

5 Ergebnisse

5.1 Bergbau- und Umweltgeschichte im Harz

5.1.1 Allgemeine Entwicklungstendenzen des Bergbaus im Harz

Mitte der achtziger Jahre konnten erstmals Vermutungen bewiesen werden, wonach im Westharz schon vor dem Mittelalter intensiver Bergbau betrieben wurde (*NOWOTHING 1963, 1965, 1968, BROEL 1963*). Montanarchäologisch-archäometallurgische Forschungsergebnisse belegen, daß hier schon mindestens seit dem 3. Jahrhundert Rammelsberger und Oberharzer Erze über relativ weite Strecken transportiert und anfangs vorwiegend am Harzrand verhüttet werden (*WILHELMI 1989, KLAPPAUF ET AL. 1990*). Neuere geochemische Untersuchungsergebnisse an datierten Auensedimenten decken sich mit Vermutungen über frühbronzezeitlichen Bergbau im Mansfelder Land und im nordöstlichen Harz (*MATSCHULLAT ET AL. 1997, NIEHOFF ET AL. 1992*).

Obwohl dahingehend bisher nur indirekte Hinweise vorliegen, ist zumindest für Teile des Unterharzes ein ähnlich früher Beginn der Montanaktivitäten anzunehmen (*OTTO & WITTER 1952, BEHRENS 1994/95, SIMON 1993*). Vermutungen, wonach der Bergbau im Osthartz älter sein könnte als im Westharz (*HARTMANN 1957, SCHWERDTFEGER 1991*) bleiben aufgrund des heutigen Kenntnisstandes weiter spekulativ.

Bis zur Nutzung fossiler Brennstoffe im 19. Jahrhundert ist Holz der einzige Energielieferant. Besonders in Bergbaugebieten führt dies zu erheblicher Veränderung bzw. Degradation der natürlichen Waldvegetation und zu gravierenden Eingriffen in den Landschaftshaushalt. Im Harz sind spätestens seit dem 10. Jahrhundert Wald- und Umweltgeschichte eng mit der Bergbaugeschichte verknüpft.

In vormittelalterlicher Zeit beschränken sich die Bergbauaktivitäten auf kleinere, oberflächennahe Tagebaue in besonders leicht zugänglichen und hochkonzentrierten Lagerstätten. Die Aufbereitung erfolgt per Hand und die Verhüttung in kleinen, saisonal betriebenen Rennfeuern bzw. -herden auf windexponierten Hochflächen meist an Bachoberläufen in unmittelbarer Nähe der Lagerstätte. Die geringen Abbautiefen und Fördermengen bewirken nur kleinräumige Veränderungen in der Umgebung der Lagerstätten.

Inwieweit die Völkerwanderungszeit (4. - 6. Jh.) eine Zäsur der geringen Bergbauaktivitäten (außerhalb der ehemaligen römischen Einflußsphäre) in Mitteleuropa zur Folge hat, ist unklar. Im Westharz scheint der Buntmetallbergbau in dieser Zeit kontinuierlich weiter betrieben zu werden.

Zur Zeit der Ottonen und Salier (10./11. Jh.) entwickelt sich der circumhercynische Raum zum politischen und der Harz selbst zum ersten Zentrum der Silbergewinnung im Deutschen Reich. Nach heutigen Erkenntnissen konzentrieren sich anfangs die Bergbauaktivitäten auf den West- und Mittelharz. Da im **Unterharz** schon im 8./9. Jahrhundert eine bäuerliche Kolonisation einsetzt, sind die Zusammenhänge zwischen mittelalterlicher Besiedlung und Bergbau nicht so eindeutig wie im West- und Mittelharz (*GRINGMUTH-DALLMER 1992*). Die Einrichtung von Münzstätten in Harzgerode und Hasselfelde im 11. Jahrhundert könnte mit bedeutendem Silberbergbau in der näheren Umgebung in Zusammenhang stehen.

Der Höhepunkt der mittelalterlichen Wirtschaft und des Bergbaus liegt im 12./13. Jahrhundert, wobei nach groben Schätzungen der Metallbedarf pro Haushalt (ohne Silber und Eisen) vom 12. bis zum 14. Jahrhundert um das zwanzig- bis hundertfache ansteigt (*HASSE 1979*). Es ist anzunehmen, daß gleichzeitig auch die Erzförderung und Metallproduktion in den europäischen Bergbaurevieren in ähnlicher Größenordnung verstärkt und zunehmend neue Lagerstätten erschlossen werden. Neben den mitteldeutschen Zentren für die Silber- und Kupfergewinnung (Westharz seit ca. 10. Jh., Mansfeld seit ca. 1200, Erzgebirge seit ca. 1150) entstehen weitere bedeutende Bergbaureviere (Neusohl/slowakisches Erzgebirge, Schwaz/Tirol, Falun/Schweden), die in den folgenden Jahrhunderten untereinander konkurrieren.

Ab dem frühen 13. Jahrhundert übernehmen die Zisterzienser die Vormachtstellung im Harzer Bergbau. Im Jahre 1300 werden ihnen Bergbauprivilegien im oberen Selketal übertragen. Seit Mitte des 15. Jahrhunderts wird in der Umgebung von Harzgerode und Straßberg nachweislich Silber gewonnen. In Straßberg wird der Erzabbau erstmals 1438 und die älteste bekannte Silberhütte erstmals 1462 urkundlich erwähnt.

Mit dem Einsatz von Wasserkraft für den Antrieb von Blasebälgen im späten Hochmittelalter (12./13. Jh.) und dem allmählichen Übergang zum Tiefbau beginnt technik- und umweltgeschichtlich ein neues Zeitalter („Technische Revolution des Mittelalters“, *STROMER v. 1980*). Die leistungsfähigeren Stück- bzw. Schachtöfen werden von den Hochflächen in die Täler verlegt und das natürliche Abflußregime von Flüssen zunehmend durch wasserbauliche Maßnahmen verändert. Der größere Holzbedarf und die Schädigungen durch Hüttenabgase bzw. schwermetallhaltige Stäube führen in einigen Regionen erstmals zu großflächigen Degradationserscheinungen der umliegenden Waldvegetation.

Die spätmittelalterliche Rezession (Wüstungsphase) bedeutet einen gravierenden Einschnitt in der Bergbaugeschichte. Die Ursachen hierfür sind komplexer Natur und umfassen neben technischen Schwierigkeiten bei Wasserhaltung („Wassernot“, Klimaverschlechterung) und der Erschöpfung oberflächennaher Reicherze auch allgemeine sozioökonomisch-politische Umbrüche und verheerende Pestepidemien. Die Waldvegetation kann sich im Westharz während dieser Zeit wieder deutlich erholen (*SCHUBART 1978, HILLEBRECHT 1992*).

Seit der Wende 15./16. Jahrhunderts führt die technische Entwicklung erneut zu tiefgreifenden Veränderungen im Bereich der Nutzung der Wasserkraft und zu einem allgemeinen Aufschwung des europäischen Bergbaus. Viele, während der spätmittelalterlichen Rezession aufgelassene, Bergwerke werden wieder in Betrieb genommen und neue Lagerstätten erschlossen. Die Anlage von großräumigen Wassergewinnungsbauten führt zur Ausbildung „landschaftsübergreifender technischer Netzwerke“ (*BARTELS 1996B*). Im Oberharz beginnt Mitte des 16. Jahrhunderts die „Fichtenzeit“ (*FIRBAS 1952*).

Die allgemeine europäische Bergbaukrise am Ende des 16. Jahrhunderts (Lagerstättenerschöpfung, Probleme bei der Wasserlösung, Konkurrenz durch südamerikanische Silberproduktion) wird durch die Folgen des 30jährigen Krieges zusätzlich verschärft und bedingt wiederum einen tiefen Einschnitt in die Entwicklung bis Mitte des 17. Jahrhunderts. Der Bergbau erholt sich erst gegen Ende des 17. Jahrhunderts wieder und erreicht zu Anfang des 18. Jahrhunderts eine erneute Blütephase.

Insbesondere nach dem 30jährigen Krieg ist es aufgrund neuer Abbau- (u.a. Einsatz von Sprengstoffen) sowie Aufbereitungs- bzw. Verhüttungstechniken möglich, zunehmend weniger konzentrierte Massenerze zu gewinnen und zu verarbeiten. Der enorme Holzbedarf für den Ausbau der größeren Grubenbaue und die pyrotechnische Metallgewinnung führt auch in relativ entlegenen Gebieten zur Beeinträchtigung der Wälder. Anfang des 18. Jahrhunderts sind die Wälder des Harzes stark aufgelichtet und verheidet (*WILLUTZKI 1962*). Die Ausbreitung der Fichte im gesamten Harz steht im Zusammenhang mit der beginnenden organisierten Forstwirtschaft seit Mitte des 18. Jahrhundert (*RIPPEL 1958, 115*).

5.1.2 Umweltrelevante Bergbauperioden im Ostharz und Verbreitung potentieller historischer Schwermetallquellen

Um den Einfluß des Bergbaus auf die Landschaftsentwicklung und die zeitliche Dimension der Umweltbelastung beurteilen zu können, ist es hilfreich, die chronologische Entwicklung in bezug auf Umfang, Technik und räumliche Ausdehnung zu klassifizieren.

Die Ausgliederung "umweltrelevanter" Bergbauepochen für die Zeit vor 1700 erfolgte in Anlehnung an vorliegende Periodisierungen und Bergbauepochen im Westharz (*DENECKE 1978, BARTELS 1995, 1996B*). Die jeweilige zeitliche Abgrenzung orientierte sich dabei an allgemeinen Entwicklungstendenzen des deutschen (*STEUER & ZIMMERMANN 1993A/B*) Bergbaus in Kombination mit den bekannten Verhältnissen im Untersuchungsgebiet. Anhand der historisch-geographischen Analyse konnten insgesamt fünf Bergbauepochen ausgegliedert werden, die in **Tabelle 10** stichpunktartig charakterisiert sind. Die Einteilung richtet sich v.a. am Silberbergbau als treibende Kraft des frühen Montangewerbes.

Anhand montanarchäologischer bzw. -historischer Sekundärliteratur wurden sämtliche bislang bekannten, anthropogenen, potentiellen Schwermetallquellen im Untersuchungsgebiet tabellarisch erfaßt sowie nach Betriebsart bzw. -zeit klassifiziert (**Tabelle 9**, vgl. auch **Tabelle A2** im Anhang). Die zeitliche Klassifizierung erforderte die Angabe von Zeitintervallen. Aufgrund der mangelhaften montanarchäologischen Befundlage mußten für die kartographische Darstellung insbesondere die frühen Bergbauperioden zusammengefaßt werden. Der moderne Bergbau ab 1903 (Phase IVb) wurde nicht mehr berücksichtigt.

Die in **Tabelle 10** angegebenen Rezessionsphasen wurden jeweils als der vorangegangenen Blütephase zugehörig angesehen, so daß sich folgende Zeitintervalle für die kartographische Darstellung ergeben:

- I/II Vorgeschichtlicher und mittelalterlicher Bergbau (Anfänge bis 1450)
- IIIa/b Erste (früh)neuzeitliche Bergbauphase (1451 - 1648)
- IIIc Zweite neuzeitliche Bergbauphase (1649-1763)
- IVa Frühindustrieller Bergbau 1764 - 1903

Tabelle 9 Gliederungskriterien für historische Montanbetriebe im Ostharz

Betriebsart	Betriebszeit
Aufbereitung/Pochwerk	Betriebsbeginn
Buntmetallverhüttung	Betriebsende
Eisenverhüttung bzw. -veredelung	Datierungsqualität
Eisenverarbeitung	Zuordnung zu Bergbauperioden I - V
Glashütten	
Sonstige historische Gewerbebetriebe	

Die stark unterschiedliche Qualität der bezüglich Betriebsbeginn bzw. Betriebsende vorliegenden Jahreszahlen machte es erforderlich, in der Spalte „Datierung“ der **Tabelle A2** (siehe Anhang) die Verlässlichkeit der jeweiligen Angaben zu bewerten (Datierungsqualität 1 bis 5). Bei zeitlichen Überschneidungen von Betriebszeiten und Bergbauperioden wurde ein Betrieb nur dann einer zusätzlichen Periode zugeordnet, wenn die Betriebsdauer darin nachweislich mindestens 20 Jahre beträgt. Eine Ausnahme bilden die Betriebe, die erstmals in Urkunden um 1448 erwähnt werden (zitiert in *KLEßEN 1984*). Da mit sehr großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen ist, daß diese schon längere Zeit vorher bestanden haben, werden auch sie der Periode I zugeordnet. Die Betriebe mit der Datierungsqualität 5 werden je nach Lage der Periode I (Lage auf Hochflächen, keine Wasserkraftnutzung) bzw. der Periode II (Lage im Tal, Wasserkraftnutzung) zugeordnet.

Aufgrund der bereits beschriebenen montanhistorischen und montanarchäologischen Verhältnisse ist es wahrscheinlich, daß außer den bisher bekannten Betrieben ab dem Hochmittelalter (Lage im Tal) auch noch ältere, saisonale Montanbetriebe (Lage in unmittelbarer Nähe der Lagerstätte) bestanden haben, deren Spuren aber durch nachfolgenden Bergbau verwischt oder aber einfach noch nicht als solche erkannt wurden. Bei montanarchäologischen Prospektionsarbeiten wurden Anfang der neunziger Jahre in der Umgebung des Rammelsbergs auf einer Fläche von ca. 40 km² über 100 bislang nicht bekannte mittelalterliche Verhüttungsplätze (Silber- und Bleierze) registriert (*LINKE 1996*). Mittlerweile sind im Westharz insgesamt über tausend derartiger Anlagen bekannt (freundliche mündliche Mitteilung des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege in Goslar, Mai 1998).

Wegen der bekannten Schwierigkeiten bei der zeitlichen Einordnung von Abbauspuren aller Art wurde darauf verzichtet, in diesem Zusammenhang alte Gruben, Pingenfelder und Halden zu berücksichtigen. Unter der Rubrik „Sonstige“ sind solche Betriebe zu verstehen, die nicht in direktem Zusammenhang mit der Erz- bzw. Metallverarbeitung stehen, aber ebenfalls zur Belastung der Umwelt beigetragen haben könnten (Pulver-, Öl-, Papiermühlen, Ziegeleien, Farben-, Schwefel- bzw. Vitriolfabriken etc.).

Die **Halden** des historischen Bergbaus sind zum Großteil für den Straßen- und Wegebau (Abraum-, Schlacken-, Erzhalde) abgetragen bzw. in späteren Phasen des Bergbaus noch einmal aufgearbeitet worden, so daß das heutige Verbreitungsmuster nicht den historischen Verhältnissen entspricht. Neben zahlreichen Schacht- und Schachtpingehalden (meist Gangart und Nebengestein) in unmittelbarer Lagerstättennähe konnten bei Geländebegehungen und Bohrungen auch in der Aue immer wieder Reste von Hüttenschlacken festgestellt werden. Am südlichen Auenrand der Selke zwischen Straßberger Bahnhof und der ehemaligen „Chemischen Fabrik Fluor“ weisen ungerundete große Schlacken mit bis zu 20 cm Durchmesser im Uferbereich darauf hin, daß diese einfach in die Selke bzw. Selkeau verklappt wurden.

Da weder Zusammensetzung und/oder genaue Lage noch das Alter verschiedener Arten von Halden (Gangart, Nebengestein, Erz, Schlacke, Pochsand) im Untersuchungsgebiet näher bekannt sind, ist ihre Beurteilung als punkthafte bzw. diffuse, historische Schwermetallquelle problematisch. Im

allgemeinen kann man davon ausgehen, daß Halden aus schwermetallarmeren Gangarten und Nebengesteinen vorwiegend um Schächte und Pingen, d.h. in Lagerstättennähe, verteilt sind, während sich relativ schwermetallreiche Erz-, Pochsand- und Schlackenhalde seit dem Hochmittelalter in Hüttennähe, d.h. in Tallagen, befinden.

Zusammenfassend wird in den Karten 6a bis 6d deutlich, daß sowohl bezüglich Intensität als auch Art der montanwirtschaftlichen Nutzung erhebliche Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten der Bode und Selke im Harz bestehen. Während der frühen Bergbauperioden sind die Aktivitäten auf die Elbingeröder Hochfläche (Eisen), die südlich angrenzende Hasselfelder Hochfläche bzw. am Oberlauf von Rappbode bzw. Hassel (Eisen, Kupfer) und im Brunnenbachtal (Kupfer) konzentriert. Die Lage der frühen Buntmetallhütten vorwiegend im westlichen Teil des Bodeeinzugsgebietes bzw. am Harzrand bestätigt Vermutungen, wonach Oberharzer bzw. Rammelsberger Erze (*NOWOTHING 1968*) und vielleicht auch Mansfelder Erze verarbeitet wurden (Karte 6a).

Während der frühen Neuzeit werden die Montanbetriebe der Elbingeröder Hochfläche allmählich zugunsten von Standorten im Tal der Harzbode aufgegeben. In späteren Perioden geht die Buntmetallgewinnung im Einzugsgebiet der Bode/Harz zurück, während die Eisengewinnung und im 19. Jahrhundert die Eisenverarbeitung zunehmend an Bedeutung gewinnen (Karte 6b-d).

Das Harzeinzugsgebiet der Selke ist, zumindest in bezug auf die dargestellten historischen Verhüttungsaktivitäten, bis zum Spätmittelalter bzw. früher Neuzeit weitgehend unberührt geblieben (Karte 6a). Seit der frühen Neuzeit steigt die Anzahl der Betriebsstandorte der Silbergewinnung an, so daß bis zur Wende des 18./19. Jahrhunderts die Buntmetallgewinnung die montanwirtschaftliche Struktur prägt (Karte 6b-d).

Insgesamt ist bei der räumlichen Verbreitung anthropogener Schwermetallquellen im Laufe der Bergbaugeschichte eine Tendenz zur Konzentrierung festzustellen. Vor der Nutzung der Wasserkraft gibt es zum Beispiel auf der Elbingeröder Hochfläche auf engstem Raum zahlreiche kleine, oberflächennahe Abbaubetriebe und an Oberläufen kleinerer Bäche viele primitive, kurzzeitig bzw. saisonal betriebene Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen (Karte 6a). Ortsfeste Anlagen (Tallage) sind erst nach Einführung wasserbetriebener Blasebälge im Spätmittelalter (Stücköfen) üblich. Im Laufe der Neuzeit sind wegen der hohen Investitionskosten bei der Förderung von Massenerzen (Tiefbau) und der aufwendigen Metallgewinnung kleinere Betriebe nicht mehr konkurrenzfähig. Es entstehen in den folgenden Jahrhunderten größere Bergbaugesellschaften mit zahlenmäßig deutlich weniger, aber erheblich leistungsfähigeren zentralen Anlagen.

Mit der Veränderung der Organisationsstrukturen ist auch ein Wandel der anthropogen beeinflussten Schwermetaldynamik festzustellen. Bis zum Spätmittelalter sind im westlichen Einzugsgebiet der Bode/Harz die Schwermetallquellen zahlreich, aber klein. Die Schwermetalleinträge in historische Auensedimente sind dabei als schwach und eher diffus einzustufen. Im Laufe der Neuzeit verlagern sich die größeren punkthaften Schwermetallquellen in das Tal der Harzselke, wobei die Schwermetalle größtenteils direkt, d.h. ohne den Umweg der atmosphärischen Belastung des Einzugsgebietes und nachfolgender geomorphologischer Prozesse (Erosion) in das fluviale System gelangen.

Tabelle 10 Historischer Überblick - umweltgeschichtlich relevante Bergbauepochen des Ostharzes

	Zeit	Epoche	Allg. Bergbaugeschichte (Harz)	Montantechnik
Ia	4000-2600 -1000 1000-0 BC	Kupferzeit Bronzezeit Eisenzeit	Lokale Kulturen mit Kupferverarbeitung . Überregional bedeutende Aunjetizer Kultur in Mitteldeutschland (Bergbau im West- und Mittelharz?, Mansfelder Land?). Bedeutende Keltische Siedlung bei Meisdorf (Metallgewinnung im Selketal?).	Tagebau auf oberflächennahe hochkonzentrierte Reicherzonen , bzw. Raseneisenerze
Ib	0 - 4. Jh.	Römische Kaiserzeit /Germanen	Deutliche Steigerung der Eisenproduktion in Norddeutschland. Erzabbau im Oberharz , Verhüttung am Gebirgsrand (Düna/Osterode, Gittelde).	Primitive Aufbereitung (Klauben) und Verhüttung (Rennöfen) in Lagerstättennähe
Ic	4. - 6. Jh.	Völkerwanderung	Kontinuierliche Verhüttung in Düna (Westharz) archäologisch belegt.	
IIa	7. - 9. Jh.	Frühes Mittelalter	Umfangreiche saisonale Abbau- und Verhüttungsaktivitäten (Mittel-, Westharz), indirekte Hinweise auf Bergbau um Straßberg, Harzwälder kaum degradiert.	Übergang zu Tiefbau (Lösungsstollen), ab 12./13. Jh. : zunehmende Nutzung der Wasserkraft und Strukturwandel durch Verlegung der Hütten/Stücköfen in die Täler => „ <i>Technische Revolution des Mittelalters</i> “ 15. Jh.: Saigertechnik bei Kupfer-Silbergewinnung (Eisleben, Nürnberg)
IIb	9. Jh. - ca. 1350	Hohes Mittelalter	9./10. Jh.: Planmäßige Bergbau- und Siedlungsaktivitäten im Harz (Ottonen, Salier), Kupfer- und Eisenverhüttung im Mittelharz (Brunnenbachtal, Elbingerode, Altenbrak). 11. Jh.: Kupfer- und Silberverhüttung im Unterharz (Hasselfelde, Stiege), Münzstätten (Harzgerode, Hasselfelde). 13./14. Jh.: Sprunghafter Anstieg des Metallbedarfs in Mitteleuropa. Ab 14. Jh.: Zisterzienser führend im Harzer Bergbau (seit 1300 mit Privilegien im oberen Selketal).	
IIc	1350 - 1450	Spätes Mittelalter	1. allgemeine Rezession: Erschöpfung der Reicherze, Probleme bei Wasserlösung, Pest, politische Wirren, hygrische Klimaschwankungen , degradierte Waldbestände im Westharz erholen sich.	
IIIa	1451 - 1618		1. neuzeitliche Blütephase: Silbererzabbau und -verhüttung im oberen Selketal; umfangreicher Eisenerzabbau und -verhüttung im Harzeinzugsgebiet der Bode, zunehmende Konkurrenz bei Silber durch europäische bzw. südamerikanische Bergbauzentren, technische Probleme.	Wasserkünste und planmäßige Wasserwirtschaft , Einführung der Hochofentechnik bei der Eisengewinnung, 1539 Einführung von Naßpochwerken im (West-)Harz
IIIb	1618 - 1648	Frühe Neuzeit	2. allgemeine Rezession: endgültige Erschöpfung der Reicherze, 30jähriger Krieg.	Zunehmende Förderung von Massen-erzen und Einsatz von Sprengstoffen im Untertagebetrieb
IIIc	1649 - 1763		2. allgemeine Blütephase: maximale Produktion im Ostharzer Buntmetallbergbau zwischen 1720 und 1740	Deutliche Verbesserung der Aufbereitungsverfahren
IVa	1764 - 1903	Frühindustr. Bergbau	Niedergang des (stolbergischen) Silberbergbaus nach 7jährigem Krieg, zunehmende Konkurrenz bei Eisenproduktion (Ruhrgebiet/England) und verstärkt Eisenverarbeitung im Ostharz, Fortsetzung und Verstärkung des Eisen- und ab 1856 bzw. 1888 auch des Flußspatbergbaus im anhaltischen Harz	Einsatz fossiler Energieträger , Strukturwandel und <i>Ende des „hölzernen Zeitalters“ bzw. der „Solarenergie-Gesellschaft“</i>
IVb	>1903	Industrieller Bergbau	Umfangreicher Flußspatbergbau im Straßberger Revier bis 1990	Flotationstechnik löst gravimetrische Aufbereitung ab

Relative Bergbauintensität im Ostharz

unbekannt
gering
mittel
stark
Zäsur/Krise

5.2 Ergebnisse der Gelände- und Laboruntersuchungen

5.2.1 Charakterisierung und Verbreitung von Auen- und Talsedimenten

5.2.1.1 Bode

Im Tal der **Warmen Bode** sind die Sedimentationsverhältnisse anhand langer Uferabbruchkanten durch den gesamten Talquerschnitt zwischen Tanne und Königshütte sehr gut einsehbar. Hier sind junge Auensedimente flächendeckend verbreitet. Es handelt sich dabei um homogene, sandig-schluffige, dunkel-graubraune, lockere, deutlich humose und leicht hydromorphe aGo-M-Horizonte. Nach unten nehmen im allgemeinen die Anteile an Holzkohlepartikeln zu, und teilweise sind sogar ausgesprochene Holzkohleschichten festzustellen. Die Mächtigkeit der jungen Auensedimente ist abhängig vom früheren Talbodenrelief, d.h. von der Verbreitung der liegenden Kies- und Schotterbänke. In der Talmitte bzw. in alten Rinnen werden maximal 1,5 m erreicht, wobei in den tieferen Bereichen ein Gr-Horizont ausgebildet ist und die feinklastischen jungen Auensedimente mit den o.g. Kies- und Schotterbänken verzahnt sind. Zwischen aGo-M- und Gr-Horizont treten teilweise konkretionsreiche, stark verbackene und rostrote, sandig-kiesige Zwischenschichten mit hohen Schlackenanteilen auf.

Eine Besonderheit in jungen humosen Auensedimenten im Flußsystem der Bode sind glasige, metallarme, hellblaue Silikatschlacken. Sie stammen zum Großteil aus neuzeitlichen Holzkohlehochöfen bzw. Kupolöfen, fielen aber in geringem Umfang auch bei der mittelalterlichen Eisengewinnung in Rennöfen an. Seit dem 16. Jahrhundert wurden diese Schlacken als Abfallprodukte der Eisenerzverhüttung massenhaft durch Einschüttung in das Flußbett „entsorgt“. Nach Schätzung von *KLEßEN & CHROBOK (1989)* fielen dabei im Mittelharz (Einzugsgebiet der Bode im Harz ohne Selke und Ilse) insgesamt über 1,2 Mio. t bzw. ca. 450.000 m³ derartiger Schlacken an. Aufgrund der zeitlich und räumlich sehr gut zuzuordnenden Herkunftsquellen wurden diese Schlacken bei Untersuchungen der rezenten Geröllfracht der Bode als „lithologische Leitgerölle“ bzw. „lithostratigraphische Marker“ genutzt (*KLEßEN 1993*). Auch heute haben diese Schlacken einen Anteil von teilweise über 20 Prozent am rezenten Transportgut (Kornfraktion 2 - 4 mm) der Warmen Bode bzw. Bode im Harz.

Neben den Radiokarbonaten ist das massenhafte Auftreten von blauen Silikatschlacken in den Auenprofilen eine zusätzliche Hilfe bei der zeitlichen Einordnung und umweltgeschichtlichen Interpretation von Schwermetalltiefengradienten. Im Talquerschnitt und mit zunehmender Profiltiefe ist in der Regel eine Abnahme heller Silikatschlacken festzustellen, wobei offensichtlich ein Zusammenhang mit geringer werdenden Grobsandgehalten besteht. Besonders hoch ist der Anteil an blauen Schlacken kurz unterhalb der ehemaligen Standorte von Holzkohlehochöfen in Braunlage und Tanne.

Zwischen Braunlage und Sorge sind oberflächlich z.T. Auentorfe verbreitet. Die Ursache hierfür ist eine relativ geringmächtige (5 - 15 cm), stauend wirkende und stark lehmige Schicht (Ls) über basalen Sanden in Verbindung mit geringem Grundwasserflurabstand.

Unmittelbar vor Sorge und Königshütte sind am Talrand teilweise hellbraune, dichte Hangsedimente mit kantigen Skelettanteilen anzutreffen, die in Ufernähe mit einer geringen Auflage humoser Auensedimente bedeckt sind. Bei Königshütte sind die Hangsedimente durch niedrige Terrassenkanten von der eigentlichen Aue getrennt, wobei die aufliegenden humosen Auensedimente keine Schlacken enthalten.

Der Talboden im Mittellauf der **Kalten Bode** ist zwischen Elend und Mandelholz enger und stärker reliefiert als an der Warmen Bode. Der wellige Talboden könnte in Zusammenhang mit der Anlage künstlicher Wassergräben für die Hüttenbetriebe bei Mandelholz in Zusammenhang stehen. Unterhalb von Mandelholz ist der Talboden flacher und teilweise mit grobem anthropogenem Schutt bedeckt. Vor Königshütte wird der Unterlauf größtenteils von einer Talsperre bedeckt, so daß die Aufschlußverhältnisse insgesamt deutlich ungünstiger sind als an der Warmen Bode.

Die jungen, stark sandig-schluffigen Auensedimente sind denen der Warmen Bode sehr ähnlich und ebenfalls reich an blauen Schlacken und Holzkohlen. Wie an der Bode nimmt der Schlackengehalt mit der Tiefe und mit zunehmender Entfernung vom rezenten Gerinnebett ab. Im Unterschied zur Warmen Bode ergeben sich in Ufernähe innerhalb der jungen Auensedimente Schichtwechsel durch die

Aufeinanderfolge von 10 bis 20 cm mächtigen Lagen aus dunklen, schwarzbraunen, schlackenreichen und helleren, etwas schlackenärmeren Sedimenten. Unterhalb der jungen Auensedimente sind ebenfalls vereinzelt verbackene Sande und Kiese zu finden.

Zwischen Königshütte und Treseburg ist der Talboden der **Harzbode** streckenweise in drei Talbodenniveaus gegliedert. Das oberste Niveau bilden die Reste einer pleistozänen Terrasse aus groben Kiesen und Schottern mit geringem Feinsedimentanteil. Im Talmäander vor Susenburg kurz nach der Talsperre Wendefurth sind verschiedene Talbodenniveaus und -sedimente auf engem Raum anzutreffen und sollen daher im folgenden beispielhaft näher beschrieben werden:

Die randliche Schotterterrasse ist als oberstes Talbodenniveau deutlich durch eine etwa 1,5 m hohe Geländekante vom niedrigeren, mittleren Talboden getrennt, in dem ca. 0,5 m mächtige braune, sandige Auensedimente über dichteren und stärker hydromorphen, älteren Sedimenten liegen. Zum Ufer hin streichen diese flach aus, so daß die pleistozäne Terrasse wieder an der Oberfläche ansteht und durch eine zweite, ufernahe Geländekante ein drittes Talbodenniveau abtrennt. Auf dem tiefsten Talbodenniveau, das annähernd parallel zum heutigen Gerinnebett verläuft, ist eine Zerteilung der Sedimente zu erkennen. Während am flußaufwärtigen, prallhangseitigen Teil des Flußmäanders hellbraune und etwas feinkörnigere Sedimente mit relativ geringen Anteilen an blauen Silikatschlacken liegen, sind am flußabwärtigen Teil dunkel-graubraune, insgesamt schlackenreiche und im Durchschnitt etwas sandigere Sedimente zu finden. Aufgrund der Lage im Gelände (aktuelle Ufererosion in Prallhanglage) und der geringeren Schlackenanteile sind die Sedimente im flußaufwärtigen Teil älter als die im flußabwärtigen Teil.

Unterhalb der Talsperre bei Wendefurth ist die morphologische Differenzierung des Talbodens nicht so deutlich ausgebildet: Die jüngsten, schlackenreichen Sedimente sind meist als ufernahe und leicht zum Flußlauf hin abfallende Sedimentschicht bzw. als dünne Schicht über dem mittleren Talniveau ausgebildet, dessen Basis von relativ dichten, hellbraunen Sedimenten gebildet wird. Ab Treseburg bis Thale durchbricht die Bode in einer engen Schlucht den Ramberg-Granit, so daß Auensedimente erst wieder im stark durch Löß beeinflussten Vorland anzutreffen sind.

5.2.1.2 Selke

Im Tal der Harzselke ist die Gliederung und räumliche Verbreitung der Sedimente komplexer als in den Tälern der Bode und ihrer Zuflüsse und werden im folgenden im Flußlängsverlauf beschrieben.

Zwischen **Güntersberge** und **Straßberg** treten junge, sandig-schluffige humose Auensedimente mit typischen dunkelbraunen aGo-M-Horizonten in größerer Mächtigkeit (50 - 100 cm) nur in unmittelbarer Ufernähe oder in Muldenlagen (alte Flußarme) auf. Auf der Talbodenoberfläche heben sich solche Bereiche durch Geländestufen von ca. 20 bis 50 cm Höhe ab. Zwischen aGo-M-Horizont und Gr-Horizont ist im ufernahen Bereich teilweise eine bis zu 40 cm mächtige Kiesschicht ausgebildet, die auf einen abrupten Wechsel der Abfluß- und Sedimentationsdynamik schließen läßt.

Abgesehen von Muldenlagen und dem unmittelbaren Ufersaum sind in diesem Flußabschnitt unter einer geringmächtigen Auflage aus jungen Auensedimenten vorwiegend stark hydromorphe und dichte, sandig-lehmige (Slu), ältere Talsedimente verbreitet. Im Go-Horizont ist die Sedimentmatrix hell- bis schmutzig-graubraun. Es handelt sich um solifluidal und fluviatil umgelagerte Relikte bzw. Derivate tertiärer, saprolithischer Graulehme. Diese konnten aufgrund eigener Tonmineralanalysen (RDA) in einem Profil B1_4 am Talrand (nahe der ehemaligen „Chemischen Fabrik Fluor“) nachgewiesen werden. An der Profilbasis sind hier kaolinitreiche, d.h. unverwitterte Graulehmrelikte ohne erkennbaren 14Å-Peak über fluviatil umgelagerten Graulehmderivaten mit nach oben zunehmendem Anteil an gut kristallisierten 14Å-Mineralen erhalten. Nach *MÜCKE (1966)* stehen solche Sedimente v.a. in Quellmulden der benachbarten Hochflächen und in Talrandlagen der Selke an. In Talmitte überlagern Graulehmderivate Kies mit Pflanzenresten und Holzkohlen. Am Talrand dagegen liegen Graulehmrelikte direkt über Hangschutt ohne organische Bestandteile. Die Mächtigkeit von Graulehmrelikten und -derivaten variiert im Talquerschnitt relativ wenig und liegt zwischen 1,4 und 1,7 m.

