmen der Geowissenschaften hinaus. Wegen der stofflichen Verwandtschaftsbeziehungen von Gesteinen, insbesondere mit Böden und terrestrischen Wässern, besteht über das wissenschaftliche Interesse hinaus ein Bedarf an Kenntnissen über den Chemismus der Gesteine im Bereich der angewandten Naturwissenschaften sowie in der Umweltbeobachtung und -bewertung.

Über Gesteine Sachsens existiert eine fast unüberschaubare Fülle von geochemischen Untersuchungen. Nur wenige dieser Arbeiten bringen jedoch zusammenfassende Darstellungen über den Chemismus von Gesteinsgruppen (z. B. RÖSLER & WERNER, 1979: basische Gesteine; TISCHENDORF et al., 1987: Granitoide) oder größerer Regionen (PÄLCHEN et al., 1987). Für den Nichtspezialisten ist eine übersichtliche Information daher nur schwer zu gewinnen. Diesem Mangel sollen die vorliegenden Datenzusammenstellungen begegnen. Dem Maßstab der Kartendarstellung entsprechend, können nur mittlere Gehalte für größere Gesteins-einheiten dokumentiert werden. Eine geochemische Charakterisierung einzelner Gesteinsfolgen von Sedimenten oder Varietäten von magmatischen Gesteinen ist hier nicht beabsichtigt. Bei Bedarf können solche Daten jedoch bereitgestellt werden.

2 Gesteinsformationen Sachsens

2.1 Geologischer Bau

In Sachsen sind geologische Formationen verbreitet, die nahezu die gesamte Erdgeschichte repräsentieren. Beginnend mit dem Granulitgebirge, das dem mittleren Riphäikum (älter als 1 Mrd. Jahre) zugerechnet wird, sind bis zum Quartär alle geologischen Zeitalter vertreten (Abb. 1).

Das **Grundgebirgsstockwerk**, d. h. alle Gesteine, die von der variszischen Orogenese betroffen wurden, einschließlich der Granitoidmassive, ist in den morphologisch höher liegenden Landesteilen an der Grenze nach Böhmen oberflächlich aufgeschlossen. Dazu gehören das Erzgebirge-Vogtland im Südwesten mit Gneisen und Glimmerschiefern (Proterozoikum bis Kambrium), Phylliten (Oberkambrium bis Ordovizium), Tonschiefern, Quarziten, Grauwacken und Diabasen (Silur bis Unterkarbon) sowie permokarbonischen Graniten und die Oberlausitz im Osten mit alt- und

vorpaläozoischen Granodioriten. Dem Grundgebirgsstockwerk nach Nordwesten und Nordosten vorgelagert sind die Einheiten des **Molassestockwerkes** (Vorerzgebirgische Senke, Döhlener Senke, Nordwestsächsischer Vulkanitkomplex). In den Senken sind klastische Rotsedimente (Konglomerate, Schiefertone) mit Vulkaniteinschlüssen verbreitet. In den Antiklinalbereichen dominieren dagegen die Vulkanite (ignimbritische Rhyolithe).

Vom **Deckgebirgsstockwerk** sind die älteren Bildungen (Zechstein, Trias, Jura) primär nur gering verbreitet und auch nur relik-tisch erhalten. Ihr Flächenanteil ist vernachlässigbar klein. Starke Verbreitung besitzen dagegen die meist sandigen Ablagerungen der Kreide (Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge). Der gesamte Nordteil Sachsens wird von känozoischen Sedimenten (Tertiär, Quartär) bedeckt, die stellenweise weit nach Süden auf Molasse und Grundgebirge übergreifen, was von einer ehemals weiteren Verbreitung zeugt. Mit den magmatisch-tektonischen Ereignissen des Tertiärs im südlich angrenzenden Ohre-(Eger-) Graben (Böhmisches Mittelgebirge, Duppauer Gebirge) stehen die Basalt- und Phonolithergüsse am Erzgebirgskamm und in der Oberlausitz in Verbindung.

Die letzte morphologisch entscheidende Prägung erfährt Sachsen im Pleistozän durch die Wirkungen des von Norden vorstoßenden Inlandeises, insbesondere während der Elster-, Saale- und Weich-seleiszeit. Die damit im Zusammenhang stehenden Verwitterungs- und Bodenbildungsprozesse sind für die heutige Geländeoberfläche von Bedeutung.

2.2 Verbreitung und Häufigkeit der Hauptgesteinstypen

Den Hauptanteil der Oberfläche Sachsens nehmen mit ca. 43 % der Fläche die Lockersedimente des Känozoikums ein (Tab. 1). Nord- und Nordwestsachsen ist fast vollständig von Sanden, Kiesen, Tonen und Löß bedeckt. In Mittelgebirgsbereichen haben die quartären Bildungen Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis über 10 m. Im Hügelland treten durchschnittliche Mächtigkeiten von 5 bis >15 m, und im Tiefland von 10-25 m auf. Prätertiäre Gesteine sind hier nur in den Flußtätern angeschnitten. Die Oberlausitz ist im Norden ebenfalls von känozoischen Lockersedimenten bedeckt. Mittel- und Südsachsen sind durch anstehende oder oberflächennah auftretende paläozoische und proterozoische Gesteinskomplexe gekennzeichnet, zwischen denen das jungpaläozoische, mesozoische und känozoische Deckgebirge nur auf einzelne, mehr oder weniger flache Senken beschränkt ist.

6,6 % der Fläche Sachsens entfallen auf die bereits weitgehend wieder abgetragenen Sedimente der Kreide in der Elbezone. Die Rotliegendensedimente sind im wesentlichen auf das Döhlener Becken und die Vorerzgebirgische Senke beschränkt. Die Sedimente des Zechsteins sind nur noch in lokalen kleinen Vorkommen erhalten.

Der übrige Flächenanteil entfällt zu ca. 24 % auf die Parametamorphite (Tonschiefer, Glimmerschiefer, Gneise, Grauwacken, Granulite) des kristallinen Grundgebirges (Erzgebirge, Granulit-

Tab. 1: Flächenanteile der Hauptgesteinstypen im Freistaat Sachsen

Petrogeochemische Einheit	Flächenanteil [%]
Anthropogene Aufschüttungen	2,1
Quartäre Sedimente, gesamt	40,5
– Sandig-tonige Sedimente (Grundmoränen, Auen u. ä.)	20,6
– Sandige Sedimente (Schmelzwassersande, Flugsande)	14,6
– Löß	5,3
Tertiäre Sedimente	2,6
– Sandig-tonige Sedimente	
Kreidesedimente	2,9
– Sandsteine	
Permische Sedimente	3,7
– Klastische Sedimente stark wechselnder Korngröße (tonig, sandig, kiesig)	
Paläozoische/Präkambriische Sedimente und Metamorphite, gesamt	24,1
– Tonschiefer, Phyllite	11,2
– Gneise, Glimmerschiefer (incl. Grauwacken der Oberlausitz)	12,9
Magmatite, gesamt	24,1
– Granodiorite, Monzodiorite	9,7
– extrem saure Magmatite (Granite, Rhyolithe) und Orthometamorphite	11,6
– basische Magmatite und Metamorphite (Basalte, Diabase, Amphibolite)	2,8

gebirge) und der Schiefergebirge (Vogtländisches, Nossen-Wilsdruffer-, Elbtal- und Görlitzer Schiefergebirge). 9,7 % der Fläche Sachsens nehmen die proterozoischen und variszischen Granodiorite der Lausitz und die Monzodiorite des Meißner Komplexes ein und 11,6 % entfallen auf die extrem sauren Magmatite (i. w. Granite, Rhyolithe) und Orthometamorphite, die aus geochemischen Gründen gesondert ausgehalten werden. Die basischen Magmatite und Metamorphite besitzen einen Flächenanteil von 2,8 %.

3 Spurenlementgehalte in den Hauptgesteinstypen

3.1 Datengrundlagen

Über die Gehalte an Haupt- und Spurenelementen in den Gesteinen Sachsens liegt eine große Anzahl von Daten vor, die in den letzten Jahrzehnten zu unterschiedlichen Zwecken erhoben wurden. Die umfangreichsten Untersuchungsergebnisse lieferten staatliche Forschungsprogramme zur Klärung der Rohstoffhoffigkeit von großen geologischen Einheiten durch das Zentrale Geologische Institut Berlin sowie die Begleituntersuchungen zu Such- und Erkundungsarbeiten auf Zinn, Fluorit-Baryt, Uran u. a. Rohstoffe durch den VEB Geologische Forschung und Erkundung so-

wie die SDAG Wismut. Darüber hinaus sind viele Daten in Diplomarbeiten, Dissertationen und Forschungsberichten von Hochschulen sowie der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR dokumentiert.

Daraus wird ersichtlich, daß die zur Verfügung stehende Datenmenge in sich heterogen und qualitativ sehr unterschiedlich ist. Eine kritische Sichtung und Wertung des Materials war daher unerlässlich.

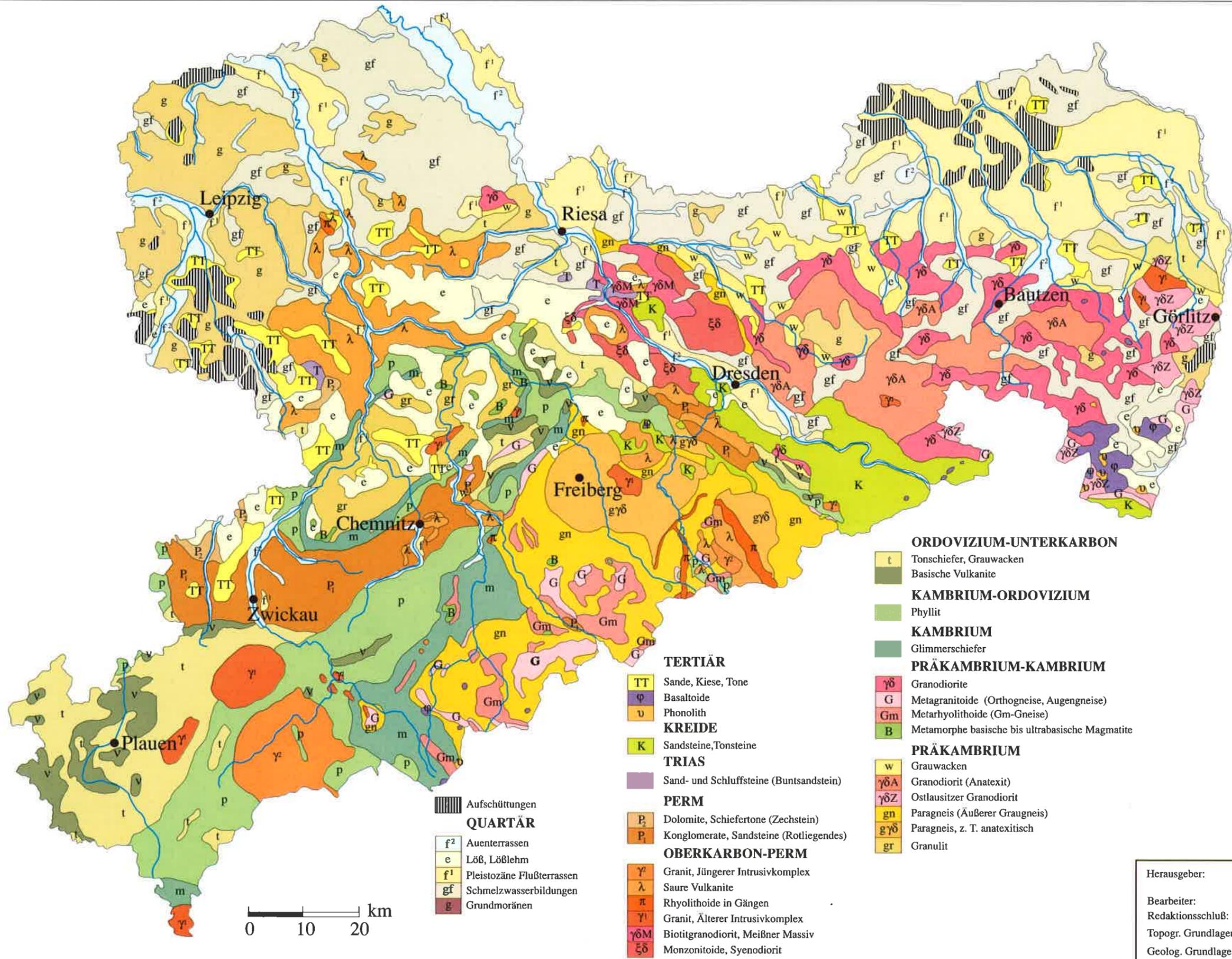
Da das Ziel des Vorhabens in der Erarbeitung von Werten für die mittlere Zusammensetzung der unveränderten Gesteine bestand, mußten alle Analysendaten von offensichtlich sekundär überprägten (hydrothermal veränderten, mineralisierten, verwitterten) Gesteinen eliminiert werden. Auch analytisch unzuverlässige Werte wurden von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Teilweise standen zusammengefaßte Ergebnisse größerer Datenpopulationen zur Verfügung, ohne auf die Einzelwerte zurückgreifen zu können. Diese Werte konnten nur zur Medianbildung, jedoch nicht zur Berechnung weiterer statistischer Parameter verwendet werden.

Bei der Sichtung der vorhandenen Daten wird ein sehr unterschiedlicher geochemischer Untersuchungsgrad augenfällig. Während die Einheiten des Grundgebirges und die Magmatite relativ gut belegt sind, gibt es zu den känozoischen Sedimenten, die einen großen Flächenanteil in Sachsen einnehmen, vergleichsweise sehr wenige Untersuchungen. Ebenso verhält es sich bei den Sedimenten des Mesozoikums und des Perms. Für diese Einheiten wurden in den geochemischen Karten lokale Untersuchungen auf große Flächen übertragen. In gut untersuchten Gesteinskomplexen werden die Medianwerte auch für kleinere Einheiten in der Karte dargestellt (z. B. Granite von Eibenstock, Kirchberg u. a.).

Die Analysenanzahl für die einzelnen Elemente schwankt sehr stark. Analytisch bedingt gibt es für die Elemente As und F weit aus weniger Analysendaten als für die übrigen Elemente (Tab. 16). Wegen unzureichender Analysenanzahl konnten von den umweltrelevanten Elementen Cd und Hg keine Elementkarten angefertigt werden, vorhandene Werte sind in Tabelle 15 dargestellt bzw. im Text erläutert.

3.2 Auswertung und Kartendarstellung

Ziel der Auswertung geeigneter Daten war die Berechnung von mittleren Gehalten wichtiger Spurenelemente in den Gesteinen. Diese Werte werden unter verschiedenen Bezeichnungen in der Literatur aufgeführt: lokaler geochemischer Untergrundgehalt, lokaler Clarke, geochemischer Background, Hintergrundwert. Damit wird der Chemismus des „normalen“ unveränderten Gesteins charakterisiert. Von den statistischen Maßzahlen eignet sich dafür am besten der Medianwert (M), d. h. der Gehalt, bei dem die Summenhäufigkeitskurve einer Datenpopulation 50 % beträgt (50. Perzentilwert, P 50). Der Medianwert ist statistisch robust gegenüber asymmetrischen und gemischten Verteilungen, d. h. gegenüber natürlichen Schwankungen und analytischen Ex-



Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
 Bereich Boden und Geologie Freiberg
 Bearbeiter: K. Kardel, H. Weidensdörfer
 Redaktionsschluß: 31.01.1995
 Topogr. Grundlagen: Landesvermessungsamt und LfUG
 Geolog. Grundlage: GÜK 400 Sachsen, Freiberg 1992

Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte des Freistaates Sachsen – Petrogochemische Einheiten

tremwerten (PÄLCHEN et al., 1987). In Analogie zur Vorgehensweise bei der Ermittlung von Hintergrundwerten für Böden (LABO, 1995) wurden für alle Datenkollektive die Anzahl der Stichproben (n), der Minimal- (x_{min}) und Maximalwert (x_{max}), der 50. Perzentilwert (M = P 50), der 90. Perzentilwert (P 90), der arithmetische Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (s) angegeben.

Für die Angabe des 90. Perzentilwertes wird üblicherweise eine Mindestzahl von n = 20 Proben gefordert. Im Gegensatz dazu beziehen sich im vorliegenden Beitrag die Standardabweichung und der 90. Perzentilwert auf einen Stichprobenumfang von n ≥ 10. Für Datenkollektive mit n < 10 sind die statistischen Kenngrößen nicht gesichert. In solchen Fällen sind der arithmetische Mittelwert und der Median in Klammern () gesetzt.

Da es sich bei den Daten für die Berechnung der Hintergrundwerte in vielen Fällen um Analysenwerte aus prospektionsgeochemischen Untersuchungen handelt, sind die Datenkollektive nur in Ausnahmefällen normal verteilt. Der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung sind daher nicht aussagefähig. Als Hintergrundwert wird der 50. Perzentilwert (Median) verwendet und in der Elementkarte dargestellt, da er nicht so sehr von stark differierenden Einzelwerten beeinflusst wird (PÄLCHEN et al., 1987).

Die Klasseneinteilung in den geochemischen Elementkarten beruht auf der Gesamtverteilung des betreffenden Elementes in allen Gesteinseinheiten. Über die Flächenverteilung der Gesteine wurde dazu als Hilfsgröße für jedes Element ein „mittlerer Gehalt für Sachsen“ ermittelt, der selbstverständlich unter geochemischen Gesichtspunkten völlig bedeutungslos ist. Dieser ist in der Regel in der „normalen“ Gehaltsklasse (Farbe: Gelb) eingeordnet und entspricht in seiner Bedeutung dem „Regionalen Clarke Sachsens“. Die statistischen Kenngrößen und die Art der Verteilung bedingen die Anzahl und Abstufung der Gehaltsklassen. Jeder Einheit wird auf dieser Basis eine Farbe für ihren mittleren Elementgehalt zugewiesen. Die grüne Farbgebung deutet auf niedrigere Gehalte gegenüber dem regionalen Mittelwert hin, die rote auf höhere Gehalte.

Für die Kartendarstellung wurden unter Berücksichtigung des Übersichtsmaßstabes stofflich weitgehend homogene Bereiche gebildet – die petrogeochemischen Einheiten. Als Grundlage dafür wurde die Geologische Übersichtskarte im Maßstab 1 : 400 000 (1992) verwendet, wobei die Konturen stark generalisiert und die dort nach stratigraphischen Gesichtspunkten dargestellten Gesteinsfolgen nach ihrer geochemischen Ähnlichkeit zusammengefaßt wurden.

In den Elementbeschreibungen wird zur groben Einordnung der Gehalte Bezug auf die Clarke-Werte für die obere kontinentale Erdkruste nach WEDEPOHL (1995) genommen.

3.3 Einzelbeschreibung ausgewählter Elemente

Die Auswahl der nachfolgend beschriebenen Spurenelemente richtet sich nach dem verfügbaren analytischen Elementspektrum der ausgewählten Daten. Für die besonders umweltrelevanten Elemente Cd und Hg liegen aus früheren Untersuchungen nur Analysendaten in einer für die Ermittlung von Hintergrundwerten unzureichenden Anzahl vor.

3.3.1 Arsen

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste beträgt nach WEDEPOHL (1995) 2,0 mg/kg, der mittlere Elementgehalt der Gesteine Sachsens ist demgegenüber mit 13 mg/kg As stark erhöht. Die Medianwerte der Hauptgesteinstypen streuen zwischen 1,9 und 44 mg/kg As (Tab. 16).

Normale bis niedrige As-Gehalte (<1,5 mg/kg) treten in den quartären und tertiären Sedimenten, in den Granodioriten der Lausitz und des Meißner Massivs, in den Graniten des Westerzgebirges und den Phylliten, Glimmerschiefern und Paragneisen Sachsens auf (Tab. 2, Abb. 2).

Leicht erhöhte As-Gehalte (15-25 mg/kg) haben die Flußterrassen des Quartärs, die Sedimente der Kreide, die Tonschiefer des Vogtlandes, die Orthometamorphite des Erzgebirges (Metagranitoide, Metarhyolithoide) und die sauren Vulkanite des Osterzgebirgischen Eruptivkomplexes, des Tharandter Waldes, des Döhlener Beckens und des Nordwestsächsischen Eruptivkomplexes sowie die basischen Vulkanite des Vogtlandes. Die relativ hohen As-Gehalte (20 mg/kg) in den Sedimenten der Flußauen sind auf Abtragung As-führender Mineralisationen (Arsenopyrit, ged. As u. a.) aus dem Erzgebirge zurückzuführen, z. T. aber auch durch anthropogene Einträge bedingt. Die größte Anzahl der untersuchten Auensedimente lag in der Elbaue. Dieser Mittelwert wurde auch auf die Auensedimente der Nebenflüsse übertragen.

Die höchsten As-Gehalte (>25 mg/kg) treten in den Jüngeren Graniten des Ost- und Mittelerzgebirges und dem Granitporphyr von Altenberg - Frauenstein auf. Die Jüngeren Granite und die Rhyolithoide des östlichen und mittleren Erzgebirges weisen hinsichtlich des Elementes As eine geochemische Spezialisierung auf, wobei eine Beeinflussung durch disperse As-führende Mineralisationen nicht auszuschließen ist. Die ebenfalls erhöhten As-Gehalte in den Sedimenten der Trias und des Perms sind wegen der sehr niedrigen Probenanzahl unsicher. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich. Die As-Anreicherung in den Rotliegendesedimenten der Vorerzgebirgischen und Döhlener Senke ist wahrscheinlich auf die Abtragung As-führender Vererzungen des Erzgebirges und die As-Affinität an die hohen Fe-Gehalte dieser Gesteine zurückzuführen.

