

Geochemischer **ATLAS**

Bundesrepublik Deutschland

Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten

HEINRICH FAUTH, ROLAND HINDEL, ULRICH SIEWERS & JÜRGEN ZINNER

Probenahme

Rudolf Wewer, Erich Adick, Klaus Bieramperl, Hubert Böttcher, Wolfgang Bolbecher, Andreas Bruns, Rainer Büsing, Cornelius Carp, Michael Dempewolf, Jörg Detlef Eckhardt, Fred Flohr, Manfred Gläser, Abdul Hanan, Henner Hartmann, Wilfried Kramm, Michael Krieter, Rainer Kretschmann, Jörg Leopold, Wilhelm Niehstädt, Klaus Rust & Horst Wolfrum

Probenvorbereitung

Horst Fechner, Margarete Gryschka, Wolfgang Jürgens, Heidemarie Klesper, Brigitte Meyer & Frank Weinert

Analytik

Hermann Fesser, Ulrich Brinkmann, Joachim Cramm, Wolfgang Glatte, Bodo Harazim, Klaus Last, Bodo Mieke, Jürgen Rausch, Klaus Tacke & Wilhelm Wisch

Hannover 1985 (Digitale Bearbeitung und Bereitstellung 2022)

BUNDESANSTALT für GEOWISSENSCHAFTEN und ROHSTOFFE

In Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart



Anschriften der Autoren^{1,2}:

Dr. H. FAUTH, Dr. U. SIEWERS, J. ZINNER,
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Stilleweg 2, D-30655 Hannover.

Dr. R. HINDEL,
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
Stilleweg 2, D-30655 Hannover

ISBN 3-980 1097-0-4

Hannover 1985

Redaktion: Dr. D. Pfeiffer

Anschrift des Herausgebers²:

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2, D-30655 Hannover

Vertrieb²:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller),
Johannesstr. 3A, D-70176 Stuttgart; Tel.: +49 711/351456-0

¹ Zum Zeitpunkt der digitalen Bereitstellung sind die genannten Autoren aus Altersgründen nicht mehr in der BGR tätig. Die digitale Bearbeitung erfolgte durch U. Rauch, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin, Wilhelmstraße 25-30, D-13593 Berlin, Email: uwe.rauch@bgr.de, geochemische-atlantent@bgr.de.

² Die Anschriften wurden auf den Stand des Jahres 2022 aktualisiert.

Anmerkungen zur digitalen Bereitstellung der Texte

Bei den in diesem Dokument bereitgestellten Texten handelt es sich um die Originaltexte aus der 1985 durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) herausgegebenen Papierausgabe des „Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland“. Die Texte wurden inhaltlich gegenüber der Originalausgabe nicht verändert, lediglich an die Neue deutsche Rechtschreibung angepasst. Gleichzeitig wurden redaktionell Anmerkungen eingefügt, die die Unterschiede zwischen der Papierausgabe von 1985 und der elektronischen Bereitstellung dokumentieren und erläutern. Diese redaktionellen Anmerkungen sind jeweils als Fußnoten eingefügt.

Die digitale Bearbeitung und Bereitstellung erfolgte durch U. Rauch, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin, Wilhelmstraße 25-30, D-13593 Berlin, Email: uwe.rauch@bgr.de. Anfragen zur digitalen Bearbeitung und Bereitstellung des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland sowie inhaltliche Fragen zu diesem Atlas richten sie bitte an geochemischeatlanten@bgr.de.

Vorwort

Der Geochemische Atlas ist ein Beitrag zum Umweltschutz und zur Rohstofferkundung in der Bundesrepublik Deutschland.

In der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe werden seit 1958 Wässer, Sedimente und Böden im Rahmen geochemischer Prospektionen auf Schwermetallgehalte untersucht. Bei diesen Untersuchungen ergaben sich neben Prospektionshinweisen auch Anzeichen auf Umweltbelastungen. Seit 1977 erfolgte eine systematische geochemische Multielementuntersuchung des Gesamtgebietes der Bundesrepublik Deutschland. Großflächig schwermetallbelastete Gebiete oder lagerstättenhöfliche Bereiche wurden durch die Analyse von Wässern und Bachsedimenten erfasst. Es konnten erstmals die Schwermetallgehalte der Wässer und Bachsedimente für die Bundesrepublik Deutschland vergleichbar bestimmt und damit der Status quo der Belastung durch Schwermetalle dokumentiert werden.

Mit diesen Untersuchungen wurden die großflächigen geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastungen weitgehend erfasst. Jüngste Umwelteinflüsse durch Staub, Rauch und Niederschläge haben sich der Erfassung partiell entzogen, weil diese Schadstoffe je nach den Gegebenheiten erst einmal von den Böden resorbiert, gepuffert oder angereichert werden, bevor sie sich als Anomalien in den Bachwässern und Sedimenten bemerkbar machen.

In der geologisch verhältnismäßig gut bekannten Bundesrepublik mit ihrem seit Jahrhunderten umgehenden Bergbau war es nur wenig wahrscheinlich, neue Blei-, Kupfer-, Zink-, Baryt- und Fluoritlagerstätten mit dieser geochemischen Prospektion zu finden. Dagegen bestätigte sich die Annahme, dass sich bei den selteneren, erst in den letzten Jahrzehnten stark prospektierten Elementen wie Uran und Wolfram Hinweise auf Anreicherungen ergeben.

Mit der im Projekt entstandenen umfangreichen GEOchemischen MULTielement DATEi (GEO-MULDAT) ist eine EDV-Dokumentation erstellt worden, die einen schnellen Zugriff auf Detailergebnisse, z.B. Listen oder Karten, in allen Maßstäben erlaubt. Eine statistische Bearbeitung und Verknüpfung mit Daten aus Mineralexploration, Umweltforschung, Gesundheitswesen und Wasserwirtschaft ist möglich. Die Nutzung von GEOMULDAT kann Interessenten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Behörden zur optimalen Bearbeitung der Daten dienen.

Schließlich soll der Atlas zu multidisziplinärer Zusammenarbeit anregen, um die Zusammenhänge der Spurenelementverteilung in der Natur weiter zu erforschen. Dies ist im Hinblick auf die zunehmende Umweltbelastung von Bedeutung, z.B. bei der allgemeinen humanen Gesundheitsfürsorge oder bei der Aufklärung von Schäden in Pflanzen- und Tierzucht.

Die Herausgabe des Geochemischen Atlas wurde durch die finanzielle Förderung des Bundesministers für Forschung und Technologie ermöglicht. Weiterhin wurden die Arbeiten durch die geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgabe der Geologischen Landesämter, durch Kreis- und Gemeindebehörden, durch Forstdienststellen und durch viele andere tatkräftig unterstützt.

Ihnen allen gilt mein Dank.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Bender'. The signature is written in a cursive, flowing style with a prominent initial 'F'.

(Prof. Dr. F. Bender)

Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Hannover, März 1985

Inhaltsverzeichnis

Anmerkungen zur digitalen Bereitstellung der Texte.....	3
Vorwort.....	4
Inhaltsverzeichnis	6
1. Einführung	8
1.1. Allgemeines	8
1.2. Probeentnahme und –bearbeitung	9
1.3. Analysenverfahren	10
1.4. Statistik.....	12
1.4.1. Statistische Kenndaten der Bachsedimente und Wässer	12
1.4.2. Fehlerabschätzung der Messwerte	13
1.5. Darstellung der Ergebnisse	13
1.6. Nutzung der Datei	17
1.7. Allgemeine Hinweise zu den Ergebnissen.....	18
1.8. Schlussbemerkungen.....	20
1.9. Schriften	20
2. Karten 1 : 2.000.000	23
2.1. Probeentnahmepunkte	23
2.2. Geologische Karte.....	23
2.3. Geochemische Karten	23
2.3.1. Bachwässer	23
2.3.1.1. pH-Wert und Leitfähigkeit	23
2.3.1.2. Cadmium in Bachwässern	24
2.3.1.3. Kobalt in Bachwässern	24
2.3.1.4. Kupfer in Bachwässern	25
2.3.1.5. Fluorid in Bachwässern	26
2.3.1.6. Nickel in Bachwässern	26
2.3.1.7. Blei in Bachwässern	27
2.3.1.8. Uran in Bachwässern.....	27
2.3.1.9. Zink in Bachwässern	28

2.3.2.	Bachsedimente	28
2.3.2.1.	Barium in Bachsedimenten.....	28
2.3.2.2.	Cadmium in Bachsedimenten.....	29
2.3.2.3.	Kobalt in Bachsedimenten.....	30
2.3.2.4.	Chrom in Bachsedimenten	30
2.3.2.5.	Kupfer in Bachsedimenten	31
2.3.2.6.	Fluorid in Bachsedimenten.....	32
2.3.2.7.	Nickel in Bachsedimenten.....	32
2.3.2.8.	Blei in Bachsedimenten	33
2.3.2.9.	Strontium in Bachsedimenten.....	34
2.3.2.10.	Uran in Bachsedimenten.....	35
2.3.2.11.	Vanadium in Bachsedimenten.....	35
2.3.2.12.	Zink in Bachsedimenten	36
2.3.2.13.	Lithium in Bachsedimenten.....	37
2.3.2.14.	Wolfram in Bachsedimenten	37
2.3.2.15.	Zinn in Bachsedimenten	38
2.3.3.	Flusswässer	39
2.3.4.	Flussedimente	39
3.	Karten 1 : 200.000 und 1 : 50.000, Pb - Blei	39

1. Einführung

1.1. Allgemeines

Seit etwa 60 Jahren werden bei der Lagerstättensuche Spurenelemente in Gesteinen, Böden, Bachsedimenten, Gewässern und in der Vegetation analysiert, um durch erhöhte Werte Hinweise auf mineralisierte Zonen zu erhalten. Diese geochemischen Prospektionen beschränkten sich anfangs auf kleine Gebiete und wenige Elemente. In der Bundesrepublik Deutschland wurde so vornehmlich nach Uran, Blei, Kupfer, Zink, Baryt und Fluorit gesucht. Mit zunehmender Erfahrung und Rationalisierung der Analysen- und Datenverarbeitungstechniken wurde es möglich, größere Flächen gleichzeitig auf mehrere Mineralien zu prospektieren. Die in der Natur auftretenden erhöhten Gehalte an chemischen Elementen haben ihre Ursache nicht nur in der natürlichen chemischen Beschaffenheit des Untergrundes (geogene Gehalte), sondern geben auch Hinweise auf Umweltverschmutzungen durch den Menschen (anthropogene Anreicherung). In dem hier vorgelegten Geochemischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland sind 62 Karten zu Fragen der Umweltbelastung und zur Lagerstättensuche enthalten. Zur Erstellung dieser Karten sind an etwa 80.000 über die Bundesrepublik verteilten Probeentnahmepunkten jeweils Bachsediment- und Wasserproben entnommen worden. Die Wasserproben wurden im Gelände in einem Laboratoriumswagen umgehend auf zehn Parameter untersucht, die Bachsedimente sind im Laboratorium in Hannover nach unterschiedlichen Methoden auf 30 Elemente analysiert worden.

Sämtliche ermittelten Daten sind auf elektronischen Trägern gespeichert und in Form von Listen, Karten (schwarzweiß und farbig) und Statistiken darstellbar. So ist es möglich, über den Atlas hinaus Detailinformationen zu erhalten. Die in diesem Atlas dargestellten geochemischen Karten besitzen aus Formatgründen den Maßstab 1:2.000.000. Dadurch sind die Messergebnisse einzeln nicht mehr darstellbar¹. Die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland wurde deshalb in ein Rasternetz von (3 x 3) km² unterteilt und für jedes Feld der Mittelwert und/oder der Höchstwert¹ aller in dem jeweiligen Raster vorhandenen Proben ermittelt und gezeichnet. Dabei wurden die Messergebnisse normalerweise in sechs Klassen unterteilt. Die Klassifizierung erfolgte nach statistischen Gesichtspunkten. Bei den Elementkarten mit einer geringeren Anzahl von Klassen war in der Regel ein hoher Anteil von undefinierten Werten vorhanden, die unterhalb der analytischen Nachweisgrenze lagen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte

¹ Durch die digitale Bereitstellung zoombarer Karten über GIS sowie die gegenüber 1985 weiterentwickelte Drucktechnik war für die digitale Bereitstellung des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland auch eine Einzeldarstellung der Messwerte möglich. Daher ist in der digitalen Ausgabe die Berechnung der Maximalwerte der Rasterzellen sowie deren perspektivische Darstellung entfallen. Diese wurde durch Punktkarten der Einzelwerte ersetzt, aus denen die Maximalwerte ebenfalls erkenntlich sind. Darüber hinaus enthält die digitale Ausgabe farbige Isoflächenkarten mit 72 Klassen, aus denen sowohl die Nivellierung des geochemischen Untergrundes als auch die Verteilung erhöhte und anomale Gehalte weitaus detaillierter erkennbar sind als aus den Karten der Druckausgabe von 1985.

farbig in zweidimensionalen Karten sowie in einer perspektivischen Wiedergabe der Maximalwerte in Säulenform¹. Die Gegenüberstellung der Karten mit Mittel- und Maximalwerten ermöglicht eine optimale Nutzung sowohl für die weitere geochemische Prospektion als auch für die Bearbeitung von Umweltfragen.