Zwischen **Straßberg** und **Alexisbad** nehmen junge Auensedimente mit bis zu 50 cm Mächtigkeit größere Flächen des Talbodens ein. Unter den jungen, sandig-schluffigen, humosen Auensedimenten (aGo-M-Horizont) befinden sich auffällige, streifig-laminare Wechsellagerungen aus dunklen, an der Basis eher rostroten und teilweise verbackenen Sanden und sandig-lehmigen, hellgrauen und rostfleckigen (Slu) Zwischenschichten. Bei den Sandlagen handelt sich um fluviatil verlagerte

Rückstände aus Aufbereitungsanlagen des historischen Bergbaus (siehe **Kapitel 2.1**), die in der Vergangenheit aufgrund mangelhafter Technik, z.T. aber auch vorsätzlich, in die Vorfluter verklappt wurden und bei Hochwasser in die Aue gelangten. Im weiteren werden diese laminaren Wechsellagerungen als aPS-Lagen bezeichnet. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichten beträgt unten bis zu 10 cm nimmt nach oben hin deutlich ab (1 - 3 cm). Die oberen bzw. jüngeren aPS-Lagen sind meist mit den hangenden humosen Auensedimenten verzahnt. Die hellen, sandig-lehmigen Zwischenschichten werden hier durch sandig-schluffige, braune Auensedimente ersetzt. Die größte Mächtigkeit (ca. 1 m) der aPS-Lagen wird im allgemeinen in unmittelbarer Ufernähe erreicht.

Da Naßpochwerke in Straßberg vor 1695 nicht existieren und der Bergbau in Straßberg um 1760 so gut wie eingestellt ist, können diese Sedimente nur während der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts abgelagert worden sein. Für die hangenden, humosen Auensedimente bedeutet dies, daß sie nicht älter als knapp 250 Jahre sind.

In **Karte 7** ist die Mächtigkeit und Verbreitung der aPS-Lagen an der Basis der jungen, humosen Auensedimente dargestellt. Unmittelbar flußabwärts von Straßberg - dem Zentrum der Einleitungen⁴ - erreichen sie ihre größte Mächtigkeit und flächenhafte Ausdehnung. Mit wenigen Ausnahmen sind flußabwärts der Bärlochsmühle Pochsandlagen fast nur noch in Ufernähe und mit flußabwärts abnehmenden Mächtigkeiten verbreitet. Aufgrund dieser Ergebnisse ist aber nicht auszuschließen, daß auch weiter flußabwärts vereinzelt noch Pochsande aus Straßberg und/oder sekundär verlagerte Beimengungen daraus in Auensedimenten vorhanden sind.

Geländebefunde zu fluviatil abgelagerten Rückständen aus der Erzaufbereitung sind in der Literatur selten zu finden. Bei *MEYER (1822)* sind Sedimentprofile mit derartigen Ablagerungen für die Aue der Innerste in mehreren farbigen Handzeichnungen dargestellt. *NIMICK & MOORE (1994)* beschreiben Ablagerungen aus sulfidischen Aufbereitungsrückständen für die Aue des *Clark Fork River* (Montana/USA) und kommen dabei zu folgender stratigraphischen Gliederung:

Obere, feine (Us), laminare, reine aPS-Lagen: Die Schichten enthalten nur geringe Anteile an Zwischensedimenten; im Grundwasserschwankungsbereich bilden sich um Sulfidminerale Eisenhydroxidbeläge; der Schlackengehalt beträgt bis zu 15 Prozent; wenn diese Sedimente an der Oberfläche anstehen fehlt der Pflanzenwuchs und es bildet sich bei Trockenwetterlagen eine Salzschiefer aus.

Untere, grobkörnige (Su), linsenförmige aPS-Lagen: Die Mächtigkeit der einzelnen Lagen ist größer und erreicht bis 10 cm und außerdem steigt der Anteil an Zwischensedimenten.

Reduzierte aPS-Lagen: aPS-Lagen unter dauerndem Grundwassereinfluß.

Sekundär umgelagerte aPS-Lagen: aPS-Ablagerungen aus älteren, primären aPS-Lagen.

Bezüglich der Verbreitung, Mächtigkeiten und Schichtung der aPS-Lagen decken sich die eigenen Geländebefunde gut mit den Beschreibungen von *MEYER (1822)* und *NIMICK & MOORE (1994)*. Es ist daher anzunehmen, daß bei sulfidisch-detritischen Aufbereitungsrückständen gewisse gesetzmäßige Besonderheiten bezüglich fluvialer Transport- und Sedimentationsprozesse bestehen, die zu ähnlichen Sedimentationsmustern in Tälern unterschiedlicher Größe und Lage führen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die gravitative Sortierung von Materialien unterschiedlicher spezifischer Dichte und Herkunft während des fluvialen Transportes und damit auch die mineralogische Zusammensetzung. Die regelmäßige Abfolge spezifisch schwerer Pochsande und spezifisch leichter Zwischenlagen ist auf die wechselnden hydrodynamischen Verhältnisse während eines Hochwasserereignisses zurückzuführen. Am Beginn einer Hochwasserwelle werden bei hohen Fließgeschwindigkeiten und stark turbulenten Strömungsverhältnissen zunächst die Pochsande im Gerinnebett mobilisiert und in der Aue akkumuliert. Bei abschwellender Hochwasserwelle bzw. bei geringerer Transportkapazität kommen anschließend Sedimente aus dem Einzugsgebiet zur Ablagerung. Dies bedeutet, daß je eine Pochsand- und eine Zwischensedimentschicht einem Hochwasserereignis zuzurechnen sind.

Unterhalb der aPS-Lagen sind in der Talmitte wieder die bereits im Flußabschnitt B1 beschriebenen Graulehmerivate bzw. -relikte zu finden. In Ufernähe bilden dagegen häufig dunkelgraue (Ghr-Horizont), sandig-schluffige, fluviatile Sedimente mit vielen Pflanzenresten und Holzkohlen die Basis der feinklastischen Talsedimente. Flußabwärts des anhaltischen Pochwerkes ist unter den aPS-Lagen

⁴ Nach *OELCKE 1978* sind in Straßberg in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts bis zu sieben Naßpochwerke gleichzeitig in Betrieb

vereinzelt ein ca. 50 cm mächtiges, hellbraunes, leicht fleckiges (aM-Go-Horizont), älteres Auensediment mit Holzkohlen anzutreffen.

Im Engtal zwischen Alexisbad bis kurz nach Mägdesprung sind aufgrund der starken Verbauung und dem stärkeren Gefälle keine Auen- oder Talsedimente zu finden. **Flußabwärts von Mägdesprung** weitet sich der Talboden der Selke wieder und erreicht bei Selkemühle eine Breite von ca. 200 m. Im Unterschied zu den vorherigen Flußabschnitten treten Graulehmrelikte bzw. -derivate hier nicht mehr auf. Die aPS-Lagen sind nicht mehr als eigene stratigraphische Einheit in primärer Lagerung, sondern nur noch undeutlich in sekundärer Lagerung innerhalb der humosen Auensedimente anzutreffen.

Kurz nach Mägdesprung ist auf beiden Talseiten ein älteres Talbodenniveau in Form kleiner Terrassenreste erhalten. Der Terrassenkörper setzt sich aus einer geringmächtigen Auflage humoser Auensedimente über dichten Sedimenten mit kantigen Skelettkomponenten zusammen. Die Ausbildung eines Bv-Horizontes weist auf ein verhältnismäßig hohes Alter der dichten Sedimente hin. Nach Aufweitung des Tales ist die Terrassenkante im Gelände kaum zu erkennen. Bis zur Selkemühle liegen über den dichten, skeletthaltigen Terrassensedimenten ca. 0,5 m mächtige, humose Auensedimente, die die Oberfläche des ehemaligen Talbodens nivellieren. Ein Bv-Horizont ist hier nicht ausgebildet.

Unterhalb der Selkemühle prägen mehrere Schwemm- bzw. Schuttfächer aus kleinen Nebentälern das Relief des Talbodens. Im Bereich der (geologischen) Selkemußde vor Meisdorf nehmen junge, lockere, braune Auensedimente den gesamten Talboden ein, darunter befindet sich in Ufernähe an einigen Stellen eine 20 bis 30 cm mächtige Zwischenschicht aus Kies. Da ähnliche Bedingungen auch schon im Oberlauf zwischen Güntersberge und Straßberg auftreten (s.o.), ist ein zeitlicher und ursächlicher Zusammenhang zwischen den kiesigen Zwischensedimenten im Ober- und Unterlauf zu vermuten. Direkt vor Meisdorf stehen am etwas erhöhten rechten Talrand relativ dichte, fleckige Sedimente an, die den bereits beschriebenen liegenden Terrassensedimenten kurz nach Mägdesprung sehr ähnlich sind. Im Gegensatz dazu konnten hier jedoch Holzkohlen gefunden werden.

Eine Besonderheit der jungen Auensedimente in den Flußabschnitten D und E ist das Auftreten von blauen Silikatschlacken aus der Eisenverhüttung in Mägdesprung (ab 1648 bzw. 1740), auf die auch schon in Zusammenhang mit den Auensedimenten im Einzugsgebiet der Bode/Harz hingewiesen wurde. Außerdem sind besonders in Ufernähe dünne, sekundär verlagerte aPS-Lagen innerhalb der jungen Auensedimente eingearbeitet. Sie unterscheiden sich von den primären aPS-Lagen der Flußabschnitte B1 und B2 durch die Art des Zwischensedimentes (humose Auensedimente), die geringere Mächtigkeit und die schlechtere Sortierung der Sandschichten.

5.2.2 Gliederung der Teiluntersuchungsräume und Auswahl der Untersuchungsstandorte

Die Gliederung des Einzugsgebietes der Bode im Harz orientiert sich an den natürlichen morphologischen Einzugsgebietsgrenzen der untergeordneten Zuflüsse. Die Harzselke wird anhand der natürlichen Verhältnisse (Talgefälle, -breite, Geologie, Sedimentologie) in verschiedene Fluß- bzw. Talabschnitte mit den dazugehörigen Teileinzugsgebieten gegliedert (A - E).

Der Mittellauf der Selke im Harz unterscheidet sich vom Flußabschnitt A deutlich durch geringeres und ausgeglicheneres Gefälle (0,7 %) sowie durch die Art der Tal- bzw. Auensedimente (vgl. **Kapitel 5.2.1.2 bzw. 5.2.2**). Aufgrund der großen Anzahl historischer Montanbetriebe und des Auftretens von Pochsandlagen (aPS-Horizonte) in der Aue (**Karte 7**) sowie flächenhaften geochemischen Anomalien im Einzugsgebiet (**Karte 3**) wurde der Flußabschnitt B ab Straßberg bzw. der Mündung des Rödelbaches zweigeteilt. Ab Straßberg ist sowohl aufgrund der natürlichen Verhältnisse als auch wegen der starken historischen Bergbauaktivitäten mit Veränderungen der geochemischen Verhältnisse zu rechnen, die sich erheblich von denen der anderen Flußabschnitte unterscheiden. Die Flußabschnitte D und E wurden aufgrund des Eintrittes der Selke in die geologische Selkemußde voneinander abgegrenzt. In **Abbildung 1** ist ein Längsprofil der Harzselke dargestellt, aus dem die Grenzen der Flußabschnitte nach Fließkilometer und Meeresspiegelhöhe zu entnehmen sind.

In **Tabelle 11** und **Tabelle 12** sind einige wichtige morphometrische Kenngrößen für die Teileinzugsgebiete der Bode bzw. die Flußabschnitte der Selke im Harz dargestellt. Die genaue Lage und die Grenzen der Teiluntersuchungsräume sind aus **Karte 1** ersichtlich.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt insgesamt knapp 770 km², wobei sich die Geländearbeiten auf die Auenbereiche im jeweiligen direkten Harzeinzugsgebiet von Bode und Selke beschränken. Die

Gewässerdichte ist bei beiden Flüssen ähnlich, zeigt aber eine gewisse räumliche Differenzierung. Sie nimmt in beiden Einzugsgebieten klimatisch bedingt nach Osten bzw. in Richtung des nördlichen Harzrandes deutlich ab. Die höhere Gewässerdichte der Teileinzugsgebiete D und E der Selke ist wahrscheinlich auf den weniger durchlässigen geologischen Untergrund im Bereich der Selkemulde zurückzuführen.

Tabelle 11 *Morphometrische Kurzcharakteristik von Teileinzugsgebieten der Bode/Harz*

Teileinzugs- gebiete	Fläche		Fluß- dichte [km/qkm]	mittlere Höhe des Talbodens		Tallänge [km]	mittleres Talgefälle [%]
	[qkm]	[%]		[m ü. NN]	[m ü. NN]		
Kalte Bode	51,2	9,1	2,5	ab Ortseingang Schierke	658 - 424	12,0	2,0
Warme Bode	102,1	18,1	2,2	ab Ortseingang Braunlage	575 - 424	17,0	0,9
Rappbode	116,6	20,7	1,8	ab Ortseingang Benneckenstein	532 - 315	20,0	1,1
Luppbode	41,0	7,3	1,6	ab Ortseingang Allrode	409 - 255	2,5	6,2
Harzbode	85,2	15,1	1,4	bis Treseburg	424 - 255	14,0	1,2
				Treseburg - Thale	255 - 150	5,0	2,1
Gesamt, direkt	396,1	70,3	1,9				
Gesamt, indirekt	167,0	29,7	1,7				
Gesamt Bode/Harz	563,1	100,0	1,8				

Tabelle 12 *Morphometrische Kurzcharakteristik von Flußabschnitten der Selke/Harz*

Teileinzugs- gebiete	Fläche		Fluß- dichte [km/qkm]	mittlere Höhe des Talbodens		Tallänge [km]	mittleres Talgefälle [%]
	[qkm]	[%]		[m ü. NN]	[m ü. NN]		
A	29,2	14,2	2,2	bis Güntersberge	550 - 400	6,0	2,5
B1	20,2	9,8	1,7	bis Straßberg	400 - 362	5,5	0,7
B2	58,0	28,1	1,4	bis Alexisbad	362 - 318	5,0	0,7
C	42,7	20,7	1,5	bis Schiebecksbach	318 - 255	6,0	1,1
D	24,1	11,7	2,1	bis Höhe Mettenberg	255 - 210	5,5	0,5
E	14,6	7,1	1,8	bis Meisdorf	210 - 180	3,5	0,6
Gesamt, direkt	188,8	91,6	1,7			31,5	
Gesamt, indirekt	17,3	8,4	1,8				
Gesamt, Selke/Harz	206,1	100,0	1,7				

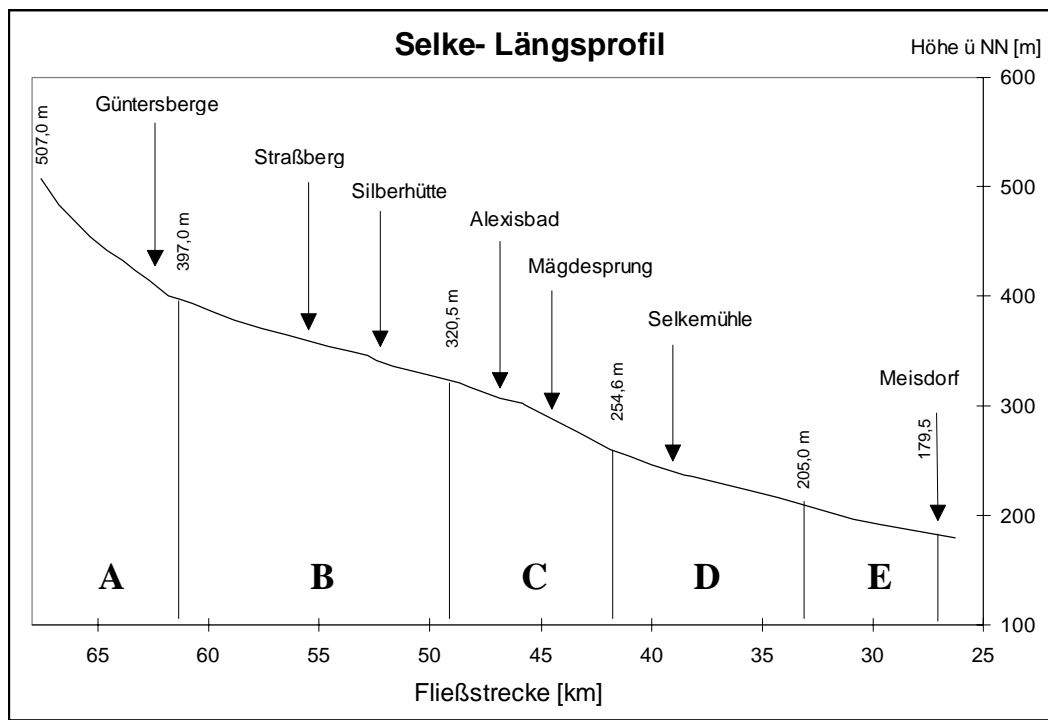


Abbildung 1 Längsprofil (Wasserspiegelhöhe) und Flußabschnitte der Harzselke

5.2.3 Schwermetalltiefengradienten in Sedimentprofilen und lokale Bergbau- und Umweltgeschichte

5.2.3.1 Vorbemerkungen

Blei war in vielen historischen Bergbaugebieten ein wichtiger Bestandteil der in der Vergangenheit genutzten Buntmetall-Lagerstätten und ist heute aufgrund der geringen geochemischen Mobilität als stratigraphischer Schichtzeiger für den Einfluß des historischen Bergbaus auf die Schwermetallführung fluviatiler Sedimente geeignet (MACKLIN ET AL. 1985). Unter der Voraussetzung, daß keine postsedimentäre Verlagerung stattfand und daß die Unterschiede der Schwermetallgehalte nicht durch variierende Korngrößenzusammensetzung bedingt sind, können die Tiefengradienten von Blei in Auenprofilen als Folgen stärkerer bzw. geringerer Bergbauaktivität interpretiert werden. Bei bekannter Bergbaugeschichte können so Aussagen zur chronostratigraphisch-geochemischen Schichtung und zum Sedimentationsalter gemacht werden.

Im folgenden werden für das jeweilige Teiluntersuchungsgebiet zunächst wichtige Standorte lokaler, Schwermetallquellen genannt und die analysierten Profile bezüglich Lage und Lithostratigraphie beschrieben sowie Möglichkeiten der Genese diskutiert. Die im Gelände aufgenommene Sedimentschichtung (I, II, ...) wurde anhand der Ergebnisse der Korngrößenanalyse verfeinert. Die untergeordneten Schichten sind durch nachgestellte Kleinbuchstaben gekennzeichnet (Ia, Ib, Ic). In Anlehnung an KOPP (1964) wurde der Feinsand-Grobsand-Quotient (im folgenden fS:gS-Quotient) für den Nachweis interner Schichtungen in fluviatilen Sedimenten herangezogen.

Auf Grundlage der untersuchten Einzelprofile und der durchgeführten Übersichtsbohrungen wurden für das jeweilige Teiluntersuchungsgebiet typische stratigraphische Einheiten definiert. Diese wurden bezüglich der Mittelwerte (Mediane) und Schwankungsbreiten (10./90. Perzentil) der pH(H₂O)-Werte, der Gehalte an organischer Substanz sowie ausgewählter Kornfraktionen (Grobsand, Grobschluff, Ton) charakterisiert. Anhand dieser Parameter sind unter Umständen Rückschlüsse auf Sulfidverwitterung, bzw. wechselnde Ausgangssubstrate, abweichende Sedimentationsbedingungen und damit auf externe bzw. interne fluvialmorphologische Prozesse möglich. In humosen Auensedimenten sind hohe pH-Werte in Verbindung mit erhöhten Gehalten an organischer Substanz und Grobschluffanteilen zum Beispiel ein Hinweis auf verstärkte Erosion lößhaltiger Oberböden und entsprechende Ursachen (Waldnutzung, Ackerbau) im Einzugsgebiet.

Bei der umwelt- und montangeschichtlichen Interpretation wurden die Schwermetalltiefengradienten zeitlich eingeordnet und mögliche Prozesse der zugrunde liegenden historischen (fluviatilen)

Schwermetalldispersion und Sedimentation erläutert. Bei ausgeprägten Tiefengradienten und vorliegenden Radiokarbonaten wurde diesbezüglich auch näher auf Einzelprofile eingegangen.

Bei den im Text bzw. in den Abbildungen angegebenen Radiokarbonwerten handelt es sich um die obere Grenze des 2σ -Bereiches dendrokalibrierter ^{14}C -Analysen, da nur diese ausschlaggebend für das Höchstalter der entsprechenden Sedimentschichten sind.

Anhand der geochemischen Gliederung der Profile sollten Unterschiede zwischen lithostratigraphischen Einheiten bezüglich der historischen Schwermetallbelastung herausgearbeitet werden. Die geochemische Gliederung orientierte sich an deutlichen Konzentrationsunterschieden des Schichtzeigers Blei. Bei aufeinander folgenden geochemischen Schichten sollten sich die Mittelwerte der Bleigehalte um mindestens den Faktor 2 unterscheiden. Umgekehrt sollte innerhalb einer geochemischen Schicht der maximale und minimale Bleigehalt der Einzelproben nicht mehr als um den Faktor 2 auseinander liegen. Ausnahmen ergaben sich durch sedimentologische Besonderheiten im Profil, bei denen die Anwendung der beschriebenen geochemischen Gliederungskriterien nicht sinnvoll war. Ein Beispiel dafür sind die stark durch Pochsande geprägten Sedimentschichten im Tal der Selke mit petrographisch bedingten, hohen und gleichzeitig stark schwankenden Schwermetallgehalten, die immer in einer Schicht zusammengefaßt wurden.

Für eine bessere Vergleichbarkeit verschiedener Elemente ist der Bezug der absoluten Gehalte zum regionalen geochemischen Hintergrund hilfreich. In Anlehnung an die Gliederung prospektionsgeochemischer Daten aus Bachsedimenten ($< 0,2$ mm) wurden dafür die mittleren Gehalte der geochemischen Einheiten anhand der Stärke des Kontrastes (=K, entspricht Anreicherungsfaktor) zum jeweiligen Modus (entspricht regionalem geochemischen Hintergrund) klassifiziert (RENTZSCH ET AL. 1985, RENTZSCH & ET AL. 1984, vgl. **Tabelle 13**). Anreicherungen bis 1,9 gelten dabei als nicht oder kaum erhöht (= regionaler Hintergrund), von 2,0 bis 2,9 als „deutlich erhöht“ (= lokaler Hintergrund), von 3,0 bis 9,9 als „anomal“ und ab 10,0 als „stark anomal“ (RENTZSCH & ET AL. 1984, 122f). Um eine eventuell auftretende Schwermetallanreicherung in feineren Kornfraktionen zu berücksichtigen, wurde, im Gegensatz zu den Bachsedimenten ($< 0,2$ mm), für die Auenprofile (< 2 mm) jedoch nicht der Kontrast von 1,9 sondern der Kontrastwert 1,0 als Obergrenze für nicht angereicherte Sedimente herangezogen. Für eine ausreichende Differenzierung der stark anomalen Anreicherungen gegenüber dem regionalen Hintergrund (Modalwerte) war es erforderlich eine zusätzliche Klassengrenze bei Überschreiten des Kontrastwertes 50 einzuführen.

Anhand der Korrelationsanalyse kann der Einfluß der Korngrößenzusammensetzung und der Redoximorphose (Anreicherung in Eisen-Mangan-Oxidhydroxiden) auf die Schwermetalltiefengradienten abgeschätzt werden. Für die statistische Auswertung wurden die Daten der Teiluntersuchungsgebiete in stratigraphisch-geochemische Einheiten gegliedert und anschließend Korrelationsanalysen bezüglich des statistischen Zusammenhanges zwischen den Buntmetallgehalten, den Buntmetall- und den Eisen-Mangan-Gehalten sowie zwischen den Metallgehalten und den Anteilen der Fraktionen $< 63 \mu\text{m}$ bzw. $< 20 \mu\text{m}$ im Feinboden durchgeführt.

Tabelle 13 Obergrenzen der Anreicherungsklassen und Kontrastbereiche für Blei, Zink, Kupfer und Silber in Auen- und Talsedimenten des Ostharzes gegenüber dem regionalen Hintergrund

Anreicherungsklasse (AK) (für Auen- bzw. Talsedimente $< 2\text{mm}$)	Kontrast zu Modus (Bachsedimente $< 0,2$ mm)	Pb	Zn	Cu	Ag	
		[mg/kg]				
nicht angereichert	1	$\leq 1,0$	61	140	34	0,5
schwach	2	1,1 - 2,9	177	406	99	1,5
mäßig	3	3,0 - 9,9	604	1386	337	5,0
stark	4	10,0 - 49,9	3044	6986	1700	25,0
sehr stark bzw. extrem	5	$\geq 50,0$	> 3044	> 6986	> 1700	> 25

Da im Laufe der Bergbaugeschichte auch Veränderungen bezüglich Rohstoffbasis und Aufbereitungs- bzw. Verhüttungstechniken auftreten, sind Verschiebungen des Elementspektrums mit der Tiefe ebenfalls als potentielle sedimentologische Zeitmarken anzusehen. Aus diesem Grunde werden im Anhang (**Tabellen A8 - A12**) neben den absoluten Meßwerten auch die Elementquotienten zwischen den Buntmetallen angegeben und im Text diesbezüglich auf deutliche Wechsel verwiesen.

5.2.3.2 Bode

Im Einzugsgebiet der Harzbode wurden an drei Standorten insgesamt 10 Profile, im Einzugsgebiet der Warmen Bode 5 Profile und im Einzugsgebiet der Kalten Bode 1 Profil aufgenommen und beprobt. Auensedimente der Rappbode konnten wegen der Talsperrenanlagen nicht berücksichtigt werden. An der Luppode sind aufgrund des starken Gefälles keine Auensedimente vorhanden. Die Standorte sind in einer Übersicht in **Karte 8** dargestellt. Die **Tabellen A3/A4** enthalten die Kurzbeschreibungen und Koordinaten, die **Tabellen A8/A9** die Laboraten.

Neben den lokalen historischen Schwermetallquellen im jeweiligen Teileinzugsgebiet (Hütten, Pochwerke etc.) sind aufgrund der vorherrschenden Hauptwindrichtung die bereits erwähnten atmogenen Bleieinträge aus dem Westharz als wichtige diffuse Stoffquelle zu betrachten.

5.2.3.2.1 Kalte Bode und Warme Bode

5.2.3.2.1.1 Lokale Schwermetallquellen

Wichtige potentielle lokale Schwermetallquellen sind hier mittelalterliche Buntmetallhütten im Brunnenbachtal sowie im Tal der Warmen Bode zwischen Braunlage und Tanne. Unmittelbar flußabwärts von Braunlage werden von *AMELUNG (1987)* drei Kupferschlackenhaufen als Reste hochmittelalterlicher Kupferverhüttung bei der heutigen Silberfuchsfarm genannt. Im weiteren Flußverlauf sind im Tal der Warmen Bode bis zur Mündung des Brunnenbaches im 18. Jahrhundert noch zwei Kupferhütten mit verhältnismäßig kurzen Betriebszeiten bekannt (Standort-Nr. 62 und 64, **Karte 6c**).

Unterhalb von Tanne und ca. 200 m vor der Mündung des Großen Allerbaches befand sich bis vor ungefähr 60 Jahren eine der größten noch erhaltenen Halden der Kupferverhüttung im Einzugsgebiet der Bode/Harz (nach *BODE 1928/29*: Fläche: 80 x 55 m, Höhe: 6 m). Es handelt sich dabei um Relikte der bedeutendsten mittelalterlichen Kupferschmelzhütte im Einzugsgebiet der Bode, die schon zu Beginn des 14. Jahrhunderts in Betrieb war, vor 1528 aufgegeben wurde und danach als Sägemühle fungierte (Standort-Nr. 105, vgl. **Karte 6a**). Wie bei den meisten anderen von *BODE (1928/29)* beschriebenen Kupferhalden ist auch diese größtenteils für den Straßen- und Wegebau abgetragen worden und oberflächlich nur noch anhand von Lesestücken und unterhalb der Grasdecke am Prallhang der Warmen Bode in einer Mächtigkeit von ca. 30 cm erhalten (*KLEßEN 1984*).

Im Brunnenbachtal waren älteren Angaben zufolge noch im 18. Jahrhundert mindestens sechs größere mittelalterliche Schlackenhalde vorhanden, von denen durch *BODE (1928/29)* später jedoch nur noch drei in Resten nachgewiesen werden konnten (*KLEßEN 1984*). In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts befand sich an der Mündung des Schächerbaches die wichtigste Schwefelfabrik im Harz (*REINBOTH 1979*, Standort-Nr. 69, **Karte 6d**). Aufgrund der Verarbeitung großer Mengen an Eisen-, Kupfer- und Zinkvitriol zur Herstellung von Poliermitteln, Farben, Scheidewässern und Schwefelsäure ist dieser Standort als relativ junge potentielle Schwermetallquelle zu betrachten. Das ehemalige Blaufarbenwerk bei der Waldmühle als Nachfolger einer Kupferhütte (Standort-Nr. 65, **Karte 6c**) könnte zu einer Belastung mit Kobalt beigetragen haben. Da dieses Element nicht zum Untersuchungsprogramm gehört, können darüber keine weiteren Aussagen getroffen werden. Als mögliche lokale Schwermetallquelle im Tal der Kalten Bode ist bislang nur eine hochmittelalterlich-frühneuzeitliche Kupferhütte oberhalb von Schierke bekannt (Standort-Nr. 3, vgl. **Karte 6a/b**). Die zahlreichen historischen Betriebe der Eisenverhüttung und -verarbeitung in den Einzugsgebieten von Kalter Bode (Schierke, Elend, Mandelholz) und Warmer Bode (Braunlage, Sorge/Tanne) spielen diesbezüglich aufgrund der niedrigen Schwermetallgehalte in den verarbeiteten Eisenerzen des Elbingeröder Komplexes nur eine untergeordnete Rolle.

5.2.3.2.1.2 Beschreibung der analysierten Profile

In den Tälern der Kalten Bode, der Warmen Bode und des Brunnenbaches sind flächendeckend junge Auensedimente aus schwach bis stark schluffigem Sand verbreitet und weisen mit Ausnahme des

Profils BB blaue Silikatschlacken auf. Bei größerer Mächtigkeit (Profil BB, WB_4) sind sie an der Basis stark hydromorph überprägt (Gr-Horizont).

Mit Ausnahme des Profils WB_3, das in einer verfüllten ehemaligen Rinne am Talrand aufgenommen wurde, handelt es sich bei den analysierten Profilen um ufernahe Standorte, da hier die größten Sedimentmächtigkeiten auftreten.

Unterhalb der jungen humosen Auensedimente sind teilweise sandig-schluffige Sedimente mit deutlich geringerem Gehalt an organischer Substanz zu finden (KB, WB_1, WB_2). In der Regel steigen gleichzeitig die pH(H₂O)-Werte leicht an. In den Profilen KB und WB_2 handelt es sich dabei um dichte, skeletthaltige, solifluidale Sedimente, die mit Werten deutlich unter 2 Gewichtsprozent die niedrigsten Gehalte an organischer Substanz aller analysierten Proben aufweisen. In Profil WB_1 sind es fluviatile Sedimente mit einem etwas höheren Gehalt an organischer Substanz (1,7 - 2,6 Gew.-%). Im Übergangsbereich zum reduzierenden Milieu sind letztere teilweise stark durch Eisenoxidausfällungen verbacken und bilden in Prallhangbereichen unterhalb des Wasserspiegels eine morphologisch harte Stufe im Gerinnebett.

Die Radiokarbondatierungen (BB, WB_3, WB_4) belegen, daß die humosen Auensedimente der Kalten Bode und Warmen Bode/Brunnenbach frühestens seit dem Hochmittelalter abgelagert wurden und stratigraphisch in etwa den jüngeren Auenablagerungen (qh(3) ab dem 15. Jh., DRESCHHOFF 1974) des nördlichen Harzvorlandes gleichzusetzen sind. Aus montanhistorischer und klimageschichtlicher Sicht deckt sich dieser Befund mit dem in Mitteleuropa zu dieser Zeit enorm ansteigenden Holzverbrauch im Zuge des aufstrebenden, frühneuzeitlichen Bergbaus (GLEITSMANN 1984, JOCKENHÖVEL 1996, RIEHL 1968, SCHMIDT 1991, HILLEBRECHT 1982, MEYER 1989) und morphologisch hochwirksamen, hygrischen Klimaschwankungen seit dem 14. Jahrhundert (BORK & BORK 1987). Die Kombination dieser besonderen Nutzungs- und Klimaverhältnisse führte zur Degradation der Waldvegetation, verstärkter Oberbodenerosion, zu häufigeren, episodischen Überschwemmungen und erhöhten Sedimentationsraten mit Ablagerung humoser Auensedimente in geeigneten Talabschnitten.

Der Gehalt an organischer Substanz beträgt im Mittel 5,1 Gewichtsprozent (Median). Eine Unterscheidung zwischen Humusbestandteilen aus erodierten Böden bzw. den Ah-Horizonten und eingeschwemmten feinkörnigen Holzkohlepartikeln bzw. Pflanzenresten ist dabei nicht möglich. In den Oberböden erreichen die Werte aufgrund des Wurzelfilzes und unzersetzter Pflanzenreste teilweise über 10 Gewichtsprozent (KB, BB, WB_3).

Die pH(H₂O)-Werte liegen im Mittel bei 5,58 (Median). Häufig ist innerhalb der aGo-M-Horizonte eine leichte Zunahme der pH-Werte mit der Tiefe festzustellen. Im reduzierenden Milieu unterhalb des mittleren Grund- bzw. Flußwasserspiegels (Gr-Horizonte) sinken die Werte in der Regel unter 5,5, zum Teil auch unter 5,0 (Profil WB_4). In Gr-Horizonten entsprechen die pH-Werte jedoch nicht den natürlichen Verhältnissen, sondern sind zumindest teilweise auf die Oxidation von authigenem Pyrit zurückzuführen. Um diesen Effekt zu vermeiden müßten reduzierte Sedimentproben unter Luftabschluß getrocknet und gemessen werden (vgl. GAIDA ET AL. 1993).

5.2.3.2.1.3 Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte

Die absoluten Schwermetallgehalte erreichen in allen Profilen (siehe **Abbildung 2** und **Abbildung 3**) Werte deutlich über dem regionalen Hintergrund, wobei der Schichtzeiger Blei die stärksten Schwankungen aufweist (AK1-4), gefolgt von Kupfer (AK1-3) und Silber (AK2-3). Die hohen Gehalte und teilweise sehr ausgeprägten Tiefengradienten von Blei- und Kupfer (WB_1, WB_3) sind nur durch den Einfluß des historischen Buntmetallbergbaus zu erklären. Sedimente aus der Zeit vor Beginn der Bergbautätigkeit, mit Blei- und Kupferkonzentrationen im Bereich des regionalen Hintergrundes, sind nur an der Basis der Profile KB und WB_3 anzutreffen. Die Tiefengradienten von Silber und Cadmium sind deutlich schwächer ausgeprägt und erreichen die maximalen Konzentrationen in den jüngsten Sedimentschichten.

Unabhängig von der lithologischen Schichtung sind die Tiefengradienten der Schwermetalle in den **jungen Auensedimenten** nur schwach ausgeprägt, wobei die *Blei-* und *Kupfergehalte* in der Regel leicht mit zunehmender Tiefe ansteigen. Die erhöhten Schwermetallgehalte sind dabei weniger auf lokale Montanwirtschaft, sondern auf Emissionen aus West- bzw. Oberharzer Hüttenanlagen zurückzuführen.