Tab. 2: Arsengehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	As in mg/kg						
		x_{min}	x_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	28	5,0	74	25	15	40	20
Löß, Lößlehm	e	17	4,0	85	17	24	78	8,0
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	26	2,0	44	18	11	40	16
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	2,0	61	(16)	–	–	(5,0)
Grundmoräne	g	14	2,0	85	17	21	57	(10)
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	4	4,0	24	(13)	–	–	(12)
Basaltoide	φ	39	0,20	6,3	2,2	1,6	4,2	1,9
Phonolithe	ϑ	10	2,4	16	6,5	4,1	15	5,8
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	20	15	30	20	5,2	30	20
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2	17	31	(24)	–	–	(24)
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	4	23	53	(34)	–	–	(30)
Sedimente des Rotliegenden	P1	13	18	107	47	24	91	44
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	38	1,0	161	29	35	62	18
Saure Vulkanite	λ	170	1,0	30	4,2	3,4	8,0	3,0
Rhyolithoide in Gängen	π	10	k. A.					26
Ältere Granite	γ ¹	7	1,0	9,0	(4,6)	–	–	(5,0)
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	14	1,2	15	4,8	3,8	13	3,3
Monzonitoide	ξδ	24	1,1	29	5,1	5,4	8,0	3,8
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	534	1,0	451	24	40	52	14
Basische Vulkanite	v	164	1,0	5.200	85	426	100	19
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	62	1,0	158	27	32	61	15
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	62	1,0	255	14	35	26	4,5
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	91	5,0	125	19	16	36	15
Metagranitoide	G	3	3,0	35	(19)	–	–	(19)
Metarhyolithoide	Gm	4	3,0	60	(30)	–	–	(22)
Rumburger Granit	G	k. A.						k. A.
Metabasite	B	135	1,0	902	31	93	66	9,0
Serpentine		k. A.						k. A.
Amphibolite		28	1,0	66	6,8	12	15	3,5
Gabbro		k. A.						k. A.
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	2	3,2	65	(4,8)	–	–	(4,8)
Granodiorit (Anatexit)	γδA	29	k. A.					9,5
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	k. A.						k. A.
Paragneis	gn	14	1,0	29	8,5	6,9	20	8,4
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	k. A.						k. A.
Granulit	gr	33	1,0	15	4,7	3,6	11	4,0

() Daten statistisch nicht gesichert,
k. A. keine Angabe,
– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

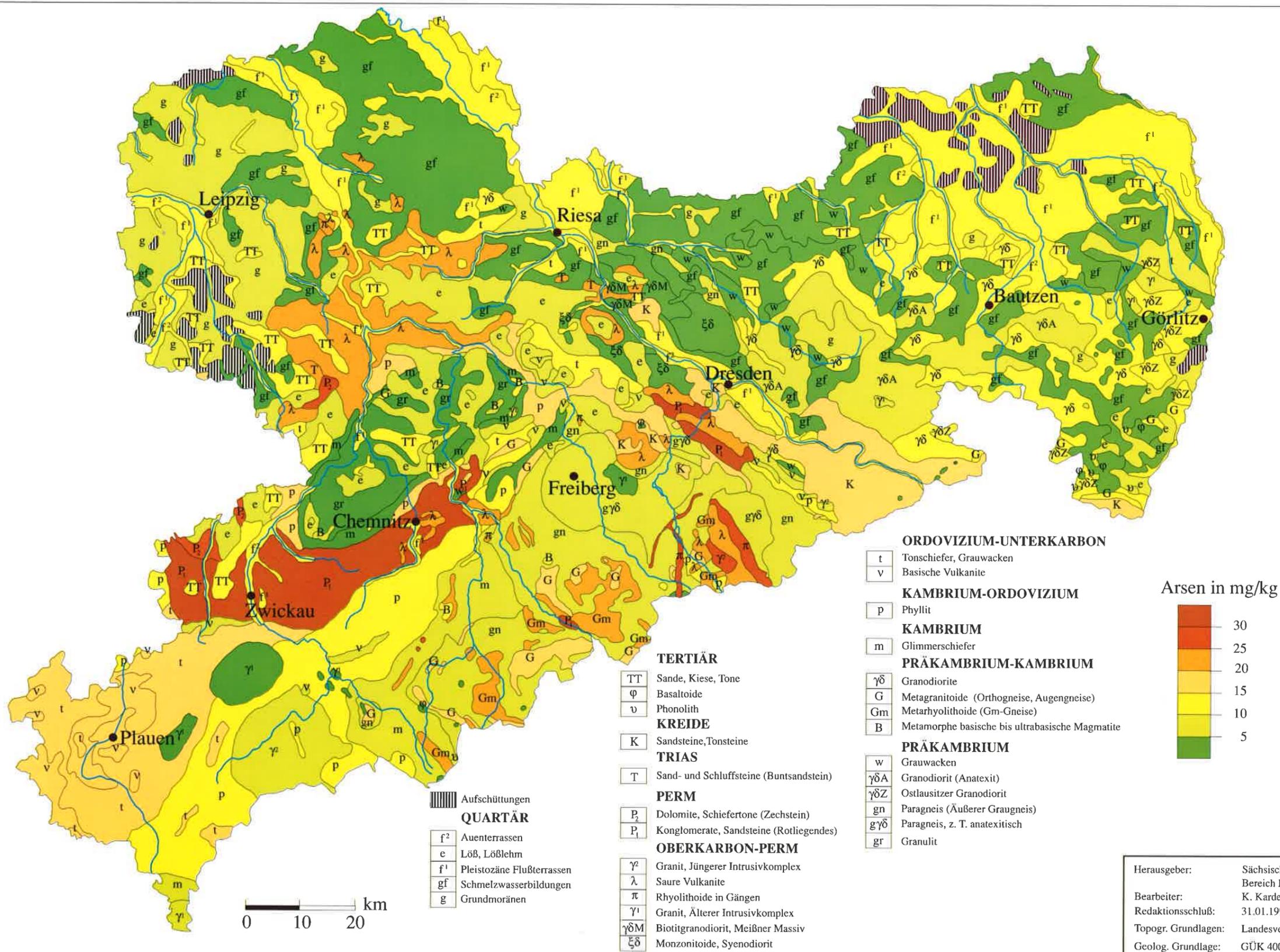


Abb. 2: Mittlere Arsengehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.2 Bor

Der mittlere B-Gehalt der oberen kontinentalen Erdkruste liegt nach WEDEPOHL (1995) bei 17 mg/kg. In den Gesteinen Sachsens ist der mittlere B-Gehalt demgegenüber mit 37 mg/kg deutlich erhöht. Die Medianwerte der B-Gehalte in den Gesteinseinheiten variieren zwischen 5 und 65 mg/kg (Tab. 16).

Gehalte unter dem Clarke treten im Erzgebirge im gesamten Gebiet der Paragneise einschließlich des Osterzgebirgischen Eruptivkomplexes und der Orthometamorphite auf (Tab. 3, Abb. 3). Analog verhält es sich in Mittelsachsen, wo im Bereich des Granulits und des Nordwestsächsischen Eruptivkomplexes sowie deren Bedeckung mit Löß, ebenfalls niedrige B-Gehalte auftreten. Bemerkenswert ist die starke Differenzierung der B-Gehalte innerhalb der basischen metamorphen Magmatite. Während die Amphibolite und Gabbros des Erzgebirges und Mittelsachsens durch niedrige B-Gehalte gekennzeichnet sind (5-13 mg/kg), können die Serpentine Mittelsachsens B-Gehalte um 60 mg/kg aufweisen. Die Gesteine der Elbezone und des Lausitzer Massivs (ohne känozoische Sedimente) einschließlich der tertiären Vulkanite haben im Durchschnitt B-Gehalte zwischen 16 und 32 mg/kg.

Leicht erhöhte Gehalte treten in den Phylliten, den Grauwacken und Glimmerschiefern des Westerzgebirges/Vogtlandes und Mittelsachsens, dem Eibenstocker Granit, dem Fichtelgebirgsgranit und den Sedimenten des Perms, Tertiärs und Quartärs (Grundmoränen, Schmelzwasserbildungen) auf.

Die Tonschiefer Sachsens sind mit B-Gehalten >64 mg/kg die Gesteine mit den höchsten B-Anreicherungen. Für die Sedimente der Trias und des Zechsteins liegen keine Untersuchungen vor.

Der B-Gehalt der Parametamorphite (Phyllit, Glimmerschiefer, Paragneis) wird im wesentlichen durch den Reifegrad der sedimentären Edukte (Pelitanteil) bestimmt (PÄLCHEN et al., 1987). Andererseits kann eine B-Verarmung bei der Metamorphose beobachtet werden, die speziell beim Übergang der Grünschiefer zur Amphibolitfazies auftritt (HOTH et al., 1985; BEUGE, 1989). Nach PÄLCHEN & OSSENKOPF (1989) ist außerdem für alle Granite des Mittel- und Westerzgebirges und des Nordvogtlandes (ohne Kirchberger Granit) das Auftreten von starken B-Anomalien im Kontaktbereich der Granite charakteristisch.

In Magmatiten und Kontaktmetamorphiten ist B hauptsächlich in Glimmern und in Form des verwitterungsresistenten Turmalins gebunden, der infolgedessen auch in Sedimenten als B-Träger auftritt.

Tab. 3: Borgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	B in mg/kg					
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50
QUARTÄR							
Auensedimente f ²	10	0,50	45	36	17	45	30
Löß, Lößlehm e	2	10	13	(12)	–	–	(12)
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	4	12	86	(40)	–	–	(40)
Schmelzwasserablagerungen gf	9	8,5	101	(55)	–	–	(55)
Grundmoräne g	4	10	72	(46)	–	–	(50)
TERTIÄR							
Tertiäre Sedimente TT	11	27	124	59	36	120	42
Basaltoide φ	55	3,0	22	13	4,9	19	14
Phonolithe ϑ	6	6,5	22	(17)	–	–	(20)
KREIDE							
Sedimente der Kreide K	5	13	46	(27)	–	–	(28)
TRIAS							
Sedimente der Trias T				k. A.			k. A.
PERM							
Sedimente des Zechsteins P2				k. A.			k. A.
Sedimente des Rotliegenden P1	3	55	70	(60)	–	–	(55)
OBERKARBON – PERM							
Jüngere Granite γ ²	41	18	140	36	21	52	30
Saure Vulkanite λ	74	1,0	51	18	10	30	16
Rhyolithoide in Gängen π	12	4,0	12	7,8	2,8	12	7,5
Ältere Granite γ ¹	20	20	45	27	6,2	36	24
Biotitgranodiorit Meißen γδM	10	20	31	24	3,7	31	23
Monzonitoide ξδ	33	16	44	29	7,2	41	28
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON							
Tonschiefer, Grauwacken t	1.140	1,0	1.200	75	66	130	65
Basische Vulkanite v	239	3,5	265	26	27	46	17
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM							
Phyllite p	402	5,0	1.500	78	150	100	60
KAMBRIUM							
Glimmerschiefer m	95	1,0	230	45	30	70	38
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM							
Granodiorite γδ	517	1,0	150	22	12	32	21
Metagranitoide G	20	5,0	45	20	10	33	21
Metarhyolithoide Gm	63	5,0	100	24	24	63	17
Rumburger Granit G	96	5,0	130	20	18	26	14
Metabasite B							
Serpentine	29	9,0	180	71	43	140	62
Amphibolite	44	5,0	30	14	5,0	19	13
Gabbro	20	5,0	49	12	12	29	5,0
PRÄKAMBRIUM							
Grauwacken w	116	13	180	53	33	91	42
Granodiorit (Anatexit) γδA	99			k. A.			27
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	195	10	43	23	5,6	30	23
Paragneis gn	307	5,0	90	25	10	k. A.	10
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	196	5,0	16	15	18	31	10
Granulit gr	92	7,0	264	27	32	73	16

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

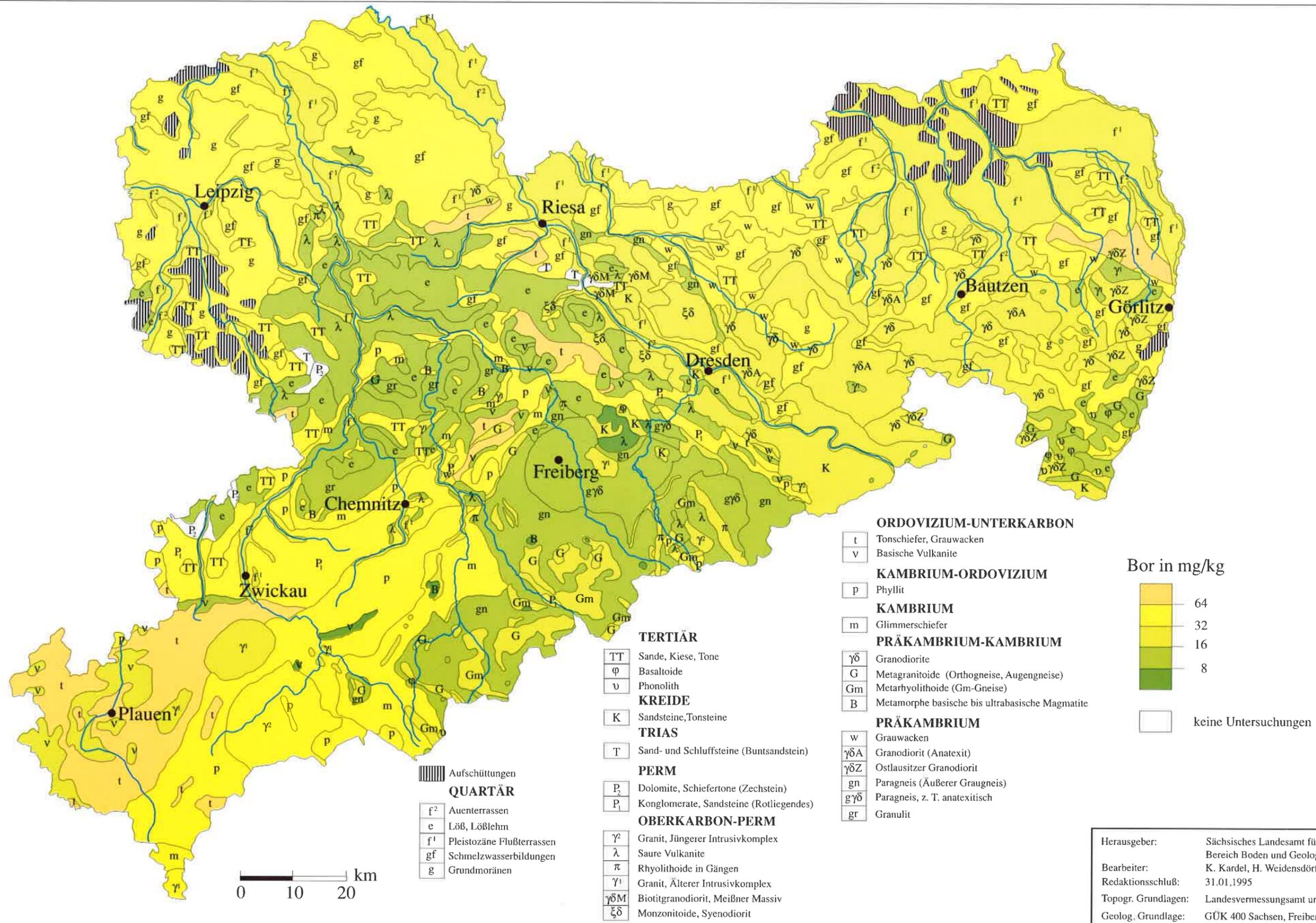


Abb. 3: Mittlere Borgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.3 Barium

Der mittlere Ba-Gehalt für die Gesteine in Sachsen beträgt 420 mg/kg, der Clarke der oberen kontinentalen Kruste wird mit 668 mg/kg Ba angegeben. In den sächsischen Gesteinen treten Ba-Gehalte (Medianwerte) zwischen 33 und 1.800 mg/kg auf (Tab. 16).

Die niedrigsten Gehalte <160 mg/kg sind in den Sedimenten der Kreide, dem Eibenstocker Granit, den Rhyolithen des Osterzgebirges von Flöha und Meißen sowie dem Rumburger Granit vorhanden (Tab. 4, Abb. 4).

Mittlere Ba-Gehalte von 320-640 mg/kg treten in den Granuliten und Tonschiefern Mittelsachsens, den Glimmerschiefern, den Orthogneisen, dem porphyrischen Mikrogranit von Altenberg - Frauenstein und den Sedimenten des Rotliegenden, des Tertiärs und Quartärs (Grundmoränen und holozäne Auensedimente) auf.

Leicht erhöhte Ba-Gehalte von 640-1.280 mg/kg haben die nordwestsächsischen Vulkanite, die Anatexite, Granodiorite und Grauwacken der Lausitz, die Tonschiefer des Vogtlandes, die Phyllite des Erzgebirges und Mittelsachsens und die Paragneise.

Ba-Gehalte >1.280 ppm treten nur in den Granodioriten und Monzonitoiden des Meißner Massivs, den Phonolithen der Lausitz und des Erzgebirges und dem Granit von Mittweida auf. Letztere Gesteine verfügen bereits über eine beträchtliche Anreicherung des intermediären Elementes Ba gegenüber dem krustalen Clarke (TISCHENDORF et al., 1987).

Innerhalb der Magmatite treten die stärksten Differenzierungen hinsichtlich der Ba-Gehalte auf. Die sauren jüngeren Granite haben mit durchschnittlichen Ba-Gehalten von 50 mg/kg gegenüber den intermediären Magmatiten des Meißner Eruptivkomplexes mit Gehalten >1.000 mg/kg Ba deutlich niedrigere Ba-Konzentrationen. Bei den basischen Magmatiten fallen die Serpentinite mit 33 mg/kg Ba gegenüber den Gabbros und Basaltoiden mit ca. 700 mg/kg und den Phonolithen mit >1.000 mg/kg durch extrem niedrige Ba-Gehalte auf. Auch hier wird die verstärkte Anreicherung von Ba in den intermediären Gesteinen bestätigt.

Bei der Verwitterung geht das Ba zunächst in Lösung und wird adsorptiv oder karbonatisch fixiert.

Tab. 4: Bariumgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Ba in mg/kg						
		x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	21	144	523	335	110	500	335
Löß, Lößlehm	e	4	194	255	(220)	26	–	(210)
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	20	122	794	340	160	570	320
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	191	416	(260)	–	–	(230)
Grundmoräne	g	4	258	433	(355)	–	–	(370)
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	19	50	1.000	390	205	560	395
Basaltoide	φ	104	56	6.158	960	740	1.500	760
Phonolithe	ϑ	9	104	2.014	(1.150)	–	–	(1.300)
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	9	40	382	(155)	–	–	(115)
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2	250	270	(260)	–	–	(260)
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	4	118	443	(270)	–	–	(260)
Sedimente des Rotliegenden	P1	13	162	550	360	130	535	380
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	41	50	590	89	97	150	50
Saure Vulkanite	λ	89	25	1.650	520	430	1.100	460
Rhyolithoide in Gängen	π	59	60	925	585	200	850	590
Ältere Granite	γ ¹	20	50	945	310	220	530	265
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	24	288	2.148	1.250	600	2.000	1.400
Monzonitoide	ξδ	57	512	4.250	1.900	690	3.000	1.800
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	1.161	1,0	6.300	740	550	1.300	630
Basische Vulkanite	v	263	1,0	4.600	510	740	1.400	240
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	396	40	7.611	730	485	940	680
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	95	3,0	1.407	590	300	955	640
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	557	35	3.500	700	260	960	695
Metagranitoide	G	37	310	980	610	160	900	580
Metarhyolithoide	Gm	187	10	5.200	510	450	810	460
Rumburger Granit	G	96	16	500	130	110	340	90
Metabasite	B							
Serpentinite		29	1,0	840	87	160	190	33
Amphibolite		134	1,0	5.000	320	450	600	235
Gabbro		20	50	1.200	580	430	1.100	680
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	117	170	2.600	820	330	1.150	690
Granodiorit (Anatexit)	γδA	99			k. A.			800
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	196	35	1.700	750	200	1.000	700
Paragneis	gn	507	10	2.470	685	200	840	700
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	196	60	1.870	650	240	900	660
Granulit	gr	113	13	4.867	440	615	790	340

() Daten statistisch nicht gesichert,

k. A. keine Angabe,

– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

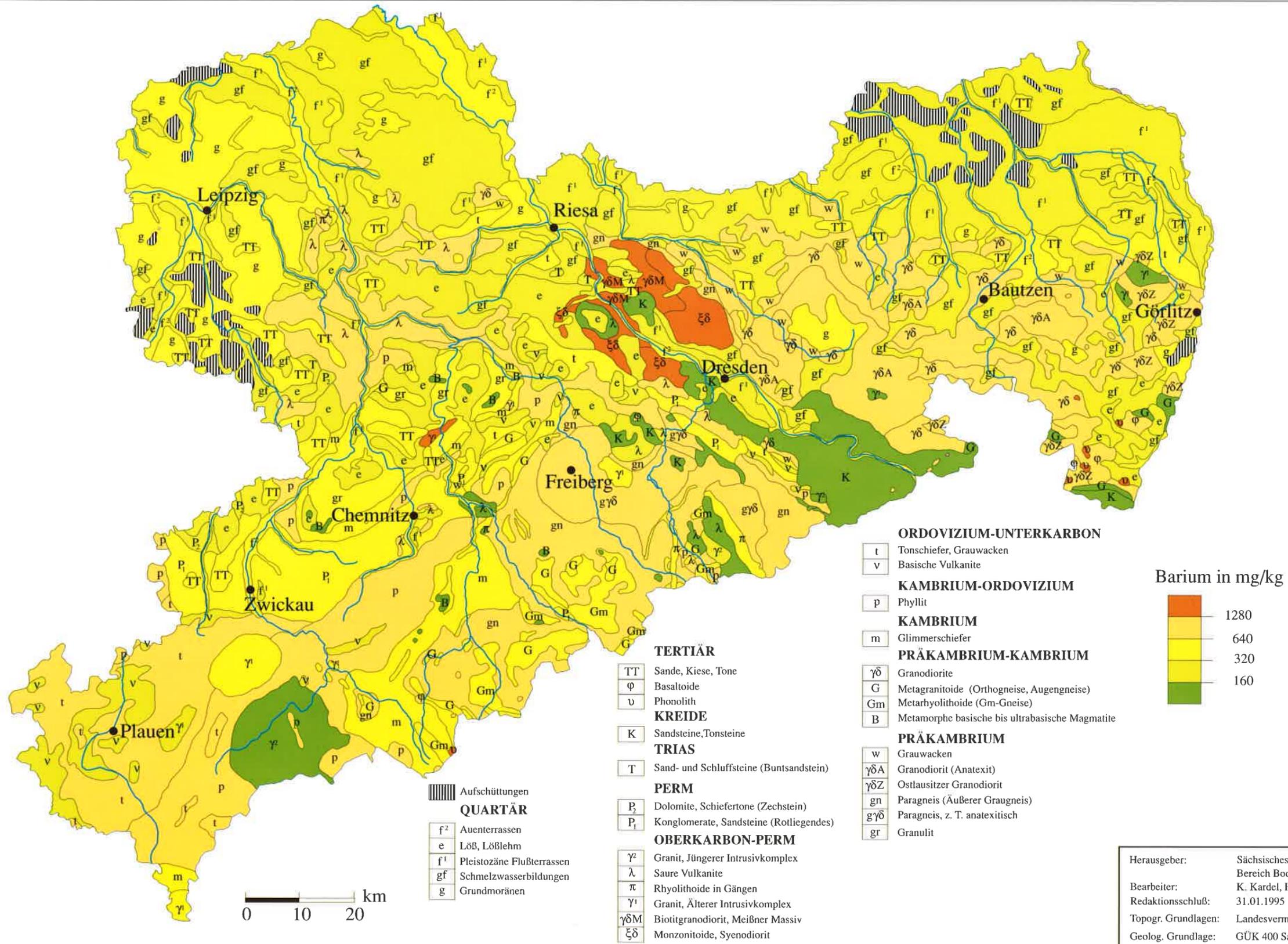


Abb. 4: Mittlere Bariumgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.4 Cadmium

Für das umweltrelevante Element Cd konnte wegen unzureichender Menge an Analysendaten keine tabellarische Zusammenstellung und Karte angefertigt werden. Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste beträgt nach WEDEPOHL (1995) 0,1 mg/kg. Die wenigen vorhandenen Daten für sächsische Gesteine liegen im Bereich von 0,14-0,5 mg/kg Cd.