Zur Ermittlung der natürlichen geogenen Gehalte wurden die anthropogen weniger beeinflussten Oberläufe der Bäche sowie Brunnen und Quellen beprobt. Die Umweltbelastungen sind durch Proben aus anthropogen stärker beeinflussten Flüssen erfasst.

1.2. Probeentnahme und –bearbeitung

Die Proben wurden 1977 bis 1983 in den Monaten Mai bis September entnommen. Die Klimaeinflüsse wurden dabei in der Regel nicht berücksichtigt. Nur bei extremen Wetterlagen (heftige Stürme oder Gewittergüsse) wurde die Entnahme vorübergehend unterbrochen. In den Oberläufen der Bäche waren nach starken Regenfällen die Wässer schon sehr bald wieder klar, und es machten sich keine entscheidenden Veränderungen des Chemismus bemerkbar.

Die Entnahmepunkte wurden jeweils vor den Einsätzen auf TK 25-Karten festgelegt. Dabei wurden die Punkte möglichst statistisch über die Karte verteilt, um keine geologische Einheit zu bevorzugen. Ausgesprochene Industrie- und Stadtlandschaften (wie Ruhrgebiet, Rhein-Main-Zone, Berlin) wurden nicht beprobt.

Drei Geländetrupps waren zur Probeentnahme eingesetzt. Pro Entnahmepunkt wurden je 1 l Bach-, Brunnen- oder Quellwasser in einer Polyethylenflasche und etwa 500 g Bachsediment in einer Papiertüte gesammelt. War das vorliegende Sediment relativ grob, wurde es bei der Entnahme auf eine Korngröße von weniger als 2 mm abgesiebt.

Auf einer Geländedatenkarte wurden am Entnahmeort Breite, Tiefe, Fließgeschwindigkeit der Bäche und erkennbare Umweltbeeinträchtigungen vermerkt. Bei den Wässern wurden die Leitfähigkeit und der pH-Wert am Entnahmetag gemessen.

In einem Laborwagen, der im Zentrum des jeweiligen Untersuchungsgebietes von ca. 3000 - 4000 km² aufgestellt war, wurden die Wasserproben umgehend analysiert, die Sedimentproben bei 90°C im Trockenschrank getrocknet.

Im Labor in Hannover wurde nach der Teilung der Sedimentproben die eine Hälfte als Belegmaterial aufgehoben, die andere auf < 0,200 mm abgesiebt (80 mesh). Ein Anteil (ca. 2 g) der feinen Fraktion wurde mit einer Achat-Mikromühle auf kleiner als 0,03 mm Korngröße gemahlen.

Auch von den aufbereiteten Sedimenten ist ein Probenarchiv angelegt, wobei allerdings bei etwa 5 % der Proben durch mehrfache Analysenüberprüfungen die Substanz verbraucht ist.

Zur Sicherstellung der Ergebnisse wurde an 6000 Entnahmepunkten jeweils eine Doppelprobe zusätzlich entnommen. Die Probenbehandlung war die gleiche wie oben beschrieben.

¹ Siehe Fußnote auf der vorhergehenden Seite.

1.3. Analysenverfahren

Im Jahre 1976 standen für die Durchführung der beabsichtigten großen Anzahl von Analysen ein Optisches Emissionsspektrometer (OES) (Typ Atomcomp 750 - Jarrell-Ash) als Zentralgerät, Atomabsorptionsspektrometer (AAS) (IL 751), Photo- und Fluorimeter zur Verfügung.

Beim Routinebetrieb mit dem OES stellte sich dann allerdings heraus, dass durch kaum korrigierbare Matrixeffekte, Linienüberlappungen, Verpuffungen und Carbiddbildung von den im Gerät vorgesehenen 28 Kanälen für Spurenbestimmungen die Ergebnisse der Elemente Ag, As, B, Be, Bi, Cd, Ce, Ga, Ge, La, Li, Mo, Mn, Nb, Sb, Sc, Sn, W, Y, Zn, Zr schlecht reproduzierbar waren. Die Ba-, Co-, Cr-, Cu-, Ni-, Pb-, Sr- und V-Analysen waren hinreichend genau.

Darum wurde der Analysenschwerpunkt auf die Atomabsorptionsspektrometrie verlegt, weil mit dieser Methode die Bestimmungen von Cd, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Li aus einem Säureaufschluss und von Sn aus einem Sonderaufschluss wesentlich genauer waren. Diese Analyseergebnisse wurden für die Erstellung des Atlas benutzt, während von den OES-Bestimmungen nur die Analyseergebnisse der Elemente Ba, Cr, Sr und V berücksichtigt wurden.

Für F-, U- und W-Analysen wurde eine potentiometrische, fluorimetrische bzw. photometrische Bestimmungsmethode angewendet. Alle Methoden wurden wegen der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse während der siebenjährigen Laufzeit des Programms durchgehalten, obwohl während dieser Zeit verbesserte Techniken (z. B. ICP) verfügbar wurden.

Die Analysenfehler für die einzelnen Elemente sind aus Abb. 1 bis 3 zu entnehmen.

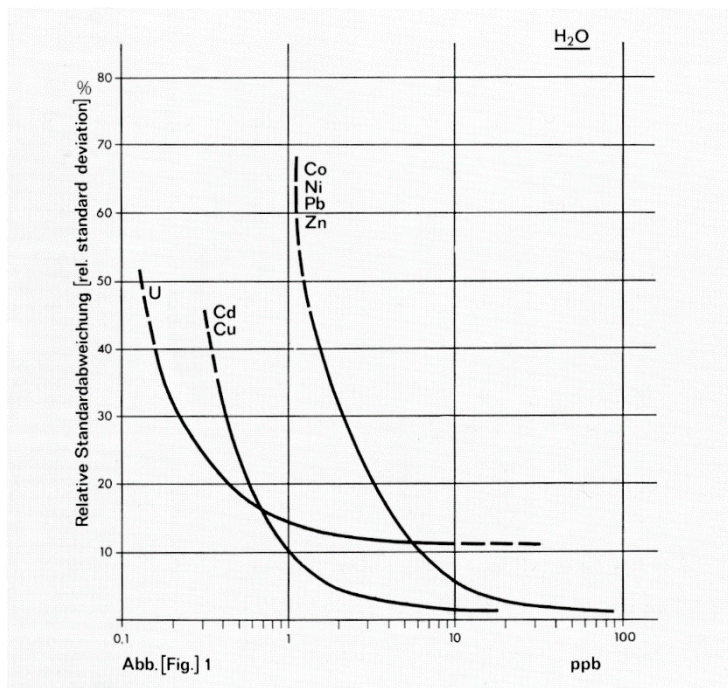


Abb. 1: Analysenfehler (prozentuale relative Standardabweichung in Abhängigkeit von der Konzentration), Wasser

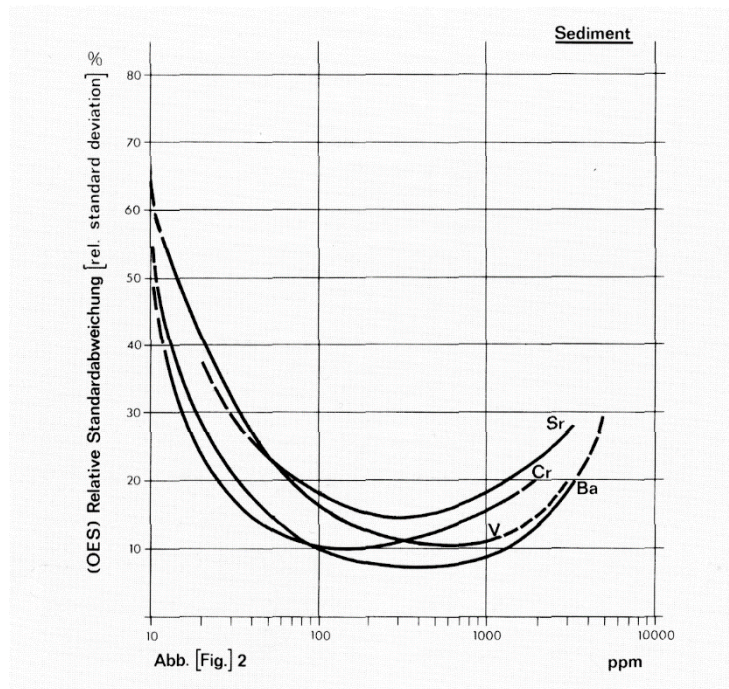


Abb. 2: Analysenfehler (prozentuale relative Standardabweichung in Abhängigkeit von der Konzentration), Sediment, OES

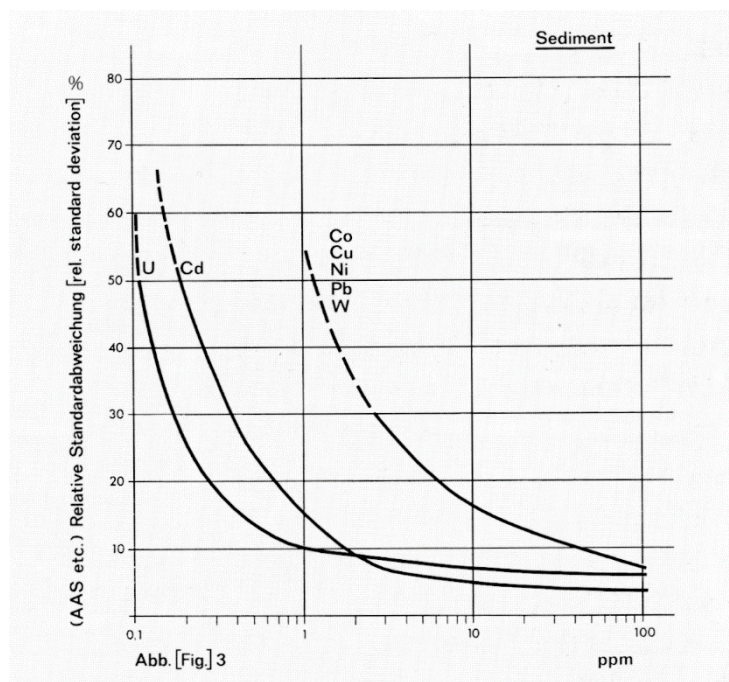


Abb. 3: Analysenfehler (prozentuale relative Standardabweichung in Abhängigkeit von der Konzentration), Sediment AAS e.t.c.

Spurenbestimmungen in Wässern

Cd-, Cu-, Co-, Ni-, Pb- und Zn-Ionen wurden aus 400 ml Wasser mit Dithizon/Butylacetat extrahiert und am AAS gemessen. Die Bestimmung von Uran erfolgte fluorimetrisch nach einer Extraktion aus 100 ml Wasser mit Tri-n-octylphosphinoxid/Cyclohexan. Bei der Fluoridbestimmung bewährten sich ionensensitive Elektroden sehr gut.

Spurenbestimmungen in Bachsedimenten

- Ba, Cr, Sr und V aus 12 mg Substanz mit dem OES-Quantometer auf den Linien 455.4, 424.5, 460.7, 437.9 nm;
- Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn nach Aufschluss mit halbkonzentrierter HNO₃ und Sn mit NH₄J am AAS;
- U und F nach Säureaufschluss analog wie bei den Wasserproben;
- W nach Aufschluss mit HCl-HClO₄ als Dithiolkomplex photometrisch.

Die Analysendaten liefen überwiegend im Online-Verfahren von den Messgeräten auf elektronische Datenträger.

1.4. Statistik

1.4.1. Statistische Kenndaten der Bachsedimente und Wässer

Das umfangreiche Datenmaterial zum Geochemischen Atlas (ca. 3 Mio. Einzeldaten) ist mit statistischen Methoden aufgearbeitet worden.

In der Tabelle 1 sind die dabei ermittelten statistischen Kenndaten, wie kleinster und größter Wert, geometrisches Mittel, Zentralwert sowie die jeweilige Anzahl der berücksichtigten Proben aufgelistet. Der Zentralwert (= Halbwert oder Median) gibt denjenigen beobachteten Wert an, der eine Verteilung in zwei gleich große Hälften teilt, sodass jeder Teil 50 % der Messwerte enthält. Im Gegensatz zum arithmetischen Mittel bleibt der Zentralwert von Extremwerten unbeeinflusst.

Bei der Interpretation geochemischer Daten wird häufig das geometrische Mittel benutzt. Zum Vergleich ist deshalb in der Tabelle 1 dieser Wert aufgelistet.

Bei der Statistik wurden die Werte unterhalb der analytischen Nachweisgrenze in der Größe der jeweils halben Nachweisgrenze in die Berechnung mit einbezogen (z.B. Fluorid in Wasser mit < 100 ppb wird als 50 ppb gerechnet).

Diese statistischen Kenndaten sind einmal für die gesamten Daten aus der Bundesrepublik Deutschland, zum anderen für Teilmengen aus geologisch definierten Gebieten berechnet worden. Allerdings konnten nur 60 % der Proben anhand von geologischen Karten einem geologischen Liefergebiet zugeordnet werden.