Trotz abweichender Methodik sind die Ergebnisse mit dem räumlichen Muster der Schwermetallgehalte in Bachsedimenten des Harzes vergleichbar (BIRKE ET AL. 1995A/B). Danach treten im Westharz großflächig atmogen erhöhte Bleigehalte auf, wobei die Ost-West-Erstreckung der atmogenen (Blei-)Depositionsaureole ca. 30 km beträgt. Neben älteren Verhüttungsbetrieben im Oberharz wird dabei auch die Clausthaler Bleihütte (Betrieb bis 1967) als Hauptemittent genannt. Die Bleigehalte in den Bachsedimenten schwanken dabei zwischen 150 und 400 mg/kg, wobei die höheren Werte im westlichen Teil und insbesondere im Oberlauf des Brunnenbaches bzw. östlich von St. Andreasberg erreicht werden. Im Brunnenbachtal ist außer Blei auch Kupfer im Bachsediment stark erhöht und erreicht Konzentrationen über 100 mg/kg, während ansonsten die Gehalte deutlich unter 50 mg/kg liegen.

Ein weiteres Indiz für die atmogene Herkunft der Schwermetalle in humosen Auensedimenten sind die Gehalte im Profil KB. Trotz der deutlich geringeren Anzahl von Standorten der historischen Montanwirtschaft im Einzugsgebiet der Kalten Bode erreichen die Werte ähnliche Größenordnung wie in den Profilen der Warmen Bode.

Da es sich um korrelierte Sedimente der Oberbodenerosion im Einzugsgebiet handelt, sind die im Profil nach oben hin abnehmenden Blei- und Kupfergehalte auf im Laufe der Zeit zurückgehende atmogene Deposition und/oder die Abtragung tieferer und somit weniger belasteter Bodenhorizonte zu erklären. Bei den Profilen BB und WB_4 nehmen die Kupfergehalte der Gr-Horizonten mit der Tiefe ab. Hier kommt sowohl ein geringerer Kupfereintrag als auch eine postsedimentäre Abreicherung in Zusammenhang mit der Bildung löslicher organischer Komplexe in Frage (BREAULT ET AL. 1996). Inwieweit dabei das reduzierende Milieu eine Rolle spielt, ist unklar.

In Profil WB_1 sind die Blei- und im Profil BB auch die Kupfergehalte der jungen Auensedimente deutlich höher als in den vergleichbaren Sedimenten der Profile KB und WB_2. Bei Profil WB_1 kann dies auf lokale hochmittelalterliche bzw. neuzeitliche (18. Jahrhundert) Kupferverhüttung zwischen Braunlage und Sorge zurückgeführt werden. Im Brunnenbachtal kommen neben lokalen Buntmetallabbau bzw. -verhüttungsaktivitäten (Standort-Nr. 71-73, Karte 6a; 62/64, Karte 6b/c) die Vitriolbrennerei/Schwefelsäurefabrik Schächermühle (Standort-Nr. 69, Karte 6c) sowie erhöhte atmogene Belastung der Oberböden im Einzugsgebiet aus Verhüttungsaktivitäten in und um Andreasberg als mögliche Ursachen in Frage.

Im Vergleich zu den beiden nächst gelegenen Profilen WB_2 und WB_4 sind die Kupfer- und Bleiwerte des Rinnenprofils WB_3 deutlich erhöht. Die höheren Anteile an feineren Kornfraktionen (< 20 µm bzw. < 63 µm) deuten auf eine lithologisch bedingte Elementanreicherung und damit auf besondere Sedimentationsbedingungen in einer uferfernen, ehemaligen Vertiefung des Talbodens als mögliche Ursache hin. Andererseits kann auch die bei BODE (1928/29) genannte und in unmittelbarer Nachbarschaft gelegene Kupferhalde (Standort 105, Karte 6a/b) eine Rolle spielen. Die Halde war zu Anfang des 19. Jahrhunderts größtenteils noch vorhanden und wurde erst im Laufe des 20. Jahrhunderts für den Straßen- und Wegebau fast vollständig abgetragen. Die höheren Blei- und Kupfergehalte könnten daher auch auf den belasteten Unterbau der unmittelbar am Profil angrenzenden Straße oder auf Schwermetallfreisetzung aus der Halde und gleichzeitig höheres Alter der oberen Sedimentschicht im Profil WB_3 zurückgeführt werden.

Die Cadmium- und Silbergehalte der jungen Auensedimente gehen mit zunehmender Tiefe zurück. In den Profilen WB_1 und WB_4 ist im Oberboden eine deutliche Cadmium- und Silberanreicherung ausgeprägt. Die abweichenden Tiefengradienten im Vergleich zu Kupfer und Blei weisen auf junge Einträge und auf unterschiedliche Herkunft der beiden Elementgruppen hin.

Mit Ausnahme von Profil WB_4 zeigt Eisen keinen Tiefengradienten innerhalb der humosen Auensedimente. Beim Übergang zu reduzierenden Verhältnissen gehen die Gehalte in der Regel allerdings pedologisch bedingt abrupt zurück. In den beiden Profilen flußabwärts von Tanne sind die Eisengehalte oberhalb des mittleren (Grund-)Wasserspiegels (aGo-M-Horizonte) im Durchschnitt fast doppelt so hoch (WB_3, WB_4; Fe : 58,5 g/kg) wie in den Profilen vor Sorge (WB_1/2, BB; Fe : 33,0 g/kg). Die erhöhten Gehalte sind auf die intensive Eisenerzaufbereitung bzw. -verhüttung in Sorge und Tanne, insbesondere während des 19. Jahrhunderts (Walzwerk in Tanne bis 1967), zurückzuführen.

Die Schwermetallgehalte in den solifluidalen Sedimenten des Profils WB_2 (Schicht II) unterscheiden sich kaum von denen der hangenden humosen Auensedimenten und können mit atmogener Deposition im Tal vor Beginn der verstärkten Oberbodenerosion im Einzugsgebiet erklärt werden.

Die Profile WB_1 und WB_3 weisen im Liegenden ausgeprägte **Blei- und Kupferanomalien** auf. In beiden Fällen sind Silber und Cadmium nicht gegenüber den hangenden, jungen Auensedimenten angereichert. Bei Profil WB_1 erreichen alle Elemente in den oberen, durch Eisenoxidausfällungen verbackenen, Sedimenten der Schicht II die höchsten Werte und gehen, außer bei Eisen, anschließend allmählich wieder zurück. Im Profil WB_3 hebt sich ebenfalls die stark rostfleckige und grobsandarme Schicht III geochemisch deutlich von den hangenden humosen Auensedimenten und der liegenden Schicht IV ab. Die maximalen Bleigehalte werden dabei in den stark verockerten Sedimenten zwischen 75 und 80 cm Tiefe erreicht. Die höchsten Kupfergehalte liegen im Profil etwas darüber. In der Schicht IV gehen sowohl die Blei- als auch die Kupfergehalte abrupt zurück.

Die starken Blei- und Kupferanreicherungen stehen im Zusammenhang mit dem Betrieb lokaler, hochmittelalterlicher Kupferhütten im Brunnenbachtal bzw. im Tal der Warmen Bode bei der Silberfuchsfarm (Standort-Nr. 60/61, **Karte 6a**) und flußabwärts von Tanne (Standort-Nr. 105, **Karte 6a/b**). Die Radiokarbonaten an der jeweiligen Profilbasis (WB_1, WB_3) sprechen dabei für einen Ablagerungszeitraum im frühen bis hohen Mittelalter und decken sich mit vorliegenden montanarchäologischen und -historischen Ergebnissen in der näheren Umgebung. Danach wurde hier etwa im 9./10. Jahrhundert damit begonnen, in größerem Rahmen Kupfererze des Rammelsberger Reviers und aus dem Oberharz zu verhütten (*NOWOTHING 1968*). Im Gegensatz zu den vorwiegend durch atmogene Deposition geprägten humosen Auensedimenten ist hier eher eine fluviatile Umlagerung detritischer Aufbereitungsrückstände oder von Material aus ehemaligen Haldenstandorten für die sehr hohen Schwermetallgehalte verantwortlich.

Sowohl die mittleren als auch die maximalen Werte für Blei, Kupfer und Cadmium in Profil WB_1 stimmen mit den von *KUES ET AL. (1994)* im gleichen Flußabschnitt ermittelten Gehalten überein (**Tabelle 14**). Die maximalen Blei- und Kupfergehalte der M-Horizonte sind dabei ähnlich hoch wie in Schicht II von Profil WB_1, was unter Umständen auf die unterschiedliche sedimentologische Schichtgliederung bei der Geländeaufnahme zurückzuführen ist. Silber wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Tabelle 14 Statistische Populationskenngrößen ausgewählter Elementgehalte in A- und M-Horizonten der Warmen Bode zwischen Braunlage und Sorge (aus: *KUES ET AL. 1994, TEIL 1*)

Element	Horizont	n	Mittel	Median	s	Min	Max
Pb	A	8	336	316	135	193	646
Pb	M	17	390	281	108	35	1814
Cd	A	8	1,8	1,8	0,6	0,8	2,7
Cd	M	17	1,2	1,1	0,9	0,1	3,3
Cu	A	8	81	77	19	50	113
Cu	M	17	115	75	144	19	642
As	A	8	21	22	6	11	32
As	M	17	15	14	8	5	34

Die geochemische Gliederung (**Tabelle 15**) entspricht in allen Fällen der lithologischen Schichtung der Profile. Die deutlichste Differenzierung ist in Profil WB_3 zu erkennen, wobei die humosen Auensedimente aufgrund der unterschiedlichen Grobsandanteile schon im Gelände zweigeteilt wurden (Schicht I+II). Die Profile BB und WB_4 sind lithologisch und geochemisch bezüglich des Schichtzeigers Blei weitgehend homogen. Bei Profil WB_2 sind die fluviatilen, humosen Auensedimente und die solifluidalen Hangsedimente geochemisch nicht zu unterscheiden.

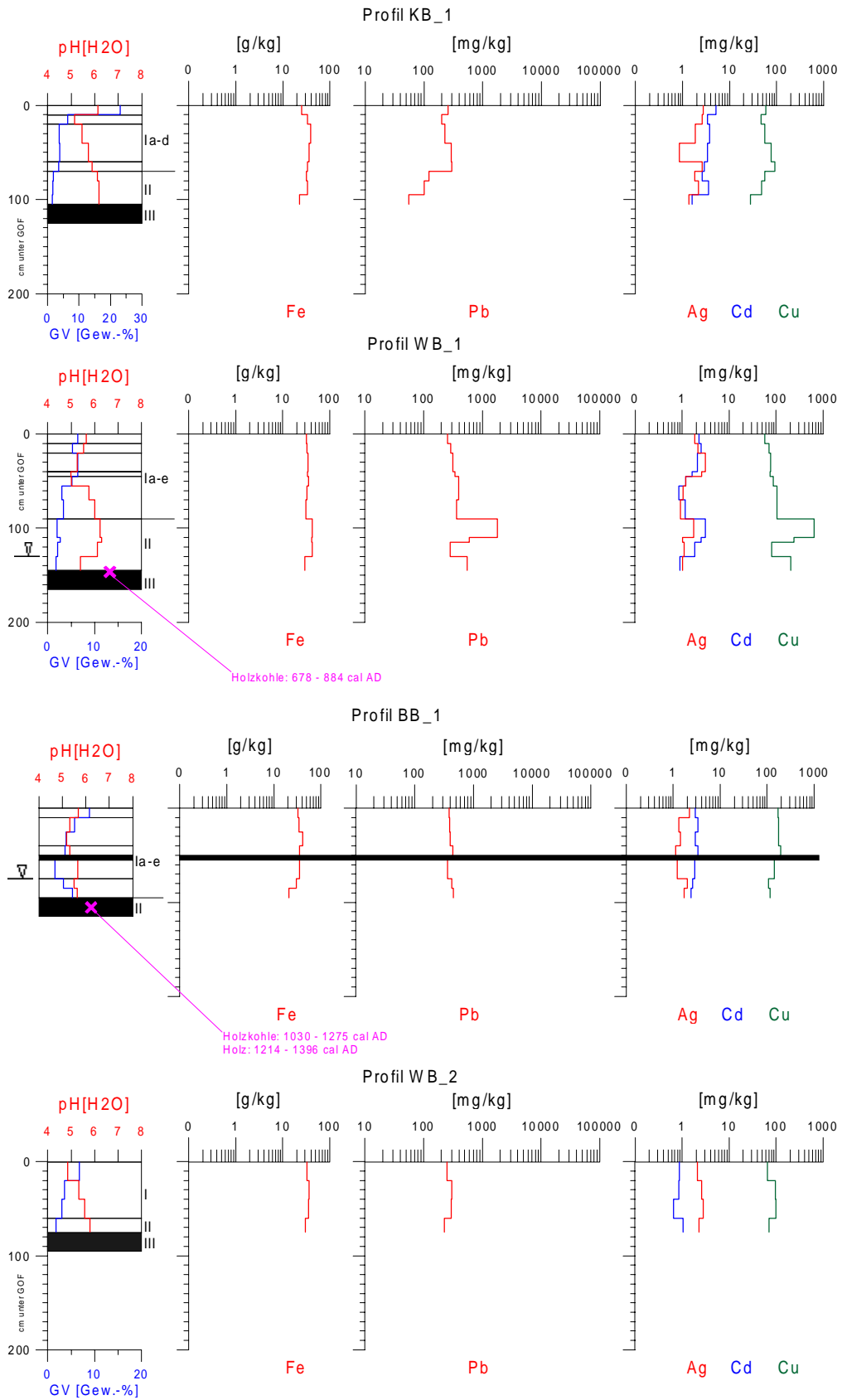


Abbildung 2 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen vor Tanne (KB, WB_1, BB, WB_2)

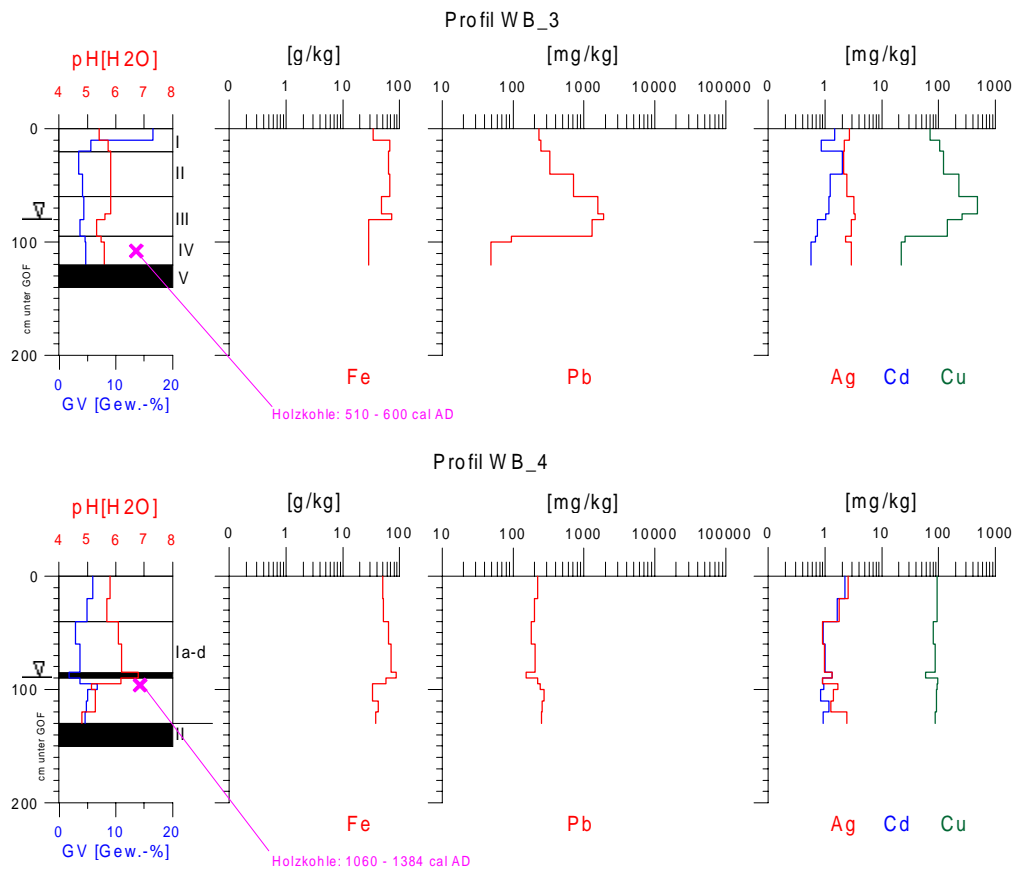


Abbildung 3 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen nach Tanne (WB_3, WB_4)

Tabelle 15 Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen der Kalten Bode, Warmen Bode/Brunnenbach (Mittelwerte)

Profil KB												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	5	33,5	n.b.	255	n.b.	66	3,7	2,2	3	n.b.	2	3
II (bis 95 cm)	2	32,8	n.b.	112	n.b.	53	3,1	2,0	2	n.b.	2	3
II (95-105 cm)	1	22,5	n.b.	55	n.b.	28	1,6	1,4	1	n.b.	1	2

Profil WB_1												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	7	33,1	n.b.	337	n.b.	82	1,7	1,9	3	n.b.	2	3
II	4	39,0	n.b.	809	n.b.	295	2,1	1,2	4	n.b.	3	2

Profil BB												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	7	32,9	n.b.	410	n.b.	154	3,0	1,6	3	n.b.	3	2

Profil WB_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I/II	4	33,7	n.b.	269	n.b.	82	0,9	2,5	3	n.b.	2	3

Profil WB_3												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I/II	4	58,1	n.b.	384	n.b.	133	1,4	2,4	3	n.b.	3	3
IV	3	49,6	n.b.	1581	n.b.	295	1,0	3,2	4	n.b.	3	3
III	2	28,6	n.b.	72	n.b.	24	0,6	2,6	2	n.b.	1	3

Profil WB_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Belastungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	10	52,7	n.b.	221	n.b.	88	1,2	1,5	3	n.b.	2	2

5.2.3.2.2 Harzbode

5.2.3.2.2.1 Lokale Schwermetallquellen

Im Einzugsgebiet der Harzbode sind historische Buntmetallquellen nur im unteren Flußabschnitt in der näheren Umgebung von Treseburg zu finden (Standort-Nr. 199, 207, 208, **Karte 6a-c**). Auf der Elbingeröder Hochfläche sind zahlreiche mittelalterliche Rennfeuerbetriebe zur Gewinnung von Eisen nachgewiesen (*BEHRENS 1988, 1992*), von denen wahrscheinlich nur ein Teil bekannt ist. Seit dem Spätmittelalter bis zum 20. Jahrhundert liegen Eisenhütten und eisenverarbeitende Betriebe im Tal der Harzbode (Königshütte, Rübeland, Wendefurth, Altenbrak und Treseburg).

5.2.3.2.2.2 Beschreibung der analysierten Profile

Zur Erfassung einer räumlichen Differenzierung im Flußlängsverlauf und im Talquerschnitt wurden an drei Standorten (HB1 - HB3) drei bis vier Profile auf unterschiedlichen Talbodenniveaus, (Terrassenniveau, mittleres Talbodenniveau/Rinne, Uferabhang) beprobt und analysiert.

Der **Standort HB1** liegt im Talmäander kurz vor Susenburg und wurde bereits in Kapitel 5.2.1.1 näher beschrieben. Hier wurde je ein Profil auf der pleistozänen Terrasse (HB1_1) und im mittleren Talbodenniveau (HB1_2) und zwei Profile in Ufernähe aufgenommen (HB1_3a, HB1_3b). Letztere unterscheiden sich, da im flußabwärtigen Profil HB1_3b rezent akkumuliert wird, während das Profil HB1_3a aus älteren Sedimenten aufgebaut ist und der Ufererosion unterliegt.

Der **Standort HB2** befindet sich etwa 1 km flußaufwärts von Altenbrak. Der Talboden ist hier mit ca. 50 m Breite deutlich enger als am Standort HB1. Trotzdem kann er in zwei holozäne und ein pleistozänes Niveau gegliedert werden. Die pleistozäne Terrasse ist nur noch in Resten am linken Talrand erhalten. Die Profile HB2_4, HB2_5 und HB2_6 befinden sich alle auf der linken Talseite und entsprechen dem oberen, mittleren bzw. unteren Talbodenniveau. Die Oberfläche des unteren Niveaus

(HB2_6) fällt dabei flach vom mittleren Niveau zum Ufer hin ab und ist wie Profil HB1_3b durch rezente Akkumulation geprägt.

Der **Standort HB3** liegt wie Standort HB1 in einem Talmäander unmittelbar flußaufwärts von Treseburg. Auch hier sind Reste einer pleistozänen Terrasse am rechten Talrand des Mäanders erhalten. Da diese mit Nadelwald bewachsen sind und darauf ein Waldweg angelegt ist, mußte hier mit Störungen im Profilaufbau gerechnet werden, so daß keine Proben entnommen wurden. Der mittlere Talboden besteht aus einer geringmächtigen Schicht dunkelgrauer bis schwarzbrauner, humoser Auensedimente mit einem hohen Anteil an blauen Silikatschlacken über hellbraunen und dichteren Sedimenten (HB3_7/8) und ist durch Rinnen mit humosen Auensedimenten durchschnitten (HB3_9). Bei den Rinnen handelt es sich möglicherweise um Reste eines künstlich angelegten Aufschlaggrabens eines historischen Hüttenstandortes (KRAUSE 1967, KLEßEN 1984, Standort-Nr.: 198, Karte 6a). Das Profil HB3_10 wurde am leicht zum Flußbett einfallenden Uferabhang angelegt und entspricht stratigraphisch den Profilen HB1_3b und HB2_6.

Die Profile HB1_1 und HB2_4 repräsentieren Profile des obersten Talboden- bzw. des **Terrassenniveaus**. Es handelt sich um Braunerde-Regosole aus pleistozänen Lockersedimenten. Sie bestehen aus mittel bis sehr stark kiesigem Material mit Feinbodenanteilen aus stark schluffigem Sand. Der Gehalt an organischer Substanz erreicht im Bv-ICv-Horizont 2,5 bis 3,6 Gewichtsprozent und liegt im Ah-Horizont bei 4,8 (Hb2_4) bzw. 9,1 (HB1_1) Gewichtsprozent. Die pH(H₂O)-Werte sind v.a. bei Profil HB2_4 (5,06/5,83) im Ah-Horizont niedriger als im Bv-ICv-Horizont (HB1_1:4,93/5,10).

Die humosen Auensedimente der Profile HB1_2, HB1_3a, HB2_5 und HB3_7/8/9 (**mittlerer Talboden**) bestehen aus mittel bis stark schluffigem Sand. Bezüglich Farbe und Schlackengehalt können sie in braune Auensedimente mit relativ geringem Anteil an blauen Silikatschlacken (HB1_2, HB1_3a, HB2_5) und schwarzbraune Auensedimente mit einem deutlich höheren Anteil an blauen Silikatschlacken und organischer Substanz bzw. Holzkohlen (HB3_7/8) unterteilt werden. In Profil HB3_9 liegen schwarzbraune schlackenreiche Auensedimente über braunen, schlackenärmeren Sedimenten. In den Profilen HB1_2 und HB2_5 nehmen in den hangenden humosen Auensedimenten die Gehalte an organischer Substanz mit der Tiefe zu. Die hohen Werte des Rinnenprofils HB3_9 (> 6,0) sprechen dafür, daß es sich hier um sehr junge Sedimente handelt, die genetisch eher den ufernahen Auensedimenten zuzuordnen sind (s.u.).

Die liegenden Sedimente im mittleren Talbodenniveau sind heller und dichter (HB1_2, HB1_3a, HB3_7, HB3_8) als die hangenden humosen Auensedimente. Lithologisch unterscheiden sie sich durch etwas höhere Ton- bzw. niedrigere Grobschluffgehalte von den humosen Auensedimenten. Der Gehalt an organischer Substanz ist in der Regel niedriger. Die pH(H₂O)-Werte sind im Mittel fast identisch. Die liegenden Sedimente am Standort HB3 fallen wieder (vgl. HB3_9) durch deutlich höhere pH(H₂O)-Werte (> 6,0) und zusätzlich durch niedrige Gehalte an organischer Substanz (<2,0 Gew.-%) etwas aus dem Rahmen.

Die humosen Auensedimente des **Uferabhanges** (HB1_3b; HB2_6, HB3_10) sind ebenfalls aus mittel bis stark schluffigem Sand aufgebaut und weisen in der Regel einen höheren Anteil an blauen Silikatschlacken auf als die braunen Auensedimente des mittleren Talbodens. Der Gehalt an organischer Substanz ist ebenfalls stark schwankend, aber im Mittel etwas niedriger als im mittleren Talbodenniveau. Der auffälligste Unterschied ergibt sich bezüglich der pH(H₂O)-Werte, die am Uferabhang deutlich höher liegen als im mittleren Talbodenniveau.

In **Tabelle 16** sind in einer Übersicht Mittelwerte (Mediane) und Schwankungsbreiten ausgewählter Parameter der unterschiedlichen lithostratigraphischen Einheiten der Harzbode und der humosen Auensedimente von Kalter Bode und Warmer Bode/Brunnenbach dargestellt. Lithologisch bestehen mit Ausnahme der höheren Tongehalte in den humosen Auensedimenten der Harzbode keine Unterschiede zu den Verhältnissen in den Oberläufen.

Tabelle 16 *Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen der Kalten/Warmen Bode und der Harzbode anhand der Mediane und Schwankungsbreiten (10./90. Perzentil, Werte in Klammern) ausgewählter Parameter*

	pH-Wert [Wasser]	organische Substanz [Gew.-%]	Grobsand	Grobschluff [Vol.-%]	Ton
Kalte/Warme Bode: humose Auensedimente	5,58 (5,06 - 6,12)	5,1 (3,0 - 7,4)	17 (10 - 23)	17 (14 - 26)	2,4 (1,8 - 5,5)
Harzbode: humose Auensedimente am Uferabhang	6,83 (6,58 - 7,09)	3,1 (2,3 - 7,3)	15 (10 - 20)	18 (13 - 22)	5,0 (4,0 - 6,7)
Harzbode: humose Auensedimente des mittleren Talbodenniveaus	5,84 (5,61 - 6,53)	4,0 (2,5 - 9,1)	17 (12 - 22)	19 (13 - 22)	5,5 (4,0 - 7,0)
Harzbode: ältere Auensedimente	5,78 (5,48 - 6,19)	3,3 (1,5 - 5,5)	15 (10 - 23)	12 (9 - 17)	7,5 (2,3 - 10)

Ganz allgemein spricht im Untersuchungsgebiet das gehäufte Auftreten von blauen **Silikatschlacken** in bestimmten Sedimentschichten für eine Ablagerungszeit nicht vor dem 16. Jahrhundert. Erst seit dieser Zeit sind im Harz Hochöfen in Betrieb und liefern entsprechend große Mengen dieses technogenen Materials. Bei genauerer Kenntnis der Betriebsperioden von flußaufwärts gelegenen Hochöfen ist unter Umständen eine zeitliche Einordnung von Sedimenten anhand hoher bzw. niedriger Schlackenanteile möglich. Bei nur vereinzelt Vorkommen, insbesondere in tieferen bzw. älteren Sedimentschichten, ist jedoch zu berücksichtigen, daß ähnliche Schlacken auch im Zusammenhang mit dem direkten Verhüttungsverfahren, d.h. mit dem Betrieb von Schacht- bzw. Rennöfen unterschiedlichster Bauart, schon seit Einführung der Eisenverhüttung (ältere Eisenzeit) auftreten.

Da die Schlacken überwiegend in der Feinkies- und Grobsandfraktion auftreten, ist bei der stratigraphischen Interpretation von vertikal bzw. horizontal unterschiedlichen Schlackenanteilen zusätzlich zu beachten, daß diese auch aufgrund gravimetrischer Sortierung wechseln können. Erschwerend kommt hinzu, daß insbesondere die (niedrigeren) Schlackenanteile in tieferen Sedimentschichten auch mit historischen Verlagerungen des Gerinnebettes in Zusammenhang stehen können.

Eine detailliertere Interpretation von Schlacken(-anteilen) in Verbindung mit der stratigraphischen Gliederung von Auensedimenten ist nur dann sinnvoll, wenn, wie bei *KLEßEN (1993)*, mehrere Schlackenarten und deren unterschiedliche Dichte einbezogen werden. Außerdem ist dabei neben der Veränderung der Korngrößenverhältnisse innerhalb der Feinkies- und Sandfraktion zusätzlich die Lage älterer Rinnensysteme zum Probennahmestandort zu berücksichtigen.

5.2.3.2.2.3 Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte

Wie in den Profilen der Warmen Bode/Brunnenbach und Kalten Bode weisen die humosen Auensedimente der Harzbode deutliche anthropogene Anreicherungen von Blei und Kupfer auf. Die Konzentrationen liegen jedoch auf einem niedrigeren Niveau (**Tabelle 17**) und starke Anreicherungen bzw. Anomalien wie in den Profilen WB_1 und WB_3 fehlen. Anthropogen unbelastete Sedimente aus der Zeit vor Beginn des Buntmetallbergbaus mit homogenen Gehalten im Bereich des regionalen Hintergrundes sind im Liegenden der Profile weit verbreitet. Im Flußlängsverlauf ist insbesondere zwischen Standort HB1 und HB2 eine Abnahme der mittleren Blei- und Kupferkonzentrationen sowohl in den Terrassenprofilen als auch in den humosen Auensedimenten und den unbelasteten älteren Sedimenten zu beobachten.

Tabelle 17 Relative Schwermetallan- bzw.- abreicherung (Mittelwerte) in jungen, humosen Auensedimenten der Harzbode gegenüber Kalter Bode/Warmer Bode

Horizont	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag
a(Go-)M	1,1	n.b.	0,4	n.b.	0,4	1,5	1,2

Die im Vergleich zu Kalter Bode und Warmer Bode geringeren Blei- und Kupfergehalte in den anthropogen beeinflussten, historischen Auensedimenten der Harzbode sind auf die größere Entfernung zu den Hauptemittenten im Westharz und der nach Osten abnehmenden flächenhaften atmosphärischen Belastung im Einzugsgebiet zu erklären. Ein Einfluß lokaler Buntmetallverhüttungs- bzw. Bergbauaktivitäten in Treseburg und im Teileinzugsgebiet der Rappbode (Hasselfelde, Stiege) ist geochemisch nicht nachzuweisen.

Im Falle der Aktivitäten um Treseburg ist dies durch die Lage der Betriebe unmittelbar vor dem Bodedurchbruch und dem Mangel an entsprechendem Sedimentationsraum flußabwärts von Treseburg sowie die Auswahl der Beprobungsstandorte begründet. Die Ursachen, weshalb sich die Verhüttungsbetriebe um Hasselfelde und Stiege nicht durch erhöhte Schwermetallgehalte in den historischen Auensedimenten der Harzbode bemerkbar machen, könnten einerseits in der relativ großen Entfernung von ca. 10 km Flußlänge bis zur Mündung der Rappbode und andererseits in den größeren Unterschieden bezüglich Betriebsperioden und Ablagerungszeiten liegen. Dies bedeutet zum einen, daß schwermetallreiche Relikte in den nicht mehr zugänglichen Auensedimenten am Grunde der Rappbodetalsperre festgelegt sind und/oder unbelastete Sedimente aus dem Einzugsgebiet zu einer starken Verdünnung führten. Eine weitere Ursache könnte sein, daß die Auensedimente der Harzbode deutlich jünger sind als die entsprechenden Hütten um Hasselfelde und Stiege, die maximal bis zum Ende des 16. Jahrhunderts betrieben wurden.

Die basalen Sedimente des mittleren Talbodenniveaus mit den sehr niedrigen Blei- und Kupfergehalten (AK 1-2) können als lokaler geochemischer Hintergrund für Auensedimente der Harzbode für die Zeit vor Beginn der lokalen Buntmetallverhüttung im Hochmittelalter angesehen werden. Insbesondere die Kupfer- und Bleiwerte sind im Vergleich zum regionalen Hintergrund der Bachsedimente deutlich niedriger, was auf einen eventuell vorhandenen Korngrößeneffekt und/oder auf die ubiquitäre Belastung durch anthropogene Emissionen seit dem Hochmittelalter zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu sind die Silbergehalte deutlich erhöht.

Die Schwermetallgehalte der **Terrassenprofile** HB1_1 und HB2_4 (nicht graphisch dargestellt, siehe Tabelle A9) sind niedrig (AK1-2) und zeigen eine übereinstimmende Tiefenverteilung. Im Ah-Horizont sind Blei und Kupfer gegenüber der Unterbodenprobe leicht angereichert, während die Silber- und Cadmiumgehalte niedriger sind (**Tabelle 18**). In Profil HB2_4 sind die Eisen- und Kupfergehalte insgesamt etwas höher als in Profil HB1_1, die Bleigehalte dagegen deutlich niedriger. Der niedrigere Bleiwert im Oberboden von Profil HB2_4 im Vergleich zum Profil HB1_1 ist auf die unterschiedliche Beprobungstiefe zurückzuführen.

Tabelle 18 Bodenhorizonte und geochemische Gliederung in Profilen des oberen Talboden- bzw. Terrassenniveaus der Harzbode

HB1_1/HB2_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
Ah	2	28,5	n.b.	107	n.b.	23	2,0	1,3	2	n.b.	1	2
Bv-ICv	2	34,8	n.b.	44	n.b.	24	1,6	1,5	1	n.b.	1	2

Aufgrund der relativen Höhenlage von ca. 3 bis 4 m über dem rezenten mittleren Wasserspiegel, der fehlenden lithologischen Schichtung und der Tatsache, daß keine Silikatschlacken im Oberboden zu finden waren, ist die Bleianreicherung weniger auf fluviatilen Eintrag durch extreme Hochwasserereignisse, sondern auf atmosphärische Deposition zurückzuführen. Der höhere Eisengehalt im Terrassenprofil HB2_4 steht eventuell im Zusammenhang mit dem flußabwärts zunehmenden Einfluß lokaler neuzeitlicher Verhüttung von Eisenerzen zwischen Königshütte und Altenbrak bzw. den mittelalterlichen Eisenhütten auf der Elbingeröder Hochfläche.

In den humosen Auensedimenten des **mittleren Talbodenniveaus** (**Abbildung 4**) sind Blei und Kupfer anthropogen deutlich erhöht. Beim Vergleich der drei Probennahmestandorte sind bezüglich der humosen Auensedimente die höchsten Gehalte am Standort HB1 zu finden. Hinsichtlich der unbelasteten, liegenden Sedimenten trifft dies nur noch für Blei zu.

Bei Profil HB1_3a konnten die humosen Auensedimente schon bei der Geländeansprache zweigeteilt werden (Schicht I/II). Geochemisch ist das Profil in drei Abschnitte gegliedert. Die geochemische Schichtgliederung ist dabei an lithologische Grenzen gebunden. Im jüngsten, humosen Auensediment

(Schicht I) sind die Werte für Blei und Kupfer etwas höher als im unmittelbar benachbarten Profil HB1_2. Im älteren humosen Auensediment (Schicht II) werden dagegen die höchsten Werte aller analysierten Proben der Harzbode erreicht. Sie übertreffen die mittleren Gehalte der restlichen, anthropogen beeinflussten Auensedimente der Harzbode um den Faktor 3,4 (Blei) bzw. 4,8 (Kupfer). Im Vergleich zu den humosen Auensedimenten von Kalter Bode und Warmer Bode/Brunnenbach ist die Anreicherung jedoch deutlich geringer (Blei: 1,4; Kupfer: 2,0).