Der mittlere Cd-Gehalt von Sedimenten (Känozoikum, Mesozoikum) beträgt ca. 0,25 mg/kg, wobei der Gehalt dort von sandigem (~ 0,14 mg/kg) zu tonigem (~ 0,5 mg/kg) Material zunimmt.

Übereinstimmend damit haben die Sandsteine der Kreide sehr niedrige Cd-Gehalte von 0,2 mg/kg, die durchschnittlichen Gehalte der Rotliegendesedimente betragen 0,3 mg/kg. Die sauren Magmatite haben durchschnittliche Gehalte von 0,3 mg/kg, die basischen Vulkanite und Magmatite von 0,4 mg/kg.

Für die Parametamorphite werden bei den Tonschiefern durchschnittliche Gehalte von 0,5 mg/kg, für Phyllite 0,3 mg/kg, für die Glimmerschiefer 0,4 mg/kg und für die Paragneise 0,2 mg/kg Cd angegeben.

Für eine hinreichende Bewertung reicht die vorliegende Datenbasis nicht aus. Auf Grund seiner chemischen Verwandtschaft zum Zn tritt Cd häufig in Zn-führenden Gesteinen (Tonschiefer) und Mineralen (Zinkblende) in höheren Konzentrationen auf.

3.3.5 Kobalt

Die Karte der Co-Gehalte zeigt die geringe Differenzierung der Gesteine Sachsens in Bezug auf basaltophile Elemente (Abb. 5). Der mittlere Co-Gehalt beträgt wie der Clarke der oberen kontinentalen Kruste 12 mg/kg. In den Gesteinen treten Co-Gehalte zwischen 0,74 und 87 mg/kg auf (Tab. 5).

Co ist gemeinsam mit Cr, Cu und Ni hauptsächlich in den basischen bis ultrabasischen Gesteinen angereichert, wobei die höchsten Co-Gehalte (>40 mg/kg) die basischen Vulkanite, die Metabasite und die tertiären Basaltoide Sachsens besitzen. Die Serpentine weisen mit 87 mg/kg die mit Abstand am höchsten Konzentrationen an Co auf. Gesteine mit hohen Gehalten an Fe- und Mn-reichen Mineralen haben in der Regel auch hohe Co-Gehalte.

Eine deutliche Verarmung an Co tritt in allen sauren bis intermediären Magmatiten, den Orthometamorphiten des Erzgebirges und dem Ostlausitzer Granodiorit auf. Diese Gesteine haben durchschnittliche Co-Gehalte zwischen 1 und 4 mg/kg. Auch die Sedimente der Kreide fallen durch besonders niedrige Co-Gehalte auf.

Gehalte im Bereich des Clarke-Wertes haben die Phyllite und Tonschiefer des Vogtlandes, des Westerzgebirges, Mittelsachsens und der Lausitz, die Sedimente der Rotliegendesenken, die präkambrischen Grauwacken, der Anatexit der Lausitz, die Monzonitoide des Meißner Eruptivkomplexes, die Vulkanite des Döhleener Beckens und die Sedimente der holozänen und pleistozänen Flußauen.

Co-Gehalte zwischen 20 und 40 mg/kg treten im Löß, den Zechsteinsedimenten und den Phylliten des Elbtalschiefergebirges auf.

Innerhalb der gesteinsbildenden Minerale ist Co häufig in Silikaten (Pyroxene, Chlorit, Olivin) angereichert.

Bei der Verwitterung geht das Co in Lösung und wird sorptiv an Manganhydroxiden fixiert.

Tab. 5: Kobaltgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Co in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	28	8,0	36	16	7,9	36	14
Löß, Lößlehm	e	4	20	26	(22)	–	–	(22)
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	26	2,5	36	15	10	32	13
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	5,0	22	(10)	–	–	(10)
Grundmoräne	g	10	2,9	18	8,0	3,9	17	7,5
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	10	4,0	22	10	6,7	22	9,2
Basaltoide	φ	111	16	154	47	17	59	44
Phonolithe	ϑ	13	11	23	16	4,2	22	15
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	5	1,5	6,1	(2,4)	–	–	(1,5)
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2	12	18	(15)	–	–	(15)
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	4	28	50	(34)	–	–	(30)
Sedimente des Rotliegenden	P1	22	5	36	12	7,2	24	11
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	102	0,20	9,2	1,2	1,3	2,3	0,74
Saure Vulkanite	λ	74	0,20	7,5	3,0	1,8	6,0	2,0
Rhyolithoide in Gängen	π	12	1,5	5,0	3,2	1,1	4,7	3,0
Ältere Granite	γ ¹	76	0,35	19	3,6	2,7	6,1	3,1
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	24	1,0	12	4,5	2,8	9,2	4,1
Monzonitoide	ξδ	57	2,0	50	19	12	41	17
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	1.193	0,20	340	20	19	32	17
Basische Vulkanite	v	309	2,5	142	46	22	77	41
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	402	1,5	85	16	8,1	23	16
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	95	2,5	72	16	10	24	15
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	543	0,20	60	12	7,1	17	10
Metagranitoide	G	17	1,5	14	4,6	2,7	7,6	4,0
Metarhyolithoide	Gm	63	0,30	16	4,0	3,9	12	3,0
Rumburger Granit	G	96	0,50	8,0	2,3	1,2	4,1	2,0
Metabasite	B							
Serpentine		29	52	6.500	350	1.200	570	87
Amphibolite		134	6,0	120	44	17	60	46
Gabbro		20	30	60	43	8,0	55	44
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	117	6,0	56	15	6,7	23	14
Granodiorit (Anatexit)	γδA	99			k. A.			14
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	196	5,0	43	12	4,7	17	11
Paragneis	gn	118	4,0	15	8,7	1,9	11	8,0
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	196	1,5	60	9,3	5,4	13	9,0
Granulit	gr	89	1,0	41	8,6	6,5	16	7,0

() Daten statistisch nicht gesichert,

k. A. keine Angabe,

– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

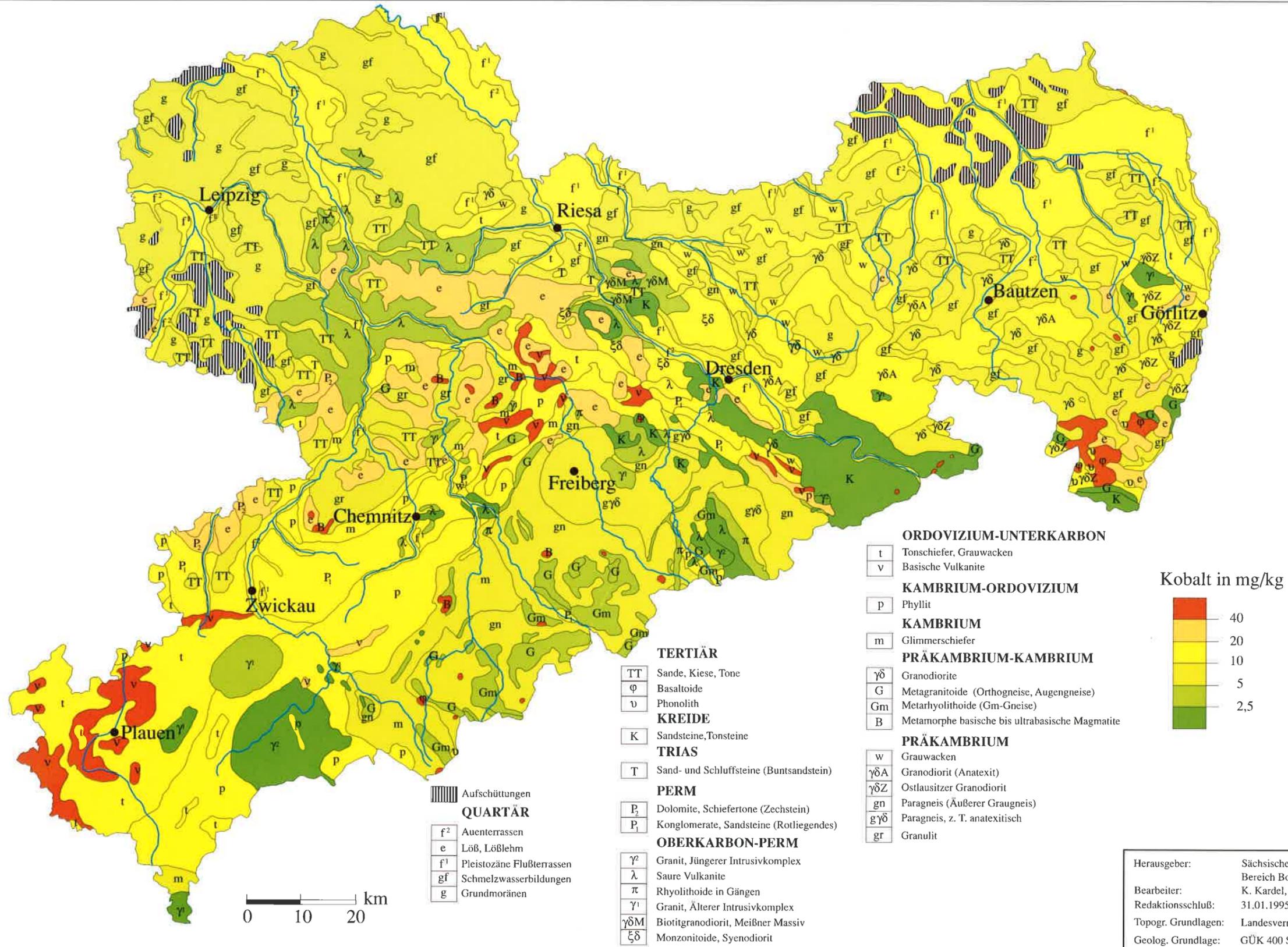


Abb. 5: Mittlere Kobaltgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.6 Chrom

Von den basaltophilen Elementen zeigt das Cr eine geringe Variabilität in den Gesteinstypen (<100 mg/kg), erfährt aber in den basischen und ultrabasischen Gesteinen eine deutliche bis extreme Anreicherung. Der mittlere Cr-Gehalt der sächsischen Gesteine beträgt 57 mg/kg¹ (Tab. 16).

Die sauren Magmatite, Vulkanite und Orthometamorphite zeichnen sich durch extrem niedrige Cr-Gehalte aus (<12 mg/kg). Mit der Zunahme des basischen Charakters der Magmatite und den z. T. verstärkt auftretenden dunklen Gemengteilen (Amphibole, Hornblenden, Biotite), steigen die Cr-Gehalte deutlich an (Monzonitoide, Granodiorite). Im Verwitterungsprozeß und während des anschließenden Transportes wird Cr im Fe- und Al-reichen Detritus akkumuliert. Infolge dieser Abhängigkeit schwanken die Cr-Gehalte zwischen 24-48 mg/kg (Schmelzwassersande, pleistozäne Flußauen) und 48-96 mg/kg in tertiären und paläozoischen Sedimenten sowie in den Parametamorphiten (Tab. 6, Abb. 6).

Die höchsten Cr-Gehalte besitzen die tertiären Basaltoide sowie die basischen bis ultrabasischen metamorphen Magmatite. Dabei werden maximale Cr-Gehalte in den Serpentiniten erreicht (>2.000 mg/kg).

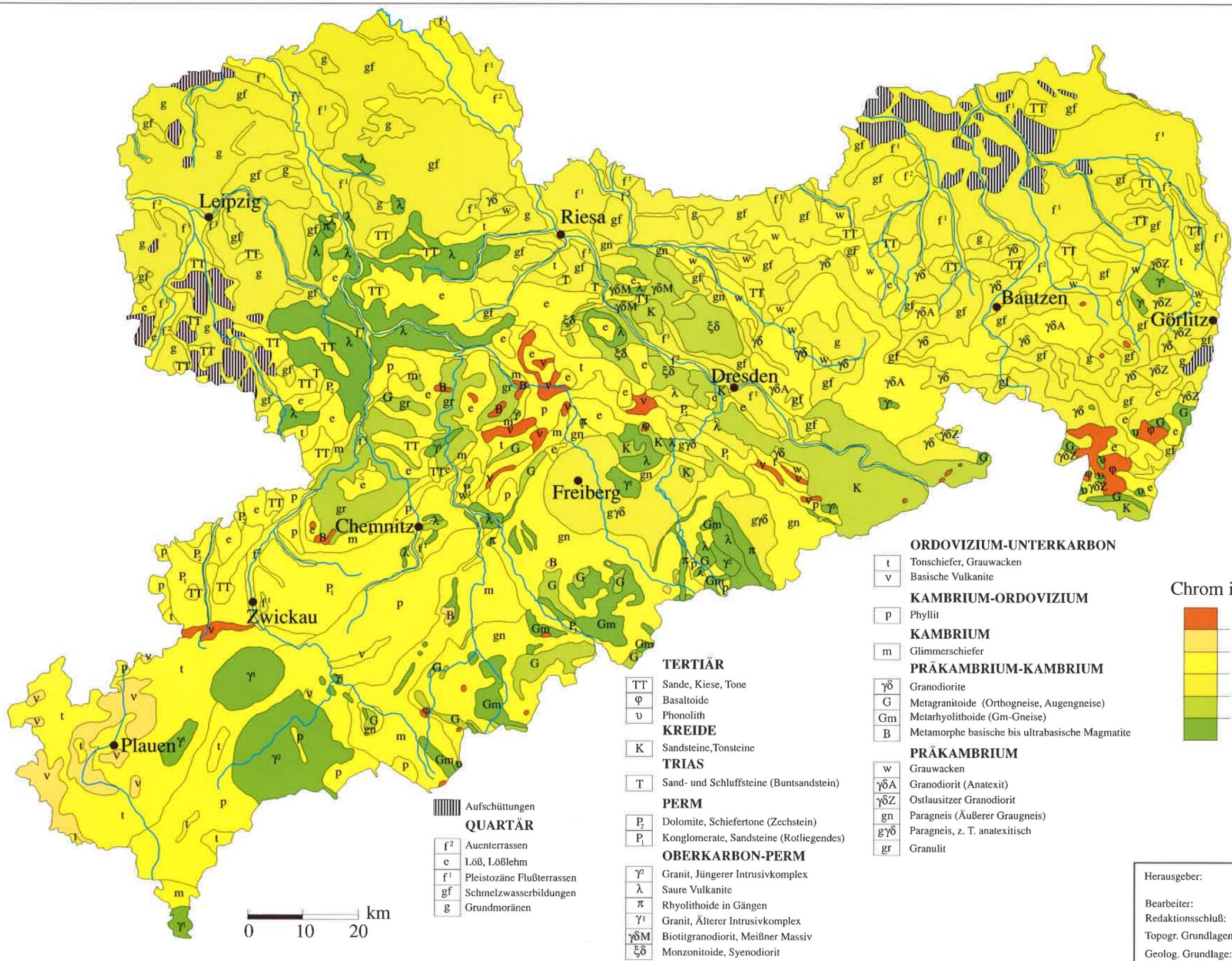
Tab. 6: Chromgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Cr in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	28	26	168	59	27	88	54
Löß, Lößlehm	e	17	45	96	61	20	95	56
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	26	20	88	48	20	81	43
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	24	87	(51)	–	–	(46)
Grundmoräne	g	14	18	103	50	22	89	45
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	19	5,0	152	67	40	130	59
Basaltoide	φ	103	50	978	310	185	555	270
Phonolithe	ϑ	3			k. A.			5,0
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	9	10	58	(25)	–	–	(17)
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2	40	64	(52)	–	–	(52)
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	4	43	141	(82)	–	–	(73)
Sedimente des Rotliegenden	P1	24	13	117	51	30	94	50
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	41	1,0	10	3,0	1,9	7,2	2,5
Saure Vulkanite	λ	64	1,0	33	9,4	6,1	18	7,0
Rhyolithoide in Gängen	π	4	4,0	5,0	(4,7)	–	–	(5,0)
Ältere Granite	γ ¹	20	1,5	8,5	4,7	1,9	7,6	4,5
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	21	2,5	76	18	17	41	14
Monzonitoide	ξδ	55	2,5	550	47	91	105	20
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	1.203	0,90	1.000	90	59	130	82
Basische Vulkanite	v	307	2,5	1.570	220	240	485	145
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	402	5,0	500	75	42	100	70
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	94	4,0	175	67	34	105	71
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	519	5,0	280	32	19	50	28
Metagranitoide	G	19	4,0	30	14	6,6	23	13
Metarhyolithoide	Gm	5	3,5	10	(7,3)	–	–	(8,0)
Rumburger Granit	G	96	0,50	25	8,5	5,7	17	8,0
Metabasite	B							
Serpentinite		29	1.100	10.000	2.800	2.200	6.250	2.050
Amphibolite		44	10	2.100	280	440	590	115
Gabbro		20	180	1.500	880	545	1.500	755
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	117	24	230	58	26	86	56
Granodiorit (Anatexit)	γδA	99			k. A.			57
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	196	6,5	280	33	24	52	28
Paragneis	gn	118	18	133	56	13	69	55
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	196	0,50	480	49	38	73	44
Granulit	gr	92	2,0	1.400	49	150	80	24

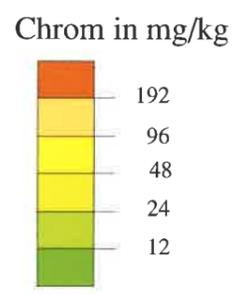
() Daten statistisch nicht gesichert,
k. A. keine Angabe,
– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

¹ Der Clarke der oberen Erdkruste wird in WEDEPOHL (1995) mit 35 mg/kg Cr angegeben. Für die sächsischen Gesteine würde das eine deutliche Erhöhung ihres durchschnittlichen Gehaltes gegenüber dem Cr-Clarke bedeuten, was sich aber durch den prozentualen hohen Anteil an sauren Gesteinen im untersuchten Gebiet nicht bestätigen ließe. In WEDEPOHL (1967) wird der Cr-Clarke mit 70 mg/kg angegeben, was als Bezugswert realistischer zu sein scheint.