Außerdem wurden die statistischen Parameter der Flusssedimente und Flusswässer aufgeführt. Die Elementgehalte der Bachsedimente spiegeln deutlich den Einfluss der verschiedenen geologischen oder lithologischen Einheiten wider. So zeigen beispielsweise die Bachsedimente, deren Liefergebiete aus karbonischen Schichten aufgebaut sind, deutlich höhere Blei-, Zink-, Cadmium- und Lithiumgehalte als die Bachsedimente der anderen geologischen oder lithologischen Einheiten. Die höchsten Zentralwerte für Kupfer, Nickel, Vanadium und Chrom treten in Bachsedimenten auf, deren Liefergebiete aus basischen Magmatiten bestehen, während die

höchsten Uran- und Fluorid-Zentralwerte in Gebieten auftreten, in denen saure Magmatite anstehen. Bachsedimente, die im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins entnommen wurden, sind überwiegend durch sehr niedrige Elementgehalte gekennzeichnet.

Bei den Wasserproben ist der Einfluss der geologischen oder lithologischen Einheiten mit Ausnahme von Zink und Uran nicht sehr ausgeprägt. Zink zeigt jedoch in Quartärgebieten mit 14 ppb einen deutlich höheren Zentralwert als in Gebieten, in denen Schichten des Perm, der alpinen Trias oder Metamorphite anstehen (Zentralwert = 5 ppb). Uran weist in Keupergebieten mit 0,9 ppb den höchsten Zentralwert auf gegenüber nur 0,1 ppb in Buntsandstein und Devon. Bei der Auswertung der Elementgehalte in Bachsedimenten, untergeordnet auch in Wässern, muss der geogen bedingte Elementanteil unbedingt berücksichtigt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

1.4.2. Fehlerabschätzung der Messwerte

Zur Sicherstellung der Messergebnisse wurden an etwa 6000 bereits beprobten Entnahmestellen Doppelproben zusätzlich entnommen. Tabelle 2 zeigt, wieviel Prozent der überprüften Proben wieder in gleiche Messwertklasse fallen und wieviel Prozent um eine oder mehrere Klassen bei der Überprüfung differieren.

Die gleiche Berechnung wurde nochmals nur für die höheren Messwerte, die oberhalb der untersten Klasse liegen, vorgenommen und diese Resultate in derselben Tabelle in Klammern wiedergegeben. Wenn sich danach durchschnittlich 97,4 % der Überprüfungen nur um 0 bis 1 Klasse verschieben und diese Ergebnisse für mögliche Interpretationen als richtig anzusehen sind, ist dennoch zu empfehlen, bei wichtigen Einzelproben eine erneute Überprüfung zu veranlassen, bevor kostenträchtige Nachfolmaßnahmen in die Wege geleitet werden. Eine Gewähr für die Richtigkeit eines Einzelwertes kann nicht gegeben werden, weil nur ein Teil der Ergebnisse überprüft werden konnte.

1.5. Darstellung der Ergebnisse

Die Messwerte der Multielementuntersuchungen sind auf Karten im Maßstab 1:2.000.000 in einem quadratischen Raster von je 1,5 mm Kantenlänge i. a. durch sechs Farben dargestellt¹. Diese Wahl bedingt, dass

- in den Rasterfeldern (jeweils 9 km²) je nach Probeentnahmedichte 1 bis 20 Proben liegen, von denen einmal das arithmetische Mittel und zum anderen der Maximalwert dargestellt werden;
- die Ergebnisse klassifiziert und sechs ausgewählten Farben zugeordnet werden. Bei pH und Leitfähigkeit werden zehn Klassen unterschieden. Liegt keine Probe in dem betreffenden Rasterfeld, dann bleibt die Fläche weiß.

¹ In der digitalen Bereitstellung des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland 2022 sind weitere Darstellungsvarianten enthalten, siehe Kapitel 2.3.

Tabelle 2: Fehlerbetrachtungen (in %)

Bachwässer	Anzahl der verglichenen Ergebnisse	Ergebnisse				Bachsedimente	Anzahl der verglichenen Ergebnisse	Ergebnisse			
		in derselben Klasse	verschieden um					in derselben Klasse	verschieden um		
			1 Klasse	2 Klassen	3 Klassen				1 Klasse	2 Klassen	3 Klassen
Cd	12563 (4052)	94,2 (82,0)	4,3 (13,2)	1,2 (3,7)	0,2 (0,8)	Cd	10830 (4964)	94,8 (88,7)	4,1 (9,0)	0,9 (2,0)	0,1 (0,3)
Co	12631 (3139)	92,0 (67,6)	3,9 (15,8)	2,4 (9,6)	0,8 (3,3)	Co	10913 (87207)	89,0 (83,4)	8,9 (13,5)	1,4 (2,2)	0,5 (0,7)
Cu	10208 (4285)	92,7 (82,5)	4,5 (10,8)	1,6 (3,9)	0,9 (2,0)	Cu	10897 (7351)	89,0 (83,6)	7,9 (11,7)	1,9 (2,8)	0,7 (1,0)
F	12106 (5192)	89,8 (76,2)	3,4 (7,9)	5,3 (12,3)	0,6 (1,3)	F	10564 (3453)	95,0 (84,6)	4,2 (12,8)	0,7 (2,1)	0,2 (0,5)
Ni	12621 (10744)	89,2 (87,3)	8,7 (10,2)	1,5 (1,8)	0,4 (0,5)	Li	8766 (4538)	97,9 (95,9)	2,0 (3,9)	0,1 (0,2)	0,0 (0,0)
Pb	12628 (5178)	90,3 (76,3)	5,6 (13,7)	2,4 (5,9)	0,9 (2,2)	Ni	10915 (7749)	94,5 (92,2)	4,7 (6,6)	0,7 (1,0)	0,2 (0,2)
U	12458 (2641)	97,9 (89,9)	1,7 (8,1)	0,3 (1,6)	0,1 (0,4)	Pb	10837 (8356)	91,8 (89,4)	6,0 (7,8)	1,5 (1,9)	0,5 (0,7)
Zn	12582 (11147)	87,8 (86,2)	9,0 (10,2)	1,8 (2,0)	0,8 (0,9)	Sn	1017 (600)	73,6 (55,3)	15,2 (25,8)	8,7 (14,7)	2,0 (3,3)
						U	10885 (6235)	94,7 (90,8)	4,7 (8,2)	0,5 (0,9)	0,1 (0,1)
						W	8438 (361)	97,8 (48,5)	0,8 (19,7)	0,7 (16,6)	0,3 (7,8)
						Zn	10880 (8448)	91,6 (89,2)	6,2 (8,0)	1,9 (2,4)	0,2 (0,3)

Bei der Klassifizierung der Messwerte wurden die Klassengrenzen so gewählt, dass über dem 50 Perzentilwert (=Median) als unterste Klassengrenze die beiden folgenden Klassengrenzen (85 und 95 Perzentil) in grober Annäherung je eine Standardabweichung der Verteilung ausmachen. Da die darüber liegenden Werte schon als Anomalien zu definieren sind, werden die nun folgenden Klassen (99,0 und 99,9 Perzentil) willkürlich enger unterteilt, um in diesem wichtigen Bereich noch besser differenzieren zu können.

Wenn allerdings bei einigen Elementen sehr viele Werte unterhalb der analytischen Nachweisgrenze lagen, z.B. 80 %, dann wurde die unterste Klasse bis auf eine andere Klassengrenze ausgeweitet. Ohnehin können im weiteren Bereich der Nachweisgrenze wegen mangelnder Messgenauigkeit ungerechtfertigte Häufungen bei gerundeten Größen (z.B. 1; 5; 10) auftreten, die Verzerrungen in den Histogrammen und Summenhäufigkeitskurven verursachen.

Bei der Darstellung der Maximalwerte ist die Farbgebung noch mit perspektivischen Säulen kombiniert, deren Längen den jeweiligen Ergebnissen proportional sind; die längste Säule entspricht dem angegebenen Maximalwert. Durch die perspektivische Verzerrung ist diese Karte nicht mehr maßstabsgerecht.¹

Bei diesen Darstellungen besteht für die praktische Nutzung des Atlas die Einschränkung, dass einmal von Mittelwerten aus wechselnden Probenzahlen ausgegangen wird, zum anderen bei den Maximalwertdarstellungen nur eine relativ ungenaue örtliche Zuordnung möglich ist. Trotz der beiden unterschiedlichen Darstellungsformen je Element wurde das gleiche Rasterformat für beide Karten eingehalten, sodass z.B. für das Rasterfeld des Maximalwertes das identische Rasterfeld für den Mittelwert aufgesucht werden kann. Zwei transparente Überdeckfolien sind im Anhang für die Zuordnung der TK 25-Blätter und zum Auffinden wichtiger Lokalitäten beigelegt².

Die Farbvorlagen für die Druckfolien der Karten wurden auf einem APPLICON-Farbrasterplotter erstellt. Die Magnetbandsteuerung dafür ist auf einer SIEMENS 7.741 mit Hilfe einer UNIRAS-Software gerechnet worden³.

¹ In der digitalen Ausgabe ist die Berechnung der Maximalwerte der Rasterzellen sowie deren perspektivische Darstellung entfallen. Diese wurde durch Punktkarten der Einzelwerte ersetzt, aus denen die Maximalwerte ebenfalls erkenntlich sind. Darüber hinaus enthält die digitale Ausgabe farbige Isoflächenkarten mit 72 Klassen, aus denen sowohl die Nivellierung des geochemischen Untergrundes als auch die Verteilung erhöhte und anomale Gehalte weitaus detaillierter erkennbar sind als aus den Karten der Druckausgabe von 1985.

² Diese Folien sind in der digitalen Ausgabe nicht enthalten. Die im PDF- und PNG-Format herunterladbaren Karten sind jedoch mit einer weitaus höher aufgelösten Topographie hinterlegt.

³ Bei der Erstellung der in der digitalen Version des Atlas enthaltenen Karten wurde für die Berechnung der Raster die Software Golden Software[®] Surfer[®] verwendet, die Erzeugung der herunterladbaren Shapes und Karten erfolgte mit ESRI ArcGIS[®].

1.6. Nutzung der Datei¹

Alle Daten, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens bestimmt wurden, sind in der Datei GEOMULDAT (= GEOchemische MULTielement-DATei) gespeichert und stehen Interessenten gegen Kostenerstattung zur Verfügung.

Es können ausführliche Detailkarten in beliebigen Maßstäben und Ausschnitten angefordert werden. Die Darstellung von klassifizierten Einzelergebnissen ist ab Maßstab 1 : 200.000 und kleiner, die lückenlose numerische Wiedergabe aller Werte pro Element ab Maßstab 1 : 50.000 und kleiner, möglich. Dafür sind Beispiele auf S. 76 - 79 des Atlas dargestellt. Die angeforderten Detailkarten sollten unter Angabe des Maßstabs nach Möglichkeit so gewählt werden, dass sie im Grenzraster der TK 25 liegen. Dafür ist im Anhang eine entsprechende transparente Überdeckfolie für die Karten im Maßstab 1 : 2.000.000 mit dem Raster der TK 25 beigelegt. In Ausnahmefällen dürfen für die in Frage kommenden Ausschnitte aber auch die Eckkoordinaten (nach GAUSS-KRÜGER) angegeben werden. Nach den gleichen Auswahlmethoden können auch Listen der Untersuchungsergebnisse mit den zugehörigen Koordinaten der Probeentnahmepunkte angefordert werden.

Neben den in den Karten dargestellten Ergebnissen sind in der Datei die OES-Messergebnisse von weiteren 14 in diesem Atlas nicht dargestellten Elementen (s. Kap. 1.3) vorhanden. Dabei wird insbesondere auf Molybdän hingewiesen, bei dem 8300 Proben nach der AAS-Methode analysiert wurden. Mit diesen zusätzlichen Detailinformationen wird angestrebt, Interessierten das umfangreiche Datenmaterial für Umweltforschung und Prospektion zur detaillierten Auswertung zur Verfügung zu stellen.

¹ Der Inhalt dieses Kapitels ist nicht mehr aktuell. Bei der Datei GEOMULDAT handelt es sich um eine relationale Microsoft-ACCESS-Datenbank mit integriertem Rechercheprogramm. Dieses Rechercheprogramm ist jedoch unter den aktuellen Betriebssystemen nicht mehr lauffähig. Darüber hinaus ist Microsoft ACCESS nur unter Microsoft Windows verfügbar. Daher wurden die Daten in eine tabellarische Struktur überführt sowie in aktuelle Datenformate (*.xlsx, *.csv) konvertiert. Die konvertierten Daten können kostenlos aus dem Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) heruntergeladen werden.

Die Anforderung von Datenlisten und Detailkarten ist nicht mehr möglich. Dafür werden neben dem kompletten Datensatz auch ESRI Shapefiles aller in der digitalen Ausgabe enthaltenen Karten über das Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) zum Download bereitgestellt. Des Weiteren können die Karten über durch die BGR bereitgestellte WMS (Web Map Services) in eigene GIS-Projekte eingebunden oder mit dem Geoviewer der BGR (<https://geoviewer.bgr.de>) in den meisten aktuellen Browsern visualisiert werden. Letztendlich können alle Karten im Maßstab 1 : 2.000.000 einschließlich einer hinterlegte Topographie in den Formaten PDF und PNG in einer Auflösung von wahlweise 300 oder 600 dpi aus dem Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) heruntergeladen werden.