Die Daten der Holzreste im basalen Kies lassen hier einen Zusammenhang mit der lokalen, hochmittelalterlichen Kupferverhüttung im Einzugsgebiet der Warmen Bode vermuten⁵. Die im Gegensatz zu den Anomalien der Profile WB_1 und WB_3 relativ niedrigen Gehalte sind dabei auf Abreicherungs- bzw. Verdünnungseffekte während des fluvialen Transportes zurückzuführen.

In den liegenden Sedimenten unterhalb der Anomalie (Schicht III, IV) gehen die Blei- und Kupferwerte abrupt zurück und befinden sich hier im Bereich der regionalen Hintergrundgehalte. Da trotzdem vereinzelt blaue Schlacken (Luppe aus Rennfeueröfen) gefunden wurden, ist anzunehmen, daß diese Schicht mit der frühmittelalterlichen Eisengewinnung (Elbingeröder Hochfläche) zu korrelieren ist. Die geringen Schwermetallkonzentrationen in Kombination mit einer relativ großen Mächtigkeit belegen, daß die frühe Eisengewinnung zwar zu erhöhtem Sedimenteintrag in das fluviale System und zu verstärkter Akkumulation in der Aue führte, nicht aber zu einer nennenswerten Schwermetallanreicherung in fluvialen Sedimenten.

In den Profilen HB2_5, HB3_8 (**Abbildung 4**), HB3_9 sowie HB3_7⁶ (nicht graphisch dargestellt, siehe **Tabelle A9**) sind die Blei- und Kupfergehalte der humosen Auensedimente und der unbelasteten liegenden Sedimente niedriger und die entsprechenden Tiefengradienten weniger ausgeprägt als am Standort HB1.

Die **ufernahen Profile** mit rezenter Akkumulation zeigen beim Schichtzeiger Blei keinen ausgeprägten Tiefengradienten (**Abbildung 5**). In allen Profilen steigen jedoch die Blei- und Kupfergehalte (v.a. Profil HB3_10) mit der Tiefe an, während die Cadmium- und Silberkonzentrationen in gleicher Richtung zurückgehen. Ähnliches wurde auch schon für die humosen Auensedimente der Warmen Bode/Brunnenbach und Kalten Bode festgestellt. Die mittleren Bleigehalte nehmen flußabwärts deutlich ab. Die mittleren Kupfer-, Cadmium- und Silberkonzentrationen unterscheiden sich dagegen kaum.

Trotz geringer Unterschiede in den Korngrößen orientiert sich die **geochemische Gliederung** der Profile im mittleren Talbodenniveau und der Uferabhänge im allgemeinen an lithologischen Schichtgrenzen (**Tabelle 19, Tabelle 20**). Die deutlichste Differenzierung ist bei Profil HB1_3a zu beobachten, wo auch die maximalen Blei- und Kupferanreicherungen (AK3) auftreten.

Aufgrund der ähnlichen lithologischen Ausprägung und Schwermetalltiefengradienten werden die Profile HB3_7 und HB3_8 bei der geochemischen Gliederung zusammengefaßt. Zwischen den schwach angereicherten aGo-M-Horizont und den unbelasteten, tieferen Schichten (II/III) wird eine Übergangsschicht unterschieden. Beim Übergang in das dichte hellbraune Sediment gehen die Konzentrationen auf Werte unterhalb des regionalen Hintergrundes zurück. Im Übergangsbereich zwischen Schicht I und Schicht II (aM-Go+aGo), der noch durch Wurzelgänge aufgelockert ist und dunkle Komponenten aus dem hangenden aGo-M-Horizont enthält, treten geringfügig erhöhte Blei- und Kupfergehalte auf. Im Liegenden des Profils bestehen zwischen den sandig-schluffigen und den lehmigen Sedimenten geochemisch keine Unterschiede.

⁵ Die hohen Radiokarbonalter der Holzkohlen sind wahrscheinlich auf sekundäre Verlagerung älteren Matreials zurückzuführen.

⁶ In Profil HB3_7 wurde nur der aM-Horizont und die obersten 5 cm des unmittelbar anschließenden hellbraunen aGo-Horizontes beprobt.

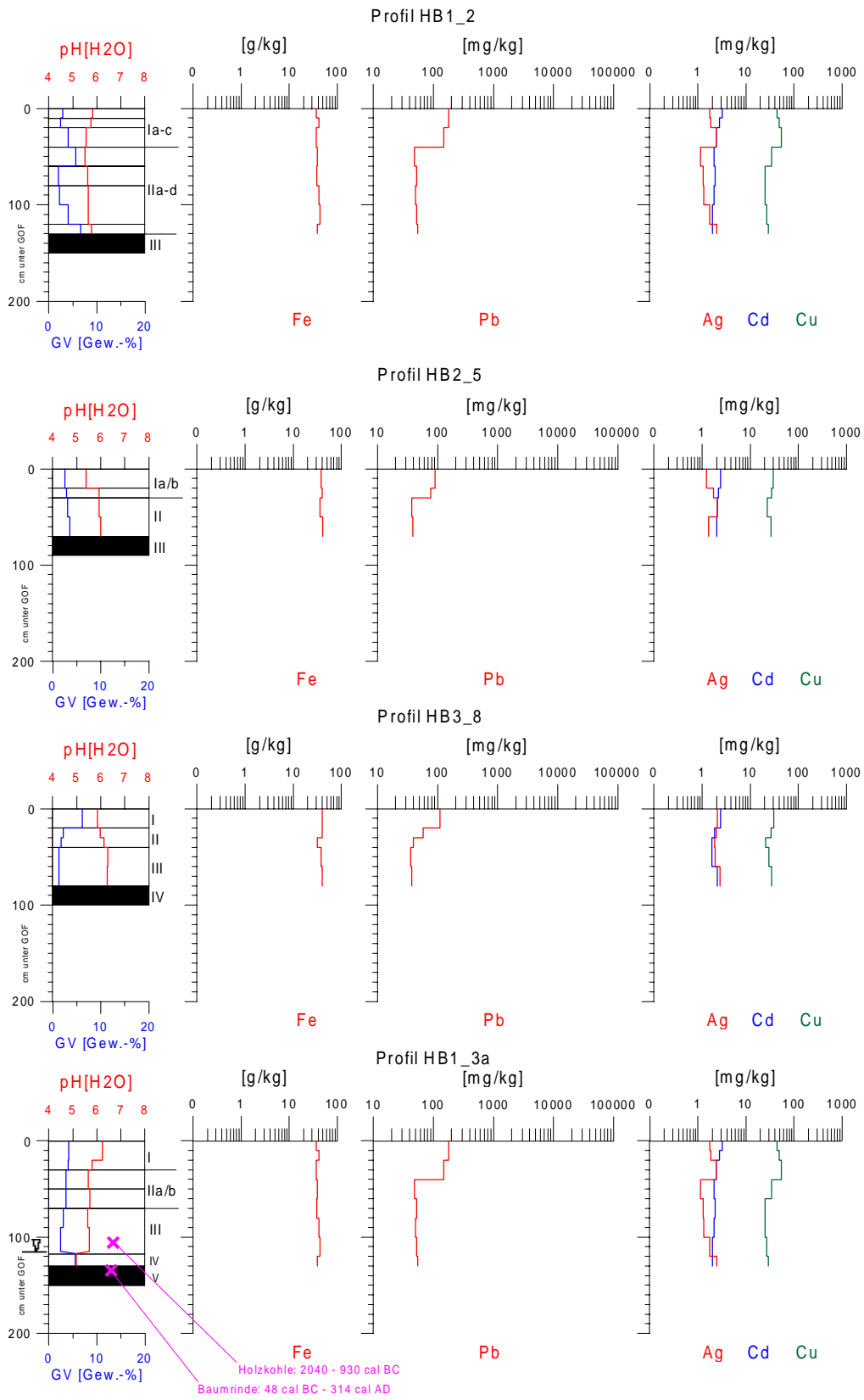


Abbildung 4 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen des mittleren Talbodens der Harzbode (ausgewählte Profile)

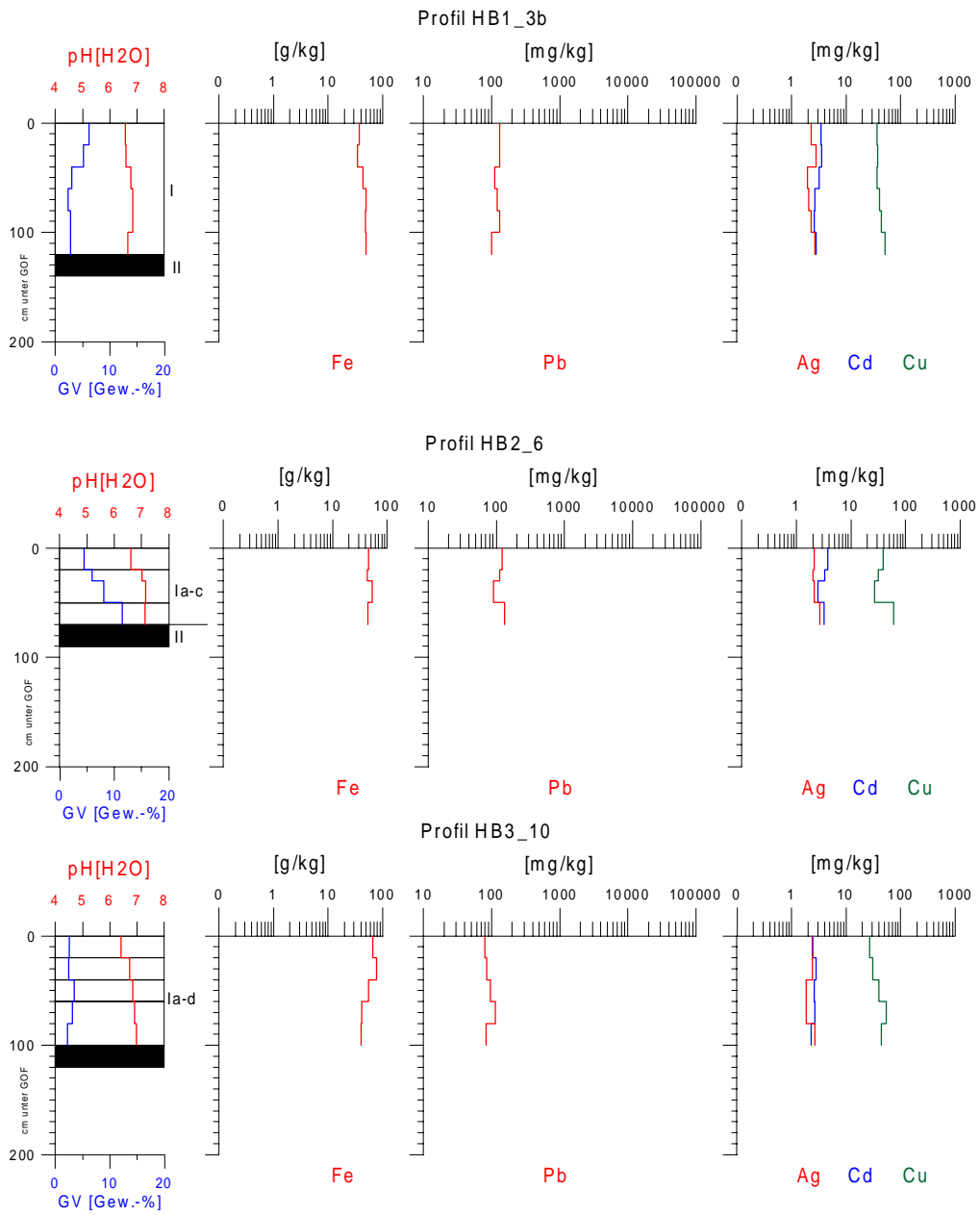


Abbildung 5 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen am Uferabhang der Harzbode

Tabelle 19 Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen des mittleren Talbodenniveaus der Harzbode

Profil HB1_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	3	38,3	n.b.	170	n.b.	50	2,8	2,0	2	n.b.	2	3
II	5	39,8	n.b.	52	n.b.	28	2,1	1,6	1	n.b.	1	3

Profil HB1_3a												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	3	45,2	n.b.	199	n.b.	68	3,5	2,0	3	n.b.	2	3
II	2	40,5	n.b.	421	n.b.	206	4,0	2,2	3	n.b.	3	3
III/IV	3	30,5	n.b.	44	n.b.	23	2,2	2,1	1	n.b.	1	3

Profil HB2_5												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	2	38,8	n.b.	84	n.b.	29	2,3	1,5	2	n.b.	1	3
II	2	38,6	n.b.	38	n.b.	25	2,1	1,7	1	n.b.	1	3

Profil HB3_7 und HB3_8												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	4	41,5	n.b.	108	n.b.	35	2,8	2,4	2	n.b.	2	3
II (Übergang)	2	39,7	n.b.	86	n.b.	42	2,4	1,8	2	n.b.	2	3
II/III	3	36,4	n.b.	38	n.b.	24	1,8	2,0	1	n.b.	1	3

Profil HB3_9												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	3	49,9	n.b.	116	n.b.	43	3,1	1,9	2	n.b.	2	3

Tabelle 20 Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen am Uferabhang der Harzbode

Profil HB1_3b												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	6	43,9	n.b.	121	n.b.	42	3,1	2,4	2	n.b.	2	3

Profil HB2_6												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	4	46,3	n.b.	114	n.b.	40	3,2	2,2	2	n.b.	2	3

Profil HB3_10												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]					Pb	Zn	Cu	Ag
I	5	56,0	n.b.	92	n.b.	39	2,6	2,3	2	n.b.	2	3

5.2.3.2.3 Statistische Auswertung

Zusammenfassend sind in den Tälern der Kalten Bode und Warmen Bode/Brunnenbach folgende geochemisch-stratigraphischen Einheiten zu unterscheiden:

Die statistische Auswertung zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Kupfer und Blei, was mit der gemeinsamen Herkunft beider Elemente im Zusammenhang mit der historischen Buntmetallverhüttung zu erklären ist. Eine lithologisch bedingte Anreicherung in feineren Kornfraktionen ist bei Blei nur schwach angedeutet und ansonsten bei keinem der analysierten Elemente zu erkennen. Eisenoxihydroxide spielen offensichtlich keine Rolle bei der Bindung der Buntmetalle.

In den jungen, humosen Auensedimenten der Warmen Bode/Brunnenbach und Kalten Bode (A_{WKB}) sind mit Ausnahme von Blei und Kupfer ($r = 0,66^{**}$) keine signifikanten Zusammenhänge zwischen

den Metallen zu erkennen. Blei ist als einziges Metall schwach positiv mit den feineren Kornfraktionen (20 μm : $r = 0,36^*$; 63 μm : $r = 0,3$) und schwach negativ mit Eisen ($r = -0,38^*$) korreliert.

Tabelle 21 Geochemisch-stratigraphische Einheiten im Einzugsgebiet der Bode im Harz

Kalte Bode/Warme Bode		Harzbode	
A_{WKB}	schwach bis mäßig angereicherte, humose Auensedimente	A_{HB}	schwach bis mäßig angereicherte, junge humose Auensedimente
B_{WKB}	stark angereicherte, liegende Sedimente	B_{HB}	mäßig angereicherte, ältere Auensedimente
		C_{HB}	nicht angereicherte, alte Auensedimente

Mit Ausnahme von Silber und Eisen ($r = 0,82^*$) sind in den stark angereicherten liegenden Sedimenten der Profile WB_1 und WB_3 (B_{WKB}) keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den Elementen gegeben. Während Eisen, Blei und Silber tendenziell nicht signifikante, negative Korrelationskoeffizienten zu den feineren Kornfraktionen aufweisen, sind diese bezüglich Cadmium und Kupfer eher positiv. Bei Blei und Kupfer bestehen zwar gewisse Verbindungen zu Eisen ($r = 0,57$), diese sind aber relativ schwach und ebenfalls nicht signifikant.

Aufgrund der geringen Fallzahl und der großen Variationsbreite werden die basalen Proben aus Profil WB_1 bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

In den jungen humosen Auensedimenten der Harzbode (A_{HB}) bestehen signifikant ebenfalls positive Zusammenhänge zwischen den Metallen Blei und Kupfer ($r = 0,71^{**}$). Zusätzlich sind beide Elemente positiv mit Cadmium korreliert (Pb-Cd: $r = 0,67^{**}$; Cu-Cd: $r = 0,39^*$). Mit Ausnahme von Kupfer, das eine gewisse Verbindung zu feineren Kornfraktionen aufweist (20 μm : $r = 0,48^*$; 63 μm : 0,34) sind keine Anzeichen für eine lithologisch bedingte Anreicherung zu erkennen. Für Eisen bestehen keine statistisch nachweisbaren Zusammenhänge zu den Buntmetallen.

Ausgeprägte geochemische **Anomalien** mit einer mehr als zehnfachen Anreicherung gegenüber dem regionalen Hintergrund sind im Tal der Harzbode nicht nachzuweisen. Die deutlich gegenüber den restlichen aGo-M-Horizonten erhöhten Blei- und Kupfergehalte in den Proben HB1_3a/4-5 (B_{HB}) rechtfertigen in diesem Profil bzw. für das Einzugsgebiet der Harzbode ebenfalls die Ausgliederung einer Anomalie auch wenn die Anreicherung hier geringer ist.

5.2.3.2.4 Zusammenfassung

In **Abbildung 6** sind die Mittelwerte und die Schwankungsbreiten (1./3. Quartil) der Schwermetallgehalte in geochemisch-stratigraphischen Einheiten im Untersuchungsgebiet Bode/Harz dargestellt.

Die einzelnen geochemischen Einheiten unterscheiden sich außer bei Blei auch hinsichtlich der Kupfergehalte deutlich, während bei Eisen und Cadmium teilweise Überschneidungen auftreten. Die mittleren Silbergehalte sind dagegen in allen Einheiten annähernd gleich und bewegen sich zwischen 1,8 und 2,2 mg/kg.

Im Gegensatz zu den Tälern der Kalten Bode und Warmen Bode ist der Talboden der Harzbode deutlich in drei Terrassenniveaus gegliedert. Die absoluten Schwermetallgehalte und -tiefengradienten der Auenprofile sind dabei abhängig von der morphologischen Ausprägung und diese wiederum variiert kleinräumig je nach Lage (Höhe/Entfernung) des Standortes in Bezug zum rezenten Gerinnebett.

Die neuzeitlichen humosen Auensedimente und die Oberböden der Terrassenstandorte sind durch atmogenen Ferntransport mit Blei und Kupfer angereichert, wobei die Konzentrationen im allgemeinen flußabwärts bzw. nach Osten abnehmen. Als Hauptverursacher sind Emissionen aus Oberharzer Hüttenanlagen anzusehen, die im Einzugsgebietes zu allgemein erhöhten Gehalten in Oberböden führten. Die Jahrhunderte lange Eisenverhüttung und -verarbeitung in Sorge und Tanne macht sich durch erhöhte Eisengehalte in flußabwärtigen humosen Auensedimenten bemerkbar.

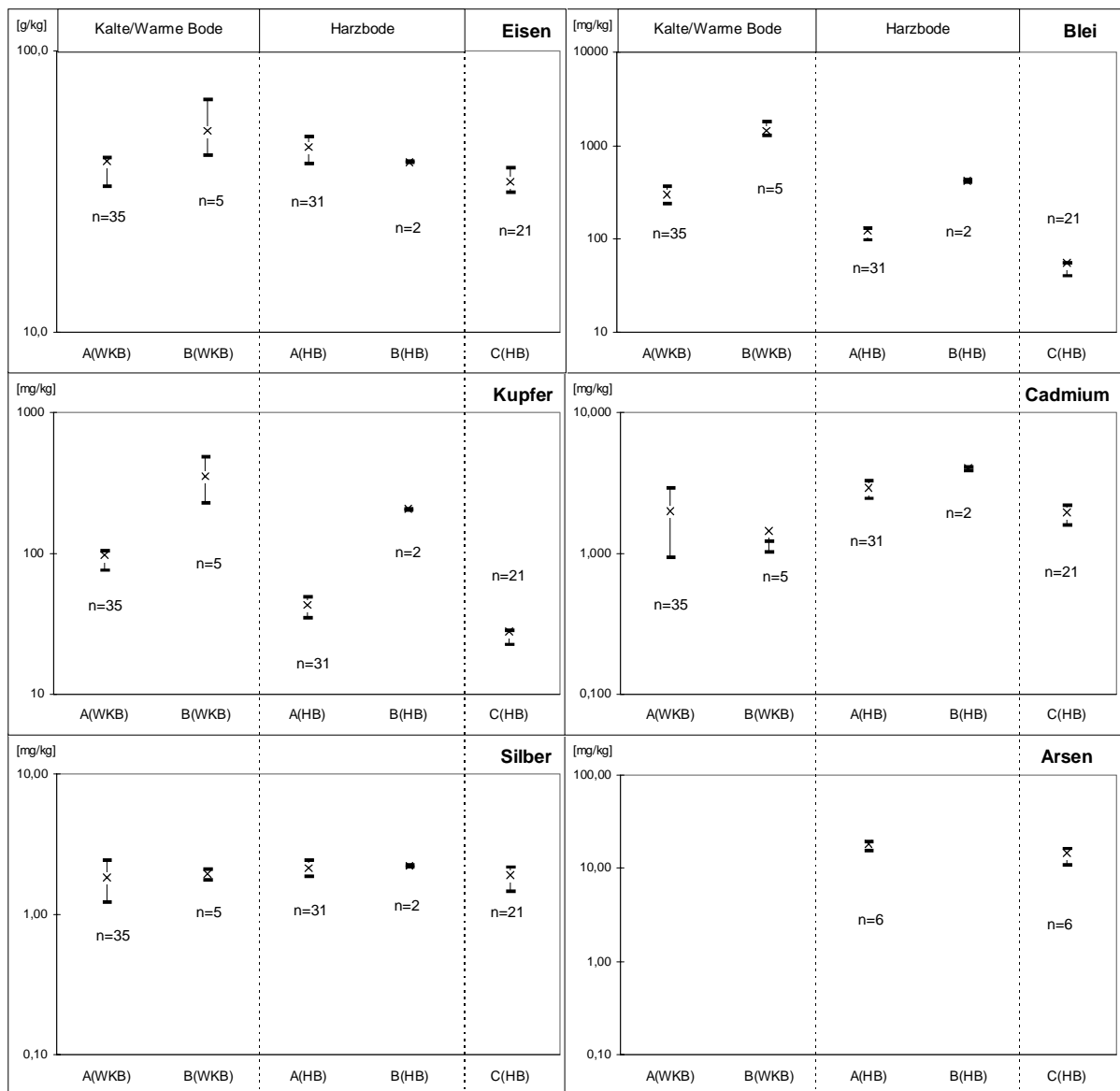


Abbildung 6 Mittlere Schwermetallgehalte und Schwankungsbereiche (1./3. Quartil) für geochemisch-stratigraphische Einheiten im Einzugsgebiet der Bode im Harz

5.2.3.3 Harzselke

5.2.3.3.1 Oberlauf und oberer Mittellauf (Flußabschnitt A und B1)

5.2.3.3.1.1 Lokale Schwermetallquellen

Im Oberlauf und oberen Mittellauf (Flußabschnitte A und B1) sind bis zur Mündung der Agezucht nur wenige und unbedeutende lokale anthropogene bzw. natürliche Schwermetallquellen bekannt. Dies ist zum einen die kleinflächige Arsenanomalie am Langenberg nordwestlich von Güntersberge (**Karte 4**) und zum anderen der Flußspatabbau am Heimberg am östlichen Ortsrand von Güntersberge. Im Quellbereich der Selke ist anhand von Schlackenfunden mittelalterliche Eisenverhüttung in der Wüstung Selkenfelde (Standort-Nr. 1, **Karte 6a**) nachgewiesen. Auf der unmittelbar im Westen anschließenden Hasselfelder Hochfläche sind die mittelalterlich-frühneuzeitlichen Betriebe der Kupfer- und Silberverhüttung in und um Hasselfelde (bis 1346) bzw. Stiege (bis 1574) als lokale Quellen für atmogene Schwermetallbelastung im Einzugsgebiet von Bedeutung (*KLEßEN 1984*). Obwohl an beiden Talflanken die größten und wichtigsten Erzgänge (Biwender, Straßberg-Neudorfer Gangzug) anstehen, sind geochemische Anomalien kaum von Bedeutung. Nur am Oberlauf des Katzsohlbaches machen sich westlich von Benneckenstein (Flußabschnitt A) verzugsbedingte

Anomalien (*ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT DER DDR 1985B*) durch stark verockerte Bachsedimente bemerkbar (vgl. **Karte 4**).

Mit der Mündung der Agezucht treten im Flußlängsverlauf der Selke erstmals bedeutendere, punkthafte, historische Schwermetallquellen auf. Im Tal der Agezucht (Agezuchter Gang, Reichenberger Gänge, Karte 3) wurden im 18. Jahrhundert geringe Mengen an Blei- und Silbererzen abgebaut (*OELCKE 1973*) und von 1760 bis 1795 ein Pochwerk (Standort-Nr. 9, **Karte 6d**) betrieben. In der einige hundert Meter weiter flußabwärts gelegenen „Chemischen Fabrik Fluor“ (Standort-Nr. 10, **Karte 6d**) wurden zwischen 1888 und 1927 Flußspatmehl und Fluorsalze hergestellt (*KRAUSE 1967*). Außerdem fließen hier über den Wiesenbach immer noch Grubenwässer der 1990 stillgelegten ehemaligen Flußspatgrube Straßberg (1888 - 1990) in die Selke, die bis in jüngste Zeit zu teilweise erheblichen Anreicherungen mit Kupfer, Fluorid, Mangan, Sulfat und Eisen im Wasser der Selke (*HEINDORF 1993, ANONYMUS 1994*) sowie zu extrem hohen Kupferkonzentrationen (2.000 mg/kg) in Bachsedimenten (< 0,2 mm) des Wiesenbaches führten (*RENTZSCH & ETAL. 1984*).

5.2.3.3.1.2 Beschreibung der analysierten Profile

Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung des (Teil-)Einzugsgebietes (Selke, Limbach, Katzsohlbach, Heimbergbach), der geringen Mächtigkeit der Auensedimente und der schwierigen Trennung fluviatiler Sedimente von kolluvialen Hangsedimenten wurden im Flußabschnitt A keine Profile beprobt. Nach dem Zusammenfluß der wichtigsten Nebenbäche des Oberlaufes wurden im Flußabschnitt B1 6 Profile aufgenommen und beprobt.

In den Profilen B1_1, B1_3 und B1_5 liegen junge, dunkelbraune, humose Auensedimente vor, die sich aus schwach bis stark schluffigen Sanden (aGo-M-Horizonte) zusammensetzen. Darunter befinden sich stark fleckige, fluviatile Graulehmderivate aus stark schluffigem bis lehmig-schluffigem Sand (aGo-Horizonte). Im Profil B1_4 konnten kaolinitreiche Graulehmrelikte⁷ an der Profilbasis nachgewiesen werden. Anhand der Geländebefunde (hoher Tongehalt, keine Sandlinsen) wurden die liegenden Sedimentschichten der Profile B1_1 und B1_5 ebenfalls als solifluidale Graulehmrelikte (G(j)o- bzw. Gjr-Horizonte⁸) unter fluviatilen Graulehmderivaten angesprochen.

In den Profilen B1_4 und B1_1 sind die oberen Profilabschnitte durch Dammaufschüttungen gestört und werden im folgenden nicht berücksichtigt. Bei den Profilen B1_2a und B1_5 liegen die jungen Auensedimente über einer 20 bis 50 cm mächtigen ufernahen Kiesschicht. Auch bei Profil B1_1 ist im Liegenden der humosen Auensedimente ein deutlich erhöhter Feinkiesanteil festzustellen. Die Kiesschichten weisen auf größere Abflußereignisse vor Ablagerung der humosen Auensedimente hin. Dies könnte auf extreme hygrische Klimaschwankungen verbunden mit morphologisch hochwirksamen Niederschlägen während des 14. Jahrhunderts bzw. gegen Ende des 18. Jahrhunderts zurückgeführt werden (vgl. *KUNTZE & HERMS 1986*).

Profil B1_5 konnte aufgrund des hohen Grundwasserstandes und wegen Kernverlusten nicht weiter differenziert und unterhalb von 130 cm Tiefe keine ungestörten Proben entnommen werden. Unter der Kiesschicht waren die Sedimente bis 130 cm Tiefe identisch mit den Verhältnissen in Profil B1_3 unterhalb der humosen Auensedimente. Bei Profil B1_2b wurden zwei Proben an der Basis der humosen Auensedimente entnommen. Das Profil B1_3 ist bei 110 cm Tiefe durch eine verockerte Schuttlage (Schicht IV) geteilt. Der scharf abgegrenzte, unregelmäßige Querschnitt könnte auf eine künstlich angelegte und nachträglich verfüllte Rinne hinweisen.

Die Graulehmrelikte und -derivate unterscheiden sich lithologisch durch höhere Ton-, geringere Grobsandgehalte sowie niedrigere pH(H₂O)-Werte von den hangenden humosen Auensedimenten. Bezüglich der Grobschluffgehalte als Anzeiger für die Lößbeeinflussung sind die Unterschiede schwächer ausgeprägt. Graulehmrelikte und -derivate sind anhand der organischen Substanz, der pH-Werte und Korngrößenzusammensetzung kaum zu differenzieren. In Profil B1_4 weisen die anhand von RDA-Analysen eindeutig als Graulehmrelikte identifizierten basalen Sedimente (Schicht IV) im Vergleich zu den fluviatilen Graulehmderivaten (Schicht II) höhere Ton- und geringere

⁷ Die lehmigen Talsedimente der Selke könnten auch namensgebend für den Fluß gewesen sein. In Meisdorf, am Austritt der Selke aus dem Harz, ist eine bedeutende keltische Siedlung nachgewiesen. Das keltische „Sil“, das soviel wie „lehmige Erde“ bedeutet, könnte auf die Nutzung dieser Sedimente zum Hausbau hinweisen. Eine alternative für die Herkunft des Namens wäre das lateinische „Salica“ für „Kleine Saale“ (*WEGENER 1991*).

⁸ Diese Horizontkombinationen sind in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden1994) nicht vorgesehen und sollen hier die saprolithische Herkunft der hydromorphen Sedimente hervorheben.

Grobsandgehalte auf. Dies könnte auf Vermischung mit lößhaltigen Komponenten während des solifluidalen Transportes hinweisen. Die Schicht III ist demnach als Übergangs- bzw. Mischungshorizont zwischen Graulehmrelikten und Graulehmderivaten anzusprechen.

Tabelle 22 Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt B1 anhand ausgewählter Parameter (Mediane, 10./90. Perzentil, Werte in Klammern)

	pH-Wert [Wasser]	organische Substanz [Gew.-%]	Grobsand	Grobschluff [Vol.-%]	Ton
humose Auensedimente	6,12 (5,59 - 7,29)	3,3 (2,9 - 6,4)	17 (10 - 23)	19 (13 - 23)	3,8 (2,8 - 7,8)
fluviale Graulehmderivate	5,26 (4,90 - 6,16)	3,3 (2,2 - 5,5)	12 (8 - 16)	14 (10 - 18)	8,2 (4,2 - 9,4)
solifluidale Graulehmrelikte	5,25 (4,80 - 5,95)	2,7 (2,4 - 3,3)	10 (4 - 14)	16 (11 - 17)	8,2 (4,7 - 10,7)

5.2.3.3.1.3 Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte

Aufgrund der unterschiedlichen Schwermetallkonzentrationen ist der Flußabschnitt in geochemischer Hinsicht zweigeteilt. Nach der Mündung des Agezuchtbaches steigen die Schwermetallgehalte in allen lithostratigraphischen Einheiten stark an. Die plötzliche Zunahme der Gehalte kann nur in Zusammenhang mit stärkerem Einfluß alter Bergbauaktivitäten erklärt werden. An der Basis von Profil B1_3 sind nicht bzw. schwach angereicherte Sedimente erhalten, deren absolute Schwermetallgehalte und Blei-Kupfer- bzw. Kupfer-Silber-Quotienten in etwa den Verhältnissen vor der Agezuchtmündung entsprechen. Eine natürliche geochemische Elementanreicherung wegen nahegelegener Erzgänge ist daher unwahrscheinlich.

Vor der Mündung der Agezucht (**Abbildung 7**) sind die Schwermetallgehalte niedrig (Profil B1_1, B1_2a/b) und schwanken sowohl in den humosen Auensedimenten als auch in den liegenden, fluvialen Graulehmderivaten bzw. -relikten geringfügig um den regionalen Hintergrund. Die abweichenden Tiefengradienten von Blei und Silber einerseits sowie Kupfer, Zink und Cadmium andererseits weisen auf unterschiedliche Herkunft der beiden Elementgruppen hin. Bei Zink und Cadmium können die Tiefengradienten mit maximalen Gehalten in den humosen Auensedimenten auf relativ junge Einleitung kommunaler Abwässer und/oder die moderne Landwirtschaft (Düngung, Pestizide) zurückgeführt werden. Die im Vergleich zu den fluvialen Graulehmderivaten leicht erhöhten Kupfergehalte der Graulehmrelikte (Profil B1_1, Schicht VI) könnten auf atmogene Belastung durch frühen Buntmetallbergbau hinweisen. Als lokale Emittenten kommen dabei die wenige Kilometer westlich gelegenen Betriebe mit mittelalterlich-frühneuzeitlicher Buntmetallverhüttung in Hasselfelde und Stiege in Frage. Die mäßige Bleianreicherung unterhalb der Kiesschicht an der Basis von Profil B1_2 ist der einzige Hinweis auf lokalen Buntmetallbergbau vor der Agezuchtmündung.

Flußabwärts der Agezuchtmündung (**Abbildung 8**) weisen die Sedimente im Vergleich zu den Profilen B1_1 und B1_2a/b bezüglich Blei stark erhöhte Konzentrationen auf. Die Anreicherung für Cadmium, Silber, Zink und Eisen ist dagegen deutlich niedriger. Bei Mangan ist sogar eine relative Abreicherung zu verzeichnen. Die Ursache für die hohen Kupfergehalte in den obersten 30 cm von Profil B1_5 können entsprechend belastete Sedimente des Wiesenbaches (RENTZSCH & ET AL. 1984), rezente Lösungswässer der Flußpatgrube Straßberg und Abwässer der ehemaligen „Chemischen Fabrik Fluor“ (1888 - 1927) sein. In den humosen Auensedimenten ist folgende Reihenfolge der Elementanreicherung gegenüber den Verhältnissen vor der Agezuchtmündung festzustellen: Pb > Cu > Cd • Ag > Zn > Fe > Mn.

Die fluvialen Graulehmderivate zeichnen sich durch eine besonders starke Zunahme der Blei-, Zink- und Mangangehalte aus, während die Anreicherung bezüglich Kupfer geringer ist als in den humosen Auensedimenten. Entsprechend ergibt sich hier eine leicht geänderte Reihenfolge der Elementanreicherung im Vergleich zu den entsprechenden Sedimenten vor der Agezuchtmündung: Pb >> Zn • Ag • Cd > Cu > Mn > Fe (**Tabelle 23**).