Cr



- ORDOVIZIUM-UNTERKARBON**
- t Tonschiefer, Grauwacken
 - v Basische Vulkanite
- KAMBRIUM-ORDOVIZIUM**
- p Phyllit
- KAMBRIUM**
- m Glimmerschiefer
- PRÄKAMBRIUM-KAMBRIUM**
- γδ Granodiorite
 - G Metagranitoide (Orthogneise, Augengneise)
 - Gm Metarhyolithoide (Gm-Gneise)
 - B Metamorphe basische bis ultrabasische Magmatite
- PRÄKAMBRIUM**
- w Grauwacken
 - γδA Granodiorit (Anatexit)
 - γδZ Ostlausitzer Granodiorit
 - gn Paragneis (Äußerer Graugneis)
 - gγδ Paragneis, z. T. anatexitisch
 - gr Granulit



- TERTIÄR**
- TT Sande, Kiese, Tone
 - φ Basaltoide
 - v Phonolith
- KREIDE**
- K Sandsteine, Tonsteine
- TRIAS**
- T Sand- und Schluffsteine (Buntsandstein)
- PERM**
- P₂ Dolomite, Schiefertone (Zechstein)
 - P₁ Konglomerate, Sandsteine (Rotliegendes)
- OBERKARBON-PERM**
- γ² Granit, Jüngerer Intrusivkomplex
 - λ Saure Vulkanite
 - π Rhyolithoide in Gängen
 - γ¹ Granit, Älterer Intrusivkomplex
 - γδM Biotitgranodiorit, Meißner Massiv
 - ξδ Monzonitoide, Syenodiorit

- QUARTÄR**
- f² Auenterrassen
 - e Löß, Lößlehm
 - f¹ Pleistozäne Flußterrassen
 - gf Schmelzwasserbildungen
 - g Grundmoränen



Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
 Bereich Boden und Geologie Freiberg
 Bearbeiter: K. Kardel, H. Weidensdorfer
 Redaktionsschluß: 31.01.1995
 Topogr. Grundlagen: Landesvermessungsamt und LfUG
 Geolog. Grundlage: GÜK 400 Sachsen, Freiberg 1992

Abb. 6: Mittlere Chromgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.7 Kupfer

Auch beim Element Cu treten in Sachsen keine flächenmäßig bedeutsamen Anreicherungen in den Gesteinen auf. Der Hauptanteil der Gesteine hat niedrige bis leicht erhöhte Cu-Gehalte. Der mittlere Cu-Gehalt Sachsens ist mit 24 mg/kg gegenüber dem Clarke der oberen kontinentalen Kruste von 14 mg/kg Cu erhöht. Die Cu-Gehalte der sächsischen Gesteine schwanken zwischen 2,0 und 67 mg/kg (Tab. 16).

Die niedrigsten Cu-Gehalte <7 mg/kg treten wieder vorwiegend in sauren Gesteinen, wie den erzgebirgischen und vogtländischen Graniten und Rhyolithen, den nordwestsächsischen Rhyolithen, den sauren Vulkaniten und Granodioriten des Meißner Massivs und dem Rumburger Granit auf (Tab. 7, Abb. 7).

Mittlere Cu-Gehalte zwischen 14 und 28 mg/kg treten im gesamten Komplex der Paramorphite des Vogtlandes und Erzgebirges sowie in fast allen Sedimenten des Tafel- und Deckgebirgsstockwerkes auf. Demgegenüber sind die Gehalte der Ton-schiefer und Phyllite der Schiefergebirge leicht erhöht.

Cu-Gehalte zwischen 28 und 56 mg/kg kommen in den Anatexiten und Grauwacken der Lausitz, in den Monzonitoiden des Meißner Massivs und den Sedimenten der Trias vor.

Die höchsten Gehalte >56 mg/kg haben die kambroordovizischen basischen Vulkanite, die Metabasite des Erzgebirges, die tertiären Basaltoide und die Sedimente des Zechsteins. In letzteren verursachen feindispers verteilte Pyritmineralisationen im Sediment die erhöhten Cu-Gehalte (SIEGERT, 1908).

Innerhalb der Magmatite ist das Element Cu in den intermediären und basischen Gesteinen angereichert.

Die Sedimente weisen meist, bis auf die der Trias und des Zechsteins, keine großen Differenzierungen in den Cu-Gehalten auf. Bei letzteren sind jedoch die geringen Stichprobenzahlen zu beachten.

Tab. 7: Kupfergehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Cu in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	23	10	238	38	42	70	24
Löß, Lößlehm	e	17	8,0	48	17	9,4	31	15
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	26	8,0	120	24	21	36	20
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	10	54	(25)	–	–	(22)
Grundmoräne	g	14	8	19	13	3,1	19	12
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	19	1,0	50	17	15	44	13
Basaltoide	φ	108	22	165	66	28	94	60
Phonolithe	ϑ	13	3,0	14	5,6	3,7	13	3,0
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	9	8,0	28	(17)	–	–	(18)
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2	51	56	(54)	–	–	(54)
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	4	18	100	(58)	–	–	(58)
Sedimente des Rotliegenden	P1	22	14	92	25	17	45	22
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	41	1,0	102	12	25	68	2,0
Saure Vulkanite	λ	90	1,0	127	8,9	14	18	6,2
Rhyolithoide in Gängen	π	31	2,5	36	7,8	7,6	15	5,0
Ältere Granite	γ ¹	20	1,0	14	2,8	3,1	7,6	2,0
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	10	1,0	12	6,3	6,0	9,2	5,4
Monzonitoide	ξδ	32	1,0	215	61	59	142	40
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	1.195	1,0	1.077	58	94	150	31
Basische Vulkanite	v	296	6,0	1.200	77	107	120	58
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	402	1,0	270	34	34	66	27
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	90	3,5	91	24	18	51	18
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	543	1,0	200	25	21	45	21
Metagranitoide	G	37	4,5	41	13	8,3	27	10
Metarhyolithoide	Gm	196	2,0	220	25	29	55	14
Rumburger Granit	G	95	0,50	33	3,7	5,1	6,9	2,0
Metabasite	B							
Serpentinite		29	1,0	460	65	120	240	15
Amphibolite		44	2,0	190	64	47	140	46
Gabbro		20	32	300	84	61	175	67
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	115	1,0	350	40	42	68	32
Granodiorit (Anatexit)	γδA	70			k. A.			33
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	196	1,0	160	28	20	45	25
Paragneis	gn	118	13	110	31	13	43	28
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	196	3,0	750	27	55	36	20
Granulit	gr	94	1,0	60	12	9,9	24	9,0

() Daten statistisch nicht gesichert,
k. A. keine Angabe,
– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

Cu

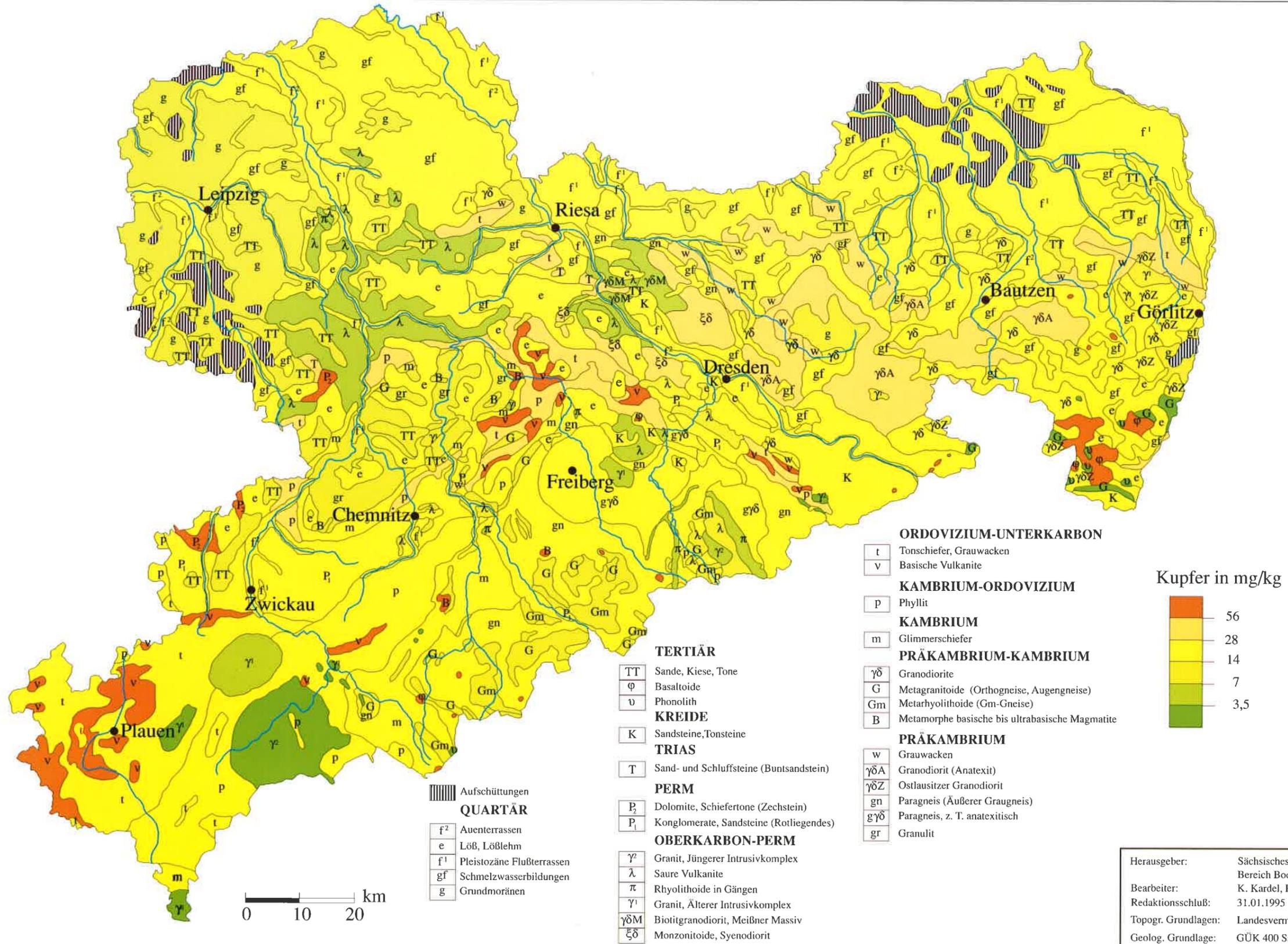


Abb. 7: Mittlere Kupfergehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.8 Fluor

Die F-Gehalte in den Gesteinen Sachsens liegen zwischen 100 und 7.800 mg/kg (Tab. 16). Der mittlere Elementgehalt beträgt 670 mg/kg und liegt nur wenig über dem Clarke der oberen kontinentalen Kruste von 611 mg/kg.

Niedrige bis mittlere F-Gehalte (<300-700 mg/kg) treten im gesamten nördlichen Teil Sachsens in den quartären und tertiären Sedimenten, dem Nordwestsächsischen Vulkanitkomplex, in den Kreidesedimenten der Elbezone und den Grauwacken und Granodioriten der Lausitz auf (Tab. 8, Abb. 8).

Mittlere F-Gehalte von 500-700 mg/kg haben gleichfalls die Glimmerschiefer, die Para- und Orthogneise des Erzgebirges und die Sedimente des Erzgebirgischen und Döhlener Beckens.

Erhöhte F-Gehalte von 700-900 mg/kg treten in den Phylliten und Tonschiefern des Erzgebirges, Mittelsachsens und des Elbtal-schiefergebirges, den basischen Vulkaniten des Vogtlandes und des Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirges und den tertiären Basaltoiden auf.

F-Gehalte >1.100 mg/kg haben die Granite von Eibenstock, Markersbach, Schellerhau und Ehrenfriedersdorf. Sie sind auf die extreme Anreicherung von granitophilen Elementen (Rb, F, Sn) der Jüngeren Granite zurückzuführen. Der Rumburger Granit, die Rhyolithe von Augustusburg und Teplice und der Zeisigwalder Porphyrtuff besitzen ebenfalls sehr hohe F-Gehalte, die auf eine geochemische Spezialisierung dieser Gesteine hindeuten.

Bei normalen Gehalten ist F in Gesteinen meist an Tonminerale und Glimmer gebunden. In den sauren Magmatiten mit stark erhöhten F-Konzentrationen treten außer Glimmer auch Fluorit und Topas als Trägerminerale auf.

Tab. 8: Fluorgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	F in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente f ²	17	195	740	480	150	670	490	
Löß, Lößlehm e	13	226	446	305	59	410	285	
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	10	111	544	320	160	540	330	
Schmelzwasserablagerungen gf	9	102	113	(105)	–	–	(110)	
Grundmoräne g	14	791	666	410	165	650	360	
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente TT	4	167	1107	(500)	–	–	(360)	
Basaltoide φ	27	650	1750	1050	270	1550	985	
Phonolithe ϑ	3	790	1450	(1000)	–	–	(795)	
KREIDE								
Sedimente der Kreide K	9	100	582	(215)	–	–	(100)	
TRIAS								
Sedimente der Trias T				k. A.			k. A.	
PERM								
Sedimente des Zechsteins P2				k. A.			k. A.	
Sedimente des Rotliegenden P1	8	419	863	(605)	–	–	(545)	
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite γ ²	39	2.700	16.500	7.500	2.700	11.000	7.800	
Saure Vulkanite λ	32	100	3.400	740	770	2.200	450	
Rhyolithoide in Gängen π	8	200	800	(460)	–	–	(400)	
Ältere Granite γ ¹	18	200	1.500	790	360	1.450	800	
Biotitgranodiorit Meißen γδM	3	500	650	(550)	–	–	(500)	
Monzonitoide ξδ	6	150	1.500	(740)	–	–	(650)	
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken t	154	500	3.550	870	350	1.100	800	
Basische Vulkanite υ	16	200	1.800	880	380	1.450	850	
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite p	11	500	900	755	145	900	800	
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer m	21	400	1.500	860	300	1.400	800	
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite γδ	54	100	1.500	620	300	1.050	600	
Metagranitoide G	4	100	700	(475)	–	–	(550)	
Metarhyolithoide Gm				k. A.			k. A.	
Rumburger Granit G	2	1.200	1.500	(1.350)	–	–	(1.350)	
Metabasite B	4	100	1.400	(700)	–	–	(650)	
Serpentine								
Amphibolite				k. A.			k. A.	
Gabbro								
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken w	64	170	1.250	610	230	920	560	
Granodiorit (Anatexit) γδA	29			k. A.			605	
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	4	600	1.100	(725)	–	–	(600)	
Paragneis gn	8	200	800	(590)	–	–	(600)	
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	3	600	700	(630)	–	–	(600)	
Granulit gr	4	500	1.300	(725)	–	–	(500)	

() Daten statistisch nicht gesichert,
k. A. keine Angabe,
– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

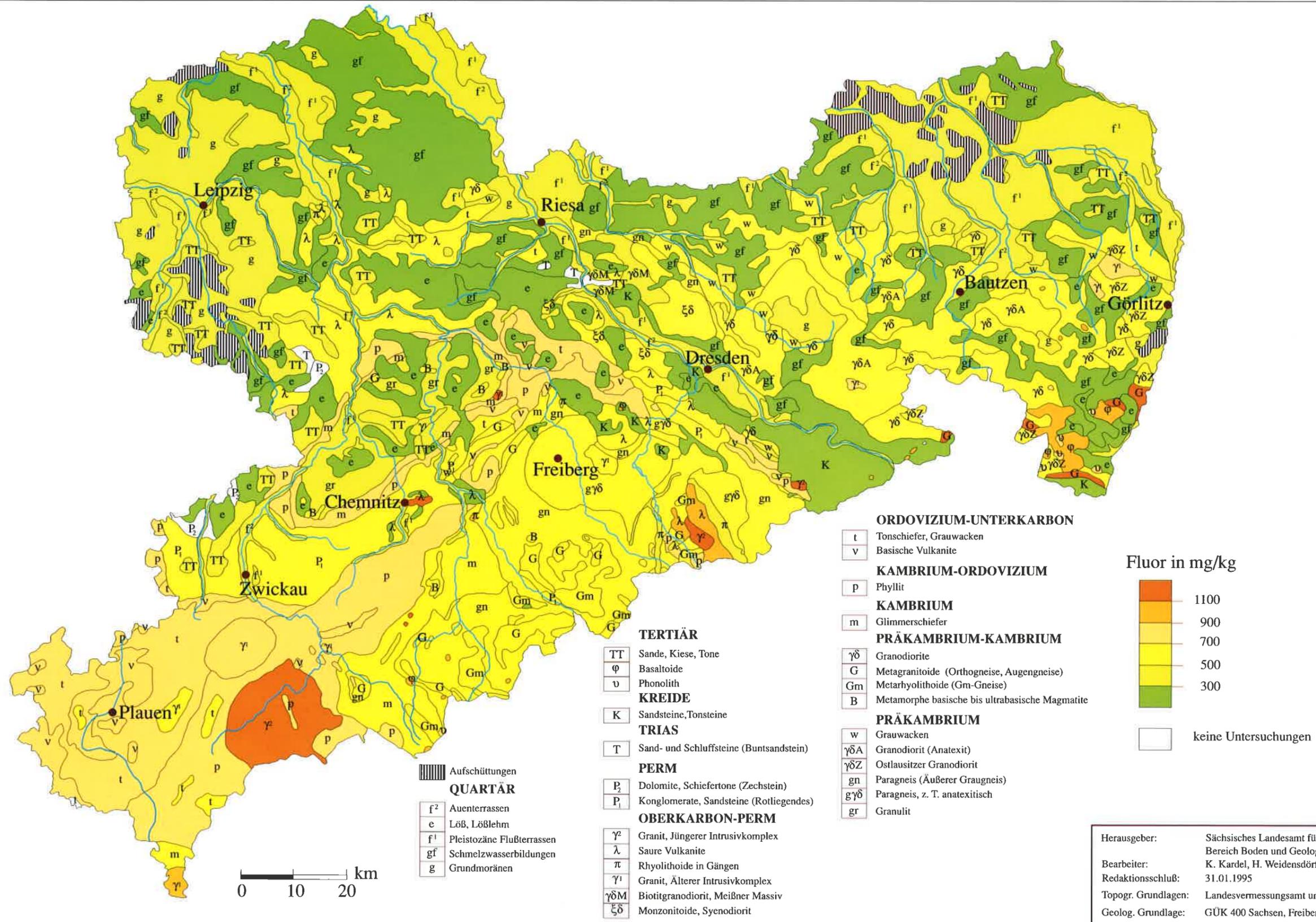


Abb. 8: Mittlere Fluorgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.9 Nickel

Das Element Ni weist in Sachsen ähnlich den anderen basaltophilen Elementen wie Cr und Co, flächenmäßig eine geringe Differenzierung hinsichtlich seiner Gehalte auf. Die Ni-Gehalte der sächsischen Gesteine liegen im Durchschnitt zwischen 1,0 und 40 mg/kg (Tab. 16) und erreichen nur in ultrabasischen Gesteinen Spitzengehalte von 1.900 mg/kg (Serpentinite). Der regionale Mittelwert Sachsens liegt mit 20 mg/kg im Bereich des Clarke der oberen Kruste von 19 mg/kg.

Die niedrigsten Ni-Gehalte <10 mg/kg treten in den sauren Magmatiten, den Orthometamorphiten und den Sedimenten der Kreide auf. Die Ni-Gehalte der intermediären Magmatite (Granodiorite, Monzonitoide) liegen dagegen meist zwischen 10 und 20 mg/kg (Tab. 9, Abb. 9).

Mittlere Gehalte zwischen 20 und 40 mg/kg Ni haben analog den Elementen Cu und Cr die Parametamorphite des Erzgebirges und Vogtlandes sowie die Sedimente des Perms, der Trias und des Tertiärs. In der Lausitz erreichen die proterozoischen Grauwacken und Anatexite Ni-Gehalte um 35 mg/kg. Die Tonschiefer Mittelsachsens zeichnen sich gegenüber den Tonschiefern des Erzgebirges/Vogtlandes, der Lausitz und des Elbtalschiefergebirges durch erhöhte Ni-Gehalte aus. Gehalte zwischen 40 und 80 mg/kg Ni haben die basischen Vulkanite der Lößnitz-Zwönitzer Senke und des Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirges.

Ni-Gehalte über 80 mg/kg treten nur in den paläozoischen, basischen Vulkaniten des Vogtlandes und des Elbtalschiefergebirges, den tertiären basischen Vulkaniten sowie in den Metabasiten Mittelsachsens und des Erzgebirges auf. Das Ni ist in den basischen und ultrabasischen Gesteinen hauptsächlich an Hornblenden, Pyroxene, Olivin- und Serpentinminerale gebunden.