1.7. Allgemeine Hinweise zu den Ergebnissen

Eine umfassende oder eingehende Kommentierung der ermittelten Ergebnisse ist in diesem Geochemischen Atlas nicht beabsichtigt, weil

- die dafür notwendige Detailbearbeitung der umfangreichen Daten erhebliche Zeit benötigt,
- zur Klärung der Ursachen vieler neu entdeckter Anomalien zusätzliche Gelände- und Laboruntersuchungen notwendig sind,
- die vorgelegten Kartendarstellungen im Maßstab 1 : 2.000.000 ohne regionale Bezeichnungen dafür nicht optimal geeignet sind und nur eine allgemeine Übersicht ermöglichen.

Dennoch sind bei den Kartendarstellungen der Messwerte aus den Bachwässern und -sedimenten kurze Erklärungen beigegeben. Damit soll auf einige typische Erscheinungen und Zusammenhänge, auf Bergbaugebiete und wichtige geologische Fakten hingewiesen werden, wobei die Auswahl der Beispiele unvollständig bleiben muss.

Auch ohne die Einbeziehung der Einzelkarten sollen hier einige grundsätzliche Beispiele für die Komplexität der Auswertung gegeben werden.

Als erstes ist auf den großen Einfluss der Geologie auf die ermittelten Ergebnisse hinzuweisen, der auch in der Tabelle 1 an den jeweils unterschiedlichen statistischen Kennwerten deutlich wird. So können in den gabbroid-basaltischen Gesteinen die Elemente Co, Cr, Ni, V, in granitischen Gesteinen die Elemente Ba, Li, Pb, U oder in Schwarzschiefern die Elemente Cu, Pb, U, V, Zn beachtlich angereichert sein. Örtlich können in diesen Gebieten die natürlichen (geogenen) Gehalte einzelner Elemente in den Wässern, Bachsedimenten und Böden schon so hoch sein, dass festgelegte Grenzwerte weit überschritten werden, ohne dass Umweltfrevel vorliegt.

Gravierender werden diese Erscheinungen noch in den Zonen, in denen sich Erze auf Klüften und Gängen oder an Schichten gebundene Erze in mehr oder weniger großen Mengen angereichert haben. Derartige Lagerstätten sind und waren seit Jahrhunderten das Ziel von Prospektionen. In der Bundesrepublik haben wir die alten Bergbaugebiete im Harz, Sauerland, in der Eifel, im Schwarzwald, Bayerischen Wald, Fichtelgebirge u. a. mit Pb-, Zn-, U-, Cu-, Fe-, Sn-, F-, Ba-Lagerstätten. Durch die Gewinnung und Verhüttung dieser Erze sind seit Jahrhunderten im Bereich von sehr vielen Gängen, Gruben, Tagebauen, Halden, Poch- und Hüttenplätzen Schwermetalle an die Erdoberfläche, von dort in die Bach- und Flusssedimente und bei Überschwemmungen als Trübstoffe auf Felder und Wiesen gelangt.

Mit den vorgelegten Ergebnissen sind diese alten großräumigen geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastungen in der Bundesrepublik Deutschland relativ sicher erfasst. Dagegen sind in diesem Atlas wahrscheinlich die jüngsten Umweltbelastungen durch Staub, Rauch und Niederschläge nicht immer sicher registriert, weil diese in vielen Fällen erst einmal von den Böden resorbiert, gepuffert oder angereichert werden, bevor sie sich als Anomalien in den Bachwässern und -sedimenten bemerkbar machen.

So brachte z. B. die Umgebung der Bleihütte Nordenham an der Wesermündung keine markanten Bleiindikationen in den Bachsedimenten und -wässern, obwohl die umgebenden Böden erhöhte Bleigehalte aufweisen und dort auch schon Bleivergiftungen bei Tieren vorgekommen sind. In diesen Fällen hatte sich bleihaltiger Staub u. a. auf den Gräsern niedergeschlagen, war mit dem Futter in den Kuhmägen aufgeschlossen worden und so als toxische Substanz in Knochen, Muskeln, Innereien und der Milch der Kühe angereichert worden.

Zwei weitere Beispiele sollen im Zusammenhang mit den Prospektionsergebnissen gegeben werden:

Im Nordsauerland konnten über den Hinweis durch stark erhöhte Bleigehalte in einigen Bachwässern und -sedimenten in den Böden der Einzugsgebiete dieser Bäche extrem hohe natürliche (geogene) Bleigehalte (bis 35.000 ppm Pb) entdeckt werden. Da in diesem Gebiet schon seit Jahrhunderten nach Blei gesucht wird, ist dieses ein umso bemerkenswerteres Prospektionsergebnis.

Bei dem seltener vorkommenden Element Wolfram sind in gleicher Weise im Schwarzwald und im Bayerischen Wald Gebiete mit erhöhten Wolframgehalten in den Bachsedimenten, Böden und Gesteinen ausgewiesen worden. Damit bestätigte sich unsere Annahme, dass mit den Daten dieses Atlas bei den bislang wenig prospektierten Elementen noch Hinweise auf wirtschaftlich nutzbare Anreicherungen gegeben werden können.

Die 581 gesondert für Umweltfragen in Flüssen und Strömen entnommenen Wasser- und Sedimentproben¹ wurden auf Cd, Co, Cu, F, Ni, Pb, U und Zn untersucht und die Ergebnisse von Cd, Cu, Pb, Zn (Seite 68 - 75) als klassifizierte Einzelwerte in Form von Symbolen dargestellt. Die Messwerte aller Elemente können in analoger Weise oder in Listen geliefert werden.

Aus den Karten und Tab. 1 ist ersichtlich, dass bei den Schwermetallgehalten insgesamt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Bächen und den Flüssen bestehen. Bei einigen Flüssen sind allerdings die anthropogenen Auswirkungen vor allem des alten Bergbaus gravierend. Lokal treten dabei auch höhere Spitzengehalte auf (Innerste, Oker im Harzvorland), als dieses in den Bächen der Fall war, selbst die Talauen der nächstfolgenden größeren Flüsse (Leine, Aller) sind noch belastet. Abgesehen davon und von einzelnen anthropogenen Schwermetallerhöhungen waren die untersuchten Flusswässer nicht derartig mit Schwermetallen belastet, dass daraus eine Gefährdung für die Umwelt abgeleitet werden könnte. Von den 581 untersuchten Flusswasserproben wurden nur in je einer Probe die in der Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwerte für Blei von 40 ppb und für Zink von 2000 ppb überschritten (Bundesgesetzblatt 1975).

Diese Aussage darf jedoch nicht verallgemeinert werden auf die sonstige Kontamination der Flüsse mit organischen oder anderen Stoffen.

¹ Die Daten der 581 gesondert für Umweltfragen in Flüssen und Strömen entnommenen Wasser- und Sedimentproben sind in der aktuell verfügbaren Version der GEOMULDAT nicht enthalten, ihr Verbleib ist unklar. Daher sind weder die Analysendaten noch die hier erwähnten Karten in der digitalen Version des Atlas enthalten.

1.8. Schlussbemerkungen

In 62 Karten sind Messergebnisse der etwa 80.000 Wasser- und 70.000 Sedimentanalysen aus Bächen und Flüssen auf 15 Elemente dargestellt worden.

Anhand der vorläufigen Auswertung dieses großen Datenmaterials kann schon jetzt ausgesagt werden:

- In den meisten untersuchten Bächen und Flüssen überwiegen die Umsätze der natürlichen geogenen Kreisläufe so sehr, dass daneben anthropogene Veränderungen der natürlichen Systeme im Rahmen unserer Untersuchungen noch nicht ausgemacht werden können.
- Dabei sind jedoch auch lokale Schwermetallanreicherungen festgestellt worden, die überprüft werden sollten, um mögliche Umweltgefährdungen umgrenzen und spezifizieren zu können.
- Bei den Flüssen (ca. 600 im Jahre 1983 entnommene Proben) ist der anthropogene Eintrag von Cadmium, Kupfer, Blei und Zink als gering einzustufen.
- Bei den selteneren Metallen sind auch in der Bundesrepublik Deutschland noch Prospektionsmöglichkeiten eröffnet worden, wie es sich z.B. bei den positiv verlaufenden Nachfolgeuntersuchungen zeigte, die aufgrund der in diesem Atlas dargestellten Wolframergebnisse begonnen wurden.

Der Abdruck eines umfassenden Literaturverzeichnisses über die Gesamtproblematik ist hier nicht möglich. Dafür sind einige zusammenfassende weiterführende Werke zitiert worden, um auch Interessenten mit weit auseinanderliegenden Zielsetzungen eine ausgewogene Darstellung der derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse an die Hand zu geben.

1.9. Schriften

BARTHEL, F. (1977): Uran-Prospektion in der Bundesrepublik Deutschland. Naturwissenschaften, 64: H 499-506; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

Bundesgesetzblatt (1975): Verordnung über Trinkwasser und über Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe vom 31. 1. 1975. Bundesgesetzblatt 1, S. 453, berichtigt S. 679; Bonn.

Bundesgesetzblatt (1982): Klärschlammverordnung - AbfKlärV. Bundesgesetzblatt, Teil 1, S. 734ff. vom 25. 6. 1982; Bonn.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (1982): Schadstoffe im Wasser, 1: Metalle. 446 S.; Boppard (Boldt).

Fauth, H. & Siewers, U. (1983): Bäche - von der Natur selbst belastet. Bild der Wissenschaft, 5: 78-95; Stuttgart.

Förster, U. & Müller, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. 225 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

- Friedensburg, F. (1971): Die Nichteisen-Metallerzlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland und die Möglichkeiten für ihre weitere Ausnutzung. *Erzmetall*, 24: 369-378, 441-445; Stuttgart.
- Gough, L., Shacklette, H. & Case, A. (1979): Element concentrations toxic to plants, animals and man. *Bull. U. S. geol. Surv.*, 1466: 80 pp.; Washington.
- Henningsen, D. (1976): Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. 119 S.; Stuttgart (Enke).
- Höll, K. (1979): Wasser. 515 S.; Berlin, New York (de Gruyter).
- Institute of Geological Sciences (1978 ff.): Regional Geochemical Atlases (1:250 000) Orkney (1978/79), Shetland (1978), South Orkney + Caithness (1980); Oxford (Blackwells sci. Publ.).
- Kloke, A. (1977): Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. *Mitt. VDLUFA*: 32-38; Darmstadt.
- Merian, E. (1984): Metalle in der Umwelt. 722 S.; Weinheim (Verlag Chemie).
- Nürnberg, H. W., Nguyen, V. D. & Valenta, P. (1982/83): Deposition von Säure und toxischen Schwermetallen in den Niederschlägen in der Bundesrepublik Deutschland. Jahresbericht KFA Jülich: 41-53; Jülich.
- Rauhut, A. (1980): Cadmium-Bilanz 1978-1980. 26 S.; Nürnberg (Landesgewerbeanstalt Bayern).
- Rösler, H. J. & Lange, H. (1975): Geochemische Tabellen. 2. Aufl.: 700 S., 314 Abb.; Leipzig (VEB dt. Verl. Grundstoffindustrie).
- Rose, A., Hawkes, H. & Webb, J. S. (1979): *Geochemistry in Mineral Exploration*. 2nd Ed.: 657 pp.; London (Academic Press).
- Sauerbeck, D. (1982): Zur Bedeutung des Cadmiums in Phosphatdüngemitteln. *Landbauforschung Völkenrode*, 32, 4: 192-197.
- Schmid, H. (1979): Lagerstätten in Bayern. *Bergbau Jg.* 30, 4: 203-206.
- Schmid, H. (1981): Zur Bleiführung in der Mittleren Trias der Oberpfalz. Ergebnisse neuerer Bohrungen. *Erzmetall*, 34: 652-658; Weinheim.
- Turekian, K. & Wedepohl, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. geol. Soc. Amer.*, 72: 175-192; Boulder.
- Walther, H. W. (1983): Über mögliche Ursachen der unterschiedlichen Verbreitung der postvaristischen Baryte und Fluorite im westlichen Mitteleuropa. *Z. dt. geol. Ges.*, 134: 143-151; Hannover.
- Webb, J. S. (1978): *The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales*. 74 pp., 50 fig.; Oxford (Clarendon Press).

Wedepohl, K. H. (Ed.) (1969-1978): Handbook of Geochemistry. Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

World Health Organisation (WHO) (1970): European Standards for Drinking Water. WHO Regional Office for Europe; Copenhagen.

World Health Organisation (WHO) (1971): International Standards for Drinking Water. 3rd Ed.; Geneva.

2. Karten 1 : 2.000.000

2.1. Probeentnahmepunkte¹

2.2. Geologische Karte²

2.3. Geochemische Karten³

2.3.1. Bachwässer

2.3.1.1. pH-Wert und Leitfähigkeit

Beim Vergleich der Karten der pH-Werte, der Leitfähigkeiten und der Geologie fallen Ähnlichkeiten auf, die Abhängigkeiten signalisieren.