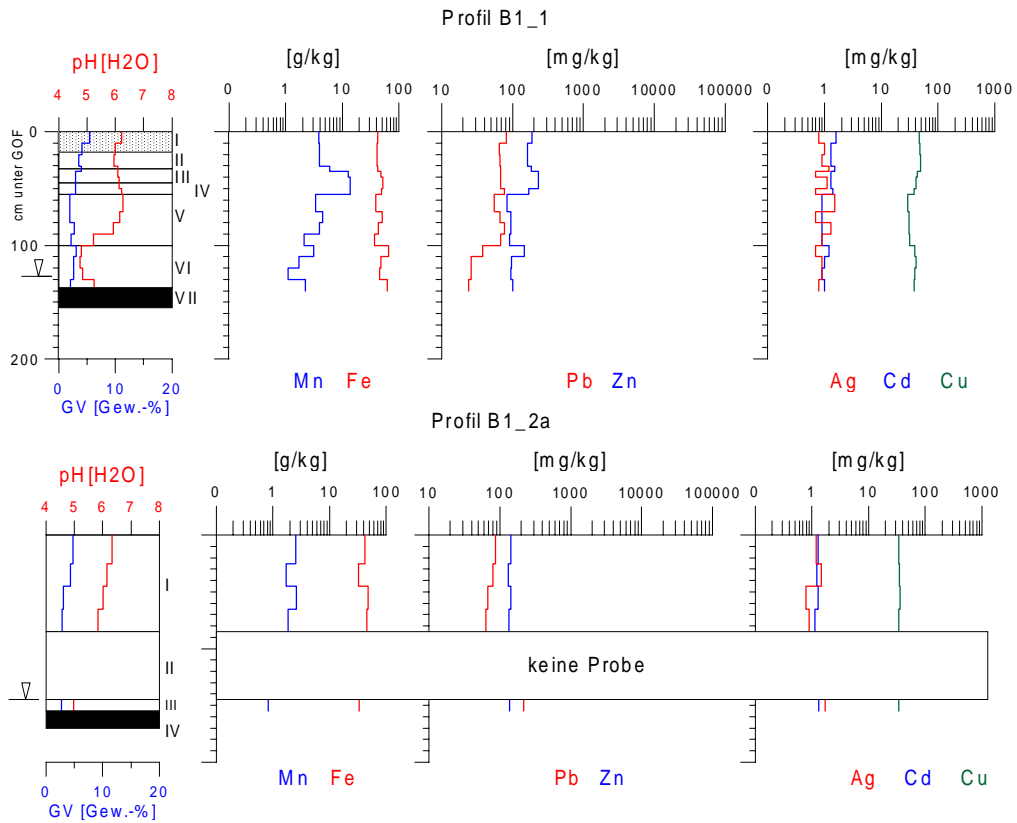


Abbildung 7 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezuchtmündung)

Nach montanhistorischen bzw. montanarchäologischen Befunden sind die mäßig bis stark erhöhten Schwermetallkonzentrationen in den fluviatilen Graulehmderivaten nach Mündung der Agezucht nur mit historischen Bergbauaktivitäten in der näheren Umgebung während des 18. Jahrhunderts zu erklären. Die oberen Schichten der Graulehmderivate (Profile B1_3 und B1_4) mit maximalen Schwermetallgehalten sind dann mit der Betriebszeit des Agezuchtpochwerkes (1765-1795) zu korrelieren.

Tabelle 23 Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) nach der Mündung der Agezucht

Horizont	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag
humose Auensedimente	1,2	0,7	4,0	1,5	(3,4)	2,2	2,0
mäßig angereicherte Graulehmderivate (AK ≤ 2)	1,1	1,3	6,0	2,6	1,6	1,8	1,9
stark angereicherte Graulehmderivate (AK ≥ 3)	0,9	2,1	30,0	4,9	2,9	3,7	4,7

Die Radiokarbondatierung an Holzkohlen und die niedrigen Schwermetallgehalte der basalen Sedimente (Gr-Horizont) von Profil B1_3 legen den Schluß nahe, daß der geogene Hintergrund hier trotz der umliegenden Lagerstätten kaum erhöht ist und der Bergbau frühestens im 7. Jahrhundert begonnen hat. Letzteres wird durch eine weitere Radiokarbondatierung an Holzkohlen (Probe HAM 3467: 638-788 cal AD, **Tabelle A24**) am Talrand in unmittelbarer Nachbarschaft bekräftigt. Die datierten Holzkohlen stammen dabei aus einer Holzkohlelage zwischen sehr dichten, graubraunen und rostfleckigen, solifluidalen Graulehmen und fluviatilen Sedimenten und könnten auf Holzkohlegewinnung (Meilerplatz) und Beginn der fluviatilen Sedimentation in Zusammenhang mit frühem Bergbau hinweisen.

Die solifluidalen Graulehmrelikte an der Basis von Profil B1_4 (III G(j)/IV Gjr) unterscheiden sich durch die geringeren Eisen- und Mangangehalte deutlich von den hangenden Graulehmderivaten. Da auch beim Übergang zum reduzierenden Milieu diesbezüglich keine Veränderungen eintreten, sind die niedrigen Gehalte nicht auf rezenten hydromorphen Einfluß, sondern auf eine entsprechende Elementverarmung im Zuge tertiärer, feuchttropischer Verwitterungsbedingungen zurückzuführen.

Mit Ausnahme des oberen Abschnittes im jüngeren Hangsediment (Schicht IIIa) heben sich die Graulehmrelikte (Schicht III/IV) hinsichtlich der Elementquotienten der Buntmetalle durch homogene Zink-Kupfer-Verhältnisse deutlich von den hangenden fluviatilen Sedimenten ab. Die jeweiligen Elementquotienten sind insgesamt fast identisch mit denen des regionalen Hintergrundes. Eine Ausnahme macht hier nur die Schicht IIIa, in der eine leichte Anreicherung von Zink gegenüber Kupfer auftritt. Im älteren Hangsediment (Schicht IV) ist ein überdurchschnittlich starker Rückgang von Blei gegenüber den anderen Buntmetallen festzustellen.

Die Radiokarbondatierung des Profils B1_4 zeigt, daß die jüngeren Graulehmrelikte (Schicht III) nicht vor dem 15. Jahrhundert abgelagert wurden. Die deutlichen Konzentrationsunterschiede der Buntmetalle innerhalb der jüngeren Graulehmrelikte (Schicht III) können der hochmittelalterlichen Bergbauphase (Schicht IIIb/c - Phase IIb⁹) und der nachfolgenden spätmittelalterlichen Rezessionsphase (Schicht IIIa - Phase IIc) zugeordnet werden. In den älteren solifluidalen Graulehmrelikten an der Profilbasis (Schicht IVb/c) sind die leicht erhöhten, aber stabilen Blei- und Silbergehalte ein Hinweis auf eine schwache, natürliche Anreicherung im Zusammenhang mit der Verwitterung hangaufwärts anstehender Erzgänge.

Die Profile vor der Agezuchtmündung sind geochemisch stärker differenziert als weiter flußabwärts (**Tabelle 24**). Im Profil B1_1 unterscheiden sich die Graulehmderivate (V) hinsichtlich des Schichtzeigers Blei nicht von den hangenden humosen Auensedimenten. Neben der Geländeansprache sprechen aber auch die Zinkgehalte, die im Mittel um die Hälfte niedriger sind, dagegen, beide lithostratigraphische Einheiten in einer geochemischen Schicht zusammenzufassen.

In Profil B1_3 bestehen dagegen zwischen den humosen Auensedimenten (Schicht I) und den fluviatilen Graulehmderivaten geochemisch kaum Unterschiede und werden daher zusammengefaßt. Darunter ist geochemisch eine zusammenhängende Sedimentschicht mit stark erhöhten Bleigehalten auszugliedern. In Profil B1_4 ist die differenzierte lithostratigraphische Schichtung auch in der geochemischen Profilgliederung wieder zu erkennen. Lithostratigraphisch und geochemisch entsprechen die starken Bleianreicherungen (Schicht IIa/b) denjenigen im unmittelbar benachbarten Profil B1_3. Die Graulehmrelikte an der Basis (Schicht IVb/c) unterscheiden sich von den anhand der

⁹ Zur Gliederung der Bergbauphasen im Osthartz siehe Kapitel 5.1.2, Tabelle 9

Geländeansprache ausgegliederten Graulehmrelikte in Profil B1_1 durch deutlich niedrigere Eisen- bzw. höhere Blei- und Zinkgehalte.

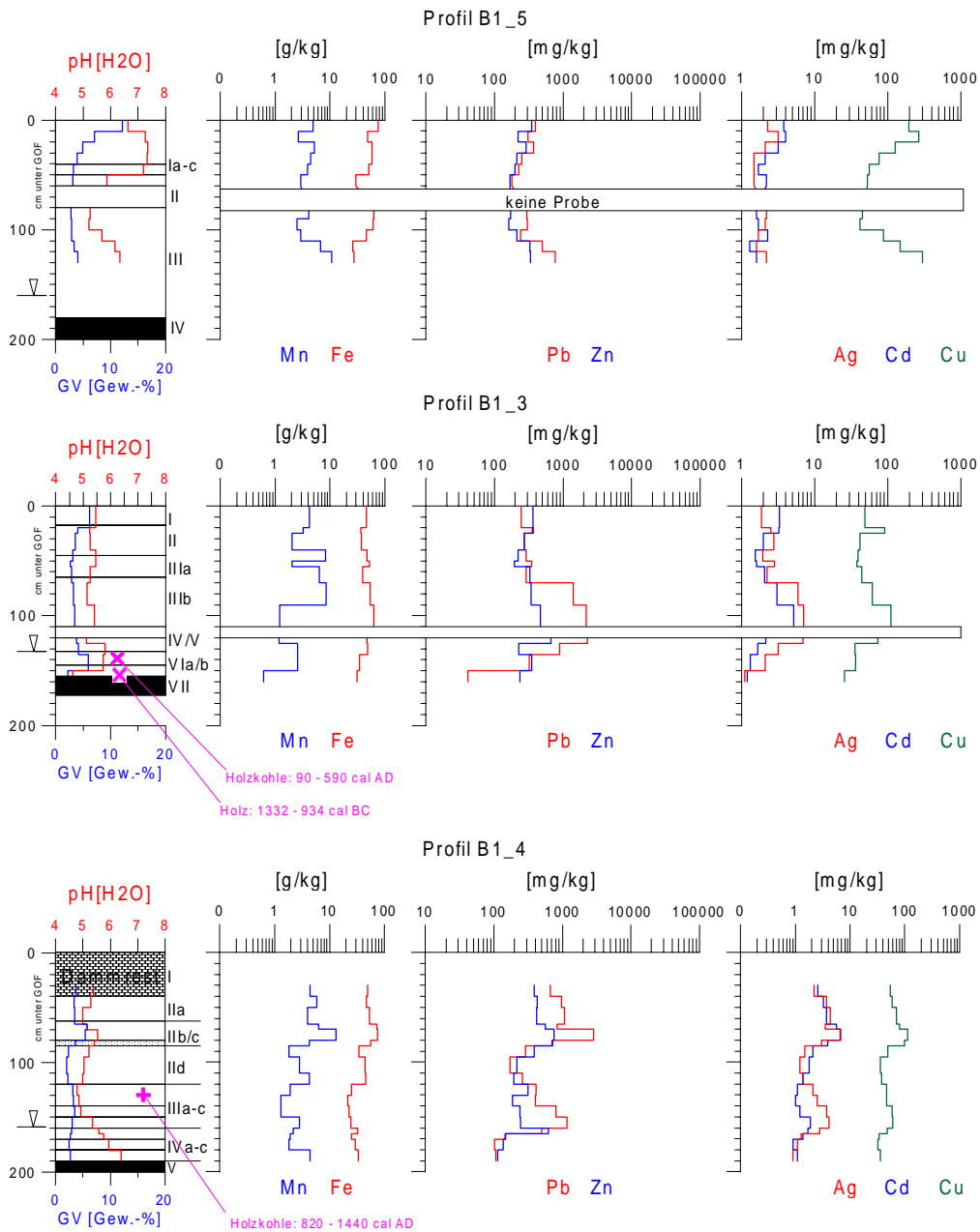


Abbildung 8 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezucht mündung)

Tabelle 24 Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitte B1, Mittelwerte)

Profil B1_1												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I-IV	5	46,4	10,1	69	195	44	1,4	0,9	2	2	2	2
(V)	4	41,9	3,5	66	91	31	0,9	1,1	2	1	1	2
VI	4	54,6	2,0	29	109	39	1,0	0,8	1	1	2	2

Profil B1_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	5	41,5	2,2	75	139	35	1,2	1,1	2	1	2	2
III	1	33,0	0,8	217	139	35	1,3	1,7	3	1	2	3

Profil B1_3												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I - IIIa	6	42,9	4,4	304	290	51	2,3	2,4	3	2	2	3
IIIb - V	4	53,0	3,3	1686	423	70	3,0	5,8	4	3	2	4
VI	2	34,9/31,2	0,6/2,5	322/41	350/234	37/25	1,2/1,3	2,1/1,1	2/3	2	2/1	3/2

Profil B1_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
IIa/b	5	61,2	6,8	1296	577	84	4,6	4,2	4	3	2	3
IIc/d	3	41,7	3,0	242	266	41	1,8	1,4	3	2	2	2
III	4	23,5	1,8	698	247	53	1,3	3,1	4	2	2	3
(IVa)	1	32,9	2,2	500	631	48	1,7	2,8	3	3	2	3
IVb/c	3	29,2	2,7	120	132	34	1,1	1,1	2	1	2	2

Profil B1_5												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
0 - 30 cm	3	60,4	4,2	357	287	196	3,7	2,5	3	2	3	3
(30 - 60 cm)	3	46,5	3,7	219	194	62	2,0	1,5	3	2	2	2

5.2.3.3.1.4 Statistische Auswertung

Aufgrund der heterogenen Schwermetallbelastung wurden im Flußabschnitt B1 die Profile (B1_1, B1_2) vor der Mündung der Agezucht mit insgesamt schwacher Bleianreicherung von den relativ stark und eindeutig anthropogen mit Schwermetallen angereicherten Profilen (B1_3, B1_4, B1_5) weiter flußabwärts getrennt. Unterhalb der Agezucht werden, aufgrund der großen Konzentrationsunterschiede beim Schichtzeiger Blei, die fluviatilen Graulehmderivate in eine mäßig und eine stark angereicherte geochemische Einheit gegliedert.

Für die statistische Auswertung wurden im Flußabschnitt B1 folgende geochemisch-stratigraphischen Einheiten definiert (Tabelle 25, vgl. auch Abbildung 9). In den schwach angereicherten, humosen Auensedimenten vor der Agezucht (AB1a) bestehen außer zwischen den Elementen Zink, Cadmium und Kupfer ($r = 0,66^* - 0,78^{**}$) kaum statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen. Die Korrelationen von Blei und Silber zu den anderen Metallen sind eher negativ. Zink korreliert als einziges Element signifikant mit Eisen ($r = 0,68^*$) und Mangan ($r = 0,83^{**}$), während bei Silber das Gegenteil der Fall ist (Ag-Mn: $r = -0,70^*$; Ag-Fe: $r = -0,78^{**}$). Kupfer zeigt hier aufgrund der starken positiven Korrelation zur Fraktion kleiner $20 \mu\text{m}$ ($r = 0,83^{**}$) bzw. kleiner $63 \mu\text{m}$ ($r = 0,76^{**}$) eine deutliche Tendenz zur Anreicherung in feineren Kornfraktionen.

In den hydromorphen Graulehmrelikten/-derivaten vor der Agezucht (BB1a) sind die statistischen Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen mit Ausnahme von Zink und Cadmium ($r = 0,89^{**}$) kaum signifikant und/oder nur schwach ausgeprägt. Auffallend sind dabei wiederum die negativen Korrelationskoeffizienten der Elemente Kupfer, Cadmium und Zink gegenüber Blei und Silber. Außer der engen Verbindung von Zink ($r = 0,90^{**}$) und Cadmium ($r = 0,77^*$) zu den Eisengehalten bestehen

wie in den humosen Auensedimenten keine positiven Korrelationen der Buntmetalle zu Eisen und/oder Mangan. Bei Silber (Ag-Fe: $r = -0,81^*$) und Kupfer (Cu-Mn: $r = -0,76^*$) sind sogar signifikant negative Zusammenhänge zu beobachten. Eine Tendenz zur Anreicherung in feineren Kornfraktionen ist bei keinem Element zu erkennen. Silber weist sogar einen gegenteiligen Trend auf.

In den schwach angereicherten, humosen Auensedimenten vor der Agezucht (**A_{B1a}**) bestehen außer zwischen den Elementen Zink, Cadmium und Kupfer ($r = 0,66^* - 0,78^{**}$) kaum statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen. Die Korrelationen von Blei und Silber zu den anderen Metallen sind eher negativ. Zink korreliert als einziges Element signifikant mit Eisen ($r = 0,68^*$) und Mangan ($r = 0,83^{**}$), während bei Silber das Gegenteil der Fall ist (Ag-Mn: $r = -0,70^*$; Ag-Fe: $r = -0,78^{**}$). Kupfer zeigt hier aufgrund der starken positiven Korrelation zur Fraktion kleiner 20 μm ($r = 0,83^{**}$) bzw. kleiner 63 μm ($r = 0,76^{**}$) eine deutliche Tendenz zur Anreicherung in feineren Kornfraktionen.

In den hydromorphen Graulehmrelikten/-derivaten vor der Agezucht (**B_{B1a}**) sind die statistischen Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen mit Ausnahme von Zink und Cadmium ($r = 0,89^{**}$) kaum signifikant und/oder nur schwach ausgeprägt. Auffallend sind dabei wiederum die negativen Korrelationskoeffizienten der Elemente Kupfer, Cadmium und Zink gegenüber Blei und Silber. Außer der engen Verbindung von Zink ($r = 0,90^{**}$) und Cadmium ($r = 0,77^*$) zu den Eisengehalten bestehen wie in den humosen Auensedimenten keine positiven Korrelationen der Buntmetalle zu Eisen und/oder Mangan. Bei Silber (Ag-Fe: $r = -0,81^*$) und Kupfer (Cu-Mn: $r = -0,76^*$) sind sogar signifikant negative Zusammenhänge zu beobachten. Eine Tendenz zur Anreicherung in feineren Kornfraktionen ist bei keinem Element zu erkennen. Silber weist sogar einen gegenteiligen Trend auf.

Tabelle 25 Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke im Flußabschnitt B1

Vor Agezucht		Nach Agezucht	
A _{B1a}	Schwach angereicherte, humose Auensedimente	A _{B1b}	Mäßig angereicherte, humose Auensedimente
B _{B1a}	Nicht bis schwach angereicherte Graulehmrelikte/-derivate	B _{B1b}	Mäßig angereicherte, fluviatile Graulehmderivate
		C _{B1b}	Stark angereicherte, fluviatile Graulehmderivate
		D _{B1b}	Schwach bis stark angereicherte Graulehmrelikte am Talrand

In den mäßig angereicherten, humosen Auensedimenten nach der Agezuchtmündung (**A_{B1b}**) ist Blei signifikant mit Silber ($r = 0,78^*$) und Kupfer ($r = 0,79^*$) sowie Cadmium mit Silber ($r = 0,93^{**}$) korreliert. Ansonsten bestehen keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen. Die Eisen- und Mangangehalte korrelieren relativ stark, aber nicht signifikant mit Blei ($r = 0,75$ bzw. $0,61$). Eine statistisch nachweisbare Abhängigkeit der Metallgehalte zu den Anteilen feinerer Kornfraktionen ($< 63 \mu\text{m}$ bzw. $< 20 \mu\text{m}$) ist nicht gegeben.

In den mäßig angereicherten fluviatilen Graulehmderivaten (**B_{B1b}**) der Profile B1_3 und B1_4 ergibt sich ein anderes Bild. Signifikante Korrelationen zwischen den Buntmetallen sind hier nicht zu erkennen, wobei allerdings der Zusammenhang zwischen Blei und Silber wieder am stärksten ist ($r = 0,51$). Zink weist eine starke und hochsignifikante Verbindung zu Eisen auf ($r = 0,85^{**}$). Im Gegensatz zu den hangenden humosen Auensedimenten sind deutliche Zusammenhänge der Kupfer- und Cadmiumgehalte zu den feineren Kornfraktionen gegeben ($r = 0,82^* - 0,89^*$).

Bei den stark angereicherten, fluviatilen Graulehmderivaten (**C_{B1b}**) weisen Blei und Silber ($r = 0,93^{**}$) sowie Cadmium und Zink ($r = 0,73^*$) wiederum deutliche Korrelationen auf. Cadmium zeigt zusätzlich einen sehr starken und hochsignifikanten Zusammenhang zu den Eisengehalten ($r = 0,94^{**}$). In Bezug auf den Korngrößeneffekt ist bei Blei ein starker negativer Zusammenhang zur Fraktion kleiner 63 μm gegeben ($r = 0,83^*$).

Im Vergleich zu den fluviatilen Sedimenten sind in den Graulehmrelikten (**D_{B1b}**) von Profil B1_4 (Schicht III und IV) mit Ausnahme von Zink die statistischen Zusammenhänge zwischen den

Buntmetallen deutlich stärker ausgeprägt ($r > 0,9^{**}$). Eisen bzw. Mangan sowie die feineren Kornfraktionen korrelieren nicht mit den Buntmetallen. Wegen der geringen Fallzahl ist hier eine Interpretation der Korrelationsanalyse problematisch.

5.2.3.3.1.5 Zusammenfassung

In **Abbildung 9** sind in einer Übersicht die Mittelwerte und Schwankungsbreiten (1./3. Quartil) der Metallgehalte in den geochemisch-stratigraphischen Einheiten zusammengefaßt. Außer bei Eisen und Mangan sind nach der Mündung der Agezucht sowohl die mittleren Gehalte als auch die absoluten Schwankungsbreiten der Elemente in der Regel deutlich größer als vorher.

Die solifluidalen Hangsedimente bzw. Graulehmrelikte aus Profil B1_4 können geochemisch wegen der niedrigen Eisen- und Mangangehalte sehr gut von den fluviatilen Sedimenten unterschieden werden

Anhand der Gelände- und Laborergebnisse wird deutlich, daß im Flußabschnitt B1 humose Auensedimente frühestens im 19. Jahrhundert - die kupferreichen jüngsten Sedimente (Profil B1_5) erst seit der Wende 19./20. Jahrhundert - abgelagert wurden. Die höheren Grobschluffanteile sind dabei ein Anzeichen für verstärkte Erosion humoser, lößhaltiger Oberböden aus dem Einzugsgebiet. Als Ursache ist die Zunahme ackerbaulich genutzter Flächen auf den umliegenden Hochflächen nach Rückgang bzw. weitgehender Einstellung des lokalen Silber- und Eisenbergbaus anzusehen. Die hohen Schwermetallgehalte nach Mündung der Agezucht sind nicht auf primäre Belastung der Oberböden durch atmogene Deposition, landwirtschaftliche Aktivitäten oder die Einleitung kommunaler Abwässer zurückzuführen, sondern auf Vermischung mit älteren und stärker angereicherten Sedimenten. Seit 1888 bewirkt zusätzlich die Einleitung von Lösungswässern aus dem Flußspatbergwerk Straßberg über den Wiesenbach eine Erhöhung v.a. der Kupfergehalte in den jüngsten Schichten. Im Liegenden der humosen Auensedimente führten Hochwasserereignisse zur Entstehung von Kiesbänken. Diese stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit hygrischen Klimaschwankungen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts.

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts wurden im Flußabschnitt B1 vorwiegend ältere, solifluidale Graulehmrelikte aus Mulden- bzw. Hangfußlage fluviatil umgelagert und nach der Agezuchtmündung frühestens seit dem 7. Jahrhundert durch alte Bergbauaktivitäten zum Teil erheblich mit Schwermetallen angereichert. Die höchsten Schwermetallgehalte stehen nach den bisherigen Erkenntnissen in Zusammenhang mit dem Betrieb des Agezuchtpochwerkes (1760 - 1795).

Lithologisch bedingte Elementanreicherungen spielen mit Ausnahme von Kupfer in den humosen Auensedimenten bei keinem der untersuchten Elemente eine Rolle. Die Zusammenhänge der Metallkonzentrationen von Blei, Silber mit Zink und Cadmium deuten auf unterschiedliche Herkunftsquellen hin. Zink und Cadmium sind in den weitgehend unbelasteten, humosen Auensedimenten möglicherweise bevorzugt an Eisen und Manganoxide gebunden. Bei höherer Belastung trifft dies auch für Blei zu.

In den fluviatilen Graulehmderivaten ergeben sich in unterschiedlich stark angereicherten Sedimenten Abweichungen bezüglich der Rolle feinerer Kornfraktionen bei der Bindung von Schwermetallen. Während in den mäßig angereicherten Sedimenten positive Korrelationskoeffizienten auf eine lithologisch bedingte Anreicherung hindeuten, ist in den stark angereicherten Sedimenten, v.a. bei Blei, eher das Gegenteil der Fall. Eisenoxide scheinen - ähnlich wie in den humosen Auensedimenten - nur für die Fixierung von Zink und Cadmium von größerer Bedeutung zu sein. In den mäßig angereicherten Sedimenten sind die Zusammenhänge deutlich schwächer und bei Zink sogar negativ.

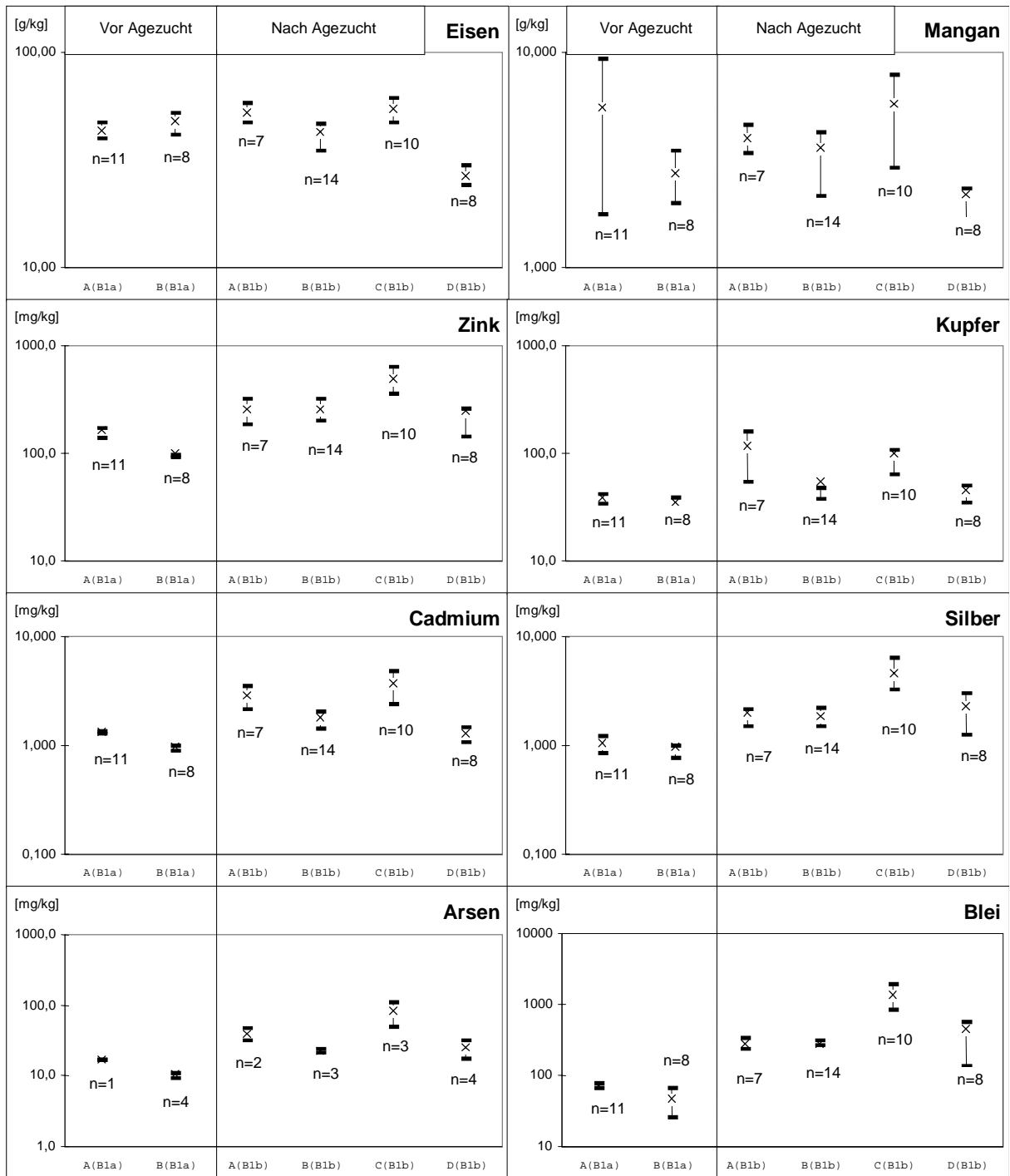


Abbildung 9 Mittelwerte (x) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B1

5.2.3.3.2 Unterer Mittellauf (Flußabschnitt B2)

5.2.3.3.2.1 Lokale Schwermetallquellen

Der Flußabschnitt **B2** beginnt mit der Einmündung des Rödelbachtals am westlichen Ortsrand von Straßberg. Aufgrund der großen Anzahl an Abbau-, Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen, der zahlreichen Erzgänge (**Karte 3**) und der großflächigen geochemischen Anomalien (**Karte 4**), ist in diesem Abschnitt mit den höchsten Schwermetalleinträgen, zu rechnen. Die Anlage von Kunstteichen und Gräben, die zum Teil über Einzugsgebietsgrenzen hinaus reichen (Silberhütter Kunstgraben, vgl. ZERJADTKE (1982), führten außerdem zur anthropogenen Beeinflussung der hydrologischen Verhältnisse (KRAUSE 1967) sowie der Sedimentationsbedingungen im Tal der Harzselke. Aufgrund der großen Anzahl kann hier nicht auf die einzelnen bergbaulichen Anlagen eingegangen werden. Für die Schwermetallfreisetzung in der Vergangenheit besonders relevante historische Anlagen sind die stolbergischen Aufbereitungs- und Verhüttungsbetriebe in und um Straßberg¹⁰, die entsprechenden anhaltischen Anlagen in Silberhütte und Mägdesprung¹¹ sowie das Selkepochwerk und das „Pochwerk unterm Fürstenteich“ (1729 - 1910, ab 1890 Aufbereitungsanlage der anhaltischen Blei- und Silberwerke). Am Oberlauf des Birnbaumbaches waren in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts ebenfalls ein Pochwerk und eine Hütte in Betrieb (Standort-Nr. 23/24, vgl. **Karte 6a-d**). Die Standorte von Gruben, Wasserlösungsstollen und sonstigen wasserwirtschaftlichen Anlagen (Gräben, Röschen) im Einzugsgebiet der Harzselke sind bei KRAUSE (1967) in Tabellen und Karten dargestellt.

Unterhalb von Silberhütte sind neben der historischen Erzverhüttung zusätzliche Metalleinträge durch die Vitriolherstellung in Silberhütte (1797 - 1909) und durch die bis 1990 betriebene Pyrotechnische Fabrik zu erwarten.

5.2.3.3.2.2 Beschreibung der analysierten Profile

Im Flußabschnitt B2 wurden 8 Uferprofile und ein Profil am Talrand (B2_3) beprobt. Mit Ausnahme von Profil B2_1, das aus humosen Auensedimenten über alten, schräg geschichteten Gerinnesedimenten besteht, stehen in den übrigen Profilen primäre, laminaire Pochsandlagen (aPS-Horizont) unter den humosen Auensedimenten an. Das Liegende der Uferprofile bilden meist ältere Auensedimente, am Talrand auch Graulehmrelikte (Profil B2_3).

Die Profile B2_1 und B2_2 sind Uferanschnitte und befinden sich unmittelbar nebeneinander am östlichen Ortsrand von Straßberg.

Das Profil B2_1 entspricht dem ehemaligen Ufer eines Mäanderbogens. Unter den stark sandigen, humosen Auensedimenten befinden sich primäre, d.h. nicht verlagerte, horizontal-laminare Wechsellagerungen (II aPS) aus verfestigten, schwarzen, sandigen (Ss) Pochsandlagen und hellgrauem, leicht rostfleckigen, lehmigen (Slu) Sedimenten¹². Anhand von Farbe und Textur sind die hellen, lehmigen Zwischenschichten als fluviatile Graulehmderivate, ähnlich denen im Flußabschnitt B1, anzusprechen. Beim Übergang zum reduzierenden Milieu sind die sandigen Pochsandlagen durch Eisenoxidbeläge rostrot und das feinkörnige Zwischensediment blaugrau gefärbt (IIB aPS-Gohr). Im gesamten Ghr-Horizont weisen modriger Geruch und die Werte für den Glühverlust auf hohe Anteile

¹⁰ Neueren Angaben zufolge existierten in Straßberg Mitte des 18. Jahrhunderts bis zu sieben Pochwerke (OELCKE 1978). Da dabei jedoch keine Angaben bezüglich der Lage gemacht werden, sind in der Karte 6c nur die vier bei KRAUSE (1967) erwähnten Standorte verzeichnet.

¹¹ Die Betriebsgeschichten der Fürst-Victor-Friedrichshütte in Silberhütte und der Eisenhütte Mägdesprung sind aufgrund der Verlegungen von Betriebsteilen und einigen Um- bzw. Neubauten komplex. In **Silberhütte** werden seit 1692 Silber- und Eisenerze verhüttet; seit 1746 ist zusätzlich eine Pottaschenhütte und zwischen 1797 und 1909/10 eine Vitriol- und Schwefelfabrik in Betrieb; 1825 werden umfangreiche Erweiterungen bzw. Neubauten vorgenommen (2 Hochöfen, 2 Krumöfen, 1 Treibofen, 2 Schwefelöfen); 1888 sind nur noch Nebenbetriebe vorhanden (u.a. Zement- Farben-, Schwefelsäurefabrik). In **Mägdesprung** ist von 1646 bis ca. 1708/09 eine Eisenhütte mit Hammer und Pochwerk und von 1710 bis 1728 eine Silberhütte (später verlegt nach Silberhütte) in Betrieb, 1742 wird die Eisenhütte neu erbaut und 1754 der Hochofen von Silberhütte nach Mägdesprung verlegt, 1875 wird die Eisenverhüttung eingestellt, Gießerei und Eisenverarbeitung werden jedoch bis mindestens Ende der sechziger Jahre unseres Jahrhunderts weiter betrieben (OELCKE 1978).