Tab. 9: Nickelgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Ni in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente f ²	28	11	58	22	11	37	18	
Löß, Lößlehm e	18	14	40	23	8,6	36	18	
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	26	3,0	42	17	9,8	33	16	
Schmelzwasserablagerungen gf	9	5,0	58	(18)	–	–	(12)	
Grundmoräne g	14	6,0	38	16	8,7	32	13	
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente TT	18	4,0	44	20	12	38	21	
Basaltoide φ	111	7,0	633	135	92	210	120	
Phonolithe ϑ	5	11	106	(53)	–	–	(65)	
KREIDE								
Sedimente der Kreide K	9	1,5	13	(4,5)	–	–	(2,5)	
TRIAS								
Sedimente der Trias T	2	22	38	(30)	–	–	(30)	
PERM								
Sedimente des Zechsteins P2	4	8,0	52	(28)	–	–	(25)	
Sedimente des Rotliegenden P1	24	10	70	25	13	38	22	
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite γ ²	41	0,50	8,0	2,5	1,6	4,0	2,0	
Saure Vulkanite λ	74	0,10	15	3,8	2,9	7,5	3,0	
Rhyolithoide in Gängen π	12	1,5	17	6,2	5,2	16	5,0	
Ältere Granite γ ¹	20	2,0	16	4,2	3,1	7,3	3,5	
Biotitgranodiorit Meißen γδM	10	7,7	18	12	2,8	18	12	
Monzonitoide ξδ	33	5,3	230	31	44	54	20	
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken t	1.202	0,50	630	53	54	105	39	
Basische Vulkanite υ	309	1,5	2.114	160	240	400	80	
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite p	402	2,5	750	43	43	56	40	
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer m	90	2,5	72	34	15	57	32	
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite γδ	543	0,10	235	18	15	33	16	
Metagranitoide G	20	3,0	30	8,2	5,5	11	7,0	
Metarhyolithoide Gm	53	0,30	46	8,7	11	23	4,0	
Rumburger Granit G	96	0,50	4,5	1,4	0,94	3,0	1,0	
Metabasite B								
Serpentinite	29	1.050	10.000	2.450	2.300	7.400	1.900	
Amphibolite	132	6,0	1050	150	140	320	110	
Gabbro	20	38	600	135	120	180	110	
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken w	117	10	145	42	21	63	35	
Granodiorit (Anatexit) γδA	99			k. A.			36	
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	196	1,5	75	22	10	37	20	
Paragneis gn	509	1,5	500	26	24	42	23	
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	196	3,0	230	19	22	27	16	
Granulit gr	94	2,5	300	32	66	44	13	

() Daten statistisch nicht gesichert,
k. A. keine Angabe,
– Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

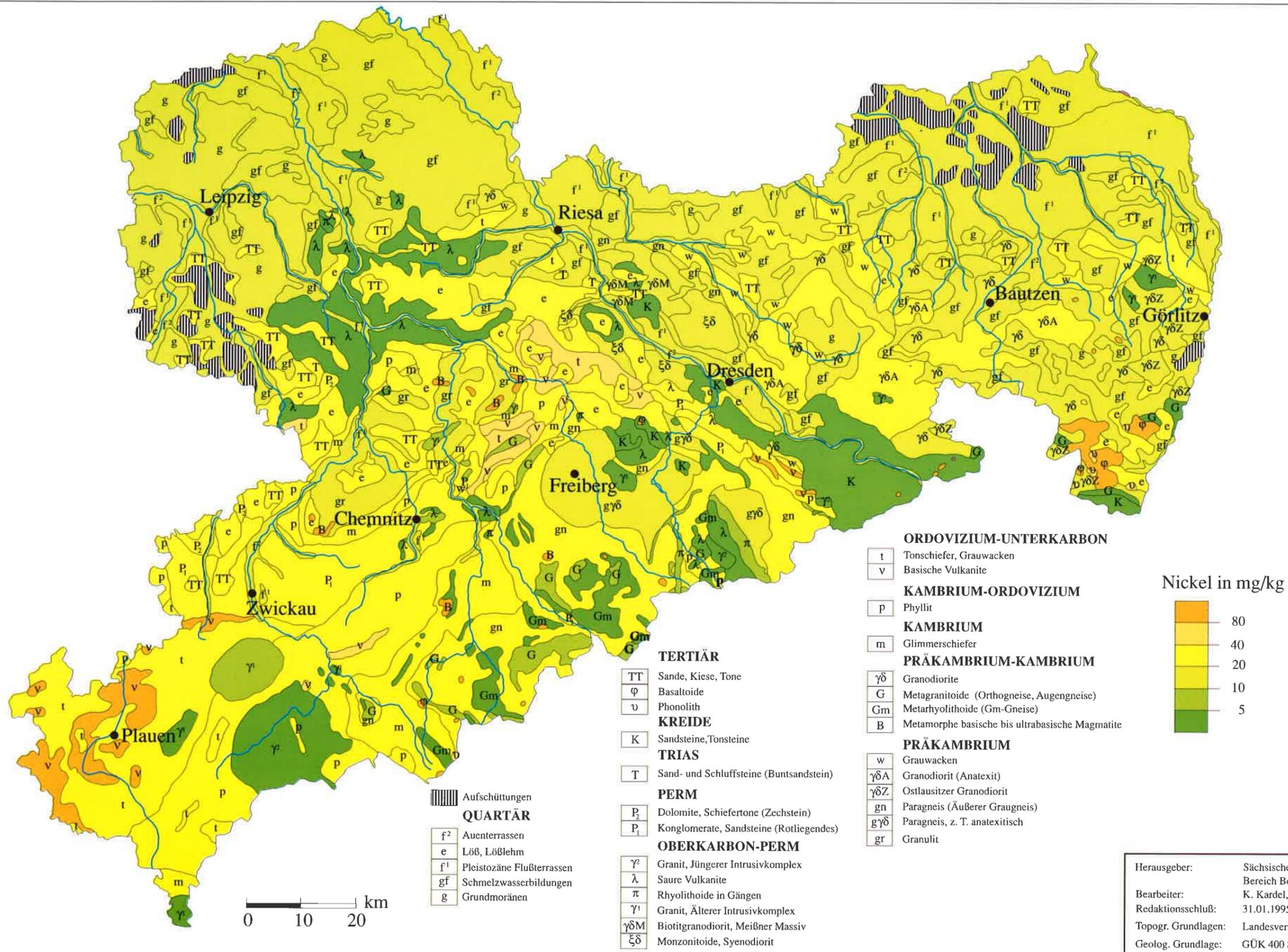


Abb. 9: Mittlere Nickelgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.10 Blei

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste wird von WEDEPOHL (1995) mit 17 mg/kg angegeben. Der mittlere Pb-Gehalt sächsischer Gesteine ist demgegenüber mit 20 mg/kg nur leicht erhöht.

Im einzelnen variieren die mittleren Pb-Gehalte der Gesteine zwischen 2 und 57 mg/kg. Der Hauptanteil weist dabei Gehalte <30 mg/kg Pb auf (Tab. 16).

Die niedrigsten Gehalte haben die tertiären Basalte, die basischen Magmatite in den oberdevonischen Tonschieferfolgen und die metamorphen basischen Magmatite in den altpaläozoischen und präkambrischen Metamorphitkomplexen (Tab. 10, Abb. 10).

Niedrige bis mittlere Pb-Gehalte (12-24 mg/kg) haben alle prävariszischen Metamorphite, Magmatite und Sedimentite, die Gesteine des Nordwestsächsischen Eruptivkomplexes, die Sedimente der Rotliegendebetten und die Schmelzwassersande des Quartärs.

Leicht erhöhte Gehalte treten in den fluviatilen Sedimenten des Quartärs, den Grundmoränen, den tertiären Sedimenten, den Glimmerschiefern Mittelsachsens und den Rhyolithoiden des Osterzgebirges, des Tharandter Waldes und des Meißner Eruptivkomplexes auf.

Bei den variszischen Graniten ist eine deutliche Differenzierung der Pb-Gehalte zu beobachten. Nach PÄLCHEN et al. (1982) besteht dabei eine positive Korrelation zwischen dem Pb-Gehalt und dem Th/U-Verhältnis.

Die niedrigsten Pb-Gehalte treten in den Jüngeren Graniten des Vogtlandes und Westerbirges auf (z. B. Eibenstocker Granit: 15 mg/kg). Besonders hohe Gehalte besitzen die Granitoide der Elbezone (Monzonitoide und Granodiorite von Meißen), die Lausitzer Stockgranite und die kleinen Intrusivkörper des Granulitgebirges (Mittweida, Berbersdorf: >42 mg/kg).

Sehr hohe bis hohe Pb-Gehalte treten ebenfalls im Unteren Tuff der Vorerzgebirgischen Senke im Raum Chemnitz auf. Auch die Sedimente des Zechsteins und der Löß haben durchschnittliche Pb-Gehalte >40 mg/kg.

Tab. 10: Bleigehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Pb in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente f ²	28	18	93	39	18	62	35	
Löß, Lößlehm e	17	22	70	44	16	70	42	
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	26	14	66	28	13	48	25	
Schmelzwasserablagerungen gf	9	12	28	(17)	–	–	(16)	
Grundmoräne g	14	17	34	26	4,5	32	26	
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente TT	19	4,0	87	30	23	63	28	
Basaltoide φ	63	2,5	30	9,0	5,3	16	8,0	
Phonolithe ϑ	13	3,5	24	11	4,9	20	11	
KREIDE								
Sedimente der Kreide K	9	21	38	27	–	–	(24)	
TRIAS								
Sedimente der Trias T	2	22	35	(28)	–	–	(28)	
PERM								
Sedimente des Zechsteins P2	4	32	112	64	–	–	(57)	
Sedimente des Rotliegenden P1	24	4,0	52	20	9,0	28	18	
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite γ ²	41	3,5	63	19	16	46	10	
Saure Vulkanite λ	100	0,50	150	31	27	65	23	
Rhyolithoide in Gängen π	44	5,0	50	26	12	48	21	
Ältere Granite γ ¹	20	7,0	55	32	9,7	45	30	
Biotitgranodiorit Meißen γδM	47	19	93	45	16	65	44	
Monzonitoide ξδ	103	15	67	37	9,5	51	36	
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken t	1.014	1,5	395	24	36	44	14	
Basische Vulkanite v	244	2,0	900	34	109	45	11	
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite p	400	2,5	1.500	34	81	50	21	
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer m	90	4,0	242	46	53	140	26	
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite γδ	519	2,5	95	20	7,5	27	20	
Metagranitoide G	20	11	30	21	5,7	30	22	
Metarhyolithoide Gm	194	3,5	670	41	78	65	21	
Rumburger Granit G	96	10	57	25	9,6	37	24	
Metabasite B								
Serpentinite	8	1,5	2.413	(310)	–	–	(11)	
Amphibolite	31	2,0	18	7,3	3,7	13	7,0	
Gabbro	20	5,0	170	31	46	140	18	
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken w	55	2,5	40	19	8,1	30	19	
Granodiorit (Anatexit) γδA	41			k. A.			21	
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	196	2,5	50	21	6,7	27	20	
Paragneis gn	118	10	1.500	35	136	30	22	
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	196	5,0	1.300	53	114	106	22	
Granulit gr	50	2,5	111	21	23	54	13	

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

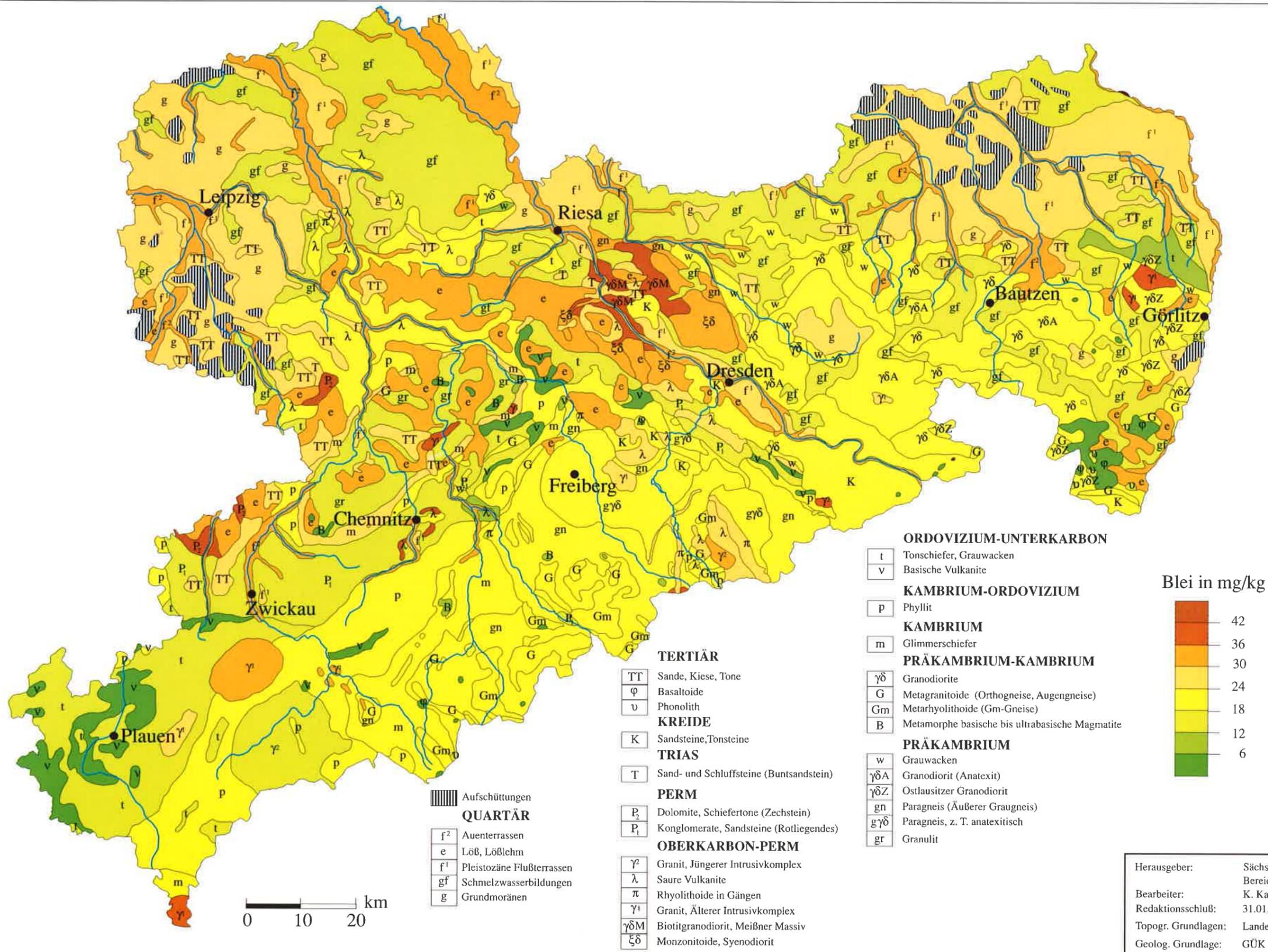


Abb. 10: Mittlere Bleigehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.11 Zinn

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste wird von WEDEPOHL (1995) mit 2,5 mg/kg angegeben. Für Sachsen beträgt der mittlere Elementgehalt der Gesteine 4,4 mg/kg. Die Medianwerte der Sn-Gehalte in den Gesteinseinheiten streuen zwischen 1,0 und 47 mg/kg (Tab. 16).

Nahezu der gesamte Bereich des Erzgebirges und Vogtlandes trägt den Charakter einer „Zinnprovinz“ im metallogenetischen Sinne, der sich z. T. über Verwitterungs- und Sedimentationsprozesse in den Molasse- und Tafelsedimenten fortsetzt. Sn-Gehalte unter dem krustalen Clarke treten im wesentlichen im Löß als äolisches Sediment, in den Basaltoiden und Phonolithen des Tertiärs, in paläozoischen basischen Vulkaniten sowie in den Metabasiten auf (Tab. 11, Abb. 11).

Der Hauptanteil der sächsischen Gesteine hat Sn-Gehalte zwischen 2,5 und 9 mg/kg. Besondere Bedeutung erlangen dabei die variszischen sauren Vulkanite und die Granite, die eine z. T. deutlich ausgeprägte geochemische Sn-Spezialisierung besitzen. Die höchsten Sn-Gehalte werden in den Graniten des Jüngeren Intrusivkomplexes erreicht, der in vielen Fällen räumlich und genetisch mit Sn-Lagerstätten assoziiert ist (z. B. Ehrenfriedersdorf, Altenberg). Die höchsten Gehalte innerhalb dieser petrogeochemischen Einheit hat der Eibenstocker Granit. Unter den Vulkaniten ist der Zeisigwalder Porphyrtuff hervorzuheben, der geochemische Züge der Granite des Jüngeren Intrusivkomplexes trägt.

Zinn tritt in diesen Graniten z. T. als akzessorischer Kassiterit auf, der sehr verwitterungsresistent ist. Lokale Anreicherungen in Kreide- und Tertiärsedimenten sind darauf zurückzuführen.

Tab. 11: Zinngehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Sn in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente f ²	10	2,4	13	7,5	4,2	13	7,3	
Löß, Lößlehm e	2	0,85	1,2	(1,0)	–	–	(1,0)	
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	4	4,5	8,1	(5,7)	–	–	(5,2)	
Schmelzwasserablagerungen gf	9	2,0	4,5	2,7)	–	–	(2,7)	
Grundmoräne g	11	1,5	4,4	3,1	0,79	4,3	3,2	
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente TT	11	1,0	18	8,6	5,0	18	8,0	
Basaltoide φ	8	2,0	2,7	(2,4)	–	–	(2,5)	
Phonolithe ϑ	3	k. A.						(1,5)
KREIDE								
Sedimente der Kreide K	9	1,3	44	(11)	–	–	(3,0)	
TRIAS								
Sedimente der Trias T	k. A.						k. A.	
PERM								
Sedimente des Zechsteins P2	k. A.						k. A.	
Sedimente des Rotliegenden P1	4	1,5	7,0	(4,1)	–	–	(4,0)	
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite γ ²	41	7,0	265	56	50	134	47	
Saure Vulkanite λ	100	1,0	205	12	23	20	6,0	
Rhyolithoide in Gängen π	44	2,5	120	11	20	20	5,0	
Ältere Granite γ ¹	20	5,0	23	11	5,3	19	9,0	
Biotitgranodiorit Meißen γδM	10	4,0	8,6	5,9	1,5	8,5	6,0	
Monzonitoide ξδ	33	3,8	32	8	4,9	11	7,0	
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken t	684	0,50	46	5,2	2,9	8,0	5,0	
Basische Vulkanite υ	103	2,5	19	2,5	k. A.		2,5	
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite p	374	0,50	130	6,8	13	7,0	5,0	
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer m	85	1,5	30	5,9	4,1	8,8	5,0	
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite γδ	519	1,0	95	5,3	4,9	8,0	4,5	
Metagranitoide G	20	1,5	6,0	3,4	1,2	5,7	4,0	
Metarhyolithoide Gm	92	1,0	145	12	18	30	6,0	
Rumburger Granit G	96	2,0	17	5,9	3,4	11	5,0	
Metabasite B								
Serpentinite	1	–	–	(1,5)	–	–	(1,5)	
Amphibolite	12	2,5	85	14	26	k. A.	2,5	
Gabbro	20	0,50	2,5	2,4	0,45	2,5	2,5	
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken w	55	2,0	11	6,0	2,0	8,2	6,0	
Granodiorit (Anatexit) γδA	70	k. A.						3,5
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	74	2,5	11	6,1	2,0	8,7	6,0	
Paragneis gn	118	1,5	180	6,7	16	7,0	5,0	
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	196	0,50	300	7,1	25	7,3	3,0	
Granulit gr	43	1,0	8,0	3,5	1,5	5,0	3,5	

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

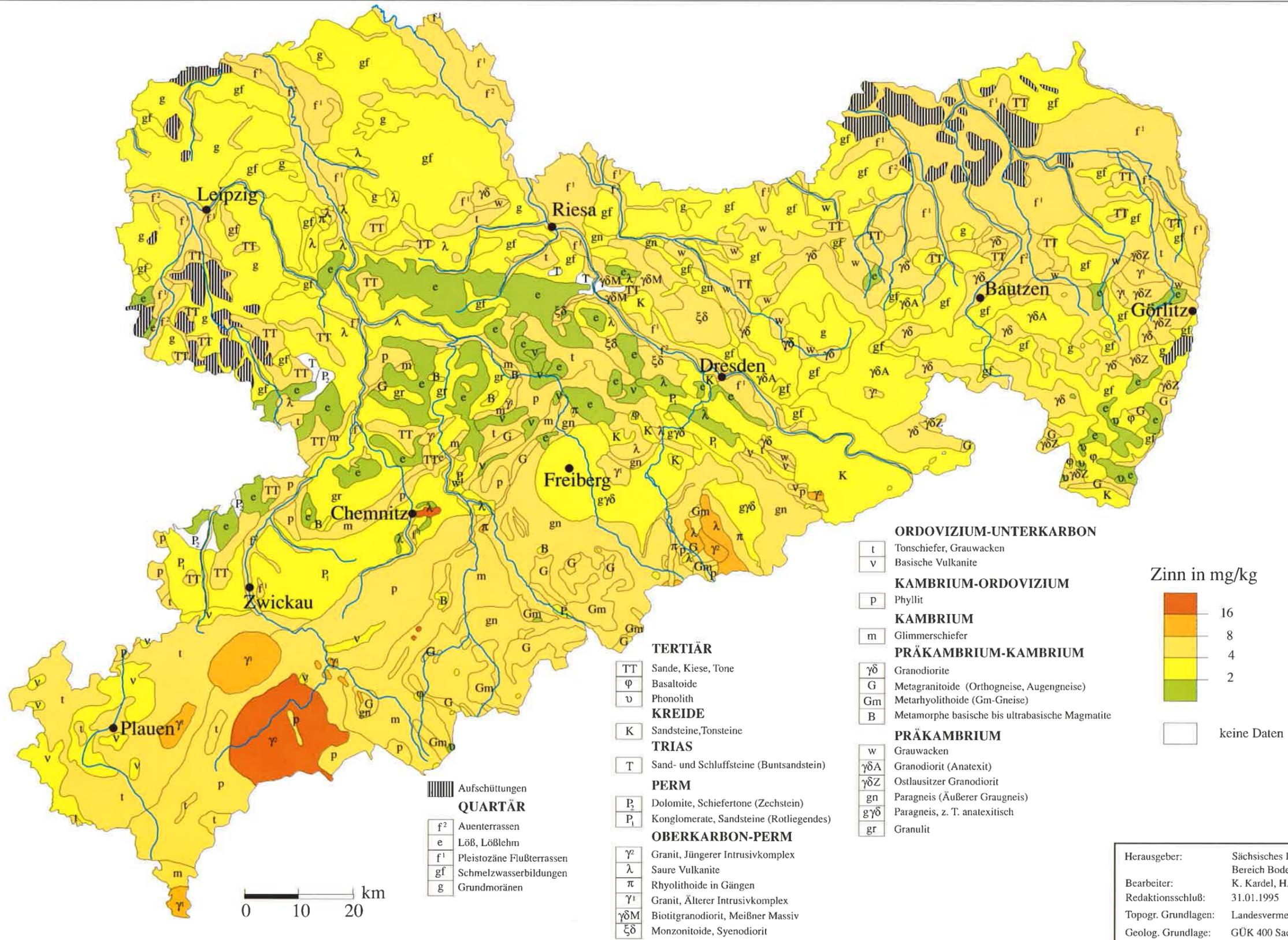


Abb. 11: Mittlere Zinngehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.12 Thorium

Der mittlere Th-Gehalt der sächsischen Gesteine ist mit 12 mg/kg gegenüber dem Clarke von 10 mg/kg nur unwesentlich erhöht (WEDEPOHL, 1995). Die durchschnittlichen Th-Gehalte in den Gesteinseinheiten streuen zwischen 0,4 und 41 mg/kg (Tab. 16).