So zeigen z.B. die Moorgebiete in Norddeutschland, die Granite, Gneise und Quarzite im Harz, Schwarzwald und Ostbayern, die Buntsandsteingebiete in Hessen und Rheinland-Pfalz relativ saure Wässer (niedrige pH-Werte 4 - 6) mit geringer Leitfähigkeit. Dagegen zeichnen sich Kalkgebiete durch basische Wässer (hohe pH-Werte 7 - 9) mit hoher Leitfähigkeit aus. Die wesentlichen Unterschiede in den pH-Werten und den Leitfähigkeiten sind überwiegend durch unterschiedliche Löslichkeiten und Reaktionen der anstehenden Gesteine und Böden gegenüber Wasser bedingt.

¹ Die Probepunktarten werden, abweichend von der Papierausgabe des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland von 1985, für die Bachsediment- und Bachwasserproben getrennt angeboten. Neben den Probepunkten sind auf der Karte die beprobten Gebiete in Form eines (geglätteten) 2 km-Puffers um die Probepunkte dargestellt. Die Karten können im Maßstab 1 : 2.000.000 einschließlich einer hinterlegte Topographie in den Formaten PDF und PNG in einer Auflösung von wahlweise 300 oder 600 dpi aus dem Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) heruntergeladen werden. Gleichzeitig stehen sie auch als ESRI Shapefiles zum Download bereit. Des Weiteren können die Karten über durch die BGR bereitgestellte WMS (Web Map Services) in eigene GIS-Projekte eingebunden oder mit dem Geoviewer der BGR (<https://geoviewer.bgr.de>) in den meisten aktuellen Browsern visualisiert werden.

² Die in der Papierausgabe des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland von 1985 abgebildete geologische Karte ist in der digitalen Version des Atlas nicht enthalten. Eine aktuelle Version der geologischen Karte Deutschlands kann im Maßstab 1 : 1.000.000 oder in Einzelblättern im Maßstab 1 : 200.000 über das Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) bezogen werden.

³ Die Verteilung der Elementgehalte wird in der digitalen Version des Geochemischen Atlas Bundesrepublik Deutschland jeweils in einer nach der Kapitel 1.5 beschriebenen Berechnungsmethode erstellten Karte dargestellt. Zusätzlich werden Isoflächenkarten angeboten, die mittels neuerer Interpolationsverfahren (Kriging) erzeugt wurden. Diese liegen einerseits in den Klassengrenzen der Karte aus der Papierausgabe des Atlas von 1985, andererseits in einer Karte mit einer variablen Farbverlaufsskala mit 72 Klassen vor, wobei bei letzterer die grünen Farbtöne näherungsweise den geochemischen Untergrund kennzeichnen. Ergänzend werden jeweils zwei Punktkarten angeboten, die die Elementgehalte am Probepunkt in den Klassengrenzen der Originalkarte aus der Papierausgabe von 1985 sowie in den Klassengrenzen der 72 Klassen-Karte mit variabler Farbverlaufsskala darstellen. Alle Karten können im Maßstab 1 : 2.000.000 einschließlich einer hinterlegte Topographie in den Formaten PDF und PNG in einer Auflösung von wahlweise 300 oder 600 dpi aus dem Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) heruntergeladen werden. Gleichzeitig stehen sie auch als ESRI Shapefiles zum Download bereit. Des Weiteren können alle Karten über durch die BGR bereitgestellte WMS (Web Map Services) in eigene GIS-Projekte eingebunden oder mit dem Geoviewer der BGR (<https://geoviewer.bgr.de>) in den meisten aktuellen Browsern visualisiert werden.

Diese geogenen Gleichgewichte werden in einigen Gebieten durch anthropogene Einflüsse verändert. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdölprodukte) werden große Mengen an Schwefel- und Stickoxiden freigesetzt, die die pH-Werte des Regens erniedrigen. Die Auswirkungen des sauren Regens mit pH-Werten zwischen 3 und 5 werden in den Kalkgebieten durch Neutralisation weitgehend kompensiert. Dieses ist den sauren weichen Wässern in den Verbreitungsgebieten der Granite und Sandsteine wegen mangelnder Pufferfähigkeit nicht möglich; sie erfahren dadurch eine zusätzliche pH-Absenkung. Damit werden die Standortbedingungen in diesen Gebieten so weit verändert, dass es im Zusammenwirken mit weiteren Schadstoffen (Autoabgase, Schwermetalle) zu großen Schäden in der Vegetation kommen kann. Merkliche anthropogene Auswirkungen auf die pH-Werte und Leitfähigkeiten können auch von der intensiven Minereraldüngung der Landwirtschaft ausgehen, die sich zwar in erwünschten pH- und Leitfähigkeitserhöhungen äußern, damit aber auch gleichzeitig Schadstoffe (Nitrat, Cadmium) in die Grundwässer einbringen.

2.3.1.2. Cadmium in Bachwässern

Die Cadmiumgehalte liegen zwischen 0,3 ppb (Nachweisgrenze) und 48 ppb Cd. Der Zentralwert (50 Perzentil-Wert) liegt bei 0,3 ppb.

Cadmium kommt in der Natur zusammen mit Zink vor. Erhöhte Gehalte finden sich daher in Oberflächengewässern der alten Bergbaugebiete

- im Harz (bis 21 ppb),
- im rechtsrheinischen Schiefergebirge (bis 48 ppb),
- östlich Aachen bei Stolberg (bis 13 ppb),
- im Spessart,
- in der Umgebung von Freihung (Oberpfälzer Triasbucht) (bis 41 ppb),
- im Bayerischen Wald bei Bodenmais (bis 47 ppb).

Weitere erhöhte Cadmiumgehalte kommen an verschiedenen anderen Orten vor, wobei teilweise auch größere Bereiche betroffen sind, wie bei Augsburg oder östlich von Braunschweig, über deren Herkunft hier nichts ausgesagt werden kann.

Cadmium ist als Schwermetall für Mensch und Tier toxisch. Der Grenzwert nach der Trinkwasserverordnung (Bundesgesetzblatt, 1975) beträgt 6 ppb Cd. Bei 0,08 % aller untersuchten Oberflächenwässer in der Bundesrepublik Deutschland wurde dieser Grenzwert von 6 ppb Cd überschritten.

2.3.1.3. Kobalt in Bachwässern

Die Kobaltgehalte liegen zwischen 1 ppb (Nachweisgrenze) und 540 ppb. Der Zentralwert (50 Perzentil-Wert) liegt ebenfalls bei 1 ppb Co.

In der Natur kommt Kobalt oft mit Nickel, Eisen und Arsen vergesellschaftet als Sulfiderz vor. Die Herkunft der wenigen erhöhten Kobaltgehalte in den Wässern ist bislang noch nicht geklärt.

Die Löslichkeit des Kobalts nimmt mit sinkendem pH-Wert zu. Deshalb ist eine leichte Erhöhung der Kobaltgehalte in einigen Gebieten mit sauren Wässern (siehe Karte der pH-Werte) festzustellen, obwohl dort in den Böden, Gesteinen und Bachsedimenten keine Kobaltanreicherungen nachgewiesen sind (z.B. Mooregebiete Niedersachsens).

Bei der geochemischen Prospektion sind die Kobaltgehalte in Wässern schwer interpretierbar, weil nur selten geogene Kobaltanreicherungen oder Lagerstätten die Ursache für erhöhte Kobaltkonzentrationen in Wässern sind. Darum sollte grundsätzlich den Bachsedimentuntersuchungen auf Kobalt eine größere Bedeutung zugemessen werden.

Grenzwerte für Kobalt in Trinkwässern sind bislang nicht festgelegt. Normalerweise beträgt die Kobaltkonzentration im Trinkwasser 0,1 bis 10 ppb (MERIAN, 1984: 429). 0,6 % aller untersuchten Oberflächenwässer in der Bundesrepublik Deutschland enthalten mehr als 10 ppb Co.

2.3.1.4. Kupfer in Bachwässern

Die Kupfergehalte liegen zwischen 0,3 ppb (Nachweisgrenze) und 1500 ppb bei einem Zentralwert von 1,5 ppb Cu (50 Perzentil-Wert).

In den Gewässern sind erhöhte Kupfergehalte über das ganze Bundesgebiet verstreut, während bei den Bachsedimenten regionale Ballungen auftreten.

Überwiegend ist die Verteilung des Kupfers in den Wässern anthropogen bedingt. Deutlich wird dies in den Weinbaugebieten von Rheinhessen und der Rheinpfalz sowie in dem Hopfenanbaugbiet in der Hallertau. Hier wurden Kupfersalze zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten und Schädlingen eingesetzt.

Bedingt durch vielfältige anthropogene Überlagerungen lassen sich nur geringe Abhängigkeiten der Kupfergehalte in Wässern zu Lagerstätten und lithologischen Einheiten erkennen. Einerseits wird zwar alter Bergbau z. B. bei Bodenmais und Erbdorf in Ostbayern durch erhöhte Kupfergehalte in Wässern indiziert, andererseits heben sich z. B. die Kupferschiefergebiete nur unwesentlich heraus.

Aus diesem Grunde sind Wasseruntersuchungen für eine Prospektion auf Kupfer in der Bundesrepublik Deutschland nur bedingt einsetzbar. Ein Grenzwert für Kupfer im Trinkwasser ist in der Bundesrepublik Deutschland bislang nicht festgelegt. In der Schweiz darf Trinkwasser maximal 1500 ppb Cu enthalten (MERIAN, 1984: 461). Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt 50 ppb (MERIAN, 1984: 461). Selbst die höchsten gemessenen Kupfergehalte in den Oberflächenwässern der Bundesrepublik Deutschland überschreiten nicht den in der Schweiz festgelegten Grenzwert von 1500 ppb Cu. 0,1 % aller untersuchten Oberflächenwässer liegen über dem von der WHO empfohlenen Grenzwert von 50 ppb Cu.

2.3.1.5. Fluorid in Bachwässern

Die Fluoridgehalte schwanken zwischen 100 ppb (Nachweisgrenze) und 4700 ppb F^- . Etwa 85 % aller Wasserproben liegen unter 200 ppb. Diese Proben überdecken das Bundesgebiet fast lückenlos.

Die höchsten nachgewiesenen Fluoridgehalte in den Oberflächenwässern treten im Bereich der Flussspatlagerstätten im Bayerischen und Oberpfälzer Wald und im Schwarzwald auf.

Im Küstenbereich der deutschen Nordsee wurden Fluoridgehalte bis 800 ppb gemessen; hier ist der Einfluss des Meerwassers durch Ebbe und Flut und durch die Gischt erkennbar. Meerwasser enthält im Mittel 1300 ppb F^- . Für die leicht erhöhten Fluoridgehalte östlich von Hannover konnten Phosphatdünger als Ursache ermittelt werden.

Die nördlich von Koblenz und im Laacher Vulkangebiet ermittelten Fluoridgehalte sind auf Bimstoffe zurückzuführen.

Für geochemische Prospektionen auf Flussspat sind Fluoridbestimmungen in Bachsedimenten besser geeignet. 0,01% aller untersuchten Oberflächenwasserproben liegen über dem in der Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwert von 1500 ppb F^- (Bundesgesetzblatt, 1975). Fluoridgehalte bis zu einer Höhe von 1000 ppb F^- sind positiv zu bewerten, weil sie der Zahnkrankheit Karies vorbeugen.

2.3.1.6. Nickel in Bachwässern

Die Nickelgehalte liegen zwischen 1 ppb (Nachweisgrenze) und 900 ppb bei einem Zentralwert von 2 ppb Ni (50 Percentil-Wert). Die Häufung leicht erhöhter Co- und Ni-Gehalte in der norddeutschen Tiefebene ist vermutlich auf die niedrigen pH-Werte der Gewässer im Einflussbereich der Mooregebiete zurückzuführen. Unter diesen Bedingungen erhöht sich die Löslichkeit der Metalle beträchtlich.

Überwiegend sind die lokal erhöhten Nickelgehalte in den Oberflächenwässern auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Bei industriellen Arbeitsvorgängen und Schmelzverfahren, bei Kohle- und Erdölverbrennungen und durch Autoabgase gelangen Nickelverbindungen in die Umwelt.

Der geogene Einfluss des Nickels auf die Grund- und Oberflächenwässer ist als relativ gering anzusehen. Die generelle Anreicherung des Nickels in SiO_2 -armen magmatischen Gesteinen des Vogelsberges, des Westerwaldes und der Rhön wurde durch diese Wasseruntersuchungen neben den anthropogen bedingten Nickelwerterhöhungen nicht sicher indiziert.

Es ergaben sich damit keine bislang verwertbaren Prospektionsergebnisse.

Grenzwerte für Nickel in Trinkwässern sind bislang nicht festgelegt worden.

2.3.1.7. Blei in Bachwässern

Die Bleigehalte liegen zwischen 1 ppb (Nachweisgrenze) und 6200 ppb. Der Zentralwert (50 Perzentil-Wert) liegt ebenfalls bei 1 ppb Pb.