¹² Die humosen Auensedimente im hangenden des Profils sind lithostratigraphisch identisch mit denen des unmittelbar benachbarten Profils B2_2. Auf die Pochsand-Slu-Wechsellagerungen (aPS-Horizont) wird bei der Beschreibung von Profil B2_5 - v.a. hinsichtlich der extrem hohen Schwermetallgehalte - näher eingegangen. Auf eine zusätzliche Beprobung dieser beiden Schichten und Analyse im Labor wurde in diesem Profil daher verzichtet.

an organischer Substanz unter reduzierenden Bedingungen hin. Da die humosen Auensedimente in Mächtigkeit und Körnung denen des unmittelbar benachbarten Profil B2_2 entsprechen, wurden hier keine Proben entnommen.

Das Profil B2_2 ist ein Uferanschnitt in einem verfüllten Mäanderbogen. Im Uferbereich erreichen die jungen Sedimente der Mäanderfüllung das mittlere Talbodenniveau, so daß keine Höhenunterschiede an der Geländeoberkante (GOK) bestehen. Zwischen beiden Profilen ist der ehemalige Uferabhang als schräg einfallende Diskordanz erkennbar. Das Profil besteht aus Auensedimenten aus schwach schluffigem Sand (Schicht I - IV) über welligen bis schräg geschichteten ehemaligen Gerinnesedimenten (Schicht V) aus mittelschluffigem Sand. Die humosen Auensedimente konnten bei der Geländeansprache anhand des deutlich ausgeprägten fossilen Oberbodens (Schicht II) weiter unterteilt werden.

Die Profile B2_3 bis B2_7a/b sind in ihren oberen Abschnitten ähnlich aufgebaut wie Profil B2_1 und werden daher im folgenden gemeinsam besprochen. Die Profile B2_3 und B2_4 befinden sich unterhalb der Mündung des Glasebaches und oberhalb des Standortes der ehemaligen zentralen Aufbereitungsanlage des anhaltischen Bergbaus (Selkepothwerk: 1695 - 1905, Standort-Nr. 22). Die Profile B2_5a/b liegen weiter flußabwärts kurz vor Silberhütte bzw. der Mündung des Birnbaumbaches. Im Profil B2_5b wurden nur die humosen Auensedimente und der aPS-Horizont beprobt. Die Profile B2_7a und B2_7b befinden sich kurz vor Alexisbad. Am Ufer (B2_7a) bilden unter den humosen Auensedimenten dichte, dunkel-rotbraun gefärbte Pochsande mit geringen lehmigen Zwischenlagen das Liegende des Profils. Im ca. 5 m vom Ufer entfernten Profil B2_7b sind die hell-graubraunen, lehmigen Zwischenlagen deutlicher ausgeprägt.

Die wichtigsten Unterschiede im Profilaufbau sind die in ihrer Mächtigkeit teilweise stark wechselnden einzelnen Pochsandlagen in Profil B2_4 und die Sedimente im Liegenden des am Talrand gelegenen Profils B2_3.

Im Profil B2_3 fehlen unterhalb des aPS-Horizontes organische Reste oder Holzkohlen völlig. Die Sedimente der Schicht V sind lehmig (Slu) und weisen lithologisch keine klare Schichtung auf. Es handelt sich wie bei Profil B1_4 wahrscheinlich um lehmige, solifluidale Graulehmrelikte am Talrand, die hier zuerst mit fluviatilen aPS-Lagen und später mit humosen Auensedimenten überdeckt wurden. Auffallend sind hier zwei dunkle Verfärbungen im Profil. Die Obergrenze der oberen Verfärbung bei 75 cm Tiefe ist scharf gegenüber der liegenden Schicht abgegrenzt und weist auf einen fossilen Oberboden hin. Der Übergang der zweiten Verfärbung ist sowohl nach oben als auch nach unten diffus. Die Gehalte an organischer Substanz und die Korngrößenzusammensetzung unterscheiden sich allerdings kaum von den jeweils hangenden und liegenden Schichten.

In den Profilen B2_4 und B2_5 ist direkt unterhalb der Pochsandlagen ein braunes, leicht geflecktes, älteres Auensediment erhalten (III aGo-M). Ähnliche Sedimente sind in größerer Mächtigkeit direkt unterhalb von Silberhütte, kurz vor dem ehemaligen Selketeich, am Prallhang aufgeschlossen.

In **Tabelle 26** sind ausgewählte Parameter der charakteristischen stratigraphischen Sedimenttypen des Flußabschnittes B2 dargestellt. Die jungen humosen Auensedimente unterscheiden sich faziell bedingt nur aufgrund der Sedimentstruktur und geringfügig geringerer Schluffanteile von den fossilen Gerinnesedimenten des Profils B2_2. Da in Bezug auf Lithologie, pH(H₂O)-Werte und organischer Substanz keine größeren Abweichungen auftreten, wurden beide zu einer stratigraphischen Einheit zusammengefaßt. Die älteren Auensedimente umfassen alle Sedimente unterhalb der Pochsandlagen mit deutlichen Anteilen an unzersetzter organischer Substanz (Pflanzenreste, Holzkohlen).

Die jüngsten weisen große Übereinstimmung zu den humosen Auensedimenten des Flußabschnittes B1 auf. Im Vergleich dazu sind die pH(H₂O)-Werte und die Gehalte an organischer Substanz etwas höher, sowie die Tongehalte niedriger.

Bei den aPS-Horizonten ist eine Interpretation der Korngrößenzusammensetzung nicht sinnvoll, da es sich um Mischproben aus schluffig-lehmigen Zwischensedimenten und reinen Pochsandlagen handelt. Obwohl anzunehmen ist, daß hier sulfidische Erzbruchstücke hohe Anteile haben, sind die pH(H₂O)-Werte relativ hoch und unterscheiden sich kaum von denen der jüngsten Sedimente.

Die älteren humosen Auensedimente unter den aPS-Horizonten befinden sich größtenteils unter reduzierenden Bedingungen. Die nicht unter Luftabschluß gemessenen pH(H₂O)-Werte sind daher im Schnitt deutlich niedriger als in den Sedimenten über dem mittleren Fluß- bzw. Grundwasserspiegel. Im Tiefenverlauf ist in der Regel in allen Profilen ein deutlicher Rückgang der pH(H₂O)-Werte in den Gr-Horizonten festzustellen. Dies ist auf die Oxidation sulfidischer Komponenten zurückzuführen und

entspricht nicht den natürlichen Verhältnissen. Im Unterschied zu den jüngsten Sedimenten sind die Gehalte an organischer Substanz und die Grobsandanteile niedriger und die Tongehalte höher.

Die solifluidalen Sedimente des Profils B2_3 unterscheiden sich von den älteren Auensedimenten durch höhere Ton- und niedrigere Grobschluffgehalte.

Tabelle 26 Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt B2 anhand der Mediane und Schwankungsbreiten (10./90. Perzentil, Werte in Klammern) ausgewählter Parameter

	pH-Wert [Wasser]	organische Substanz [Gew.-%]	Grobsand	Grobschluff [Vol.-%]	Ton
junge humose Auen- und Gerinnesedimente	6,70 (6,14 - 7,23)	3,9 (2,1 - 6,4)	17 (9 - 24)	17 (15 - 20)	2,2 (1,4 - 3,2)
primäre aPS-Horizonte	6,5 (5,95 - 6,94)	3,6 (2,4 - 6,1)	n.b.	n.b.	n.b.
ältere humose Auensedimente	5,99 (4,80 - 6,65)	2,7 (1,9 - 6,6)	10 (7 - 26)	18 (13 - 21)	5,0 (3,2 - 7,4)
solifluidale Graulehmrelikte (B2_3)	6,47 (6,40 - 6,53)	2,8 (2,7 - 3,0)	9 (5 - 10)	11 (9 - 14)	8,7 (7,3 - 9,8)

Die Ablagerungszeit der aPS-Horizonte kann bis Höhe Selkepochwerk in etwa mit den Betriebszeiten der Aufbereitungsanlagen in Straßberg (ca. 1695 bis maximal Ende des 18. Jahrhunderts) und weiter flußabwärts mit der des anhaltischen Selkepochwerkes (1695 - 1905) korreliert werden. Die dunkelrotbraune Farbe der Pochsande im Uferprofil B2_7a kurz vor Alexisbad weist auf vorwiegende Aufbereitung von Brauneisenstein und damit auf die Herkunft aus dem anhaltischen Selkepochwerk hin. Die Eisenverhüttung in Mägdesprung wurde Mitte des 18. Jahrhunderts verstärkt, so daß die Pochsande in diesem Profil wahrscheinlich jünger sind als in den anderen, durch Pochsande geprägten Profilen.

Aufgrund der gut dokumentierten Betriebszeiten der Naßpochwerke können die hangenden, jüngeren Auensedimente im Flußabschnitt B2 nicht älter als knapp 200 Jahre sein.

Die Radiokarbonaten von Pflanzenresten an der Profilbasis bzw. aus den basalen Kiesen (B2_1, B2_5a, **Abbildung 11**) weisen zwar eine große zeitliche Streuung auf, zeigen aber, daß die älteren Auensedimente unterhalb der aPS-Horizonte im Flußabschnitt B2 nicht vor dem 1. - 4. Jahrhundert (Römische Kaiserzeit) abgelagert wurden. Wenn die älteren Auensedimente des Profils B2_5a nicht das Ergebnis einer sekundären Umlagerung sind, sprechen die datierten Holzkohlen in Schicht III (13. Jh.) für eine fast 500jährige Sedimentationslücke bis zum Beginn der Ablagerung der unmittelbar aufliegenden Pochsande zu Beginn des 18. Jahrhunderts. Eine alternative Erklärung wäre die Erosion von ehemals hangenden Sedimentschichten zwischen dem 14. und 17. Jahrhundert. Der vergleichsweise schlechte Erhaltungszustand der datierten Holzkohlen in Profil B2_5a spricht jedoch eher für sekundäre Verlagerung der Schicht III. Die Radiokarbonwerte täuschen in diesem Falle ein zu hohes Alter der Sedimente vor. Außerdem sind um Straßberg im 15. und 16. Jahrhundert lokal intensive, historische Abbau- und Verhüttungsaktivitäten nachgewiesen (*BARTELS & LORENZ 1993*), die in der Aue eher zu höheren Sedimentationsraten statt zu Erosion geführt haben müßten.

5.2.3.3.2.3 Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte

Nach Straßberg ist im Vergleich zum Flußabschnitt B1 v.a. in den beiden jüngeren stratigraphischen Einheiten erneut eine erhebliche Zunahme der Schwermetallgehalte festzustellen. Die höchsten Konzentrationen stehen dabei in Zusammenhang mit extrem belasteten Aufbereitungsrückständen aus Naßpochwerken und Waschwerken (aPS-Horizonte). Auch unterhalb der extrem mit Schwermetallen angereicherten, horizontal-laminaren Pochsandlagen sind die Schwermetallgehalte in den älteren Auensedimenten teilweise sehr hoch (vgl. Profil B2_5a, B2_4) und übersteigen die maximalen Gehalte in den durch Bergbau beeinflussten Profilen vor Straßberg deutlich.

In **Abbildung 10** und **Abbildung 11** sind die lithologischen Schichten und Tiefengradienten der Schwermetallgehalte in ausgewählten Profilen dargestellt. Obwohl in den Profilen B2_1 und B2_3

keine Daten vorliegen, sind hier identische Schwermetalltiefengradienten im oberen Profilbereich bis zur Basis der aPS-Horizonte anzunehmen wie in den Profilen B2_4 und B2_5a/b. Die Profile B2_5b, B2_6 und B2_7a/b wurden nicht graphisch dargestellt. Die entsprechenden Einzelmeßwerte sind in Tabelle A11 im Anhang einzusehen.

In **Tabelle 27** ist die relative Anreicherung in den jüngeren humosen Auensedimenten und in den aPS-Horizonten im Vergleich zu den Verhältnissen des Flußabschnittes B1 nach Mündung der Agezucht dargestellt. In beiden Einheiten ist die Anreicherung bei Blei am stärksten und bei Eisen am schwächsten. In den aPS-Horizonten weicht die Reihenfolge der relativen Anreicherung aufgrund des höheren Wertes für Cadmium und des geringeren Wertes für Zink (Blei > Cadmium \approx Silber > Kupfer \approx Mangan \approx Zink > Eisen) leicht von derjenigen in den jungen humosen Auensedimenten ab (Blei > Zink \approx Kupfer \approx Silber > Cadmium \approx Mangan > Eisen).

Tabelle 27 Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) in ausgewählten Sedimenttypen des Flußabschnittes B2 im Vergleich zum Flußabschnitt B1

Sedimenttyp	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag
junge Auensedimente*	1,1	2,2	8,2	4,0	3,7	1,8	3,7
aPS-Horizonte**	2,0	3,3	6,0	2,7	3,2	4,6	4,6

*Vergleich mit humosen Auensedimenten nach Mündung der Agezucht

**Vergleich zu stark angereicherten fluviatilen Graulehnderivaten der Profile B1_3 und B1_4 nach Mündung der Agezucht

Die jüngsten Auensedimente heben sich in den Profilen B2_2, B2_4 und B2_5a durch hohe Kupfergehalte und gleichzeitig minimale Blei-Kupfer- und Zink-Kupfer-Quotienten (Tabelle A11) vom restlichen Profil ab. Die Kupferanreicherung legt wie im Flußabschnitt B1 (vgl. Profil B1_5) einen Zusammenhang zum Betrieb der ehemaligen Chemischen Fabrik Fluor (1888 - 1927) und/oder der Einleitung von kupferhaltigen Grubenwässern der Flußspatgrube Straßberg (v.a. 1857 - 1990) über den Wiesenbach nahe. Das Alter dieser Sedimente kann anhand der Kupfergehalte auf höchstens 110 Jahre eingeschränkt werden.

In den liegenden ehemaligen Gerinnesedimenten des Profils B2_2 bewegen sich die Metallgehalte insgesamt in der gleichen Größenordnung wie in den hangenden Auensedimenten. Die Schwankungen sind aber bei Blei und Zink größer. Auffallend ist hier außerdem der extrem hohe Cadmiumgehalt in der untersten Probe.

Flußabwärts des Selkeepochwerkes (B2_5a, B2_7b) sind die Schwermetallgehalte in den jungen Auensedimenten teilweise deutlich höher als davor (B2_2, B2_4). Dies kann zum einen mit den kürzeren Betriebszeiten der Straßberger Aufbereitungsanlagen und/oder dem (kumulativen) Anstieg des Anteils schwermetallreicher Pochsande in Gerinne- und Hochflutsedimenten mit zunehmender Flußlänge und rezenter Ufererosion erklärt werden.

Im Flußlängsverlauf steigen flußabwärts die Schwermetallgehalte in den älteren Auensedimenten an (B2_1, B2_4, B2_5a). Als mögliche Ursache kommt, wie in den jungen Auensedimenten, eine Kumulation der Schwermetalleinträge im Flußlängsverlauf in Frage.

Indirekte Datierungsverfahren erlauben nur Rückschlüsse auf das Höchstalters des jeweiligen Sedimentkörpers. Für die Schwermetalltiefengradienten in Profil B2_5a sind daher mehrere Erklärungsansätze möglich. Unterhalb der laminaren Pochsandlagen gehen die Schwermetallgehalte abrupt zurück und steigen zur Profilbasis wieder an. Die sekundären Maxima an der Profilbasis können entweder mit einer bislang nicht bekannten Bergbauperiode zwischen der römischen Kaiserzeit und dem Hochmittelalter (Phase I - IIB¹³) oder aber mit der urkundlich belegten spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Phase (Phase IIIa) in Zusammenhang stehen. Die relativ geringen Gehalte dazwischen wären demnach entweder der spätmittelalterlichen Wüstungsphase (Phase IIc) oder der Rezessionsphase vor, während und nach dem 30jährigen Krieg zuzuordnen (Phase IIIB).

Als dritte Alternative könnten die basalen Maxima auch durch postsedimentäre Anreicherung in Zusammenhang mit anthropogen veränderten, hydrogeologischen bzw. hydrochemischen Verhältnissen (u.a. Senkung des Kluftgrundwasserspiegels, oxidierendes Milieu in tieferen

¹³ Zur Gliederung der Bergbauphasen im Osthartz siehe Kapitel 5.1.2, Tabelle 9

Lagerstättenbereichen) und dem Eindringen saurer und schwermetallreicher Kluftgrundwässer aus den Talflanken in den kiesigen Talaquifer erklärt werden.

In den solifluidalen Hangsedimenten des Profils B2_3 (Abbildung 10) am Talrand treten wie in den entsprechenden Sedimenten des Flußabschnittes B1 ausgeprägte Schwermetalltiefengradienten auf. Mit Ausnahme von Kupfer erreichen alle Metalle ihre maximalen Konzentrationen in den Schichten Vc und VI. Im Vergleich zu den hangenden Schichten Va/b ist die Anreicherung bei den Elementen Blei und Silber besonders stark. Die Kupfergehalte steigen dagegen zunächst kontinuierlich mit der Tiefe an und gehen beim Übergang zu Schicht Vc abrupt zurück. An der Profilbasis bewegen sich die Kupferwerte im Bereich des regionalen Hintergrundes, während Blei, Silber und Zink noch mäßig bis stark angereichert sind. Im Gegensatz zu Flußabschnitt B1 sind die Hangsedimente hier geochemisch nicht durch besonders geringe Eisen- und Mangangehalte zu charakterisieren. Insgesamt ist davon auszugehen, daß die Tiefengradienten auf anthropogenen Einfluß zurückzuführen sind. Die hangenden aPS-Lagen belegen, daß die liegenden Sedimente darunter vor Aufnahme der Erzaufbereitung in Naßpochwerken (Anfang 18. Jh.) abgelagert wurden und daher mindestens 300 Jahre alt sind. Die stark angereicherten Sedimente (Schicht Vc/VI) können der spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Bergbauphase (Phase IIIa) und der Rückgang der Gehalte in den darüberliegenden Schichten Va/b der nachfolgenden Rezessionsphase IIIb zugeordnet werden.

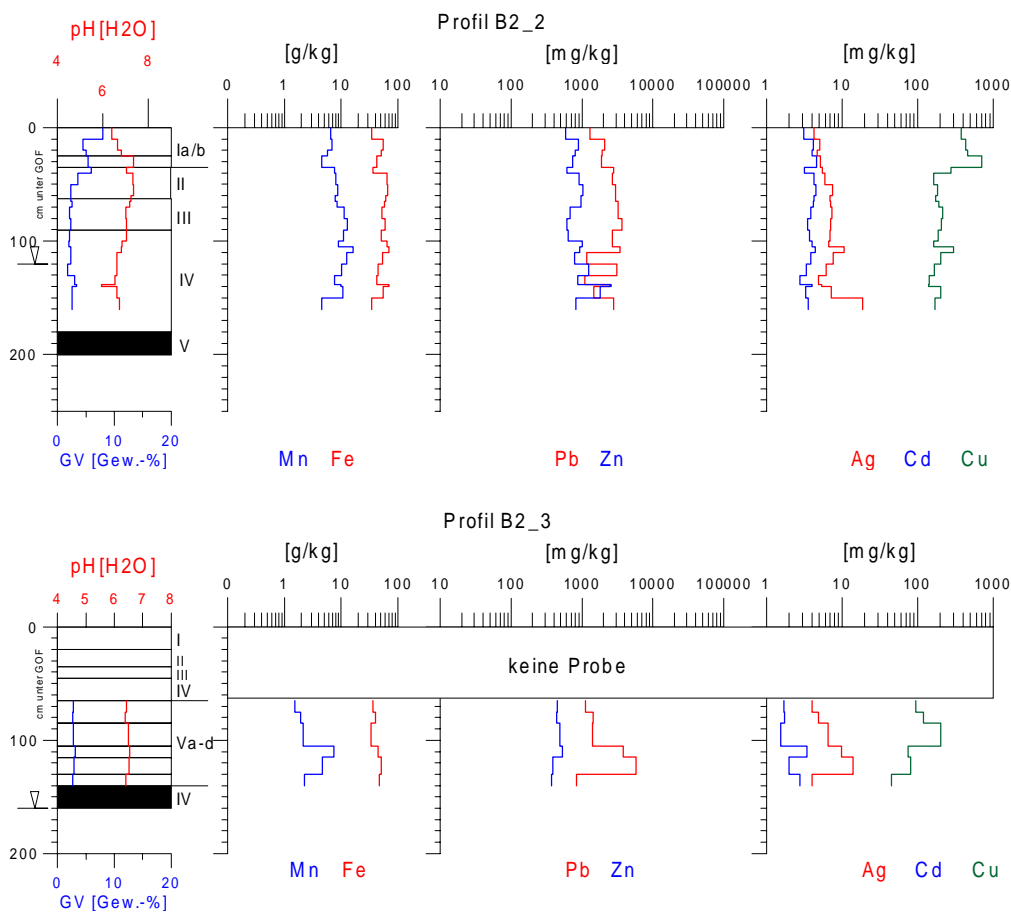


Abbildung 10 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten einer verfüllten Rinne und am Talrand der Harzselke (Flußabschnitt B2)

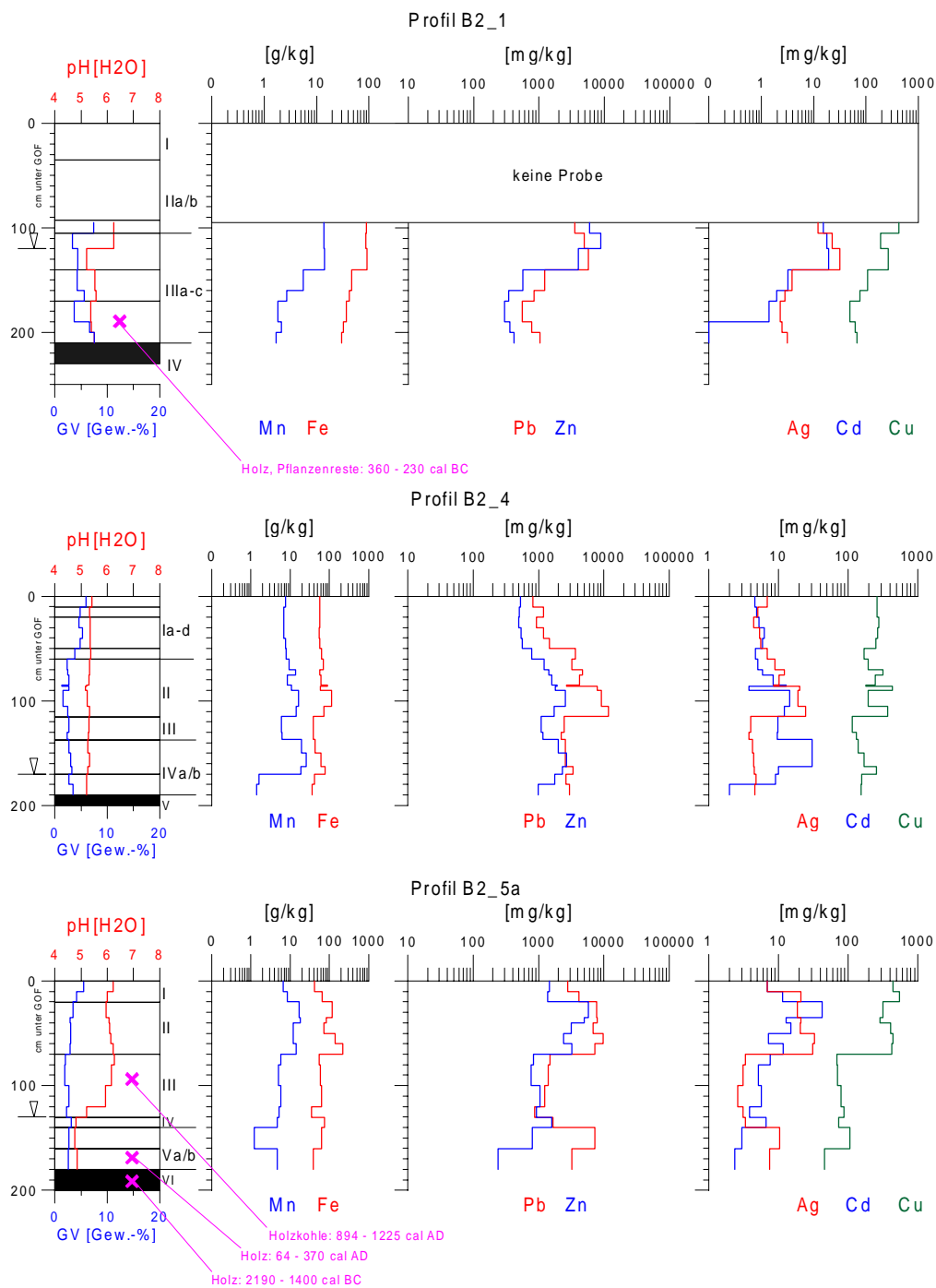


Abbildung 11 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Uferprofilen der Harzselke mit aPS-Horizonten über älteren Auensedimenten (Flußabschnitt B2)

In **Tabelle 28** sind die lithologischen Schichten der Einzelprofile anhand unterschiedlicher Bleigehalte zu geochemischen Einheiten zusammengefaßt worden. Die stärkste geochemische Differenzierung weist dabei Profil B2_4 auf. In Profil B2_2 wurden - wie in Profil B1_5 - die jüngsten Auensedimente wegen der erhöhten Kupfergehalte als eigene geochemische Einheit ausgewiesen, obwohl das Kriterium für die Abgrenzung aufeinander folgender geochemischer Schichten nicht zutrifft. Die Gerinnesedimente (Schicht V) unterscheiden sich in Profil B2_2 geochemisch nicht von den hangenden Auensedimenten. Im Profil B2_1 können die reduzierten Sedimente anhand der Bleigehalte in zwei geochemische Einheiten mit deutlich unterschiedlicher Schwermetallbelastung gegliedert werden.

Tabelle 28 Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B2, Mittelwerte)

Profil B2_1												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
IIb/IIIa	3	88,8	13,9	4742	6261	297	17,5	22,0	5	4	3	4
IIIb/IIIc	5	37,6	2,8	887	396	73	1,4	2,9	4	2	2	3

Profil B2_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I/II	4	46,1	5,9	1796	756	494	4,0	4,8	4	3	4	3
III - V	16	55,3	9,8	2646	1026	193	3,8	7,6	4	3	3	4

Profil B2_3												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
Va/b	3	36,7	1,9	1310	457	139	1,7	5,1	4	3	3	4
Vc/VI	2	48,2	6,0	4794	459	78	2,7	12,0	5	3	2	4
VII	1	47,1	2,3	845	370	45	2,8	4,0	4	3	2	3

Profil B2_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	5	56,7	7,1	1114	526	263	5,4	5,5	4	3	3	4
II	9	69,6	12,0	6452	1680	276	8,3	14,2	5	4	3	4
III - IVb	7	47,8	11,2	2673	1714	161	14,6	4,3	4	4	3	3

Profil B2_5a												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	2	53,4	7,6	3461	1412	495	9,2	14,0	5	4	4	4
II	5	125,7	14,5	7907	3906	377	18,0	24,9	5	4	3	4
III/IV	5	57,2	5,3	1335	1038	76	5,8	3,1	4	4	3	4
Va	1	63,0	1,2	7246	794	107	3,0	10,5	5	3	3	4
Vb	1	39,0	4,7	3231	239	46	2,4	7,6	5	2	2	4

5.2.3.3.2.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden im Flußabschnitt B2 folgende geochemisch-stratigraphischen Einheiten definiert (Tabelle 29, vgl. auch Abbildung 12):

Tabelle 29 Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke im Flußabschnitt B2

A _{B2}	Stark angereicherte, junge, humose Auen-/Gerinnesedimente
B _{B2}	Stark bis extrem angereicherte aPS-Horizonte
C _{B2}	Stark angereicherte, ältere Auensedimente
D _{B2}	Mäßig bis stark angereicherte Hangsedimente

Die statistischen Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen sind in den jungen humosen Auen- und Gerinnesedimenten (A_{B2}) des Flußabschnittes B2 schwach ausgebildet und nur für die Elementgruppen Blei-Zink-Silber ($r = 0,46^{**} - 0,58^{**}$) bzw. Cadmium-Kupfer ($r = 0,50^{**}$) hochsignifikant. Blei, Zink und Silber zeigen gleichzeitig eine gewisse Verbindung zu Mangan ($r = 0,43^{**} - 0,61^{**}$), während Cadmium eher mit Eisen ($r = 0,52^{**}$) korreliert ist. Kupfer weist eine signifikant negative Korrelation zu Mangan auf ($r = -0,39^*$). Eine Anreicherung von Buntmetallen in

feineren Kornfraktionen ist nicht zu beobachten. Blei, Cadmium und Zink weisen sogar signifikante bis hochsignifikante negative Korrelationskoeffizienten ($r = -0,4^{(*)}$ - $-0,5^{(*)}$) zu den Fraktionen $< 20 \mu\text{m}$ bzw. $< 63 \mu\text{m}$ auf.

In den extrem schwermetallreichen und durch Pochsandlagen beeinflussten aPS-Horizonten (\mathbf{B}_{B2}) ist ein statistischer Zusammenhang von Zink zu Blei und Silber nicht mehr erkennbar. Die Korrelationen zwischen Blei und Silber ($r = 0,88^{**}$) bzw. Zink und Cadmium ($r = 0,75^{**}$) sind hier dagegen deutlich höher als in den hangenden Sedimenten. Kupfer zeigt ebenfalls ein abweichendes Verhalten und relativ enge Verbindungen zu Silber ($r = 0,66^{**}$) und Blei ($r = 0,51^{**}$). Mit Ausnahme von Kupfer korrelieren die Buntmetalle, v.a. Cadmium, hochsignifikant mit den Eisen- bzw. Mangangehalten ($r = 0,65^{**} / 0,69^{**}$).

In den älteren Auensedimenten (\mathbf{C}_{B2}) sind die Zusammenhänge zwischen den Buntmetallen am stärksten ausgeprägt. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Blei und Silber ($r = 0,83^{**}$) sowie zwischen Zink und Cadmium ($r = 0,84^{**}$) sind denen in den aPS-Horizonten allerdings sehr ähnlich. Zink ($r = 0,60^{**}$), Kupfer ($0,50^{**}/0,60^{**}$) und Cadmium ($r = 0,72^{**}/0,84^{**}$) weisen hier hochsignifikante statistische Zusammenhänge zu den Eisen- bzw. Mangangehalten auf. Eine Anreicherung von Buntmetallen in feineren Fraktionen ist wie in den anderen stratigraphischen Sedimenttypen nicht festzustellen.

5.2.3.3.2.5 Zusammenfassung

Der Flußabschnitt B2 ist sowohl sedimentologisch als auch geochemisch stärker durch historischen Buntmetallbergbau geprägt als der Flußabschnitt B1.

In **Abbildung 12** wird ersichtlich, daß sich die durch Pochsand beeinflussten Sedimente im Flußabschnitt B2 geochemisch durch hohe Blei-, Zink- und Mangangehalte sehr deutlich von jüngeren Auen- und Gerinnesedimenten bzw. älteren Auensedimenten sowie den Hangsedimenten unterscheiden.

Die Ergebnisse der zeitlichen Einordnung und Herkunft humoser Auensedimente decken sich weitgehend mit den Befunden aus dem Flußabschnitt B1. Im Unterschied dazu sind die Schwermetallgehalte jedoch bedeutend höher. Das Alter der jüngsten Auensedimente kann aufgrund der hohen Kupfergehalte auf maximal 110 Jahre eingegrenzt werden.

Die maximalen Schwermetallgehalte stehen eindeutig in Zusammenhang mit dem Betrieb von Pochwerken. Dabei ist zu beachten, daß das Anhaltische Selkeepochwerk bis Anfang des 20. Jahrhunderts genutzt wurde, während in Straßberg die Aufbereitung spätestens zur Wende 18./19. Jahrhundert eingestellt wurde. Dies bedeutet, daß flußabwärts des Selkeepochwerkes der Eintrag schwermetallreicher Abprodukte aus der gravimetrischen Erzaufbereitung ca. 100 Jahre länger andauerte als weiter flußaufwärts.

Die Schwermetalltiefengradienten in älteren Auensedimenten unterhalb der Pochsandlagen sind wegen der problematischen Deutung von Radiokarbonaten in fluviatilen Sedimenten nicht eindeutig bestimmten Bergbauphasen zuzuordnen.

Die maximalen Schwermetallgehalte in talrandlichen, solifluidalen Hangsedimenten können mit der spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Bergbauphase korreliert werden. In den entsprechenden Sedimenten des Flußabschnittes B1 (Profil B1_4) wurde aufgrund von Radiokarbonaten eine Verbindung zu hochmittelalterlichem Bergbau postuliert.

Unabhängig davon sprechen die Befunde insgesamt dafür, daß bereits weit vor der Blütephase im 18. Jahrhundert um Straßberg intensiver Bergbau umging, der auch eine merkliche Belastung der Umwelt mit Schwermetallen zur Folge hatte.