Niedrige Th-Gehalte ≤ 10 mg/kg treten in fast allen quartären Sedimenten im nördlichen und mittleren Teil Sachsens, in den Kreidesedimenten der Elbezone, in den Granodioriten und tertiären Vulkaniten der Lausitz auf. Im Erzgebirge und Vogtland zeichnen sich die basischen Vulkanite durch geringe Th-Gehalte deutlich von den umgebenden Gesteinen ab (Tab. 12, Abb. 12).

Mittlere Th-Gehalte treten in den Sedimenten der Rotliegendesen, den Tonschiefern, Glimmerschiefern und Gneisen des Erzgebirges, Vogtlandes, Mittelsachsens, in den Orthometamorphiten und den Anatexiten der Lausitz auf. Innerhalb der Metamorphitkomplexe besitzen die Phyllite höhere Th-Gehalte. Gehalte von 15-20 mg/kg Th haben ebenso die sauren Vulkanite Nordwestsachsens, des Tharandter Waldes, des Döhlener Beckens und des Meißner Eruptivkomplexes, der porphyrische Mikrogranit von Altenberg - Frauenstein und der Rhyolith von Schönfeld.

Die höchsten Th-Gehalte >25 mg/kg treten in den Älteren Graniten des West- und Mittelgebirges sowie in den Jüngeren Graniten des Osterzgebirges auf. Demgegenüber haben die Jüngeren Granite des Westerzgebirges deutlich niedrigere Th-Gehalte.

Durch sehr hohe Th-Gehalte sind die Granodiorite und Monzonitoide des Meißner Massivs, die Rhyolithe und Tuffe von Flöha und Chemnitz in der Vorerzgebirgssenke, der Rhyolith von Teplice und die spätsynkinematischen Granite des Granulitgebirges und der Lausitz gekennzeichnet.

Für die Kartendarstellung des Elementes Th wurden fast ausschließlich Angaben von JUST (1987) und VIEHWEG (1990) verwendet. In der Elementkarte wird deshalb der in diesen Arbeiten angegebene arithmetische Mittelwert verwendet.

Tab. 12: Thoriumgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Th in mg/kg						
		x_{min}	x_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	15	11	17	14	1,5	16	13
Löß, Lößlehm	e	1	–	–	(10)	–	–	(10)
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	4	1,5	8,8	(5,5)	–	–	(5,8)
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	5,1	6,9	6,0	–	–	6,0
Grundmoräne	g	11	4,6	11	8,0	2,2	11	8,9
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	200	k. A.		11	k. A.		k. A.
Basaltoide	φ	46	4,7	17	9,2	3,1	14	8,3
Phonolithe	ϑ	12	14	44	27	8,9	43	28
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	1.597	k. A.		9,6	k. A.		k. A.
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	3.240	k. A.		12	k. A.		k. A.
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	1.038	k. A.		7,3	k. A.		k. A.
Sedimente des Rotliegenden	P1	1.088	k. A.		15	k. A.		k. A.
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	102	4,5	66	24	16	52	19
Saure Vulkanite	λ	20	16	57	28	11	42	25
Rhyolithoide in Gängen	π	328	1,3	52	26	k. A.		k. A.
Ältere Granite	γ ¹	76	1,5	63	25	16	48	21
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	14	12	44	28	13	44	33
Monzonitoide	ξδ	24	11	61	35	16	54	41
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	3.446	k. A.		14	k. A.		k. A.
Basische Vulkanite	v	9	1,5	7,3	(3,4)	–	–	k. A.
KAMBRIMUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	5	13	24	(18)	–	–	(16)
KAMBRIMUM								
Glimmerschiefer	m	6	7,6	34	(15)	–	–	(12)
PRÄKAMBRIMUM – KAMBRIMUM								
Granodiorite	γδ	726	1,0	16	10	k. A.		k. A.
Metagranitoide	G	140	1,0	20	10	k. A.		k. A.
Metarhyolithoide	Gm	370	4,8	19	11	k. A.		k. A.
Rumburger Granit	G	k. A.		9,6	k. A.			k. A.
Metabasite	B	k. A.		0,40	k. A.		k. A.	
Serpentine		k. A.		5,3	k. A.		k. A.	
Amphibolite		k. A.		k. A.			k. A.	
Gabbro		k. A.		k. A.			k. A.	
PRÄKAMBRIMUM								
Grauwacken	w	81	k. A.		12	k. A.		k. A.
Granodiorit (Anatexit)	γδA	522	1,0	20	11	k. A.		k. A.
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	134	3,0	17	10	k. A.		k. A.
Paragneis	gn	5	9,8	12	(11)	–	–	(11)
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	2	8,2	8,8	(8,5)	–	–	(8,5)
Granulit	gr	9	k. A.		(9,6)	k. A.		k. A.

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

Th

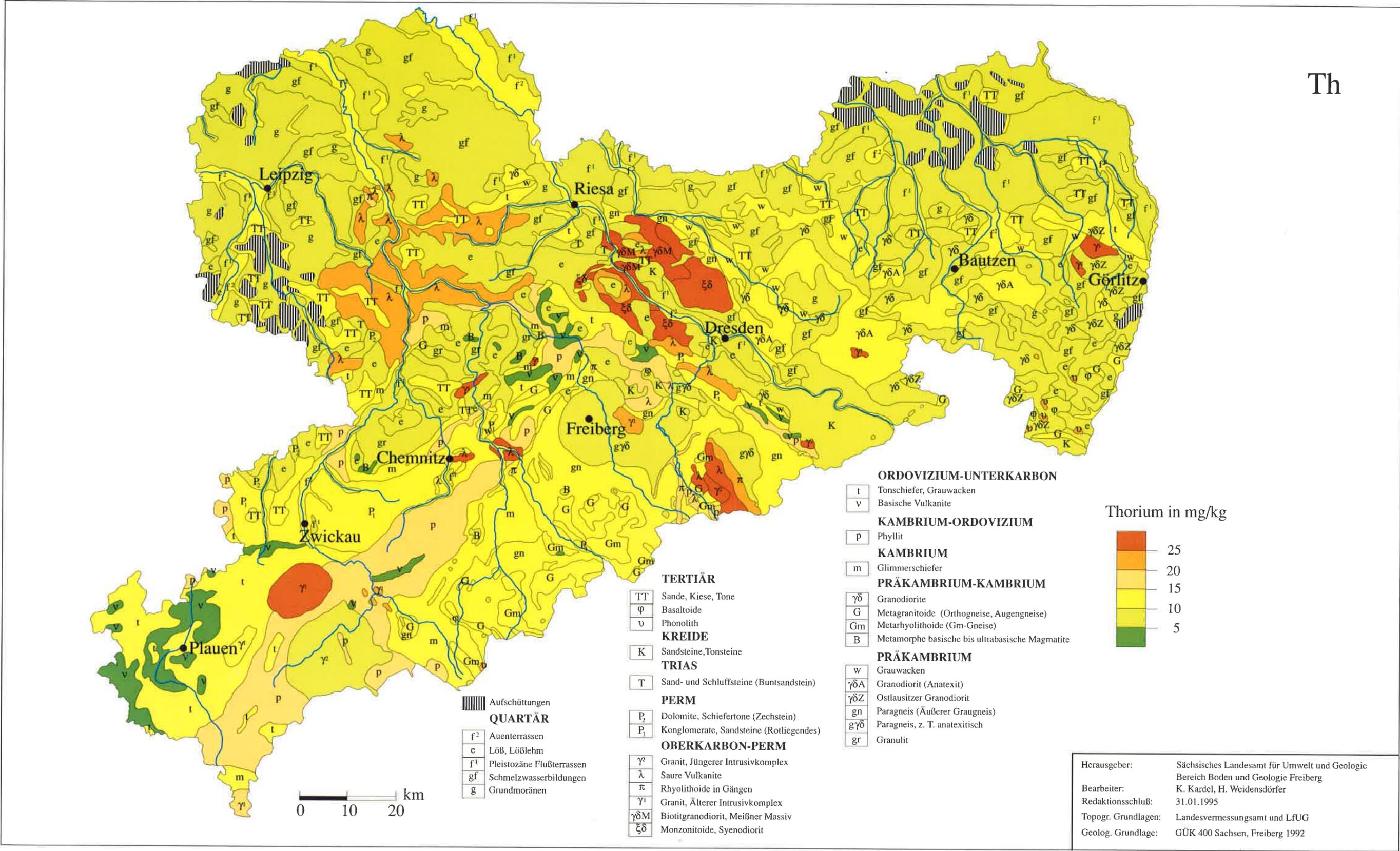


Abb. 12: Mittlere Thoriumgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.13 Uran

Der mittlere U-Gehalt der sächsischen Gesteine beträgt 3,5 mg/kg, der durchschnittliche Gehalt der oberen kontinentalen Kruste wird von WEDEPOHL (1995) mit 2,5 mg/kg angegeben. Die mittleren U-Gehalte in den Gesteinseinheiten schwanken zwischen 0,1 und 12 mg/kg (Tab. 16).

Niedrige U-Gehalte ≤ 2 mg/kg haben die Schmelzwasserbildungen und pleistozänen Flußterrassen des Quartärs, die basischen Vulkanite des Paläozoikums und die basischen bis ultrabasischen metamorphen Magmatite. Der Hauptanteil der übrigen Gesteine Sachsens hat U-Gehalte im Bereich von 2-4 mg/kg (Tab. 13, Abb. 13).

Leicht erhöhte Gehalte von 4-6 mg/kg treten in den holozänen Auensedimenten, den Rotliegendesedimenten des Erzgebirgischen Beckens, den Sedimenten und Vulkaniten des Döhlener Beckens und in den Gangrhyolithen des Osterzgebirgischen Eruptivkomplexes und den sauren Orthometamorphiten auf.

U-Gehalte >6 mg/kg, die bereits auf eine geochemische Spezialisierung hindeuten, sind nur in den variszischen Magmatiten zu finden.

Fast analog zum Element Th treten die höchsten U-Gehalte in den Granodioriten und Monzonitoiden des Meißner Eruptivkomplexes, in den spätsynkinematischen Graniten des Granulitgebirges und der Lausitz sowie in den Graniten des Älteren und Jüngeren Intrusivkomplexes auf. Nach JUST (1991) werden die Jüngeren variszischen Granite durch U-Anreicherung bei verringerten Th-Gehalten charakterisiert. Die niedrigsten U-Gehalte innerhalb der Granite haben mit 6-8 mg/kg die Älteren Granite von Bergen und dem Fichtelgebirge.

In Abb. 12 wurden außer für die petrogeochemischen Einheiten des Quartärs und Tertiärs fast ausschließlich Angaben von VIEHWEG (1990) und JUST (1987) verwendet. Es werden die arithmetischen Mittelwerte der Gesteinseinheiten dargestellt.

Tab. 13: Urangehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	U in mg/kg						
		x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²	15	2,9	5,9	4,4	0,88	5,6	4,4
Löß, Lößlehm	e	1	–	–	(2,3)	–	–	(2,3)
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	4	1,1	2,6	(1,9)	–	–	(2,0)
Schmelzwasserablagerungen	gf	9	1,2	1,5	(1,4)	–	–	(1,4)
Grundmoräne	g	4	2,0	2,4	(2,2)	–	–	(2,2)
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT	200	k. A.		3,1	k. A.		k. A.
Basaltoide	φ	45	1,1	4,8	2,1	0,86	3,6	1,9
Phonolithe	ϑ	12	3,0	14	6,3	3,1	13	5,7
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	1.928	k. A.		2,9	k. A.		k. A.
TRIAS								
Sedimente der Trias	T	2.092	k. A.		3,1	k. A.		k. A.
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2	869	k. A.		3,3	k. A.		k. A.
Sedimente des Rotliegenden	P1	1.062	k. A.		4,4	k. A.		k. A.
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	102	2,0	96	14	11	24	11
Saure Vulkanite	λ	20	2,9	11	5,5	2,5	10	5,1
Rhyolithoide in Gängen	π	322	1,0	17	6,5	k. A.		k. A.
Ältere Granite	γ ¹	76	2,8	40	10	6,1	18	8,8
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	248	1,4	19	10	k. A.		k. A.
Monzonitoide	ξδ	140	2,1	20	12	k. A.		k. A.
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	3.965	k. A.		3,1	k. A.		k. A.
Basische Vulkanite	v	9	0,40	3,5	1,7	k. A.		k. A.
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	5	1,1	2,6	(1,7)	–	–	(1,4)
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	3	1,5	5,5	(2,8)	–	–	(1,5)
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	746	0,50	5,7	2,9	k. A.		k. A.
Metagranitoide	G	125	1,0	12	5,1	k. A.		k. A.
Metarhyolithoide	Gm	363	1,0	11	5,4	k. A.		k. A.
Rumburger Granit	G		k. A.		6,2	k. A.		k. A.
Metabasite	B		k. A.		0,10	k. A.		k. A.
Serpentinite			k. A.		1,8	k. A.		k. A.
Amphibolite			k. A.			k. A.		k. A.
Gabbro			k. A.			k. A.		k. A.
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w	95	k. A.		2,9	k. A.		k. A.
Granodiorit (Anatexit)	γδA	517	1,0	5,5	2,5	k. A.		k. A.
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ	138	1,0	7,3	3,11	k. A.		k. A.
Paragneis	gn	5	1,8	2,6	(2,1)	–	–	2,0
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	10	0,80	4,8	2,3	1,1	k. A.	2,1
Granulit	gr	9	k. A.		(0,90)	k. A.		k. A.

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

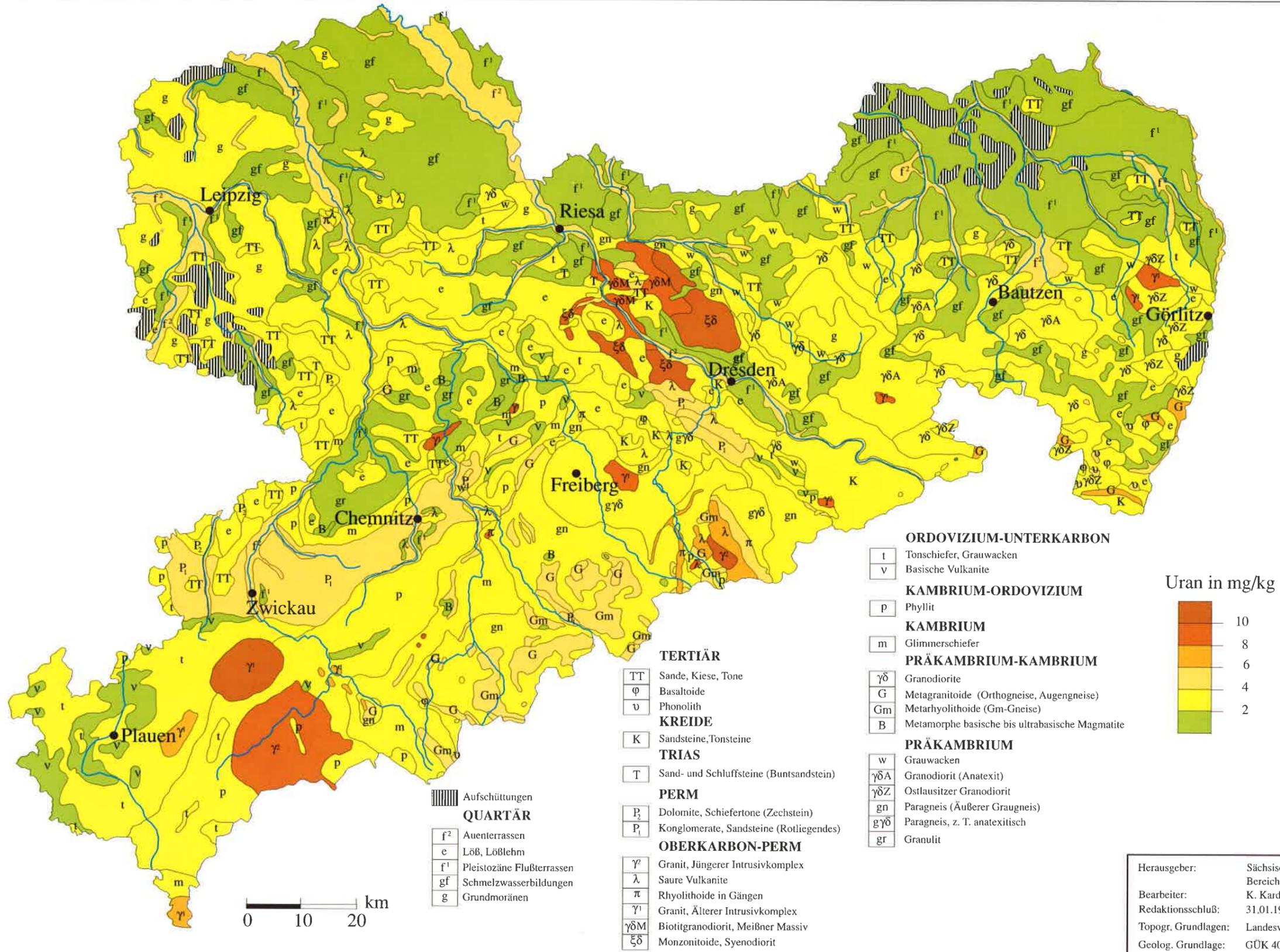


Abb. 13: Mittlere Urangelhalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.14 Zink

Die Medianwerte der Zn-Gehalte in den Gesteinen Sachsens schwanken zwischen 11 und 140 mg/kg, wobei ein mittlerer Gehalt von 60 mg/kg erreicht wird (Tab. 16). Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste wird von WEDEPOHL (1995) mit 52 mg/kg angegeben.

Die niedrigsten Zn-Gehalte (<30 mg/kg) haben die Schmelzwasserbildungen des Quartärs, die Sedimente des Tertiärs und der Kreide. Niedrige bis mittlere Zn-Gehalte treten in fast allen Gesteinen Nordwest- und Mittelsachsens, der Elbezone und der Lautitz auf. Im Erzgebirge, der Vorerzgebirgssenke und dem Vogtland heben sich die sauren Magmatite und Orthometamorphite größtenteils durch ihre niedrigen Zn-Gehalte gut von denen sie umgebenden kambroordovizischen Sedimenten und Metamorphiten ab (Tab. 14, Abb. 14).

Mittlere Zn-Gehalte zwischen 45 und 60 mg/kg treten innerhalb der sauren Gesteine nur im Fichtelgebirgsgranit, im Rhyolith von Schönfeld und den Meißner Monzonitoiden auf.

Leicht erhöhte Zn-Gehalte haben innerhalb der sauren Gesteine die Rhyolithe des Döhlener Beckens, der Untere Tuff von Chemnitz und die Granite des Mittelerzgebirges (Greifensteine, Ehrenfriedersdorf).

Weiterhin treten alle Parametamorphite des Paläozoikums und Sedimente des Perms sowie die basischen Magmatite und Vulkanite (ohne Tertiär) durch höhere Zn-Gehalte >76 mg/kg hervor. Innerhalb dieser Gesteine haben die Phyllite des Erzgebirges, Elbtalschiefergebirges und Vogtlandes sowie die Tonschiefer und Glimmerschiefer Mittelsachsens die höchsten Zn-Gehalte >105 mg/kg. Es ist anzunehmen, daß sich die Zn-Gehalte eines Sedimentes mit Zunahme seiner pelitischen („bindigen“) Anteile erhöhen.

Die gegenüber den anderen Sedimenten des Quartärs und Tertiärs deutlich erhöhten Zn-Gehalte in den quartären Auensedimenten sind wahrscheinlich zum Teil anthropogenen Ursprungs durch Gewässerverunreinigungen.