Während in den Gewässerproben höhere Bleigehalte über das ganze Bundesgebiet verstreut vorkommen, konzentrieren sich höhere Bleigehalte in den Bachsedimenten auf wenige Gebiete. Besonders hohe Bleigehalte in Oberflächenwässern finden sich im Harz (bis 2400 ppb Pb), in mehreren Gebieten des Rheinischen Schiefergebirges (bis 430 ppb Pb) sowie südlich von Heidelberg (bis 100 ppb Pb). Die höchsten Werte (6200 ppb Pb) lieferten Proben aus dem Bereich von Freihung. In diesen Gebieten wurde teilweise über Jahrhunderte Bergbau auf Blei und die Verarbeitung des Bleis betrieben. Heute findet nur noch am Rammelsberg, in Bad Grund und in Meggen Bergbau auf Blei statt. Merklich erhöhte Bleigehalte (etwa 500 ppb Pb) geogenen Ursprungs konnten bei Brilon im Sauerland und westlich Weiden (Oberpfälzer Triasbucht) nachgewiesen werden.

Bei den übrigen Gebieten mit Bleianomalien kann eine anthropogene Kontamination nicht ausgeschlossen werden. Durch Industrieanlagen, Kohlefeuerungen und Kraftfahrzeuge werden beträchtliche Bleimengen freigesetzt.

Vom Umweltbundesamt wird ein jährlicher Niederschlag von 15 - 620 mg Pb/m² angegeben. Allerdings sind im Bereich großer Emittenten die Immissionen wesentlich höher, werden aber durch die Böden zurückgehalten, so dass die Auswirkungen auf das Gewässernetz relativ gering sind.

220 Oberflächenwässer, d. h. 0,3 % aller Proben, führen über 40 ppb Pb. Dies ist der Grenzwert, der in der Trinkwasserverordnung festgelegt ist und im Trinkwasser nicht überschritten werden darf (Bundesgesetzblatt, 1975).

2.3.1.8. Uran in Bachwässern

Die Urangehalte liegen zwischen 0,1 ppb (Nachweisgrenze) und 200 ppb bei einem Zentralwert von 0,2 ppb U (50 Perzentil-Wert).

Das Uran liegt in den Wässern überwiegend als 6-wertiges Uranylion vor. Die 4-wertigen Uranminerale - wie die Uranpechblende und andere wichtige Uranerze - sind wesentlich schwerer löslich als die 6-wertigen Minerale. Aus diesem Grunde geben die höchsten nachgewiesenen Uranindikationen in Wässern überwiegend Hinweise auf Anreicherungen des Urans in seiner oxydierten 6-wertigen Verbindungsform. Sekundäre, durch Verwitterung entstandene Anreicherungen sind schon oft umgelagert und das Uran hat sich in porösen Gesteinen und organischem Material konzentriert. Im Bereich des Sandstein-Keupers - von Coburg über den Steigerwald nach Südwesten bis über Stuttgart hinaus - erstreckt sich eine breite Zone mit Gehalten bis 40 ppb U in den Gewässern.

Südlich der Donau treten die höchsten Gehalte im Gebiet des Hegau (bis 60 ppb) sowie im Bereich von Mooren nördlich von München auf.

Im östlichen Schleswig-Holstein zeigen erhöhte Urangelhalte der Gewässer die Grenze der letzten Weichsel-Eiszeit an. Die Moränen enthalten skandinavische Geschiebe aus Granit, deren Minerale im Verwitterungsprozess Uran freigeben.

Für die erhöhten Urangelhalte in den Wässern östlich Hannover konnte eine Korrelation mit Phosphat (Dünger) festgestellt werden, während die Ursache der hohen Urangelhalte in Rheinhessen bislang noch nicht sicher geklärt ist. Die Uranlagerstätte Menzenschwand im Südschwarzwald tritt nur durch geringe Urangelhalte in Wässern hervor, weil die Lagerstättenminerale weitgehend in der schwerlöslichen 4-wertigen Form vorliegen.

Grenzwerte für Uran in Trinkwässern sind bislang nicht festgelegt.

2.3.1.9. Zink in Bachwässern

Die Zinkgehalte liegen zwischen 1 ppb (Nachweisgrenze) und 11.700 ppb bei einem Zentralwert von 9 ppb Zn (50 Perzentil-Wert).

Erhöhte Zinkgehalte in den Oberflächenwässern der Bundesrepublik Deutschland treten in den alten Bergbaurevieren auf, so im Harz (bis 1300 ppb Zn), im Rheinischen Schiefergebirge (bis 11.700 ppb Zn), bei Maubach und Mechernich am Nordrand der Eifel und im Bayerischen Wald bei Bodenmais (bis 10.000 ppb Zn).

Bei den übrigen Zinkanomalien ist eine anthropogene Kontamination wahrscheinlich, z.B. bei Duisburg, wo bis zu 6200 ppb Zn gemessen wurden. Sehr hohe Zinkgehalte treten auch nördlich Lüneburg (bis 10.000 ppb Zn), nördlich Heidelberg (bis 10.000 ppb Zn) und südöstlich Fulda (bis 5000 ppb Zn) auf.

Für die geochemische Prospektion ist der Zinkgehalt in Wässern aufgrund der hohen Mobilität eine günstige Indikation für Lagerstättenzonen. Wegen der überwiegend anthropogenen Herkunft des Zinks wird die Interpretation der vorliegenden Untersuchungen allerdings erschwert.

0,03 % aller untersuchten Wasserproben liegen über dem in der Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwert von 2000 ppb Zn (Bundesgesetzblatt, 1975). Trinkwässer werden gelegentlich durch verzinkte Rohre kontaminiert, und zwar bis zu 5000 ppb Zn, selten darüber. Nach LEWIN (HÖLL, 1979: 264) sollen erst Mengen über 8000 ppb Zn im Trinkwasser bei längerer Zufuhr gesundheitlich nachteilig sein.

2.3.2. Bachsedimente

2.3.2.1. Barium in Bachsedimenten

Die Bariumgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und über 10.000 ppm bei einem Zentralwert von 412 ppm Ba (50 Perzentil-Wert).

Die wichtigsten Bariumminerale sind Baryt (BaSO_4) und Witherit (BaCO_3). Barium tritt auch an Stelle von Kalium in vielen gesteinsbildenden Mineralen auf, besonders in Feldspäten und Glimmern.

Die hohen Bariumgehalte in den Bachsedimenten sind größtenteils auf bekannte Schwerspatvorkommen und den damit zusammenhängenden Bergbau zurückzuführen.

Im Harz werden bei Bad Lauterberg mächtige Barytgänge abgebaut, und bei Goslar kommt Schwerspat in den Buntmetallerzlagern des Rammelsberges vor. Die Schwerspatgänge bei Sontra und Witzenhausen werden ebenso wie die Schwerspatvorkommen des Rheinischen Schiefergebirges (u. a. bei Dreislar, Meggen, Ürsfeld) eindeutig durch hohe Bariumgehalte in den Bachsedimenten indiziert.

Großflächige Bariumanomalien sind auch im Bereich der Schwerspatvorkommen des Spessarts, Schwarzwaldes und Odenwaldes zu beobachten.

Im Verbreitungsgebiet des Keupers zwischen Stuttgart und Coburg sowie am Rande des Frankenwaldes und Fichtelgebirges wurden in den Bachsedimenten erhöhte Bariumgehalte gemessen, deren Ursache bislang noch nicht hinreichend geklärt ist.

Im Rahmen von Übersichtsprospektionen auf Baryt (Schwerspat) sind die Bachsedimentuntersuchungen auf Barium gut geeignet, weil sie anthropogen wenig beeinflusst sind.

2.3.2.2. Cadmium in Bachsedimenten

Die Cadmiumgehalte liegen zwischen 0,3 ppm (Nachweisgrenze) und 110 ppm Cd. Etwa 75 % aller Proben liegen unter 1,0 ppm Cd.

Cadmium ist besonders in der Zinkblende (ZnS) angereichert. Sie enthält gewöhnlich 0,1 - 0,5 % Cd. Die Verteilungskarte von Cadmium in Bachsedimenten zeigt deshalb eine auffällige Ähnlichkeit mit der des Zinks.

Hohe Cadmiumgehalte treten im Harz auf und sind hier auf den Einfluss der Buntmetallvererzungen zurückzuführen.

Desgleichen sind im rechts- und linksrheinischen Schiefergebirge mit Schwerpunkt im Sauerland, Südrand des Siegerlandes und Hunsrück sowie im Aachen-Stolberger Raum über große Bereiche erhöhte Cadmiumgehalte in den Bachsedimenten zu beobachten, die mit den Buntmetallvererzungen sowie dem damit zusammenhängenden Bergbau in Verbindung stehen.

Im Schwarzwald treten in der Umgebung der Lagerstätten des Schauinsland und Münstertales erhöhte Cadmiumgehalte auf, ebenso in der Umgebung von Freihung (Oberpfälzer Triasbucht) und im Frankenwald.

Ein Großteil der übrigen Cadmiumanomalien, wie beispielsweise bei Kaiserslautern (75 ppm Cd), Braunschweig und Hamburg, dürfte anthropogenen Ursprungs sein.

Anthropogen bedingte Cadmiumanreicherungen in den Böden und dadurch mit einer zeitlichen Verzögerung auch in Wässern und Bachsedimenten können u. a. durch das Aufbringen von Klärschlamm, Hafenschlick und Düngemitteln verursacht werden. Laut Klärschlammverordnung (Bundesgesetzblatt, 1982) werden dabei 20 ppm Cd toleriert. Bei 25 Bachsedimenten (ca. 0,04%) wurden höhere Gehalte als 20 ppm Cd festgestellt.

2.3.2.3. Kobalt in Bachsedimenten

Die Kobaltgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 1400 ppm bei einem Zentralwert von 9 ppm Co (50 Perzentil-Wert). Hohe Co- (und Ni-) Gehalte finden sich in SiO₂-armen magmatischen Gesteinen, während Granite, Gneise und Sandsteine auffallend niedrige Werte besitzen. Die Verteilung von Kobalt in Bachsedimenten spiegelt - ähnlich wie beim Nickel - die Verbreitungsgebiete der SiO₂-armen magmatischen Gesteine wider.

Hohe Kobaltgehalte in den Bachsedimenten sind im Bereich der Basalte des Vogelsberges, des Westerwaldes und der Rhön zu beobachten. Auch ein Teil der hohen Kobaltgehalte im Frankenwald und Fichtelgebirge dürfte mit den dort vorkommenden SiO₂-armen magmatischen Gesteinen in Verbindung stehen.

Im rechtsrheinischen und linksrheinischen Schiefergebirge treten mit Schwerpunkt im Sauerland, Hunsrück und Taunus über größere Bereiche erhöhte Kobaltgehalte in den Bachsedimenten auf, die teilweise mit den Diabasen und Vererzungen dieser Gebiete zusammenhängen.

Der früher bei Bieber (Spessart) betriebene Kobaltbergbau wird durch einige hohe Kobaltgehalte in Bachsedimenten indiziert.

Parallel mit Nickel verlaufen regionale Kobaltanreicherungen auch am Nordrand der Schwäbischen Alb und der Alpen.

Kobalt gehört zu den essentiellen Spurenelementen und ist für die Erhaltung der Gesundheit aller höheren Tiere und des Menschen erforderlich. Es gibt große Gebiete, in denen durch Kobaltmangel in den Böden Massenerkrankungen der Tiere auftreten. Der Kobaltverarmung der Erdoberfläche durch natürliche Transportvorgänge ist mehr Beachtung zu schenken als den Gefahren durch zu hohe Kobaltbelastungen.

2.3.2.4. Chrom in Bachsedimenten

Die Chromgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 5700 ppm bei einem Zentralwert von 54 ppm Cr (50 Perzentil-Wert).

Chrom findet sich in Oxiden und Silikaten in magmatischen Frühausscheidungen von Gesteinschmelzen, sodass SiO₂-arme Gesteine wie Gabbros und Basalte bedeutend mehr Chrom enthalten als SiO₂-reiche Gesteine wie Sandsteine und Granite. Diese Unterschiede in den Chromgehalten der verschiedenen Gesteine erklären das Chromverteilungsbild sehr anschaulich.

Die Basaltgebiete des Westerwaldes, des Vogelsberges und der Rhön werden durch hohe Chromgehalte in den Bachsedimenten hervorgehoben.

Auch in anderen Gebieten, in denen SiO₂-arme magmatische Gesteine mehr oder weniger große Areale einnehmen, sind erhöhte Chromgehalte in Bachsedimenten zu beobachten, u. a. im Frankenwald, im Fichtelgebirge, am Hohen Bogen, in der Eifel, im Gebiet der Schwäbischen Vulkane, im Habichtswald und Knüll, im Harz und in der Dillmulde.

Im linksrheinischen und rechtsrheinischen Schiefergebirge treten über weite Bereiche erhöhte Chromgehalte in den Bachsedimenten auf, deren Ursache wahrscheinlich geogen bedingt ist. Die in diesen Gebieten weit verbreiteten Tonschiefer enthalten von Natur aus höhere Chromgehalte.