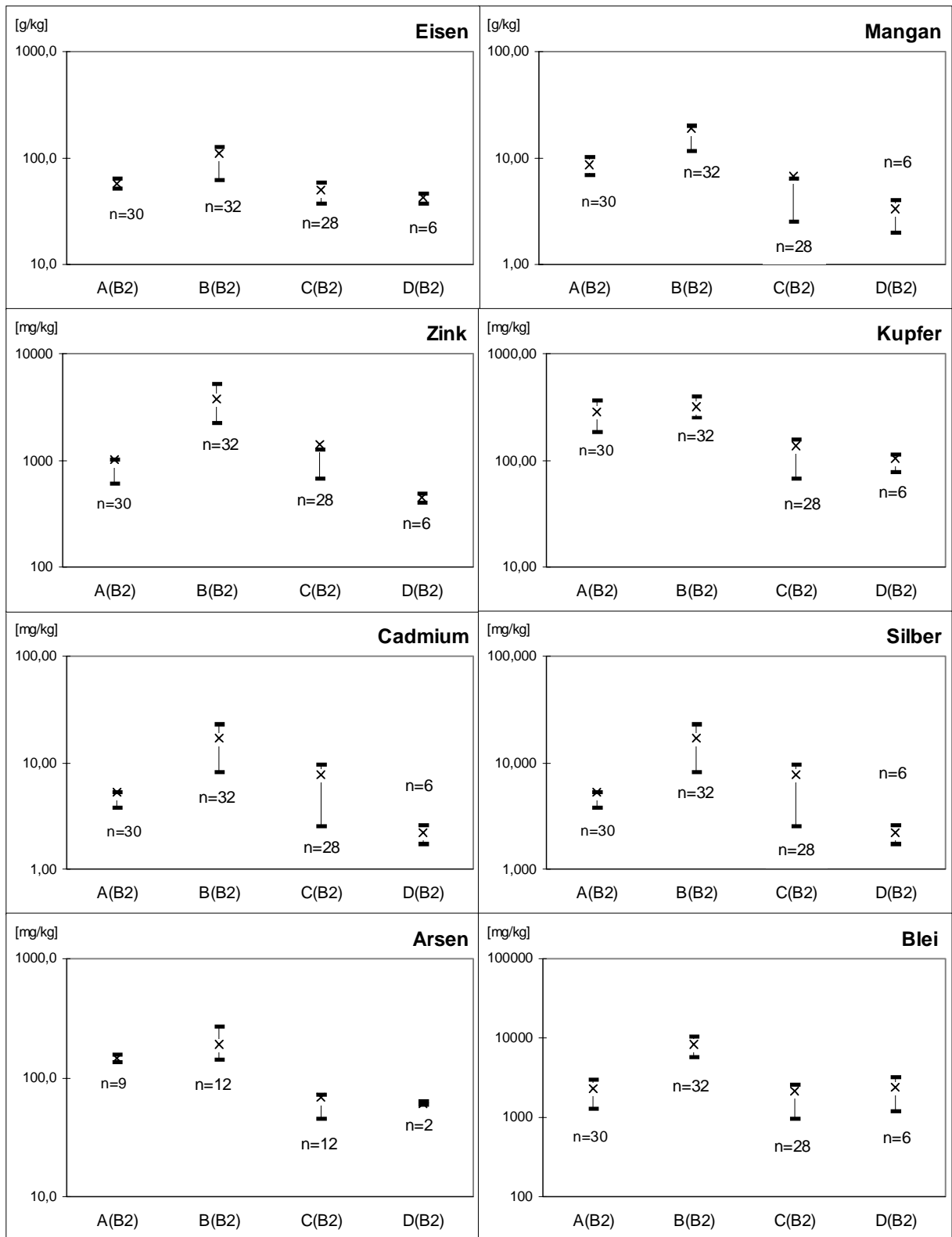


Abbildung 12 Mittelwerte (x) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B2

5.2.3.3.3 Durchbruchstal und Unterlauf (Flußabschnitte C, D und E)

5.2.3.3.3.1 Lokale Schwermetallquellen

Im Durchbruchstal der Selke zwischen Alexisbad und Mägdesprung befinden sich außer einigen Abbaubetrieben und Lösungsstollen keine Standorte historischer Montanbetriebe. In und um Mägdesprung liegen zwei ältere Silberhütten (Standort-Nr.: 42 und 44, **Karte 6b/c**) als Vorgänger der zentralen anhaltischen Verhüttungsanlagen in Silberhütte (seit 1692) und die Eisenhütte Mägdesprung (Standort-Nr. 44, **Karte 6c/d**) mit mehreren eisenveredelnden und -verarbeitenden Betrieben. Der Name „Neue Hütte“ (Standort-Nr.: 42) für die älteste bekannte Silberhütte bei Mägdesprung weist darauf hin, daß hier bereits vor 1563 Buntmetalle verhüttet wurden. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurden bis ca. 1840 in der Mägdesprunger Eisenhütte auch größere Mengen Erze (bis zu 5.000 Ztr/a) aus dem benachbarten Tilkeröder Revier (Roteisenstein/Eisenglanz, Karbonspäte, Eisenspat) verarbeitet. Die Mineralisationen des Tilkeröder Reviers, das sich im Einzugsgebiet der Eine befindet, heben sich wegen ihrer geochemisch außergewöhnlichen Elementkombinationen und wegen der Gold- und Selenidführung von den sonstigen Lagerstätten in der Umgebung des Ramberges ab. In bezug auf die Schwermetallbelastung der Auensedimente flußabwärts von Mägdesprung ist besonders der ungewöhnlich niedrige Blei-, Kupfer- und Zinkgehalt im Eisenglanz zu bemerken (*MOHR 1993, 293f*).

Mit dem Schiebecksbach werden zur Zeit Deponiewässer der Mülldeponie Harzgerode und Lösungswässer des Herzog-Alexis-Stollens (Abbaubetrieb 1830 - 1887) in die Selke eingeleitet. Nach der Mündung des Schiebecksbaches, d.h. im Unterlauf der Harzselke (Flußabschnitt D), treten im Gegensatz zum Abschnitt C vereinzelt mäßige, geochemische Anomalien auf. Als lokale, anthropogene Schwermetallquelle ist hier nur noch die ehemalige Kupfer-Silber-Hütte kurz nach der Selkemühle (Betriebszeit vor 1311 bis spätestens 1562, Standort-Nr.: 59, **Karte 6a**) zu nennen. Da sich dieser alte Hüttenstandort in relativ großer Entfernung zu den einzigen abbauwürdigen Kupfervorkommen im Einzugsgebiet der Selke (Ehrigsburger Gang im oberen Friedenstal) befindet, liegt die Vermutung nahe, daß hier und in der Hütte am Clusenberg im Einzugsgebiet der Eine (Standort-Nr. 63, **Karte 6b**), silberhaltige Kupfererze aus dem benachbarten Mansfelder Revier oder sogar Rammelsberger Erze aus dem Westharz verarbeitet wurden.

Der Selkestollen (zwischen Talmühle und Meisdorf) und der zugehörige unbedeutende Steinkohlenbergbau (Abbaubetrieb 1802 - 1805, *OELCKE 1973*) im indirekten Harzeinzugsgebiet der Selke südlich von Ballenstedt sind als potentielle, historische Schwermetallgehalte im Flußabschnitt E zu vernachlässigen.

5.2.3.3.3.2 Beschreibung der analysierten Profile

Die Profile C_1 und C_2 befinden sich kurz vor der Mündung des Schiebecksbaches auf der linken Talseite. Nach dem Durchbruch durch die Tanner Grauwacke verbreitert sich hier der Talboden der Harzselke wieder auf ca. 50 m und ermöglicht damit die Ablagerung von fluviatilen Talsedimenten. Der Talboden ist morphologisch durch eine etwa 1 m hohe Terrasse gegliedert.

Auf der Terrasse (Profil C_1) ist ein mehrgliedriger Braunerde-Pseudogley über Hangschutt entwickelt. Aufgrund der Dichte und dem Auftreten von kantigen Skelettkomponenten im unteren Profilabschnitt ist die liegende Sedimentschicht als solifluidale Bildung anzusehen.

Das Profil C_2 besteht aus jungen humosen Auensedimenten und liegt in einer Mulde am Fuß der Terrasse. Das Profil ist lithostratigraphisch homogen aufgebaut (Su4) und im Gelände nur anhand des undeutlich ausgeprägten, streifigen aPS-Horizontes (Schicht Ib) zu gliedern.

Das Uferprofil D_1 liegt kurz oberhalb des IV. (Friedrichs-)Hammers am rechten Selkeufer und besteht aus schwach schluffig-sandigen, humosen Auensedimenten (Schicht I) über schluffig-lehmigem Sand (Slu) mit welligen, teilweise rostroten Sandlinsen. Die Auensedimente wurden bei der Geländeansprache zweigeteilt, da sie im unteren Abschnitt mit schwarzen Pochsandlagen verzahnt sind (Schicht Ib).

Die Profile D_2 bis D_4 sind Teile einer Catena unmittelbar östlich der Selkemühle vom linken Selkeufer zur Talmitte. Die Profile D_2 und D_3 befinden sich in 10 bzw. 20 m Entfernung vom Ufer, wobei die

Geländeoberkante von Profil D_3 ca. 20 cm über der von Profil D_2 liegt. Profil D_4 ist durch eine alte Rinne von den ufernahen Profilen getrennt und liegt in der Auenmitte, ca. 110 m vom Ufer entfernt

Die Profile bestehen im Hangenden aus stark schluffig-sandigen, humosen Auensedimenten. Ihre Mächtigkeit nimmt von D_2 zu D_4, d.h. mit größer werdender Uferentfernung bzw. mit steigendem Talbodenniveau, zu. Blaue Silikatschlacken sind in Profil D_3 und D_4 nur vereinzelt im Oberboden zu finden, während das Profil D_2 über die gesamte Tiefe hohe Schlackenanteile aufweist. Im Gegensatz zu den bisherigen humosen Auensedimenten der Selke, in denen die Grobschluff-Fraktion in der Regel ein deutliches sekundäres Maximum bildet, ist in den Profilen D_3 und D_4 der Anteil der Mittelschluff-Fraktion höher.

Im Liegenden ergeben sich deutliche Unterschiede im Profilaufbau. Beim ufernahen Profil D_2 befindet sich unterhalb der humosen Auensedimente eine dunkle, sandige Schicht mit sehr hohen Schlackenanteilen. Nach oben und unten ist diese Sandschicht durch ein dünnes, auffällig ockerfarbenes Feinsandband begrenzt. In der liegenden Kiesschicht sind ebenfalls zahlreiche blaue Silikatschlacken aus der Eisenverhüttung in Mägdesprung und Holzkohlestücke zu finden.

Die Profil D_3 und D_4 weisen im Profilaufbau gewisse Ähnlichkeit zum Terrassenprofil C_1 auf. Unter den jungen, humosen Auensedimenten bilden ebenfalls fleckige, deutlich dichtere und lehmigere (Slu) Sedimente (Schicht II/III) das Liegende. Im Gegensatz zu den Profilen D_4 und C_1 liegt das Profil D_3 nicht über Hangschutt, sondern über Kiesen.

Das Profil E1 ist durch eine Kiesschicht geteilt und weist über die gesamte Tiefe blaue Silikatschlacken auf. Die Sedimente können daher nicht mehr als maximal 350 Jahre alt sein. Die Kiesschicht könnte demnach mit der zweiten ausgeprägten niederschlagsreichen Klimaphase in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts (*LAMB 1994, PFISTER 1988*) in Verbindung stehen. Aufgrund der übereinstimmenden lithostratigraphischen Stellung (Lage an der Basis im Liegenden der humosen Auensedimente) trifft dies auch für die Kieslagen in Flußabschnitt B1 (z.B.: Profil B1_2, B1_5) zu. Die Radiokarbondatierung (1408 cal AD) täuscht bei Profil E_1 ein zu hohes Alter der Sedimente vor.

Die jüngste Sedimentlage (Schicht I) ist dem letzten großen Hochwasser im Mai 1994 zuzuordnen und unterscheidet sich wegen der geringen Lagerungsdichte und dem niedrigen Gehalt an organischer Substanz vom darunter liegenden faM-Ah-Horizont (Schicht IIa). Zwischen 15 und 25 cm Tiefe sind innerhalb der humosen Auensedimente sekundäre Pochsandbänder (Schicht IIb) erkennbar.

Die ufernahen Profile E_2 und E_3 kurz nach der Talmühle in der Nähe der Pegelstation Meisdorf sind geringmächtig und bestehen aus jungen, humosen Auensedimenten über Kiesen. An der Oberfläche von Profil E_3 liegen ähnlich wie bei Profil E_1 sehr junge, lockere Hochflutsedimente des Hochwassers im Mai 1994 über einem faAh-M-Horizont.

Die stark fleckigen Sedimente des talrandlich gelegenen Profils E_4 unterscheiden sich mit Ausnahme des geringeren Sandgehaltes lithologisch kaum von den humosen Auensedimenten der Profile E_1 bis E_3. Die größere Lagerungsdichte und die Radiokarbondatierung von Holzkohlen an der Basis (1248 cal AD) lassen vermuten, daß es sich hier um ältere Sedimente handelt. Dies wird durch Übersichtsbohrungen im Auenquerschnitt bestätigt. Jenseits des Mühlgrabens, der hier die Selkeau in Längsrichtung durchquert, werden die fleckigen (älteren) Auensedimente von jungen, humosen Auensedimenten überlagert.

In **Tabelle 30** und **Tabelle 31** sind pH(H₂O)-Werte und ausgewählte sedimentologische Parameter typischer Sedimente in den Flußabschnitten C/D und E dargestellt. Im Flußabschnitt C/D stellt das Uferprofil D1 profilmorphologisch wegen den primären Pochsanden in Schicht I und den welligen Sandlagen in Schicht II einen Sonderfall dar. In der Schicht II liegen die pH(H₂O)-Werte deutlich über 7,0, was auf höhere Anteile an basischen Verhüttungszuschlägen aus der ehemaligen Mägdesprunger Eisenhütte (bis 1875) zurückzuführen ist. Die hangenden humosen Auensedimente sind daher wahrscheinlich sehr jung und unterscheiden sich lithologisch durch insgesamt höhere Sandgehalte und insbesondere durch deutlich niedrigere Grobsand- und Tonanteile sowie gleichzeitig sehr hohe Feinsandgehalte (fS: > 30 Vol.-%) von den übrigen humosen Auensedimente der restlichen Profile (fS: max. 15 Vol.-%).

In den anderen Profilen unterscheiden sich die humosen Auensedimente von den liegenden Hangsedimenten durch höhere Gehalte an organischer Substanz und lithologisch durch höhere Grobschluff- sowie geringere Tongehalte. Die pH(H₂O)-Werte gehen wie im Flußabschnitt B zunächst kurz unterhalb der Geländeoberfläche zurück und steigen oberhalb der Gr-Horizontes mit zunehmender Tiefe wieder an.

Tabelle 30 Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt C/D anhand ausgewählter Parameter (Median, 10./90. Perzentil in Klammern)

	pH-Wert [Wasser]	organische Substanz [Gew.-%]	Grobsand	Grobschluff [Vol.-%]	Ton
Profil D_1: I aGo-M	6,70 (6,08 - 7,34)	4,4 (3,3 - 6,5)	16 (8 -17)	15 (14 - 16)	2,2 (1,9 - 2,4)
Profil D_1: II aGo	7,38 (6,90 - 7,72)	2,5 (1,6 - 3,0)	16 (10 -19)	17 (16 - 18)	3,8 (2,9 - 4,1)
humose Auensedimente	6,86 (6,24 - 7,11)	4,3 (2,0 - 8,8)	21 (11 -26)	15 (12 - 29)	6,1 (4,6 - 7,4)
Hangsedimente	6,78 (6,02 - 7,10)	2,6 (2,3 - 3,6)	20 (9 -26)	11 (10 - 13)	8,3 (6,8 - 9,2)

Tabelle 31 Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt E anhand ausgewählter Parameter (Median, 10./90. Perzentil in Klammern)

	pH-Wert [Wasser]	organische Substanz [Gew.-%]	Grobsand	Grobschluff [Vol.-%]	Ton
humose Auensedimente	6,30 (5,58 - 6,91)	3,8 (2,5 - 6,4)	19 (10 -25)	16 (15 - 18)	2,8 (2,1 - 3,7)
ältere Auensedimente (Profil E_4)	6,71 (5,75 - 7,20)	3,1 (2,7 - 6,1)	17 (11 -15)	18 (16 - 23)	2,6 (2,1 - 3,4)

5.2.3.3.3 Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte

Aufgrund der räumlichen Verbreitung und der geringen Dichte natürlicher (geochemische Anomalien, Lagerstätten) und anthropogener Schwermetallquellen (Montanwirtschaft) spielen in den Flußabschnitten D und E direkte Schwermetalleinträge aus den entsprechenden Teileinzugsgebieten nur eine untergeordnete Rolle. Die Profile C_1 und C_2 sowie die Profile D_1 bis D_4 repräsentieren daher die Belastungssituation im oberen und die Profile E_1 bis E_4 im unteren sekundären Dispersionshof der Harzselke.

Im Gegensatz zu den Flußabschnitten B1 und B2 treten mit Ausnahme von Profil D_1 die maximalen Schwermetallgehalte in den oberen Profilabschnitten humoser Auensedimente auf. Da zusätzliche lokale Schwermetalleinträge durch Montanbetriebe um Mägdesprung (Eisenverhüttung, -veredelung, -verarbeitung) zu vernachlässigen sind, ist dies auf Verlagerung belasteter Sedimente aus flußaufwärtigen Flußabschnitten in jüngerer Zeit zurückzuführen.

Im **Flußabschnitt C/D** variieren die Schwermetallgehalte in den jungen, humosen Auensedimenten in Abhängigkeit von der relativen Höhe und der Entfernung vom rezenten Gerinnebett der Selke. Extrem hohe Werte werden in tiefer liegenden, ufernahen Bereichen und beim Auftreten von sekundär verlagerten Pochsanden innerhalb der jungen humosen Auensedimente erreicht.

Während bei den jungen Auensedimenten die Überschwemmungshäufigkeit und/oder die gravimetrische Sortierung für die unterschiedlichen Schwermetallgehalte im Talquerschnitt verantwortlich sind, spielen in den tieferen Schichten das ursprüngliche Talbodenrelief und die allgemeine geomorphologische Entwicklung des Talbodens die entscheidende Rolle.

In Schicht II des Profils D_1 (**Abbildung 13**) werden im Liegenden der humosen Auensedimente die höchsten Eisen-, Mangan-, Blei- und Cadmiumgehalte in Talsedimenten der Harzselke erreicht. Als mögliche Ursachen kommen Mobilisierung besonders schwermetallreicher Sedimente (aPS-Horizonte) aus dem Flußabschnitt B und gravimetrische Anreicherung feinerer Kornfraktionen in der Zeit vor der Ablagerung lößbürtiger, humoser Auensedimente in Frage.

Die Hangsedimente im Liegenden der Profile C_1 (Schicht III, **Abbildung 13**) und D_4 (Schicht II, **Abbildung 14**) weisen niedrige Blei- und Kupfergehalte auf, die nur geringfügig über den Werten des jeweiligen regionalen Hintergrundes liegen. Die Silberkonzentrationen unterschreiten hier sogar die Nachweisgrenze. Aufgrund der niedrigen und konstanten Schwermetallgehalte sind die liegenden Sedimente der Profile C_1 und D_4 als anthropogen unbeeinflusst einzustufen und müssen daher vor dem Beginn der Bergbauaktivitäten abgelagert worden sein. Die uferfernen schwermetallarmen liegenden Sedimente sind als Reste einer alten Talbodenoberfläche anzusehen, die in Folge mittelalterlicher Bergbauaktivitäten zum Großteil erodiert wurde und seit der Neuzeit mit schwermetallreichen Sedimenten überdeckt wird.

Als mögliche Ursache für die Terrassierung des Talbodens in diesem Flußabschnitt kann die Tieferlegung des Gerinnebettes als Folge lokaler Bergbauaktivitäten im Zusammenwirken mit starken hygrischen Klimaschwankungen des Spätmittelalters angesehen werden. In Mitteleuropa sind in dieser Zeit Schluchtreißen in Talauen und an Hängen sowie extreme flächenhafte Bodenerosion nachgewiesen (*BORK & BORK 1987, LAMB 1994, PFISTER 1988*). Im Einzugsgebiet der Harzselke ist gleichzeitig mit einer Intensivierung der Bergbauaktivitäten zu rechnen, in deren Folge die Degradation der Wälder zu einer zusätzlichen Verstärkung des Oberflächenabflusses und der Tiefenerosion beigetragen haben könnte.

Seit dem 16. Jahrhundert ist in Bergbaugebieten Mitteleuropas dagegen zunehmende Sedimentation in den Tälern zu erwarten. Aufgrund der geänderten Erzbasis (Umstieg von Reich- auf Massenerze) steigt einerseits die Produktion technogener Sedimente (Pochsande, Schlacken) stark an, andererseits wird das Abflußregime vieler Flüsse durch Speicherung in Kunstteichen verändert und die Abflußmengen dadurch insgesamt reduziert. Die Folgen sind allgemein niedrigere fluviale Transportkapazitäten und im Gegensatz zum Mittelalter zunehmende Ablagerung von schwermetallreichen Sedimenten. In Extremfällen kann es dabei zur Ausbildung von flußabwärts wandernden *sediment slugs* kommen. Dabei wird innerhalb kurzer Zeit das Gerinnebett angehoben (engl.: *aggradation*) und das gesamte Talbodenrelief bzw. die Flußmorphologie verändert. Nach Beendigung der Bergbauaktivitäten stellt sich das alte Gleichgewicht zwischen Abfluß und Sedimentfracht wieder ein. In Folge der verstärkten Tiefenerosion (engl.: *degradation*) bilden sich junge Terrassen (**vgl. auch Kapitel 2.2.2**). Im Einzugsgebiet der Harzselke stammen die ältesten Kunstgräben und -teiche aus dem frühen 17. Jahrhundert (Rödelbachtal, *KRAUSE 1967*). Eine deutliche Zunahme der Sedimentfracht in Folge des Betriebes von Naßpochwerken ist in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu erwarten.

Die deutlich niedrigeren Schwermetallkonzentrationen in Auensedimenten unterhalb der sekundären Pochsandbänder in Profil C_2 im Vergleich zu den lithostratigraphisch entsprechenden Sedimenten des Uferprofils D_1 können durch die besonderen Sedimentationsbedingungen erklärt werden. Der Standort von Profil C_2 ist durch einen ca. 1 m hohen Straßendamm, der schon in alten topographischen Karten des 19. Jahrhunderts verzeichnet ist, vom Gerinnebett der Selke getrennt. Dies bedeutet, daß dieser Standort seit etwa hundert Jahren nur bei starken Hochwasserereignissen überschwemmt wird. Bei größeren Abflußmengen nimmt aber die Schwermetallkonzentration der Sedimentfracht aufgrund des Verdünnungseffektes durch höhere Anteile unbelasteter Sedimente aus dem Einzugsgebiet ab. Dabei ist zu bedenken, daß das Ausmaß der Verdünnung wiederum abhängig ist von den durchschnittlichen Schwermetallgehalten der Oberböden im Einzugsgebiet, deren Erosionsanfälligkeit sowie von der Art der Landnutzung (Ackerbau, Weidewirtschaft, Wald).

Anhand der Profile D_2 (nicht graphisch dargestellt), D_3 und D_4 (**Abbildung 14**) kurz vor Selkemühle sollte abgeschätzt werden, inwieweit die Profilmorphologie und die Schwermetallgehalte in Abhängigkeit von der Uferentfernung variieren. Als Ergebnis ist festzustellen, daß sowohl in den hangenden, humosen Auensedimenten als auch in den liegenden, älteren Sedimenten die Schwermetallgehalte mit Annäherung an das rezente Gerinnebett der Selke zunehmen. Unmittelbar am Ufer (Profil D_2) sind die Bleigehalte in den humosen Auensedimenten im Durchschnitt um ca. das fünffache höher als in 20 bzw. 110 m Entfernung. Metallarme Schichten im Liegenden der humosen Auensedimente treten hier nicht auf. Während in Profil D_4 (110 m Uferentfernung) die Konzentrationen des Schichtzeigers Blei beim Übergang zu Schicht II abrupt abnimmt und innerhalb der Schicht II konstant bleibt, gehen im Profil D_3 (20 m Uferentfernung) unabhängig von der lithologischen Schichtung die Gehalte kontinuierlich mit zunehmender Tiefe zurück. Die minimalen Blei- und Silbergehalte an der Profilbasis liegen über denen des Profils D_4.

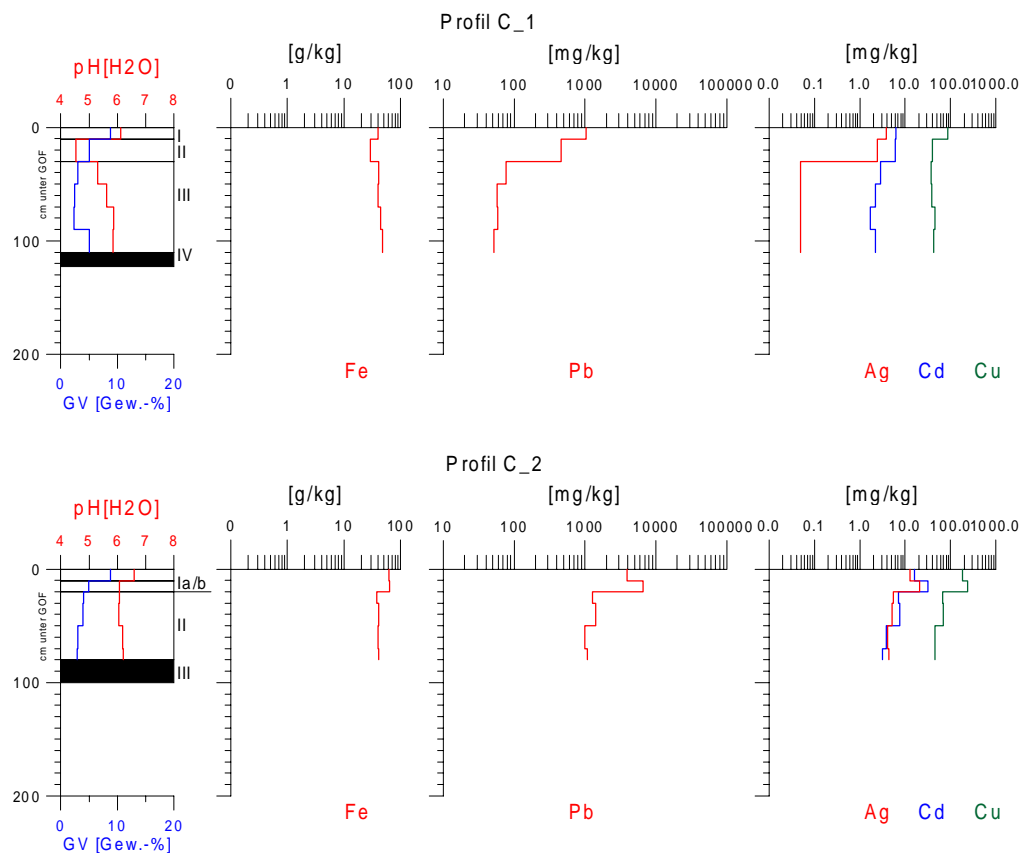


Abbildung 13 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt C, kurz nach Mägdesprung)

Die hohen Blei- und Silbergehalte in den liegenden, verdichteten Sedimenten von Profil D_3 könnten mit sekundärer fluviatiler Verlagerung älterer Hangsedimente während früher Bergbauphasen erklärt werden.

Die ufernahen, humosen Auensedimente im **Flußabschnitt E** (**Abbildung 15**) sind insgesamt deutlich weniger mit Schwermetallen angereichert als die vergleichbaren Sedimente zwischen Mägdesprung und Selkemühle. Die schwermetallreichen Pochsandbänder in den humosen Auensedimenten von Profil E_1 sind auch durch sekundäre Verlagerung von Pochsanden aus dem Flußabschnitt B2 zu erklären und zeichnen sich erwartungsgemäß durch maximale Gehalte an Blei, Zink, Cadmium und Kupfer aus.

Wie schon in Profilen der Flußabschnitte B1 und B2 weisen auch hier die obersten Abschnitte der jungen Auensedimente hohe Kupfergehalte mit einer überdurchschnittlichen Anreicherung gegenüber Blei, Silber

und Cadmium auf. Die niedrigeren Schwermetallgehalte der rezenten, lockeren Hochflutsedimente der Profile E_1 und E_3 (Hochwasser im Mai 1994) belegen, daß die fluviale Schwermetalldispersion in jüngster Zeit geringer geworden ist. Dies kann einerseits mit geringerer Ufererosion und andererseits mit Verdünnung durch zunehmende Erosion lößbürtiger Oberböden in Zusammenhang mit ackerbaulichen Aktivitäten auf der Hochfläche erklärt werden.

Die Schwermetallgehalte, -tiefengradienten und Elementverhältnisse der Profile E_2 und E_3 verhalten sich ähnlich wie in den humosen Auensedimenten von Profil E_1. Die Maxima sind jedoch nicht so hoch, was auf das Fehlen von sekundären Pochsandbändern zurückzuführen ist. Das Profil E_2 liegt an einem etwas erhöhten Standort am rechten Selkeufer. Die Schwermetallgehalte und -tiefengradienten entsprechen hier den Verhältnissen in der unteren Hälfte (Schicht IIc) von Profil E_3. Die lockeren, jüngsten Hochflutsedimente mit ihren vergleichsweise niedrigen Schwermetallgehalten fehlen hier.

Die älteren, talrandnahen Auensedimente (Profil E_4) heben sich geochemisch durch geringere, nach oben zunehmende Blei-, Cadmium- und Silbergehalte von den jüngeren Auensedimenten ab. Insgesamt liegen die Konzentrationen jedoch noch deutlich über dem jeweiligen regionalen Hintergrundwert und sind schwach (Zink, Kupfer) bis mäßig (Blei, Silber) angereichert. Die stratigraphische Stellung im Liegenden humoser Auensedimente, die Radiokarbondatierung und die Schwermetallgehalte lassen einen Zusammenhang mit den älteren Auensedimenten der Profil B2_4 und B2_5a, und zu hochmittelalterlichen Bergbauaktivitäten vermuten.

Im Vergleich zum am stärksten belasteten Flußabschnitt B2 sind die Schwermetallgehalte in den jungen humosen Auensedimenten des Flußabschnittes E nur wenig verändert (**Tabelle 32**).

Tabelle 32 Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) in jungen Auensedimenten des Flußabschnittes E im Vergleich zum Flußabschnitt B2

Sedimenttyp	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag
junge Auensedimente	1,1	2,2	8,2	4,0	3,7	1,8	3,7
aPS*-Horizonte	2,0	3,3	6,0	2,7	3,2	4,6	4,6

Die geochemischen Gliederungen der Profile sind in **Tabelle 33** und **Tabelle 34** dargestellt. Im Flußabschnitt C/D hebt sich das Uferprofil D_1 wegen der sehr hohen und nach unten zunehmenden Schwermetallgehalte von den anderen Profilen ab. Die Profile C_1 und D_4 können aufgrund der ähnlichen Bleitiefengradienten geochemisch zusammengefaßt werden. Über den schwach angereicherten liegenden Hangsedimenten ist jeweils eine Übergangsschicht ausgebildet, die im Terrassenprofil C_1 dem Sw-Bv-Horizont (Schicht II) entspricht. Die Profile C_2 und D_2 können geochemisch nicht differenziert werden. Im Flußabschnitt E ist das Profil E_1 geochemisch stark gegliedert. Die jüngsten Hochflutsedimente (Profil E_1, E_3) heben sich dabei durch deutlich niedrigere Bleigehalte von den darunter liegenden Auensedimenten ab.

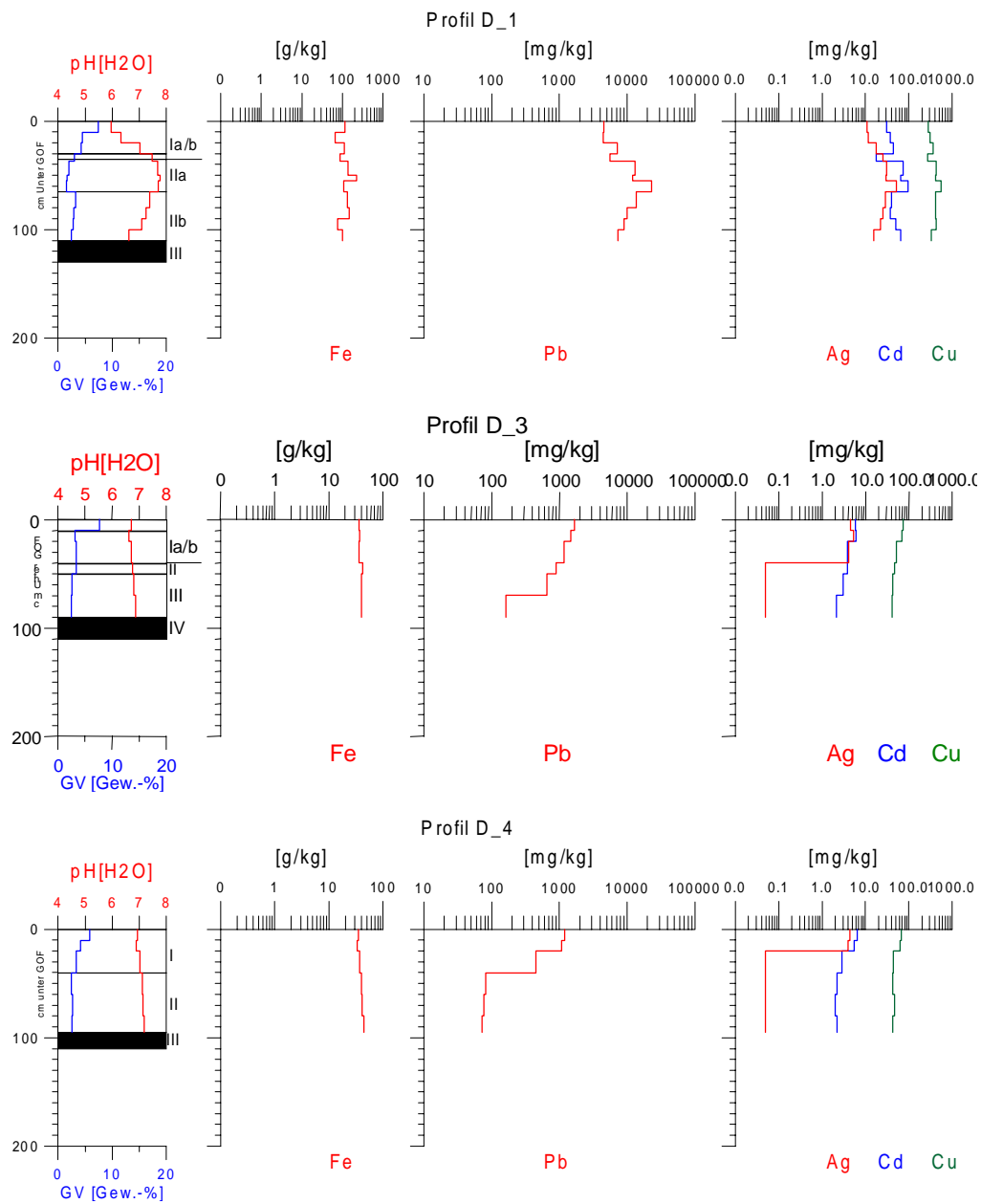


Abbildung 14 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt D, kurz vor Selkemühle)

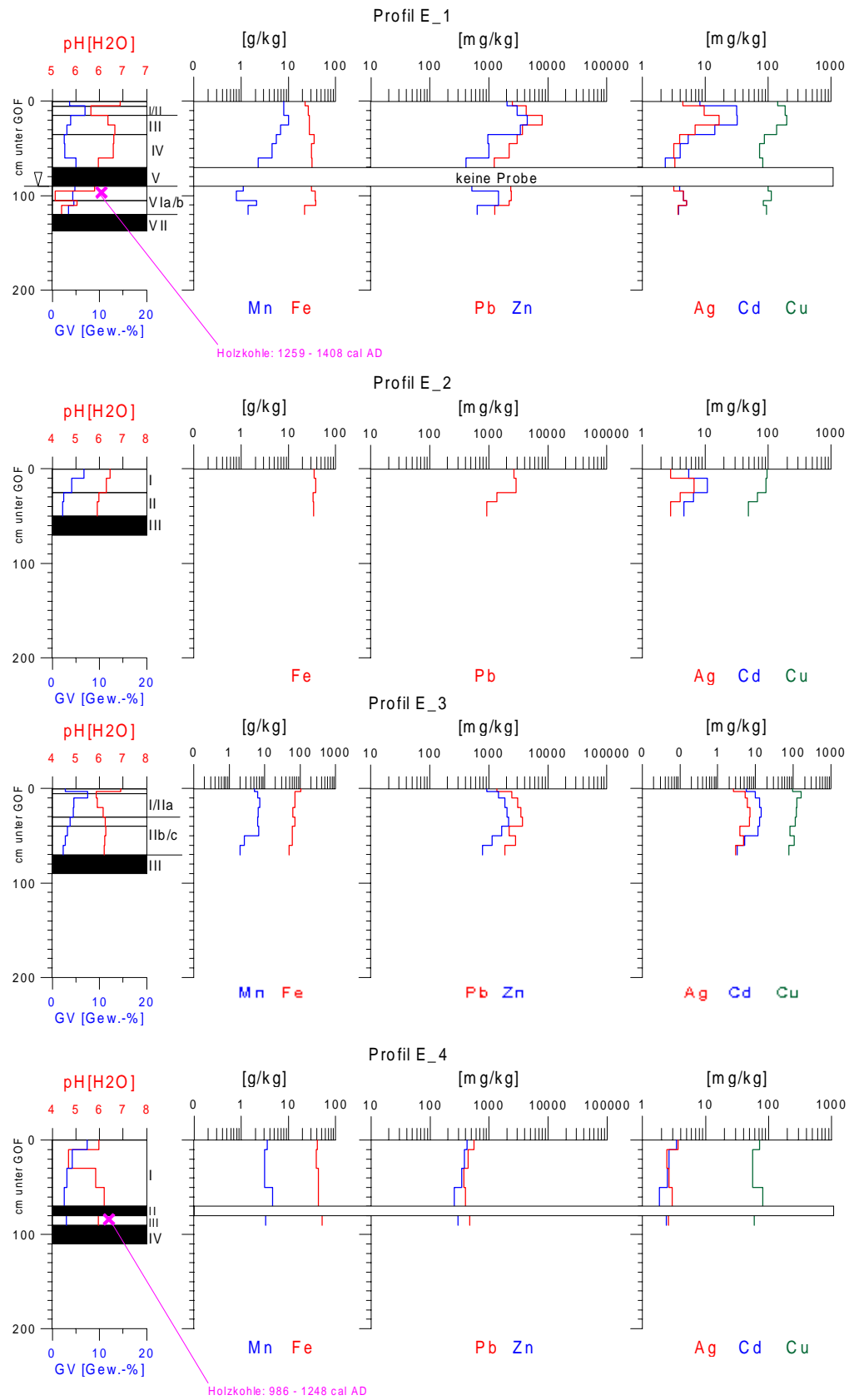


Abbildung 15 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt E)

Tabelle 33 *Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt C/D, Mittelwerte)*

Profil D_1												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	4	93,8	17,0	5458	4263	307	32,6	16,4	5	4	3	4
II	3	131,1	18,7	12680	5872	428	61,5	29,3	5	4	4	5

Profil C_1 und D_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	3	35,7	n.b.	1108	n.b.	73	6,1	4,1	4	n.b.	2	3
Übergang	2	33,1	n.b.	457	n.b.	42	4,5	1,2	3	n.b.	2	2
II	7	42,4	n.b.	68	n.b.	42	2,2	< 0,1	2	n.b.	2	1

Profil D_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	5	45,6	n.b.	5564	n.b.	164	11,9	12,3	5	n.b.	3	4

Tabelle 34 *Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt E, Mittelwerte)*

Profil E_1												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	1	22,4	8,0	2522	2042	142	8,3	4,4	4	4	3	3
II	2	27,3	9,1	6125	3788	193	31,9	13,2	5	4	3	4
IIIa/b	3	31,4	5,6	2991	1788	99	7,9	4,7	4	4	2	3
IIIc	1	31,6	2,3	1243	414	82	2,3	3,3	4	3	2	3
V/VI (bis 110 cm)	3	35,0	1,3	2305	1156	99	4,5	4,3	4	4	2	3
VI (ab 110 cm)	1	21,9	1,4	1262	629	94	3,8	3,7	4	3	2	3

Profil E_2												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	2	36,5	n.b.	2783	n.b.	94	8,2	4,7	4	n.b.	2	3
II	2	34,1	n.b.	1146	n.b.	58	5,6	3,4	4	n.b.	2	3

Profil E_3												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I	1	105,0	5,1	1369	923	97	5,8	2,6	4	3	2	3
IIa/b	6	66,3	6,0	2971	1720	118	11,1	5,7	4	4	3	4
IIc	1	49,0	2,0	1879	780	76	3,3	3,0	4	3	2	3

Profil E_4												
lithologische Schichtung	n	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	Ag	Anreicherungs-klasse			
		[g/kg]		[mg/kg]						Pb	Zn	Cu
I/II	5	43,4	3,5	447	339	65	2,6	2,9	3	2	2	3

5.2.3.3.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Standorte kurz vor Meisdorf (E_1 bis E_4) und zwischen Mägdesprung und Selkemühle (C_1, C_2, D_1 bis D_4) getrennt voneinander analysiert. Aufgrund der unterschiedlichen Anreicherung in Abhängigkeit von der Uferentfernung wurde bei den jungen, humosen Auensedimenten zwischen Mägdesprung und Selkemühle auch die Lage zum rezenten Gerinnebett berücksichtigt. Außerdem wurden die extrem silberarmen Hangsedimente der Profile C_1 und D_4 als eigene geochemische Einheit definiert. Insgesamt wurden folgende geochemisch-stratigraphische Einheiten definiert (**Tabelle 35**, vgl. auch **Abbildung 16**).