Tab. 14: Zinkgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Zn in mg/kg						
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50	
QUARTÄR								
Auensedimente f ²	28	50	170	99	31	140	90	
Löß, Lößlehm e	17	32	74	52	11	62	50	
Pleistozäne Flußterrassen f ¹	26	11	150	57	33	105	54	
Schmelzwasserablagerungen gf	9	10	71	(29)	–	–	(22)	
Grundmoräne g	14	30	59	48	8,1	57	49	
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente TT	8	2,5	72	(23)	–	–	(11)	
Basaltoide φ	30	k. A.						65
Phonolithe ϑ	3	k. A.						(85)
KREIDE								
Sedimente der Kreide K	9	15	37	(19)	–	–	(15)	
TRIAS								
Sedimente der Trias T	2	23	50	(36)	–	–	(36)	
PERM								
Sedimente des Zechsteins P2	4	27	179	(105)	–	–	(105)	
Sedimente des Rotliegenden P1	22	50	140	83	24	120	77	
OBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite γ ²	38	20	170	67	34	110	65	
Saure Vulkanite λ	74	15	235	57	35	105	55	
Rhyolithoide in Gängen π	18	15	100	44	26	82	40	
Ältere Granite γ ¹	7	25	105	(52)	–	–	(35)	
Biotitgranodiorit Meißen γδM	28	26	83	47	15	76	44	
Monzonitoide ξδ	64	25	139	71	23	105	66	
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken t	1.152	1,0	4.994	145	250	205	94	
Basische Vulkanite v	263	1,0	1.521	320	350	1.000	140	
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite p	369	15	2.455	130	135	175	110	
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer m	77	3,0	2034	140	230	180	100	
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite γδ	89	1,0	180	45	41	92	55	
Metagranitoide G	20	15	133	48	25	83	42	
Metarhyolithoide Gm	120	1,0	840	80	115	135	53	
Rumburger Granit G	k. A.						k. A.	
Metabasite B	k. A.						k. A.	
Serpentinite	29	18	4500	260	820	360	63	
Amphibolite	37	49	163	24	110	143	110	
Gabbro	20	20	435	275	120	420	270	
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken w	63	39	315	86	40	125	79	
Granodiorit (Anatexit) γδA	29	k. A.						80
Ostlausitzer Granodiorit γδZ	k. A.						k. A.	
Paragneis gn	118	40	2915	105	260	100	78	
Paragneis, z. T. anatexitisch gγδ	179	1,0	7100	180	540	300	90	
Granulit gr	36	9,0	310	52	52	110	39	

() Daten statistisch nicht gesichert,
 k. A. keine Angabe,
 – Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

Zn

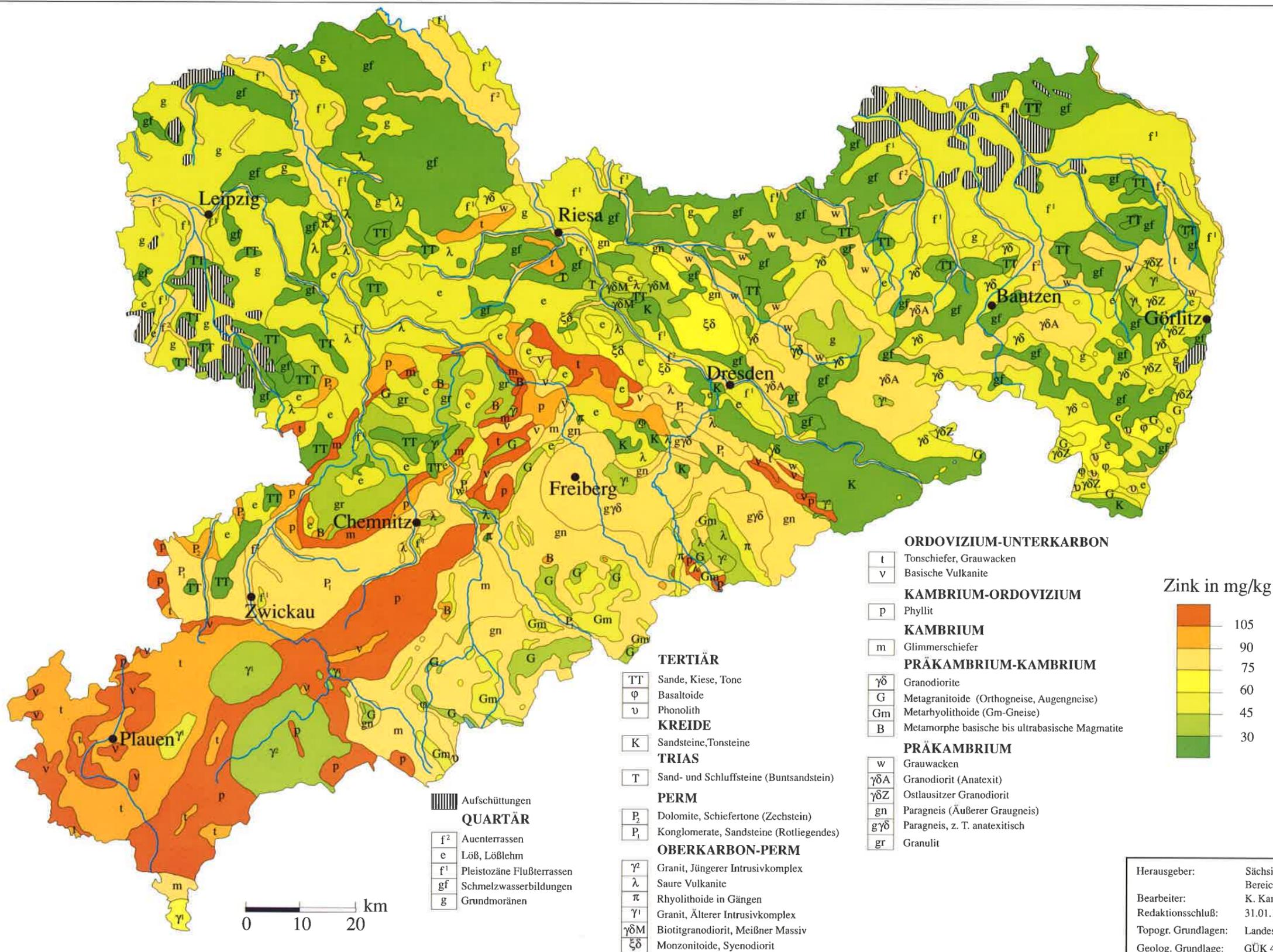


Abb. 14: Mittlere Zinkgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen

3.3.15 Quecksilber

Wegen unzureichender Datenmengen konnte für das Element Hg keine geochemische Karte angefertigt werden.

Der Clarke der oberen kontinentalen Kruste liegt nach WEDEPOHL (1995) bei 56 µg/kg. BEUGE (1976) gibt für die Erdkruste einen durchschnittlichen Hg-Gehalt von 53 µg/kg an. In Tabelle 15 sind die vorhandenen Analysendaten verschiedener Untersuchungen zusammengestellt.

Die mittleren Hg-Gehalte der Sedimente des Mesozoikums liegen bei 30 µg/kg. Die sauren und intermediären Magmatite haben Medianwerte zwischen 25 und 30 µg/kg Hg. Die mittleren Gehalte der Tonschiefer schwanken zwischen 75 µg/kg und 120 µg/kg (BEUGE, 1976). Der Hg-Gehalt der Sedimente nimmt mit deren Anteil an pelitischem Material zu. Für die Phyllite werden von BEUGE (1976) 8,5 µg/kg Hg, für die Glimmerschiefer 6,5 µg/kg Hg angegeben. SCHWANDKE et al., (1989) geben für die Phyllite Mittelsachsens 14 µg/kg Hg an. Die Gneise sind gegenüber den Phylliten und Glimmerschiefern mit 20 µg/kg Hg wieder leicht erhöht. Die Hg-Gehalte der metamorphen Gesteine liegen deutlich unter denen ihrer sedimentären Ausgangsprodukte.

Die unterschiedlichen Bereichsangaben für die Durchschnittsgehalte der Gesteine resultieren z. T., je nach Empfindlichkeit der Bestimmungsmethode, aus den stark variierenden Nachweisgrenzen, was sich bei Gehalten im Bereich der Bestimmungsgrenze besonders stark auswirkt.

Tab. 15: Quecksilbergehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen – Statistische Maßzahlen –

Petrogeochemische Einheit	n	Hg in µg/kg					P 90	M = P 50
		x _{min}	x _{max}	\bar{x}	s			
QUARTÄR								
Auensedimente	f ²							k. A.
Löß, Lößlehm	e							
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹							
Schmelzwasserablagerungen	gf							
Grundmoräne	g							
TERTIÄR								
Tertiäre Sedimente	TT							k. A.
Basaltoide	φ	22	40	1.000	320	230	660	240
Phonolithe	ϑ							k. A.
KREIDE								
Sedimente der Kreide	K	4	20	50	(30)		k. A.	(30)
TRIAS								
Sedimente der Trias	T							k. A.
PERM								
Sedimente des Zechsteins	P2							k. A.
Sedimente des Rotliegenden	P1	13	10	530	80	140	380	30
ÜBERKARBON – PERM								
Jüngere Granite	γ ²	12	35	210	42			k. A.
Saure Vulkanite	λ	6	20	60	(35)			(30)
Rhyolithoide in Gängen	π	6	10	60	(35)			k. A.
Ältere Granite	γ ¹	9	30	130	(73)			k. A.
Biotitgranodiorit Meißen	γδM							k. A.
Monzonitoide	ξδ	1		k. A.	(25)		k. A.	(25)
ORDOVIZIUM – UNTERKARBON								
Tonschiefer, Grauwacken	t	121	7	350	84	60	160	75
Basische Vulkanite	υ							k. A.
KAMBRIUM – ORDOVIZIUM								
Phyllite	p	63	2,0	53	8,5		k. A.	k. A.
KAMBRIUM								
Glimmerschiefer	m	34	1,0	50	6,5		k. A.	k. A.
PRÄKAMBRIUM – KAMBRIUM								
Granodiorite	γδ	2	30	30	(30)	–	–	(30)
Metagranitoide	G	3	30	130	(73)	–	–	(60)
Metarhyolithoide	Gm							k. A.
Rumburger Granit	G							k. A.
Metabasite	B							k. A.
Serpentinite								k. A.
Amphibolite								k. A.
Gabbro								k. A.
PRÄKAMBRIUM								
Grauwacken	w							k. A.
Granodiorit (Anatexit)	γδA							k. A.
Ostlausitzer Granodiorit	γδZ							k. A.
Paragneis	gn	6	5,0	50	(25)	–	–	(25)
Paragneis, z. T. anatexitisch	gγδ	3	20	20	(20)	–	–	(20)
Granulit	gr							k. A.

() = Daten statistisch nicht gesichert, k. A. = keine Angabe,
 – = Parameter wegen zu geringer Stichprobenzahl nicht berechenbar

3.4 Verwitterungsverhalten der Elemente

Gesteine unterliegen an der Erdoberfläche der Verwitterung. Sie werden dabei physikalisch und chemisch umgewandelt und tragen zur Bildung neuer natürlicher Medien, wie Böden und fluvialen oder limnischen Sedimenten, bei.

Entscheidend für den Gehalt von Spurenelementen in Böden und natürlichen Wässern ist neben ihrem absoluten Gehalt in den Ausgangsgesteinen ihre Fähigkeit zur Mobilisierung (Löslichkeit, Transport) und Fixierung (Ausfällung, Adsorption) während des Verwitterungsprozesses. Diese hängt weitestgehend von der jeweiligen Bindungsform der Elemente im Substrat, vom pH-Wert der wässrigen Phase sowie dem Ton- und Humusgehalt und dem Gehalt an neu gebildeten Hydroxiden und Oxiden in den Verwitterungsprodukten ab.

Die Spurenelemente sind in Gesteinen meist silikatisch, oxidisch oder sulfidisch gebunden, wobei in einem Gestein in der Regel mehrere Bindungsformen gleichzeitig auftreten. So können z. B. Ni und Cr sowohl in silikatischer (Hornblende, Biotit) als auch in oxidischer Bindung (Magnetit) vorhanden sein. In unterschiedlichen Gesteinen tritt das gleiche Element in sehr verschiedenartigen Bindungen auf, z. B. F in Graniten als Fluorit, Topas und in Glimmern, in Tongesteinen als Bestandteil der Tonminerale. Dementsprechend variabel sind auch Mobilisierungsbedingungen und das Migrationsverhalten der Elemente im Verwitterungs- und Transportprozeß. Dennoch lassen sich generelle Tendenzen des Verhaltens bestimmter Spurenelemente während des Verwitterungsprozesses erkennen, die zu der bekannten geochemischen Gliederung der Sedimente in Residate, Hydrolysate, Reduzate, Präzipitate und Evaporate nach GOLDSCHMIDT geführt haben (RÖSLER & LANGE, 1975).

Die Mobilität der Elemente As, Cd, F, Cu, Ni, U und Zn ist unter ähnlichen Voraussetzungen höher als z. B. die der Elemente Pb, Cr, Th und Sn. In der Regel nimmt die Mobilität der Schwermetalle im Verwitterungsprozeß mit sinkendem pH-Wert zu, so daß in Abhängigkeit davon unterschiedliche Mengen freigesetzt werden können. Die Elemente F und Ba werden bei der Verwitterung relativ leicht aus ihren Verbindungen gelöst und weggeführt. Ihre Gehalte sind in den Böden gegenüber den Ausgangsgesteinen daher meist niedriger. Die leichter löslichen Elemente werden bei der Bodenbildung oft wieder an organische Substanz der Oberbodenhorizonte, an Tonminerale, Oxide oder Hydroxide (Mn-Hydroxide: Ni, Co; Fe-Oxide: As) gebunden und dadurch weitestgehend immobilisiert. Mobile Elementfraktionen können in Oberflächen- und Grundwässern übergehen und sich dort ggf. auf die Beschaffenheit von Trinkwässern (As, F) auswirken. Auch für den Transfer in die Nahrungsketten über den Pfad Boden → Pflanze sowie über das Wasser ist die Mobilität der Elemente von entscheidender Bedeutung.

Tab. 16: Mittlere Gehalte (Medianwerte [mg/kg]) ausgewählter Spurenelemente in den Gesteinen des Freistaates Sachsen

Petrogeochemische Einheit		As	B	Ba	Co	Cr	Cu	F	Hg	Ni	Pb	Sn	Th	U	Zn
QUARTÄR															
Auensedimente	f ²	20	30	335	14	54	24	490	k. A.	18	35	7,3	13	4,4	90
Löß, Lößlehm	e	8,0	(12)	(210)	(22)	56	15	285	k. A.	18	42	(1,0)	(10)	(2,3)	50
Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	16	(40)	320	13	43	20	330	k. A.	16	25	(5,2)	(5,8)	(2,0)	54
Schmelzwasserablagerungen	gf	(5,0)	(55)	(230)	(10)	(46)	(22)	(110)	k. A.	(12)	(16)	(2,7)	6,0	(1,4)	(22)
Grundmoräne	g	(10)	(50)	(370)	7,5	45	12	360	k. A.	13	26	3,2	8,9	(2,2)	49
TERTIÄR															
Tertiäre Sedimente	TT	(12)	42	395	9,2	59	13	(360)	k. A.	21	28	8,0	11*	3,1*	(11)
Basaltoide	φ	1,9	14	760	44	270	60	985	0,24	120	8,0	(2,5)	8,3	1,9	65
Phonolithe	ϑ	5,8	(20)	(1.300)	15	5,0	3,0	(795)	k. A.	(65)	11	(1,5)	28	5,7	(85)
KREIDE															
Sedimente der Kreide	K	20	(28)	(115)	(1,5)	(17)	(18)	(100)	(0,03)	(2,5)	(24)	(3,0)	9,6*	2,9*	(15)
TRIAS															
Sedimente der Trias	T	(24)	k. A.	(260)	(15)	(52)	(54)	k. A.	k. A.	(30)	(28)	k. A.	12*	3,1*	(36)
PERM															
Sedimente des Zechsteins	P2	(30)	k. A.	(260)	(30)	(73)	(58)	k. A.	k. A.	(25)	(57)	k. A.	7,3*	3,3*	(105)
Sedimente des Rotliegenden	P1	44	(55)	380	11	50	22	(545)	0,03	22	18	(4,0)	15*	4,4*	77
OBERKARBON - PERM															
Jüngere Granite	γ ²	18	30	50	0,74	2,5	2,0	7.800	0,04*	2,0	10	47	19	11	65
Saure Vulkanite	λ	3,0	16	460	2,0	7,0	6,2	450	(0,03)	3,0	23	6,0	25	5,1	55
Rhyolithoide in Gängen	π	k. A.	7,5	590	3,0	(5,0)	5,0	(400)	(0,03*)	5,0	21	5,0	26*	6,5*	40
Ältere Granite	γ ¹	(5,0)	24	265	3,1	4,5	2,0	800	(0,07*)	3,5	30	9,0	21	8,8	(35)
Biotitgranodiorit Meißen	γδM	3,3	23	1.400	4,1	14	5,4	(500)	k. A.	12	44	6,0	33	10*	44
Monzonitoide	ξδ	3,8	28	1.800	17	20	40	(650)	(0,02)	20	36	7,0	41	12*	66
ORDOVIZIUM - UNTERKARBON															
Tonschiefer, Grauwacken	t	14	65	630	17	82	31	800	0,08	39	14	5,0	14*	3,1*	94
Basische Vulkanite	v	19	17	240	41	145	58	850	k. A.	80	11	2,5	(3,4)*	1,7*	140
KAMBRIUM - ORDOVIZIUM															
Phyllite	p	15	60	680	16	70	27	800	0,008*	40	21	5,0	(16)	(1,4)	110
KAMBRIUM															
Glimmerschiefer	m	4,5	38	640	15	71	18	800	0,006*	32	26	5,0	(12)	(1,5)	100
PRÄKAMBRIUM - KAMBRIUM															
Granodiorite	γδ	15	21	695	10	28	21	600	(0,03)	16	20	4,5	10*	2,9*	55
Metagranitoide	G	(19)	21	580	4,0	13	10	(550)	(0,06)	7,0	22	4,0	10*	5,1*	42
Metarhyolithoide	Gm	(22)	17	460	3,0	(8,0)	14	k. A.	k. A.	4,0	21	6,0	11*	5,4*	53
Rumburger Granit	G	k. A.	14	90	2,0	8,0	2,0	(1.350)	k. A.	1,0	24	5,0	9,6*	6,2*	k. A.
Metabasite	B	9,0	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	(650)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Serpentinite		k. A.	62	33	87	2.050	15	k. A.	k. A.	1.900	(11)	(1,5)	0,4*	0,1*	63
Amphibolite		3,5	13	235	46	115	46	k. A.	k. A.	110	7,0	2,5	5,3*	1,8*	110
Gabbro		k. A.	5,0	680	44	755	67	k. A.	k. A.	110	18	2,5	k. A.	k. A.	270
PRÄKAMBRIUM															
Grauwacken	w	(4,8)	42	690	14	56	32	560	k. A.	35	19	6,0	12*	2,9*	79
Granodiorit (Anatexit)	γδ A	9,5	27	800	14	57	33	605	k. A.	36	21	3,5	11*	2,5*	80
Ostlausitzer Granodiorit	γδ Z	k. A.	23	700	11	28	25	(600)	k. A.	20	20	6,0	10*	3,1*	k. A.
Paragneis	gn	8,4	10	700	8,0	55	28	(600)	(0,02)	23	22	5,0	(11)	(2,0)	78
Paragneis, z.T.anatexitisch	g γδ	k. A.	10	660	9,0	44	20	(600)	(0,02)	16	22	3,0	(8,5)	2,1	90
Granulit	gr	4,0	16	340	7,0	24	9,0	(500)	k. A.	13	13	3,5	(9,6)	(0,9)	39
Analysenzahl		1.610	3.969	4.711	4.305	4.019	4.226	598	305	4.556	3.875	2.881	13.280	13.139	3.002
Durchschnittsgehalt Sachsen (flächenbezogen)		13	37	420	12	57	24	670	k. A.	20	20	4,4	12	3,5	60
Clarke der oberen kontinentalen Kruste WEDEPOHL (1995)		2,0	17	668	12	35	14	611	0,06	19	17	2,5	10	2,5	52

() Daten statistisch nicht gesichert, k. A. keine Angaben, * arithmetischer Mittelwert

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die angeführten mittleren Gehalte für einige Spurenelemente in Gesteinen Sachsens dienen der geochemischen Charakterisierung von Gesteinskomplexen für praktische Anwendungen. Die Daten und Kartendarstellungen sind eine wesentliche Ergänzung zu den bereits vorliegenden bzw. sich in Bearbeitung befindlichen geologischen Übersichtskarten des Freistaates Sachsen im Maßstab 1 : 400 000.

Der Vielfalt des geologischen Baues des Landes entsprechend ist das geochemische Erscheinungsbild sehr differenziert. Der nördliche von quartären Sedimenten bedeckte Teil Sachsens läßt bei den meisten der erfaßten Elemente eine weitgehende Einheitlichkeit erkennen. Eine Ausnahme bilden hier lediglich die holozänen Auensedimente, die bei einigen charakteristischen Erzelementen (Zn, Sn, Pb, U) und Begleitelementen von Vererzungen (F, As) deutlich höhere Gehalte besitzen als die pleistozänen Lockergesteine. Im Gegensatz dazu zeigen die Gesteine des Grundgebirges im südlichen Landesteil eine wesentlich breitere stoffliche Variabilität. Die meisten Gesteine besitzen Spurenelementgehalte in einem Niveau, das nach der petrographisch-mineralogischen Zusammensetzung und dem Hauptelementchemismus zu erwarten ist. Beispielsweise besteht bei magmatischen Gesteinen in der Regel eine deutliche Korrelation zwischen dem Gehalt eines Gesteins an dunklen Mineralen (Pyroxen, Amphibol), seinem Gehalt an MgO und CaO sowie der Konzentration an den Spurenelementen Co, Cr und Ni. Insbesondere bei den granitischen Gesteinen treten einige Besonderheiten auf, die sich aus den allgemeinen stofflichen Zusammenhängen zwischen dem Makrochemismus und den Spurenelementgehalten nicht erklären lassen. So besitzen z. B. die granodioritisch-monzonitischen Gesteine des Meißner Massivs stark erhöhte Ba-Gehalte und die Jüngeren Granite des Erzgebirges teilweise extrem hohe Konzentrationen an F, Sn und anderen, hier nicht angeführten Elementen (Rb, Li). Die Ursachen dafür sind in der Gesteinsentstehung zu finden (TISCHENDORF et al., 1987; TISCHENDORF, 1989).