Die Ursache der hohen Chromgehalte, die vereinzelt unmittelbar nördlich der Kalkalpen auftreten, ist bislang nicht sicher bekannt.

Bei vielen der punktuell auftretenden anomalen Chromgehalte ist eine anthropogene Kontamination wahrscheinlich.

Chrom ist ein essentielles Spurenelement für den Zucker- und Fettstoffwechsel. Chrommangel kann zu Diabetes und Arteriosklerose führen. Zu hohe Chromgehalte (vor allem in der 6-wertigen Oxydationsstufe) führen zu Allergien und Vergiftungen.

Für Klärschlämme wurde in Deutschland ein Orientierungswert von 1200 ppm Cr eingeführt (Bundesgesetzblatt, 1982). In den Bachsedimenten lagen 52 Proben (0,08 %) über diesem Wert. Ein merklicher Anteil davon ist natürlicher (geogener) Herkunft.

2.3.2.5. Kupfer in Bachsedimenten

Die Kupfergehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 2560 ppm bei einem Zentralwert von 9 ppm Cu (50 Perzentil-Wert).

In weiten Landesteilen wurden Kupfergehalte gemessen, die unter 10 ppm liegen. Im Gegensatz dazu treten in einigen Gebieten anomal hohe Kupfergehalte auf. Hier handelt es sich einmal um alte Bergbau-Revier, aber auch um Zonen mit starkem Kupfereintrag durch den Menschen.

Der Harz hebt sich auffallend von seiner Umgebung ab mit maximalen Gehalten von 1500 ppm Cu in den Bachsedimenten, die aus der Lagerstätte am Rammelsberg bei Goslar sowie kleineren Kupfervorkommen und alten Hüttenplätzen herrühren.

Hohe Kupfergehalte sind auch im rechtsrheinischen Schiefergebirge zu beobachten. Hier treten zahlreiche Erzgänge auf, die - besonders im Siegerland, in der Dillmulde und bei Bensberg - Kupfer als Nebenprodukt geliefert haben. In ähnlicher Weise werden auch andere bekannte Kupfervererzungen indiziert, wie z.B. bei Marsberg, Sontra, Bieber, Kupferberg (Frankenwald), Fischbach, Bodenmais und am Donnersberg.

Die hohen Kupfergehalte der Bachsedimente in den deutschen Wein- und Hopfenanbaugebieten sind auf die Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel zurückzuführen. Besonders markant ist dies in Rheinhessen, in der Rheinpfalz und in der Hallertau.

Bei den übrigen Kupferanomalien sind ebenfalls anthropogene Kontaminationen wahrscheinlich, so u.a. bei Hamburg, Teublitz-Maxhütte und Hanau.

Kupfer ist ein lebenswichtiges Schwermetall und an vielen Lebensprozessen beteiligt. In diesem Zusammenhang sind Regelmechanismen aufgebaut, die Schädigungen zu verhindern suchen. Aus diesem Grunde kommt es nur sehr selten zu Mangelerscheinungen oder zu Vergiftungen.

0,01 % aller untersuchten Bachsedimente liegen in ihren Kupfergehalten über dem in der Klärschlammverordnung angegebenen Grenzwert von 1200 ppm Cu (Bundesgesetzblatt, 1982).

2.3.2.6. Fluorid in Bachsedimenten

Die Fluoridgehalte liegen zwischen 20 ppm (Nachweisgrenze) und 5400 ppm bei einem Zentralwert von 25 ppm F⁻ (50 Percentil-Wert).

Fluorid wird während der magmatischen Differentiation in SiO₂-reichen Gesteinen angereichert.

So spiegelt die Verteilung der Fluoridgehalte in den Bachsedimenten zunächst die Verbreitung der SiO₂-reichen und intermediären magmatischen Gesteine wider. Hohe Fluoridgehalte treten in den Kristallingebieten des Schwarzwaldes, des Fichtelgebirges, des Oberpfälzer Waldes, des Bayerischen Waldes und des Odenwaldes auf.

Geogen bedingt sind auch die erhöhten Fluoridgehalte der Bachsedimente in den Vulkangebieten des Laacher Sees und Neuwieder Beckens sowie des Hegau.

In einigen dieser Gebiete mit hohen Fluoridgehalten in den Bachsedimenten treten auch Flussspatvorkommen auf, die teilweise heute noch abgebaut werden. Hervorzuheben sind das Flussspatrevier bei Nabburg-Wölsendorf, die Flussspatgänge bei Donaustauf und Nittenau im Bayerischen Wald sowie die Flussspatvorkommen des Schwarzwaldes, wie z.B. bei Pforzheim, bei Wolfach, bei Wittichen, bei Oberkirch, im Bereich der Vererzungen des Schauinsland und Münstertales.

Die Ursache der hohen Fluoridgehalte in Bachsedimenten der übrigen Gebiete, wie z.B. zwischen Karlsruhe und Wiesloch und im Bereich der Frankenhöhe und des Steigerwaldes ist bislang nicht hinreichend geklärt.

2.3.2.7. Nickel in Bachsedimenten

Die Nickelgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 1400 ppm bei einem Zentralwert von 21 ppm Ni (50 Percentil-Wert).

Im Verlauf der magmatischen Gesteinsentstehung (Differentiation) wird Nickel in SiO₂-armen Gesteinen (Gabbros, Basalte) stark angereichert. SiO₂-reiche Gesteine (Granite, Gneise, Sandsteine) besitzen hingegen auffallend wenig Nickel.

Nickel kann in magmatischen Gesteinen das ebenfalls zweiwertige Mg²⁺-Ion in Silikaten ersetzen oder ist in Sulfiden angereichert. Die Verteilung von Nickel in den Bachsedimenten der

Bundesrepublik Deutschland spiegelt deshalb besonders das Auftreten von SiO₂-armen magmatischen Gesteinen wider.

Erhöhte Nickelgehalte in den Bachsedimenten treten im Bereich der Basalte des Vogelsberges, des Westerwaldes, der Rhön, der Eifel und des Frankenwaldes auf.

Außerhalb der Verbreitungsgebiete der SiO₂-armen magmatischen Gesteine kommen besonders im links- und rechtsrheinischen Schiefergebirge über große Bereiche erhöhte Nickelgehalte in den Bachsedimenten vor, die teilweise als Nickelanreicherungen im Zusammenhang mit den Eisenvererzungen dieser Gebiete erklärt werden können.

Erhöhte Nickelgehalte treten zusammen mit erhöhten Kobaltgehalten nordöstlich von Saarbrücken im Verbreitungsgebiet des Karbon auf. Im Harz sind die erhöhten Nickelgehalte teils auf SiO₂-arme magmatische Gesteine, teils auf Erzlagerstätten zurückzuführen.

Bemerkenswert sind die hohen Nickelgehalte der Bachsedimente im Nördlinger Ries.

Geogenen Ursprungs sind die Nickelgehalte der Bachsedimente, die am Nordrand der Schwäbischen Alb und der Alpen, zwischen Bodensee und Salzburg, vorkommen.

Etwa 0,1 % aller untersuchten Bachsedimente liegen in ihren Nickelgehalten über dem in der Klärschlammverordnung angegebenen Grenzwert von 200 ppm Ni (Bundesgesetzblatt, 1982).

2.3.2.8. Blei in Bachsedimenten

Die Bleigehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 57.000 ppm bei einem Zentralwert von 24 ppm Pb (50 Perzentil-Wert).

Hohe Bleigehalte treten im Harz und im Rheinischen Schiefergebirge auf. Sie sind hier auf die Blei-Zink-Vererzungen und den damit zusammenhängenden jahrhundertealten Bergbau zurückzuführen, wie z. B. in Bad Grund, am Rammelsberg bei Goslar, bei Meggen, bei Bensberg, bei Bad Ems, im Hunsrück, bei Aachen, Mechernich und Bleialf. Heute sind nur noch die Bergwerke in Bad Grund, am Rammelsberg und in Meggen in Betrieb.

Auch die im Schwarzwald vorkommenden hohen Bleigehalte in der Umgebung des Schauinsland und im Münstertal sind durch die Erzlagerstätten dieses Gebietes verursacht.

Im Bereich der Nördlichen Kalkalpen treten flächenhaft hohe Bleigehalte auf, von denen nur ein Teil auf den Einfluss von Vererzungen (Garmisch, Berchtesgaden) zurückgeführt werden kann.

Die hohen Bleigehalte in der Umgebung von Freihung stehen mit den Cerussit- und Bleiglanz-Sandsteinerzen in der Trias der Weidener Bucht in Verbindung.

Geogene Anreicherungen zeigen sich auch in der Umgebung von Brilon und bei Endorf. Das Blei ist zunächst durch die Verwitterung der Erzlagerstätten und bleihaltiger Gesteine in die Bäche gelangt (geogen bedingte Bleibelastung). Darüber hinaus ist die Erdoberfläche in der Umgebung von Gruben, Hütten und Halden mit beträchtlichen Bleimengen kontaminiert, so dass im Laufe der Zeit auch dieses anthropogene Blei in die Bäche gelangte. Soweit es sich

dabei um die schwerlöslichen Bleisulfide handelt, hält sich die Umweltgefährdung noch in Grenzen.

Gefährlicher sind dagegen die Auswirkungen von Hüttenrauch und Auspuffabgasen, weil sich dabei reaktionsfähigere Bleiverbindungen feinverteilt auf Pflanzen niederschlagen und in den Nahrungskreislauf gelangen.

Etwa 0,4 % aller untersuchten Bachsedimente liegen in ihren Bleigehalten über dem in der Klärschlammverordnung angegebenen Grenzwert von 1200 ppm Pb (Bundesgesetzblatt, 1982).

2.3.2.9. Strontium in Bachsedimenten

Die Strontiumgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 8100 ppm bei einem Zentralwert von 89 ppm Sr (50 Percentil-Wert).

In den meisten der etwa 25 Strontiumminerale ist das zweiwertige Sr^{2+} -Ion an Sauerstoff gebunden. Der Ionenradius von Sr^{2+} liegt zwischen dem von Calcium Ca^{2+} und Barium Ba^{2+} und ist etwas kleiner als der von Pb^{2+} . Deshalb wird Sr oft durch jene Elemente ersetzt oder ersetzt sie. Sr findet sich in Feldspäten (bis zu 5100 ppm), Glimmern (bis zu 450 ppm), Amphibolen (bis zu 1060 ppm), Klinopyroxenen (bis zu 850 ppm) und Kalkspäten (bis zu 6600 ppm). Somit variieren die Sr-Gehalte der Gesteine, je nach Herkunft und Volumenanteil der sie bildenden Minerale.

Strontium ist innerhalb des Verwitterungsprozesses sehr mobil und wird besonders bei der Zersetzung der Kalke und Feldspäte freigesetzt. Etwa 80 % des über die Gewässer in die Ozeane transportierten Sr stammt aus Karbonaten und Sulfaten und nur 20 % aus den Silikaten.

Hohe Strontiumgehalte treten im Bereich der Oberkreidekalke zwischen Ems und Ruhr auf. Strontianitgänge wurden früher im südöstlichen Münsterland abgebaut.

Die Bachsedimente im Gebiet der Vulkanite des Vogelsberges, der Rhön, des Westerwaldes, des Siebengebirges, des Neuwieder Beckens, des Regau und der Saar-Nahe-Senke zeigen ebenfalls hohe Strontiumgehalte. Dies gilt auch für Gebiete entlang der Nördlichen Kalkalpen.

Regional hohe Strontiumgehalte treten noch in der Münchberger Gneismasse, im Tertiär des Mainzer Beckens sowie in weiten Bereichen des Keupers und Muschelkalkes nordöstlich von Stuttgart (Frankenhöhe, Steigerwald, Hassberge) auf. Bemerkenswert ist auch eine N-S gerichtete Zone hoher Strontiumgehalte im Hunsrück.

Einzelne Anomalien liegen bei Eschershausen, westlich des Steinhuder Meeres, zwischen Marl und Dorsten und bei Duisburg sowie im mittleren und südlichen Schwarzwald (vergl. Karte der Maximalwerte).

2.3.2.10. Uran in Bachsedimenten

Die Urangelhalte liegen zwischen 0,1 ppm (Nachweisgrenze) und 280 ppm bei einem Zentralwert von 0,4 ppm U (50 Perzentil-Wert).

Hohe Urangelhalte in den Bachsedimenten treten in den Kristallingebieten des Schwarzwaldes, des Fichtelgebirges, des Bayerischen Waldes und des Oberpfälzer Waldes auf. Hydrothermale Gangvererzungen führen hier stellenweise Uran. Bekannte Vorkommen liegen bei Menzenschwand und Wittichen im Schwarzwald sowie Nabburg und Mähring in der Oberpfalz.

Die Lagerstätte im Krunkelbachtal bei Menzenschwand wurde 1960 entdeckt. Uranerz wird nur im Rahmen von Explorationsarbeiten zur Ermittlung des Lagerstättenpotentials gefördert. Das Vorkommen wird deutlich durch hohe Urangelhalte in den Bachsedimenten angezeigt.