Die Grundzüge der chemischen Zusammensetzung der Gesteine werden über die Verwitterung an Böden, Sedimente und Wasser vererbt. Insofern stellen die hier vorgestellten Daten eine wichtige Bezugsgröße für den Stoffbestand der Böden und der natürlichen Wässer dar. Den damit verbundenen Anforderungen kann die vorliegende Zusammenstellung nur in begrenztem Maße gerecht werden. Die weiteren Aktivitäten sind daher auf folgende Arbeitsrichtungen zu konzentrieren:

1. Eine Erweiterung der Datenbasis für den gesamten Bereich des mesozoisch-känozoischen Deckgebirges ist unbedingt erforderlich. Die gegenwärtig vorhandene Anzahl von Stichproben erlaubt keine hinreichende Aussagesicherheit.
2. Die Elementpalette ist wesentlich zu erweitern. Für mehrere umweltrelevante Elemente liegen z. Z. keine bzw. nur sehr sporadische oder analytisch unzuverlässige Daten vor (z. B. Tl, Sb, Cd, Hg, As). Für Böden und Wässer wichtige Hauptelemente wie Fe, Mg, Ca und P sind zu berücksichtigen.

3. Die Datenbasis ist sukzessive quantitativ und qualitativ dahingehend aufzubessern, daß detailliertere Aussagen und Kartendarstellungen in größeren Maßstäben möglich werden. Damit kann eine den geologischen Karten adäquate geochemische Informationsgrundlage für einen breiten Kreis praktischer Anwender geschaffen werden.

5 Literatur

- BEUGE, P. (1974): Zur Geochemie des Quecksilbers unter besonderer Berücksichtigung des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik.- Diss. Bergakademie Freiberg.
- BEUGE, P. (1976): Zur Geochemie des Quecksilbers in Magmatiten und Einzelmineralen.-Freiberger Forsch.-H. C 313: Leipzig (Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie).
- BEUGE, P. & RÖSLER, H. J. (1978): Untersuchungen zur Geochemie der Metamorphose mit Hilfe der zerstörungsfreien Neutronenaktivierungsanalyse.- Z. angew. Geol., 24 (7/8):S. 334-339; Berlin.
- BEUGE, P. (1989): Zur Geochemie pelitischer Gesteine im Prozeß der Regionalmetamorphose.- Diss. Bergakademie Freiberg.
- EIDAM, J. (1987): Geochemische Untersuchungen an granitoiden Gesteinen und Anatexiten der westsudetisch minerogenetischen Subzone (Lausitz).- Unveröff. Forsch.-Ber. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald.
- FISCHER, J. & WALD, S. (1976): Kartierung der petrographischen Typen des Teplice-Rhyolithes sowie von Mineralisationsanzeichen.- Ing.-Prakt. Bergakademie Freiberg: (Analysendaten unveröff. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg, 1985).
- FRISCHBUTTER, A. & JUST, G. (1989): Zur stofflichen Entwicklung der Reitzenhainer Rotgneisstruktur auf der Grundlage aktivierungsanalytischer Bestimmung seltener Elemente.- In: Geophysik und Geologie.- Geophys. Veröff. Karl-Marx-Univ. Leipzig, 4 (1):S. 80-90; Berlin.
- GEIBLER, E.; KIEBLING, R. & WITTHAUER, B. (1980): Stratiforme Vererzungen Erzgebirge, Gebiet Erzgebirgsnordrandzone.- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg.
- GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE BEZIRKE DRESDEN, KARL-MARX-STADT, LEIPZIG i. M. 1 : 400 000 (1972): Hrsg. Geol. Forschung und Erkundung Halle, Betriebsteil Freiberg.
- GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE DES FREISTAATES SACHSEN i. M. 1 : 400 000, 3. Aufl. (1992): Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie Freiberg.
- GÖTZE, J.-U. (1988): Eduktanalyse Quarzsand Hohenbocka.- Diss. Bergakademie Freiberg.
- HÖRCHNER, A. (1989): Melilithführende junge Vulkanite in der DDR.- Stud.-Arb. Bergakademie Freiberg.
- HOTH, K.; BRAUSE, H.; FREYER, G.; LORENZ, W.; PÄLCHEN, W. & WAGNER, S. (1985): Neue Ergebnisse zur Gliederung des Proterozoikums im Erzgebirge - Západné Sudety/Sudety Zachoduie - Antiklinorium sowie an seiner Nordflanke.- Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald, 34 (4): S. 5-13; Greifswald.
- JENTSCH, F. (1981): Zur Minerogenie glasiger Subsequenzvulkanite im sächsischen Raum.- Freiberger Forsch.-H. C 351: Leipzig (Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie).

- JUST, G. (1987): Beiträge zur Klassifizierung granitoider Gesteine auf der Grundlage aktivierungsanalytischer Bestimmung seltener Elemente.- Unveröff. Forsch.-Ber. Karl-Marx-Univ. Leipzig.
- JUST, G. (1987): Untersuchungen der natürlichen Radioaktivität von Lockersedimenten und Anwendung der INAA zur weiteren geochemischen Charakterisierung von Massenrohstoffen.- Isotopenpraxis, 23 (5): S. 187-201; Berlin.
- JUST, G. (1991): The radioactivity of rocks and the radioactive heat production in the former G. D. R.- In: Geophysik und Geologie.- Geophys. Veröff. Karl-Marx-Univ. Leipzig, 4 (2): S. 65-89; Berlin.
- JUST, G. (1991) mit Beitr. von MOLZAHN, D.: Fallstudie Erzgebirge, Verteilung von Radioisotopen in den Gesteinen.- Unveröff. Ber. Univ. Leipzig.
- JUST, G. & LEISSRING, B. (1991): Radioaktivität im Erzgebirge (Altbergbau, radioaktive Altlasten und Umweltradioaktivität; Fallstudie Erzgebirge).- Unveröff. Ber. Univ. Leipzig.
- KEMNITZ, H. (1984): Beitrag zur Lithologie, Deformation und Metamorphose der Saydaer Struktur (Osterzgebirge).- Veröff. des Zentralinst. f. Physik der Erde, 94: Potsdam.
- KOVALSKIJ, V. V. M. (1977): Geochemische Ökologie. Biogeochemie.- Berlin (Dt. Landwirtschaftsverlag).
- LABO (1994): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden.- Ber. der Ad-hoc-AG „Referenz- bzw. Hintergrundwerte für Böden“ des LABO-AK IV „Bodenbelastung“; Berlin.
- LAI, L. T. (1978): Petrographische und geochemische Bearbeitung der sauren variszischen gang- und deckenförmigen Magmatite des Erzgebirges als Beitrag zur metallogenetischen Untersuchung.- Diss. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald.
- LANGE, H.; TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; KLEMM, I. & OSSENKOPF, W. (1972): Zur Petrographie und Geochemie der Granite des Erzgebirges.- Geologie, 21 (4/5): S. 457-493; Berlin.
- LORENZ, W.; KRUTAK, G.; LEONHARDT, D.; PÄLCHEN, W.; ROSCHER, O.; SCHIRN, R.; STANDKE, G.; WITTHAUER, B. (1979): Stratiforme Vererzungen im Erzgebirge, Gebiet Freiberg-Nord (Felsitzzone).- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg.
- MASSANEK, A. & STARKE, R. (1989): Mineralogisch-geochemische Untersuchungen zur Faziesdiagnostik und zur stofflichen Charakteristik der Braunkohlenflöze und ihrer Begleitschichten im Förderraum Leipzig.- Unveröff. Forsch.-Ber. Bergakademie Freiberg.
- NÖLDEKE, W.; SCHUST, F.; LÄCHELT, A.; STEINKE, K.; GROSCHE, G.; THOMAS, U.; PÖTZSCH, B.; RENTZSCH, J.; BERGER, W.; RÖLLIG, G.; SÖLLIG, A.; KRUSE, B. & METTCHEN, H.-J. (1988): Einschätzung Rohstoffführung Grundgebirgseinheiten S-Teil der DDR 1 : 100 000, Lausitzer Scholle - Elbezone (LEZ).- Unveröff. Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- OESTERREICH, W. (1973): Metallogenie Präkambrium. Teilthema Clarkes Metamorphite Erzgebirge.- Unveröff. Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- ORSAKOWSKY, R. (1975): Petrochemische Untersuchungen erzgebirgischer Rotgneise zur Klärung ihrer minerogenetischen Bedeutung.- Dipl.-Arb. Bergakademie Freiberg.

- PÄLCHEN, W. (1968): Zur Geochemie und Petrologie der postorogenen variszischen Magmatite des sächsischen Osterzgebirges.- Diss. Bergakademie Freiberg.
- PÄLCHEN, W.; RANK, G. & BERGER, R. (1982): Regionale geochemische Untersuchungen an Gesteinen, fluviatilen Sedimenten und Wässern im Erzgebirge/Vogtland.- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg.
- PÄLCHEN, W. & BERGER, R. (1984): Regionale Geochemie Erzgebirge - Vogtland. Die Verteilung des Arsens in rezenten fluviatilen Sedimenten im Erzgebirge und Nordvogtland.- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg.
- 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; Jena.
- PÄLCHEN, W. & OSSENKOPF, P. (1989): The recent regional geochemical and mineralogical field.- In: Tischendorf, G. (Hrsg.): Silicic Magmatism and Metallogensis of the Erzgebirge.- Veröff. des Zentralinst. f. Physik der Erde, 107: Potsdam.
- PFEIFFER, L. (1976): Ergebnisse petrographischer und geochemischer Untersuchungen an tertiären Magmatiten im Süden der DDR.- Forsch.-Ber. Bergakademie Freiberg.
- PFEIFFER, L. & LEHMANN, U. (1980): Rohstoffhöflichkeit basischer Magmatismus. Tertiärmagmatite.- Forsch.-Ber. Bergakademie Freiberg.
- PÖTZSCH, B. (1988): Lithochemische Untersuchungsergebnisse des Paläozoikums des Elbtal- und Wilsdruff-Nossener Schiefergebirges.- Unveröff. Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- RANK, G. & PÄLCHEN, W. (1983): Geochemische Bearbeitung der sauren variszischen Vulkanite von Flöha - Karl-Marx-Stadt als Beitrag zur metallogenetischen Einschätzung dieses Raumes.- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk.: Freiberg.
- RÖLLIG, G. (1975): Ergebnisbericht über die in den Jahren 1971 und 1972 im Südteil der DDR durchgeführten metallogenetischen Untersuchungen an sauren und intermediären Magmatiten.- Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- RÖSLER, H. J. & LANGE, H. (1975): Geochemische Tabellen.- Leipzig (Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie).
- RÖSLER, H. J. & WERNER, C.-D. (1979): Petrologie und Geochemie der variszischen Geosynklinalmagmatite Mitteleuropas. Teil I.- Freiberger Forsch.-H. C 336: Leipzig (Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie).
- RÖSLER, H. J. & WERNER, C.-D. (1979): Petrologie und Geochemie der variszischen Geosynklinalmagmatite Mitteleuropas. Teil II.- Freiberger Forsch.-H. C 344: Leipzig (Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie).
- SCHNEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde.- 12. Aufl.: Stuttgart (Enke).
- SCHWANDKE, E.; GROSCHE, G.; LÄCHELT, A.; RÖLLIG, G.; EICHBURG, M.; KRUSE, B. & METTCHEN, H.-J. (1989): Einschätzung Rohstoffführung Grundgebirgseinheiten S-Teil der DDR. Gebiet Mittelsachsen.- Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- SEHM, K. (1989): Einschätzung Rohstoffführung S-Teil der DDR. Teilgebiet Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge.- Unveröff. Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.

- SIEGERT, T. (1908): Erläuterung zur geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen. Section Oschatz - Mügeln, Blatt 30.- Leipzig u. Berlin (Giesecke & Devrient).
- TISCHENDORF, G. (Hrsg.) (1989): Silicic Magmatism and Metallogensis of the Erzgebirge.- Veröff. des Zentralinst. f. Physik der Erde, 107: Potsdam.
- TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; RÖLLIG, G.; LÄCHELT, S. & LANGE, H. (1981): Die Granitoidformationen im Südteil der DDR.- Unveröff. Ber. Zentr. Geol. Inst.: Berlin.
- TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; RÖLLIG, G. & LANGE, H. (1987): Formationelle Gliederung, petrographisch-geochemische Charakteristik und Genese der Granitoide der Deutschen Demokratischen Republik.- Chem. der Erde, 46 (1/2): S. 7-23; Jena.
- VIHWEIG, M. (1990): The radiogeochemical map of the southern part of the German Democratic Republic.- Vortrag: International Symposium on Geochemical Exploration IAGC and AEG.- Exploration geochemistry: Praha.
- VOLLRATH, P.; OSSENKOPF, P. & LORENZ, W. (1972): Metallogenie Präkambrium. Teilgebiet Erzgebirge 1 - Marienberg.- Unveröff. Ber. VEB Geol. Forsch. u. Erk. Freiberg.
- WEDEPOHL, K. H. (1967): Geochemie.- Sammlung Göschen, 1224: Berlin (de Gruyter).
- WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust.- Geochimica et Cosmochimica Acta, 59 (7): S. 1217-1232; London.
- WERNER, C.-D. (1980): Ultrabasite und Basite im Erzgebirge und Frankenberg-Zwischengebirge.- Forsch.-Ber. Bergakademie Freiberg.
- WERNER, C.-D. & WIRTH, C. (1989): Metallogenetische Einschätzung des basischen Magmatismus. Metabasite des Granulitgebirges.- Forsch.-Ber. Bergakademie Freiberg.
- WETZEL, H.-U. (1984): Spätvariszische Bruchtektonik und subsequente Gangmagmatite als Ausdruck der Krustenentwicklung im Osterzgebirge (Altenberger Scholle).- Diss. Zentralinst. f. Physik d. Erde: Potsdam.

6 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Flächenanteile der Hauptgesteinstypen im Freistaat Sachsen.....	6
Tab. 2: Arsengehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	8
Tab. 3: Borgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	10
Tab. 4: Bariumgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	12
Tab. 5: Kobaltgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	14
Tab. 6: Chromgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	16
Tab. 7: Kupfergehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	18
Tab. 8: Fluorgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	20
Tab. 9: Nickelgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	22
Tab. 10: Bleigehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	24
Tab. 11: Zinngehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	26
Tab. 12: Thoriumgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	28
Tab. 13: Urangelhalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	30
Tab. 14: Zinkgehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	32
Tab. 15: Quecksilbergehalte in den Gesteinen des Freistaates Sachsen - Statistische Maßzahlen -	34
Tab. 16: Mittlere Gehalte (Medianwerte [mg/kg]) ausgewählter Spurenelemente in den Gesteinen des Freistaates Sachsen	35

7 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte des Freistaates Sachsen – Petrogeochemische Einheiten	7
Abb. 2: Mittlere Arsengehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	9
Abb. 3: Mittlere Borgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	11
Abb. 4: Mittlere Bariumgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	13
Abb. 5: Mittlere Kobaltgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	15
Abb. 6: Mittlere Chromgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	17
Abb. 7: Mittlere Kupfergehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	19
Abb. 8: Mittlere Fluorgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	21
Abb. 9: Mittlere Nickelgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	23
Abb. 10: Mittlere Bleigehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	25
Abb. 11: Mittlere Zinngehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	27
Abb. 12: Mittlere Thoriumgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	29
Abb. 13: Mittlere Urangelhalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	31
Abb. 14: Mittlere Zinkgehalte in den petrogeochemischen Einheiten des Freistaates Sachsen.....	33

8 Erläuterungen von Abkürzungen und Fachbegriffen

LABO	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
Hintergrundwert	Bezugsgröße zur Beurteilung eines Stoffgehaltes in Gesteinen, die den geogenen Grundgehalt eines Gesteinstyps charakterisiert
Clarke, Clarke-Wert	mittlere Elementzusammensetzung der Erdkruste, benannt nach F. W. Clarke (1847-1931), amerikanischer Chemiker und Begründer der klassischen Geochemie
krustaler Clarke	identisch mit Clarke/Clarke-Wert; entstand im Zuge der Ableitung weiterer Clarke-Begriffe, um den Geltungsbereich näher zu definieren
regionaler Clarke	abgeleiteter Clarke-Begriff für die mittlere Elementzusammensetzung einer regionalen geologischen Einheit (meist n x 1000 km ²)
lokaler Clarke	abgeleiteter Clarke-Begriff für die mittlere Elementzusammensetzung kleiner geologisch homogener Bereiche (meist n x 100 km ²)

Errata

Materialien zum Bodenschutz 1996

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen

Impressum

Folgender Nachtrag ist im Impressum zu ergänzen:

Diese Karten sind gesetzlich geschützt. Die Rechte liegen beim Landesvermessungsamt Sachsen (topographische Kartengrundlage) und beim Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (thematische Eintragungen). Die Vervielfältigung ist nur mit Erlaubnis dieser Behörden zulässig. Als Vervielfältigung gelten insbesondere Nachdruck, Fotokopie, Mikroverfilmung, Digitalisierung, Scannen, Speicherung auf Datenträger etc.

Tabelle	Korrekturen									
Tab. 1 bis Tab. 16	QUARTÄR									
	ersetzen von:	Auensedimente	f^2							
	durch:	Auenterrassen	f^2							
				As in mg/kg						
S. 8, Tab. 2	OBERKARBON - PERM			n	X_{min}	X_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50
	ersetzen von:	Saure Vulkanite	λ	170	1,0	30	4,2	3,4	8,0	3,0
	durch:	Saure Vulkanite	λ	574	1,0	1.450	39	81	105	21
				B in mg/kg						
S. 10, Tab. 3	QUARTÄR			n	X_{min}	X_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50
	ersetzen von:	Pleistozäne Flußterrassen	f^1	4	12	86	(40)	-	-	(40)
	durch:	Pleistozäne Flußterrassen	f^1	4	12	86	(40)	-	-	(30)
				Pb in mg/kg						
S. 24, Tab. 10	QUARTÄR			n	X_{min}	X_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50
	ersetzen von:	Löß, Lößlehm	e	17	22	70	44	16	70	42
	durch:	Löß, Lößlehm	e	17	22	70	44	16	70	35
	OBERKARBON - PERM									
	ersetzen von:	Jüngere Granite	γ^2	41	3,5	63	19	16	46	10
	durch:	Jüngere Granite	γ^2	41	3,5	63	19	16	46	20
				Th in mg/kg						
S. 28, Tab.12	TERTIÄR			n	X_{min}	X_{max}	\bar{x}	s	P 90	M = P 50
	ersetzen von:	Phonolithe	v	12	14	44	27	8,9	43	28
	durch:	Phonolithe	v	12	14	44	27	8,9	43	25

Fortsetzung Errata

Materialien zum Bodenschutz 1996

Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen

Tabelle	Korrekturen																
		As	B	Ba	Co	Cr	Cu	F	Hg	Ni	Pb	Sn	Th	U	Zn		
S. 35, Tab. 16	QUARTÄR																
	ersetzen von:	Löß, Lößlehme	e	8,0	(12)	(210)	(22)	56	15	285	k. A.	18	42	(1,0)	(10)	(2,3)	50
	durch:	Löß, Lößlehme	e	8,0	(12)	(210)	(22)	56	15	285	k. A.	18	35	(1,0)	(10)	(2,3)	50
	ersetzen von:	Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	16	(40)	320	13	43	20	330	k. A.	16	25	(5,2)	(5,8)	(2,0)	54
	durch:	Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	16	(30)	320	13	43	20	330	k. A.	16	25	(5,2)	(5,8)	(2,0)	54
	TERTIÄR																
	ersetzen von:	Phonolithe	u	5,8	(20)	(1.300)	15	5,0	3,0	(795)	k. A.	(65)	11	(1,5)	28	5,7	(85)
	durch:	Phonolithe	u	5,8	(20)	(1.300)	15	5,0	3,0	(795)	k. A.	(65)	11	(1,5)	25	5,7	(85)
	OBERKARBON - PERM																
	ersetzen von:	Jüngere Granite	γ ²	18	30	50	0,74	2,5	2,0	7.800	0,04*	2,0	10	47	19	11	65
	durch:	Jüngere Granite	γ ²	18	30	50	0,74	2,5	2,0	7.800	0,04*	2,0	20	47	19	11	65
	ersetzen von:	Saure Vulkanite	γ	3,0	16	460	2,0	7,0	6,2	450	(0,03)	3,0	23	6,0	25	5,1	55
durch:	Saure Vulkanite	γ	21	16	460	2,0	7,0	6,2	450	(0,03)	3,0	23	6,0	25	5,1	55	

Abbildung	Korrekturen		
		ersetzen von:	
S. 7, Abb. 1	erläuternder Text		Vereinfachte geologische Karte des Freistaates Sachsen - Petrogeochemische Einheiten
		durch:	Vereinfachte geologische Karte des Freistaates Sachsen - Petrogeochemische Einheiten
S. 9, Abb. 2	QUARTÄR Auenterrasse	f ²	Arsen in mg/kg 10-15 15-20
	Pleistozäne Flußterrassen	f ¹	10-15 15-20
S. 23, Abb. 9	QUARTÄR Löß, Lößlehm	e	Nickel in mg/kg 20-40 10-20
S. 25, Abb. 10	TERTIÄR Basaltoide	φ	Blei in mg/kg <6 6-12
	ORDOVIZIUM - UNTERKARBON Basische Vulkanite	v	<6 6-12