Bei Nabburg tritt Uran in Begleitmineralen auf Flussspatgängen auf, in Mähring bildet es das Haupterz. Urananreicherungen finden sich auch bei Weißenstadt im Zinngranit des Fichtelgebirges sowie bei Tirschenreuth im Falkenberger Granit. Durch Auslaugung und Umlagerung wurde das im Granit in geringer Konzentration vorkommende Uran auf Klüften mit Gehalten zwischen 200 und 2500 ppm U angereichert. Beide Gebiete werden durch hohe Urangelhalte in den Bachsedimenten angezeigt.

Im Verbreitungsgebiet des Keupers, nordöstlich Stuttgart bis Coburg, sind flächenhaft erhöhte Urangelhalte in den Bachsedimenten zu beobachten. Zahlreiche kleine, meist linsenförmige Uranvererzungen treten hier auf.

Im Bereich der Saar-Nahe-Senke sind erhöhte Urangelhalte in den Bachsedimenten zu beobachten, die auf Uranvererzungen der Rotliegendensedimente sowie der Vulkanite und Subvulkanite zurückzuführen sind. Bei Ellweiler wurde zeitweise auf einer Kleinstlagerstätte Uran abgebaut.

In der Umgebung des Uranvorkommens Müllenbach bei Baden-Baden, das an oberkarbonische Sandsteine gebunden ist, treten ebenfalls erhöhte Urangelhalte in den Bachsedimenten auf.

2.3.2.11. Vanadium in Bachsedimenten

Die Vanadiumgehalte liegen zwischen 3 ppm (Nachweisgrenze) und 710 ppm bei einem Zentralwert von 40 ppm V (50 Perzentil-Wert).

Während der magmatischen Gesteinsbildung (Differentiation) wird Vanadium in SiO₂-armen Magmen stärker angereichert als in ultrabasischen oder SiO₂-reichen Magmen. Für Basalte der Erdkruste wird ein durchschnittlicher Gehalt von 200 ppm V angegeben.

Vanadium bildet kaum eigene Minerale. Das unter reduzierenden (sauerstoffarmen) Bedingungen stabile dreiwertige V³⁺ hat einen ähnlichen Ionenradius wie das dreiwertige Eisen Fe³⁺ und besetzt somit die gleichen Gitterplätze. Im Mineral Magnetit sind bis 2000 ppm V enthalten.

Besonders hohe Vanadiumgehalte treten auch in bituminösen Schiefen auf. Durchschnittlich 1650 ppm V können bituminöse Schiefer aus dem Kupferschiefer des Perm aufweisen. Solche aus dem Lias Nordwest- und Südwestdeutschlands enthalten durchschnittlich 260 ppm V.

Die Verteilung von Vanadium in den Bachsedimenten spiegelt somit besonders das Auftreten von SiO₂-armen magmatischen Gesteinen und bituminösen Schiefen wider.

Werte über 160 ppm V finden sich vor allem in den Bachsedimenten im Bereich der Basalte von Westerwald, Vogelsberg und Rhön. Auch die SiO₂-armen magmatischen Gesteine der Saar-Nahe-Senke und die Vulkanite des Laacher See-Gebietes werden durch erhöhte Vanadiumgehalte in den Bachsedimenten angezeigt. Hohe V-Gehalte treten auch im Frankenwald auf sowie im Bereich des Harzburger Gabbros, der Amphibolite bei Furth i. W. (Bayerischer Wald) und nordöstlich von Weiden (Oberpfalz).

Die hohen Vanadiumgehalte der Bachsedimente im nordöstlichen Sauerland sind vermutlich auf Metabasite und Schwarzschiefer zurückzuführen.

Inwieweit es sich bei den übrigen Vanadiumanomalien um anthropogene Kontaminationen handelt, ist bislang nicht geklärt. Anthropogen wird das Vanadium vorwiegend durch Kohle- und Ölverbrennung in die Umwelt emittiert.

2.3.2.12. Zink in Bachsedimenten

Die Zinkgehalte liegen zwischen 5 ppm (Nachweisgrenze) und 13.800 ppm bei einem Zentralwert von 52 ppm Zn (50 Percentil-Wert).

Stärker als bei den Zinkgehalten in Bachwässern konzentrieren sich die hohen Werte auf wenige Regionen und vereinzelte Anomalien.

Ähnlich wie beim Blei treten hohe Zinkgehalte im Harz auf und sind hier durch Erzlagerstätten verursacht. Heute sind nur noch die Bergwerke in Bad Grund und am Rammelsberg bei Goslar in Betrieb.

Im links- und rechtsrheinischen Schiefergebirge treten flächenhaft hohe Zinkgehalte in den Bachsedimenten auf und sind hier überwiegend auf den Einfluss der Blei-Zink-Lagerstätten und den damit zusammenhängenden Bergbau zurückzuführen, wie z.B. bei Ramsbeck, Meggen, Bensberg, Bad Ems, Tellig und im Aachen-Stolberger Gebiet.

Im Schwarzwald sind hohe Zinkgehalte im Bereich der Erzlagerstätten des Schauinsland und Münstertales zu beobachten.

Hohe Zinkgehalte (bis 5000 ppm Zn) im Berchtesgadener Land sind vermutlich durch Blei-Zink-Vererzungen verursacht.

Erhöhte Zinkgehalte, die in den Bachsedimenten des Frankenwaldes und der Münchberger Gneissmasse auftreten, sind wahrscheinlich lithologisch bedingt (Schwarzschiefer, Basite, Metabasite), da aus diesem Gebiet bislang nur unbedeutende Vererzungen bekannt sind.

Ein Großteil der übrigen, hohen Zinkgehalte ist vermutlich anthropogen bedingt.

0,05 % aller untersuchten Bachsedimente liegen in ihren Zinkgehalten über dem in der Klärschlammverordnung angegebenen Grenzwert von 3000 ppm Zn (Bundesgesetzblatt, 1982).

2.3.2.13. Lithium in Bachsedimenten

In den Jahren 1977 bis 1979 wurden die Lithiumuntersuchungen nach dem OES-Verfahren (s. Kap. 1.3) durchgeführt. Dabei stellten sich derartig große Matrixabhängigkeiten dieser Methode heraus, dass ab 1979 auf das genauere AAS-Bestimmungsverfahren umgestellt wurde. Nur die im Rahmen dieser Methode ermittelten Messergebnisse sind in den Karten dargestellt. Es ist beabsichtigt, auch die Proben aus den ersten Jahren zu analysieren, um die Lithium-Karte später zu vervollständigen.

Dies ist u. a. deshalb wichtig, weil Lithium als Indikator für Pegmatite herangezogen werden kann. Diese Pegmatite können genetisch bevorzugt in den Graniten und Gneisen der Oberpfalz und des Schwarzwaldes auftreten, für die bislang noch keine flächendeckenden, verwertbaren Lithium-Ergebnisse vorliegen. Lithium wurde als Lithiumphosphat zeitweise in der Oberpfalz bei dem Pegmatitbergbau gewonnen.

Die vorliegende Verteilung des Lithiums in den Bachsedimenten wird größtenteils durch die Verbreitung der Tonschiefer beeinflusst, die im Vergleich zu anderen Gesteinsarten höhere Lithiumgehalte aufweisen (durchschnittlich 60 ppm Li).

Der Zentralwert aus allen bislang gemessenen Bachsedimenten liegt bei 9 ppm Li, der höchste gemessene Wert beträgt 96 ppm Li.

2.3.2.14. Wolfram in Bachsedimenten

95 % aller Gehalte liegen unter 2 ppm (Nachweisgrenze) und nur 0,1 % aller Proben - etwa 50 Werte - besitzen mehr als 16 ppm W. Die Norddeutsche Tiefebene wurde nur stichprobenartig untersucht.

Wolfram ist immer an Sauerstoff gebunden und tritt in magmatisch, metamorph und sedimentär gebildeten Lagerstätten auf. Bei magmatischen Prozessen erfolgt die Bildung von W-Vererzungen aus SiO₂- und wasserreichen Restschmelzen quarz- und feldspatreicher Intrusivgesteine (Granit, Granodiorit, Monzonit).

Bisher sind etwa 20 W-Mineralen bekannt. Scheelit Ca(WO₄) und Wolframit (Fe,Mn)WO₄ sind die wirtschaftlich wichtigsten Erzkomponenten.

Scheelit und Wolframit sind relativ unlöslich innerhalb der pH-Werte der meisten natürlichen Gewässer. Wegen ihres hohen spezifischen Gewichts sind sie als Schwerminerale in Bachsedimenten angereichert.

Erhöhte Wolframgehalte in den Bachsedimenten treten vor allem in den Kristallingebieten des Odenwaldes, des Schwarzwaldes, des Fichtelgebirges, des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes auf. Bislang sind aus diesen Gebieten nur kleinräumige Wolframmineralisationen bekannt, u. a. bei Mackenheim im Odenwald, bei Nordrach, Untermünstertal, Eisenbach im Schwarzwald, bei Pleystein im Oberpfälzer Wald, ohne dass es jedoch zu einer bergmännischen Gewinnung gekommen ist.

Außerhalb jener Gebiete gibt es nur wenige Anomalien mit mehr als 16 ppm W, so zwischen Wuppertal und Remscheid, an der Lahn westlich Wetzlar, nördlich Darmstadt, südöstlich Rothenburg und im Harzvorland.

Die geochemische Untersuchung von Bachsedimenten auf Wolfram im Rahmen von Prospektionen hat sich sehr gut bewährt. In einigen Gebieten, die erhöhte Wolframgehalte in Bachsedimenten aufweisen, wurden Nachfolgearbeiten durchgeführt, die zur Entdeckung wolframhöfziger Zonen führten.

2.3.2.15. Zinn in Bachsedimenten

Die Zinnbestimmungen sind sehr langwierig und kostenträchtig. Darum wurden nur in ausgewählten Gebieten die Bachsedimente systematisch auf Zinn untersucht. Die Zinngehalte liegen zwischen 1 ppm (Nachweisgrenze) und 1900 ppm. 85 % aller Proben führen weniger als 4 ppm Sn.

Zinn-Vererzungen sind an die Spätausscheidungen von SiO₂-reichen magmatischen Gesteinen (Granite, Rhyolithe) gebunden und werden besonders im pneumatolytischen (500 bis 350°C) und hochhydrothermalen (350 bis 250°C) Stadium gebildet.

Das bedeutendste Sn-Mineral ist Kassiterit (SnO₂), daneben existieren noch andere zinnhaltige Oxide und Sulfide. Einige weitere Minerale können beachtliche Sn-Gehalte besitzen: Zinnwaldit und Muscovit bis zu 3500 ppm, Biotit bis 1300 ppm, Amphibol und Titanit bis zu 1100 ppm Sn.

Kassiterit (Zinnstein) ist chemisch stabil und sehr verwitterungsbeständig und findet sich deshalb als Schwermineral in den Bachsedimenten.

Hohe Zinngehalte in den Bachsedimenten sind im Wesentlichen an die Kristallgebiete des Schwarzwaldes und des Fichtelgebirges, untergeordnet auch des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes gebunden und sind hier teilweise durch bekannte Zinnvorkommen erklärbar.

Im Fichtelgebirge fand bei Weißenstadt Bergbau auf Zinn statt. Außer primären (postmagmatisch gebildeten) Zinnerzen wurden vor allem Zinnseifen abgebaut. Im Schwarzwald wurde Zinnstein im Triberger und Eisenbacher Granit gefunden.

Daneben existieren noch vier Anomalien (über 200 ppm Sn), die vermutlich anthropogenen Ursprungs sind, so südlich der Ruhr bei Iserlohn mit 1900 ppm Sn, nördlich von Koblenz, im Hunsrück und westlich von Bad Tölz.

2.3.3. Flusswässer¹

2.3.4. Flusssedimente²

3. Karten 1 : 200.000 und 1 : 50.000, Pb - Blei³

¹ Die Daten der 581 gesondert für Umweltfragen in Flüssen und Strömen entnommenen Wasser- und Sedimentproben sind in der aktuell verfügbaren Version der GEOMULDAT nicht enthalten, ihr Verbleib ist unklar. Daher sind die hier erwähnten Karten nicht in der digitalen Version des Atlas enthalten.

² Die Daten der 581 gesondert für Umweltfragen in Flüssen und Strömen entnommenen Wasser- und Sedimentproben sind in der aktuell verfügbaren Version der GEOMULDAT nicht enthalten, ihr Verbleib ist unklar. Daher sind die hier erwähnten Karten nicht in der digitalen Version des Atlas enthalten.

³ Die Anforderung von Detailkarten ist nicht mehr möglich (siehe Kapitel 1.6), daher entfallen in der digitalen Ausgabe des Atlas die in der Papierausgabe enthaltenen Beispielkarten. Dafür werden neben dem kompletten Datensatz auch ESRI Shapefiles aller in der digitalen Ausgabe enthaltenen Karten über das Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) zum Download bereitgestellt. Des Weiteren können die Karten über durch die BGR bereitgestellte WMS (Web Map Services) in eigene GIS-Projekte eingebunden oder mit dem Geoviewer der BGR (<https://geoviewer.bgr.de>) in den meisten aktuellen Browsern visualisiert werden.