Tabelle 35 Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke in den Flußabschnitten C/D und E

Flußabschnitt C/D		Flußabschnitt E	
A _{C/D}	Ufernahe, stark angereicherte, humose Auensedimente	A _E	Stark angereicherte, humose Auensedimente
B _{C/D}	Ufernahe, stark angereicherte, liegende Sedimente	B _E	Uferferne, schwach bis mäßig angereicherte, ältere Auensedimente
C _{C/D}	Uferferne, humose Auensedimente		
D _{C/D}	Uferferne, schwach angereicherte, dichte Hangsedimente		

Zwischen Mägdesprung und Selkemühle sind bei den extrem angereicherten ufernahen Auensedimenten (**A_{C/D}**) außer der engen Korrelation zwischen Blei und Silber ($r = 0,84^{**}$) keine signifikanten Zusammenhänge ausgebildet. Bei den Elementen Kupfer, Cadmium und Eisen bestehen hohe negative Korrelationen ($r = -0,70$ - $-0,83$) zu den feineren Kornfraktionen ($< 20 \mu\text{m}$, $< 63 \mu\text{m}$).

In den stark angereicherten, uferfernen Auensedimenten (**C_{C/D}**) bestehen zwischen Blei, Silber und Cadmium allgemein hochsignifikante, positive Korrelationen. Ein statistischer Zusammenhang zu den Eisengehalten ist dabei nicht gegeben. Die negativen Korrelationen zu den Anteilen feiner Kornfraktionen sind hier ebenfalls zu erkennen. Bezüglich Cadmium ($r = -0,68^{**}$) und Kupfer ($r = -0,64^{**}$) ist dieser Zusammenhang v.a. gegenüber der Fraktion kleiner $20 \mu\text{m}$ stark ausgeprägt.

In den ufernahen und extrem belasteten Sedimenten (**B_{C/D}**) bestehen ebenfalls hochsignifikante und starke Korrelationen zwischen Silber einerseits und Cadmium, Kupfer sowie Blei andererseits. Auffallend ist außerdem der starke Zusammenhang zwischen Zink und Kupfer ($r = 0,93^{**}$), der in den bisherigen Analysen nicht zu beobachten war. Die Buntmetalle weisen gegenüber Eisen bzw. Mangan allgemein positive Korrelationskoeffizienten auf, die allerdings nur bei Silber signifikant ($r = 0,73^*$ bzw. $0,82^*$) sind. Wie schon bei den humosen Auensedimenten, so sind auch hier die Korrelationen aller Elemente zu den feinen Kornfraktionen in der Tendenz negativ.

Bei den uferfernen, schwach angereicherten, dichten Hangsedimenten (**D_{C/D}**) können außer dem ungewöhnlichen, hochsignifikant negativen Zusammenhang zwischen Cadmium und Kupfer ($r = -0,88^{**}$) keine weiteren Aussagen getroffen werden. Die Korrelationen der Metallkonzentrationen zu feinen Kornfraktionen sind auch hier (nicht signifikant) negativ.

Im **Flußabschnitt E** sind in den jungen Auensedimenten (**A_E**) die Korrelationen zwischen den Buntmetallen hochsignifikant. Die stärksten Zusammenhänge bestehen dabei zwischen Blei und Zink ($r = 0,83^{**}$) sowie zwischen Silber und den restlichen Buntmetallen ($r = 0,67^{**}$ - $0,76^{**}$). Während die Buntmetalle - v.a. Cadmium ($r = 0,88^{**}$), Zink ($r = 0,76^{**}$) und Blei ($r = 0,69^{**}$) - mit Mangan im allgemeinen hochsignifikant und positiv korreliert sind, bestehen zu den Eisengehalten keine Beziehungen. Wie schon im Flußabschnitt C/D ist auch hier kein bzw. ein meist negativer Zusammenhang

zu den feinen Kornfraktionen gegeben, am stärksten wiederum bei Cadmium ($r = -0,62^{**}$) und Kupfer ($r = -0,68^{**}$).

Für die älteren Auensedimente (**B_E**) wurden wegen der geringen Probenzahl keine statistischen Korrelationen berechnet.

5.2.3.3.3.5 Zusammenfassung

Das Talbodenrelief, der lithostratigraphische Aufbau und die geochemischen Verhältnisse der Auen- bzw. Talsedimente in den Flußabschnitten D und E unterscheiden sich deutlich von den Sedimenten in den Flußabschnitten B1 und B2. Im Liegenden der jungen, humosen Auensedimente fehlen fluviatile Graulehnderivate und primäre aPS-Horizonte treten nur vereinzelt und in geringer Mächtigkeit unmittelbar flußabwärts von Mägdesprung auf. Statt dessen sind in größerer Uferentfernung bzw. in Terrassen ältere und anthropogen völlig unbeeinflusste, dichte Hangsedimente mit sehr niedrigen Schwermetallgehalten verbreitet. Die maximalen Schwermetallgehalte in den oberen Abschnitten der jungen Auensedimente sind auf verlagerte, schwermetallreiche Pochsande zurückzuführen.

Aus Abbildung 4 wird ersichtlich, daß sich in den Flußabschnitten C und D die ufernahen Sedimente deutlich durch extrem erhöhte Gehalte auszeichnen. In größerer Uferentfernung sind die Gehalte in den hangenden humosen Auensedimenten niedriger und unterscheiden sich von den liegenden, nicht angereicherten Hangsedimenten durch sehr niedrige Blei-, Cadmium- und Silbergehalte, während sich die Kupfer- und Eisengehalte der geochemisch-stratigraphischen Einheiten teilweise überschneiden.

Anhand der Gehalte an blauen Silikatschlacken ist zu belegen, daß die auch in ufernahen Profilen anderer Flußabschnitte häufig zu beobachtende Kiesschicht an der Basis der humosen Auensedimente frühestens in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts abgelagert worden sein kann. Der Gehalt an blauen Silikatschlacken aus der Eisenverhüttung in Mägdesprung beweist, daß die jungen humosen Auensedimente nicht älter als 250 Jahre sind. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus flußaufwärtigen Flußabschnitten.

Anhand der Gelände- und Laborergebnisse wird deutlich, daß der Talboden nach einer Einschneidungsphase (13./14. Jahrhundert?) zunächst stärker reliefiert war und im Laufe der Neuzeit in Zusammenhang mit den historischen Bergbauaktivitäten durch schwermetallreiche Sedimente nivelliert wurde.

Kurz vor Meisdorf haben sich am Talrand Spuren einer älteren Sedimentationsphase mit mäßigen bis schwachen Metallanreicherungen erhalten. Anhand der Radiokarbondatierung ist hier ein Zusammenhang zur spätmittelaltelich-frühneuzeitlichen Bergbauphase (15/16. Jh.) wahrscheinlich.

Eine lithologisch bedingte Elementanreicherung in feineren Kornfraktionen ist insgesamt zu vernachlässigen. Die teilweise hochsignifikant negativen (Cadmium, Kupfer) Korrelationskoeffizienten lassen eher eine Anreicherung in der Sandfraktion vermuten. Ein Grund dafür könnte die verstärkte Bindung der Schwermetalle an Eisen- und/oder Manganoxihydroxide sein, die vorwiegend in der Sandfraktion auftreten. Dies deckt sich mit Ergebnissen von *MACKLIN & DOWSETT (1989)*. Flußabwärts von historischen Bergbaugebieten werden Schwermetalle in jungen Hochflutsedimenten nach Auflösung der Ausgangsminerale (Sulfide, Phosphate, Silikate) vorwiegend im Kristallgitter von Eisen-Manganoxihydroxiden als stabile Endglieder der Verwitterung eingebaut.

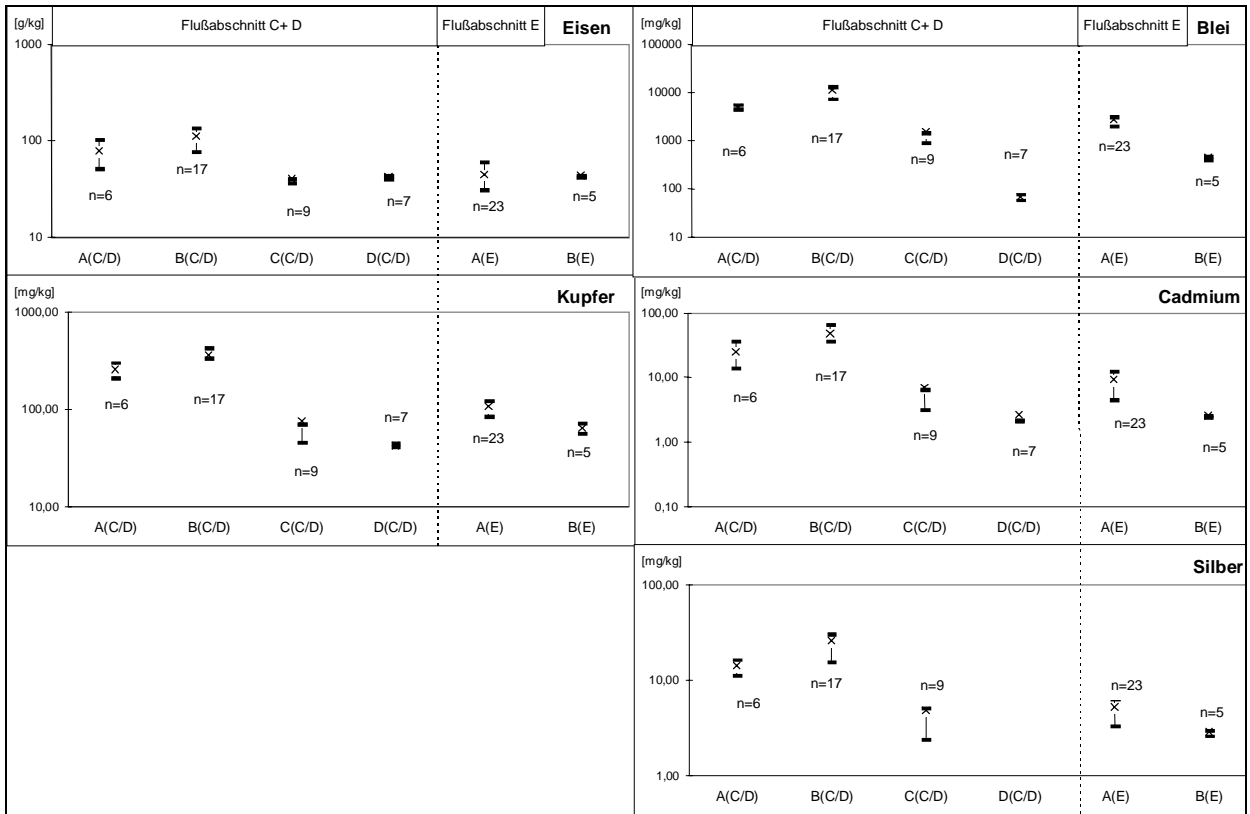


Abbildung 16 Mittelwerte (x) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetallgehalte in geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke (Flußabschnitte C bis E)

5.2.4 Rezente fluviale Schwermetalldispersion

Durch die Auswertung von Abfluß- und Gewässergütedaten kann abgeschätzt werden, inwieweit die Schwermetallanreicherungen in Auen- und Gerinnesedimenten sowie in den untersuchten Lösungsstellen einen Einfluß auf die gelösten Schwermetalle im Flußwasser ausüben. Aufgrund der deutlich größeren Schwermetallbelastung und der besseren Datengrundlage liegt der Schwerpunkt der Untersuchung im Einzugsgebiet der Harzselke. Neben vorhandenen Daten von Pegelstationen und Intensivuntersuchungen der Gewässergüte im Flußlängsverlauf wurden hier zusätzlich eigene Analysen von Gerinnesedimenten durchgeführt. An der Bode konnten dahingehend nur Daten aus Pegelstationen im Harz berücksichtigt werden.

5.2.4.1 Gelöste Schwermetalle ausgewählter Pegelstationen

An ausgewählten Pegelstationen im Harz wurden zuerst die verfügbaren Daten hinsichtlich Abflußmengen (Q), abfiltrierbarer Stoffe (AFB) und gelöster Schwermetalle tabellarisch aufbereitet (**Tabelle A17**). Ziel dieser Auswertung war es, festzustellen, ob Relikte des historischen Bergbaus - insbesondere mit Schwermetallen belastete Auen- und/oder Gerinnesedimente - als Herkunftsquellen für gelöste Schwermetalle im Flußwasser in Frage kommen. Leider fehlen Daten über die Gehalte an gelöster, organischer Substanz bzw. Kohlenstoff (engl.: *dissolved organic carbon* bzw. *DOC*) und anderer Komplexbildner, die die Löslichkeit von Metallen in Gewässern und damit deren Konzentrationen in der gelösten Phase stark beeinflussen können.

Für das Einzugsgebiet der **Bode/Harz** wurden bei Königshütte die verfügbaren Daten der Pegel der bedeutendsten Zuflüsse im Oberlauf (Kalte Bode und Warme Bode) und der Pegel der Harzbode bei Treseburg ausgewertet. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die zwischenliegende Talsperre Wendefurth sowohl Chemismus als auch Abflußmengen beeinflusst und damit einen Vergleich von Ober- und Unterlauf erschwert.

An der Bode sind die Schwermetallgehalte an allen Pegeln ganzjährig niedrig. Die Kupfer-, Blei- und Cadmiumgehalte überschreiten am Pegel Treseburg die Nachweisgrenzen selten. Unter Berücksichtigung der arithmetischen Mittel bzw. der Mediane liegen am Pegel Treseburg im Vergleich zu Warmer Bode und Kalter Bode die Mangan- und Eisengehalte im Schnitt geringfügig höher, die Zinkgehalte dagegen etwas niedriger. Auffallend sind außerdem die stark erhöhten (Eisen: > 3000 µg/l, Mangan: > 500 µg/l) bzw. ungewöhnlich niedrigen Schwankungsbreiten (Zink: 57 µg/l) einiger Elemente am Pegel Treseburg im Vergleich zur Warmen Bode (Eisen: 382 µg/l; Mangan: 31 µg/l; Zink: 131 µg/l) und Kalten Bode (Eisen: 206 µg/l; Mangan: 74 µg/l; Zink: 353 µg/l) (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, Gewässergüteberichte 1991 -1996).

Die Auswertung der Korrelationsmatrix (**Tabelle A18**) erbrachte keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Abflußmengen und Metallkonzentrationen. Die Schwermetallkonzentrationen im Wasser der Bode sind daher nur in geringem Maße auf die Rücklösung bzw. Aufwirbeln aus belasteten Gerinne- oder Auensedimenten zurückzuführen. Zwischen den einzelnen Metallen sind mit Ausnahme von Eisen, Mangan und Cadmium am Pegel Treseburg ebenfalls keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zu erkennen. Die starke und hochsignifikante Korrelation von Cadmium mit Eisen und Mangan ($r = 1,0^{**}$) am Pegel Treseburg ist wegen der geringen Anzahl der Werte für Cadmium ($n = 4$) nur bedingt aussagekräftig.

Bei der **Harzselke** liegen am Pegel Meisdorf nur drei Schwermetallmessungen vor, so daß eine Interpretation der Werte nur für den Pegel Silberhütte ($n = 23$) sinnvoll ist. Im Jahresdurchschnitt bewegen sich in Bezug auf Zink, Kupfer, Blei und Cadmium die Minima, Mediane und arithmetischen Mittelwerte in den gleichen Größenordnungen wie an den Pegeln der Bode (**Tabelle A17**). Die Nachweisgrenzen werden dabei allerdings häufiger überschritten. Mit Ausnahme der Maxima liegen die Werte für Eisen und Mangan sowie die Schwankungsbreiten von Blei, Kupfer und Cadmium hier deutlich höher. Seit 1995 ist die Tendenz jedoch bei allen untersuchten Schwermetallen rückläufig was auf die Maßnahmen zur Verbesserung der Lösungswässer aus der ehemaligen Flußspatgrube Straßberg zurückzuführen ist (**Tabelle 36**).

Im Gegensatz zur Bode ist am Pegel Silberhütte für Blei eine hochsignifikante positive Korrelation zur Abflußmenge festzustellen ($r = 0,6^{**}$). Blei stammt damit zum großen Teil aus aufgewirbelten Kolloiden bzw. wird durch Rücklösungsprozesse aus belasteten Gerinne- oder Auensedimenten in die gelöste Phase überführt. Die enge Korrelation zwischen Kupfer und Zink ($r = 0,7^{**}$) ist auf eine identische Herkunftsquellen zurückzuführen (**Tabelle A18**).

Tabelle 36 Mittlere Schwermetallgehalte der Selke am Pegel Silberhütte in den Jahren 1992-94 und 1995/96

Zeitraum	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
				[$\mu\text{g/l}$]		
1995-1996	18	2,8	3,6	n.b.	429	273
1992-1994	63	7,5	6,3	n.b.	863	477

Berechnet aus Daten des StAU Magdeburg (Gewässergüteberichte 1992 - 96)

5.2.4.2 Lösungswässer alter Bergbaustollen

Mit dem Bau von neuen Lösungsstollen im Glasebach- und Uhlenbachtal und weiteren Schutzmaßnahmen (Aufbereitung) durch die BST Mansfeld-Werk Rottleberode sollten insbesondere die Eisen- und Mangankonzentrationen in den Grubenwässern des aufgegebenen Flußspatbergwerkes „Grube Fluor“ verringert werden (Herr Heinrich, freundliche, mündliche Mitteilung, Juni 1995). Neben den aufbereiteten Grubenwässern des modernen Bergbaus sind noch einige ältere Bergbaustollen aktiv, d.h. zur Zeit wasserführend, und daher als potentielle Quellen für gelöste Schwermetalle anzusehen.

Für die Analyse von Lösungswässern wurden in zwei Untersuchungsgebieten (Rödelbachtal, Umgebung von Alexisbad und Mägdesprung) jeweils drei Stollen ausgewählt und im Winter (Basisabfluß im Februar) bzw. Sommer (August) Wasserproben entnommen. Für die Auswahl der Stollen war entscheidend, daß sie in verschiedenen Abschnitten der wichtigen Gangzüge liegen und nicht durch die moderne Grubenwasseraufbereitung bzw. durch moderne Kanalisationswässer beeinflusst sind. Die Lage und Betriebszeiten der Stollen ist aus **Tabelle 37** bzw. **Karte 9** ersichtlich. Lösungsstollen im Harzeinzugsgebiet der Bode wurden nicht beprobt.

Tabelle 37 Lage und Betriebsdaten der untersuchten Lösungsstollen im EZG der Harzselke

Name	Lage	Betriebsbeginn	Betriebsende
Gemeinde-Stollen	unteres Rödelbachtal	?	15./16. Jh.
Heiligenberg-Stollen	mittleres Rödelbachtal	<1610	1857
"Eiserne Zeche"	mittleres Rödelbachtal	?	15./16. Jh.
Schwefel-Stollen	Ortslage Alexisbad	<1557	1741
Katharinen-Stollen	Mägdesprung - Alexisbad	<1539	1735
Herzog-Alexis-Stollen	Mündung Schiebecksbach	1830	1887

Betriebszeiten aus KRAUSE (1967)

Bei den Lösungsstollen im Rödelbachtal handelt es sich wahrscheinlich um die ältesten derartigen Anlagen in der Umgebung von Straßberg/Harzgerode, die genauen Betriebszeiten sind allerdings nicht bekannt. Die Mündungslöcher sind heute stark verbrochen (Gemeindestollen, Eiserne Zeche) bzw. verbaut (Heiligenberg-Stollen). Die Stollen bei Alexisbad und Mägdesprung sind jünger und hinsichtlich der Betriebszeiten auch besser dokumentiert. Der Herzog-Alexis-Stollen ist der jüngste und mit ca. 2 km Länge neben dem Birnbaum-Stollen (> 4 km) im Birnbaumbachtal südwestlich von Silberhütte, welcher der längste Lösungsstollen im Untersuchungsgebiet ist und die oberirdische Wassereinzugsgebietsgrenze zur Wipper unterschreitet. Die Mündungslöcher von Katharinen- und Schwefel-Stollen heben sich durch die auffälligen, ockerfarbenen Ausfällungen von Eisenhydroxiden deutlich von den übrigen ab. Bei KRAUSE (1967) sind sämtliche bekannten Daten zu alten Lösungsstollen im Untersuchungsgebiet dokumentiert.

Neben den Schwermetallen Blei, Kupfer, Eisen, Mangan, Zink und Cadmium wurden im Labor die Gehalte an Sulfat und Nitrat sowie im Gelände zusätzlich die Parameter Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Redoxpotential bestimmt. Die Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchungen sind aus **Tabelle A20** zu entnehmen.

Bezüglich der Schwermetalle sei angemerkt, daß die Werte am Atomabsorptionsspektrometer nur in der Flamme ermittelt werden konnten. Aufgrund der niedrigen Gehalte im Bereich der Nachweisgrenzen (Cadmium) sind die relativen Standardabweichungen teilweise sehr hoch, so daß die Unterschiede zwischen Winter- und Sommerprobe v.a. auf meßtechnischen Schwankungen beruhen und weniger mit dem unterschiedlichen Einfluß der Jahreszeiten zu erklären sind. Anhand der vorliegenden Stichproben kann hier nur eine grobe Einschätzung hinsichtlich der Bedeutung der ausgewählten Lösungswässer als Schwermetallquellen getroffen werden.

Die Ergebnisse der BST Mansfeld für den Katharinen- und den Schwefel-Stollen stimmen hinsichtlich Leitfähigkeit, Sulfatgehalte sowie Eisen-, Mangan und Zinkkonzentrationen weitgehend mit den hier durchgeführten Messungen überein. Unterschiede ergeben sich dagegen teilweise beim pH-Wert, bei Cadmium, Kupfer und v.a. bei Blei sowie Nitrat (vgl. **Tabelle A20** im Anhang)¹⁴.

Insbesondere der Schwefel-Stollen und der Katharinen-Stollen heben sich durch ihre überdurchschnittlich hohen Kupfer- (nur Schwefel-Stollen), Eisen-, Mangan- und Zinkgehalte sowie durch relativ niedrige pH-Werte, hohe Sulfatgehalte und hohe Leitfähigkeit deutlich von den anderen Stollen ab. Der Herzog-Alexis-Stollen weist ebenfalls stark erhöhte Leitfähigkeit, Zink- und Sulfatgehalte auf. Cadmium liegt bei allen untersuchten Stollen nahe oder sogar unterhalb der Nachweisgrenze (10 µg/l). Eindeutig jahreszeitlich bedingte Unterschiede sind bei keinem der untersuchten Parameter festzustellen.

Im Vergleich zu den anderen Lösungsstollen zeichnen sich die Stollen im Rödelbachtal durch relativ hohe Blei- bei gleichzeitig sehr niedrigen Zink- und Cadmiumgehalten aus. Aufgrund der allgemein geringeren geochemischen Mobilität von Blei ist dies ungewöhnlich. Als Ursachen hierfür kommen Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung der verbliebenen Gangfüllungen und/oder besondere geochemische Verhältnisse bezüglich der Verwitterungsstabilitäten der Ausgangsminerale in Frage (vgl. **Kapitel 2.2.1**).

Die insgesamt hohen Sulfatgehalte sind auf die oxidative Verwitterung der Sulfidminerale zurückzuführen. Die hohen Nitratkonzentrationen sind typisch für viele Lösungswässer aus aufgegebenen Bergwerken und sind wahrscheinlich auch hier durch Sprengstoffreste in den alten Grubengebäuden zu erklären (*BANKS ET AL. 1997*).

Die vorliegenden Daten belegen, daß der Chemismus der untersuchten Lösungswässer im Einzugsgebiet der Selke sehr variabel ist. Genauere Aussagen zur (jahres-)zeitlichen Variabilität und der quantitativen Bedeutung von gelösten Schwermetallen aus diesen Quellen sind hier nur durch engere Meßintervalle bei gleichzeitiger Dokumentation der Niederschlags- und Abflussmengen möglich.

5.2.4.3 Gelöste Schwermetalle im Flußlängsverlauf

Im Einzugsgebiet der Warmen Bode konnte *RÖßNER (1996)* keine Abhängigkeit der gelösten Schwermetalle in Gewässern von den pH-Werten, der Höhe über NN und der Geologie feststellen. Als Ursache dafür werden relativ hohe pH-Werte zwischen 6,0 im Oberlauf und 7,3 im Unterlauf bei Tanne genannt. Eine Mobilisierung von Schwermetallen aus Böden, Sedimenten und Gesteinen und ein räumliches Muster der Schwermetallgehalte im Flußlängsverlauf ist daher nicht zu erwarten.

Zur Ermittlung von Schwerpunktbelastungen führte das StAU Magdeburg im Mai 1992 und im Juni 1994 Intensivuntersuchungen bezüglich der Gewässergüte der Selke durch (*HEINDORF 1993, ANONYMUS 1994*). Neben den üblichen Parametern der Gewässergüte wurden auch einige Schwermetalle (Eisen, Mangan, Zink, Cadmium, Blei, Nickel, Chrom) im Flußlängsverlauf (**Abbildung 17**) und in ausgewählten Nebenbächen untersucht. Trotz der Einleitung mangelhaft geklärt kommunaler Abwässer über einige Nebenbäche konnte die Selke innerhalb des Harzes hinsichtlich organischer Bestandteile, Salz- und

¹⁴ Für die Übermittlung der Analysenergebnisse bedanke ich mich bei Herrn Heinrich, BST Mansfeld, Werk Rottleberode

Nährstoffgehalte als gering belastet eingestuft werden. Im Jahre 1994 wurden jedoch unterhalb des Wiesenbaches stark erhöhte Fluorid-, Sulfat- und Calciumkonzentrationen festgestellt.

Bezüglich der Schwermetalle wurde bei Blei und Nickel eine geringe, bei Cadmium eine mäßige und bei Kupfer, Zink, Eisen und Mangan eine mäßige bis kritische Belastung ermittelt. Im Gegensatz zur Warmen Bode (s.o.) konnte trotz der hohen pH-Werte im Flußwasser ($> 7,0$) ein räumliches Muster der Schwermetallgehalte im Flußlängsverlauf ermittelt werden. Schwerpunkte stellen dabei die Einmündung des Wiesenbaches, der Flußabschnitt Straßberg - Silberhütte (Messung 1992 und 1994) und der Bereich zwischen Mägdesprung und der Selkemühle (Messung 1992) dar. Obwohl die Abflußmengen während der Meßkampagne 1992 etwa doppelt so hoch waren wie 1994, weichen in beiden Untersuchungen die Schwermetallgehalte nicht wesentlich von den Tendenzen im Flußlängsverlauf ab (**Abbildung 17**). Dies ist ein Hinweis darauf, daß es sich bei den festgestellten Anomalien nicht um kurzfristige, zufällige Schwankungen des Gewässerchemismus handelt, sondern um räumlich konstante und zeitlich unabhängige Erscheinungen.

Zwischen Silberhütte und Mägdesprung (Fließkilometer 48 bis 43) bewirken kommunale Abwässer aus Friedrichsbrunn (Friedenstalbach) und Harzgerode (Langetalbach) eine leichte Erhöhung der Blei- und Eisengehalte. Trotz hoher Konzentrationen können hier wegen der geringen Abflußmengen weder Schwefel- noch Katharinen-Stollen von entscheidender Bedeutung für den Anstieg der Konzentrationen sein. Am Harzrand bei Meisdorf nehmen die Gehalte wieder deutlich ab, liegen aber mit Ausnahme von Eisen und Mangan noch über den Ausgangswerten im Oberlauf.

Die stärkere chemische Belastung der Selke unmittelbar nach Einmündung des Wiesenbaches ist auf die Einleitung von belasteten Grubenwässern aus dem ehemaligen Flußspatbergwerk nördlich von Straßberg zurückzuführen. Insbesondere die Erhöhung der Mangangehalte um knapp das dreieinhalbfache auf $625 \mu\text{g/l}$ (1992) bzw. das fünffache auf $730 \mu\text{g/l}$ (1994) ist bedenklich, da bereits Gehalte über $500 \mu\text{g/l}$ als potentiell fischtoxisch einzustufen sind (*ANONYMUS 1994*).

Als Beispiel für die ökologischen Folgen nach Einleitung metallreicher Lösungswässer soll hier ein Ereignis an der Selke im Mai 1991 geschildert werden:

Im Zuge der Entleerung der Fördergrube und der Pumpensümpfe wurden im Mai 1991 große Mengen Eisen(II) über den Wiesenbach in die Selke eingetragen. Als Folge der Eisenoxidation kam es flußabwärts zur flächenhaften Ausbildung von Eisen(III)hydroxidbelägen am Gewässerboden. Dies führte zu kurzzeitigem Sauerstoffschwund im Wasser und zu verheerenden Folgen für die makrozoobenthische Besiedlung. Die Fischbestände in der Selke wurden zusätzlich durch Eisen(III)oxidbeläge an den Kiemen stark geschädigt (*HEINDORF 1993*).

Während die Ursache für die Erhöhung der Schwermetallkonzentrationen oberhalb Straßberg eindeutig ist, können über die Gründe für die Anreicherungen in den Abschnitten Straßberg bis Silberhütte bzw. Mägdesprung bis Selkemühle nur Vermutungen angestellt werden. Unterhalb von Straßberg scheiden aufgrund der relativ geringen Konzentrationen sowohl die Einleitungen kommunaler Abwässer (Rödelbach) als auch die Mündung von Nebenbächen als Grund für die erneute Zunahme der Metallkonzentrationen aus. Die stark erhöhten Gehalte nach Mägdesprung werden auf nicht näher erläuterte „geogene“ Gegebenheiten und anthropogene Ursachen (Metallverarbeitung in Mägdesprung) sowie die Einleitung von schwermetallhaltigen Deponiewässern über den Schiebecksbach zurückgeführt (*HEINDORF 1993*). In diesem Flußabschnitt sind jedoch weder größere Lagerstätten, noch ausgeprägte geochemische Anomalien (vgl. **Karte 4** und **5**) oder größere buntmetallverarbeitende Betriebe vorhanden, die eine derart starke Anreicherung insbesondere von Blei und Cadmium bewirken könnten. Aufgrund der relativ geringen Abflußmengen und Schwermetallkonzentrationen der Gerinnesedimente (**Tabelle 41**) ist auch kein entsprechender Eintrag über den Schiebecksbach zu erwarten.

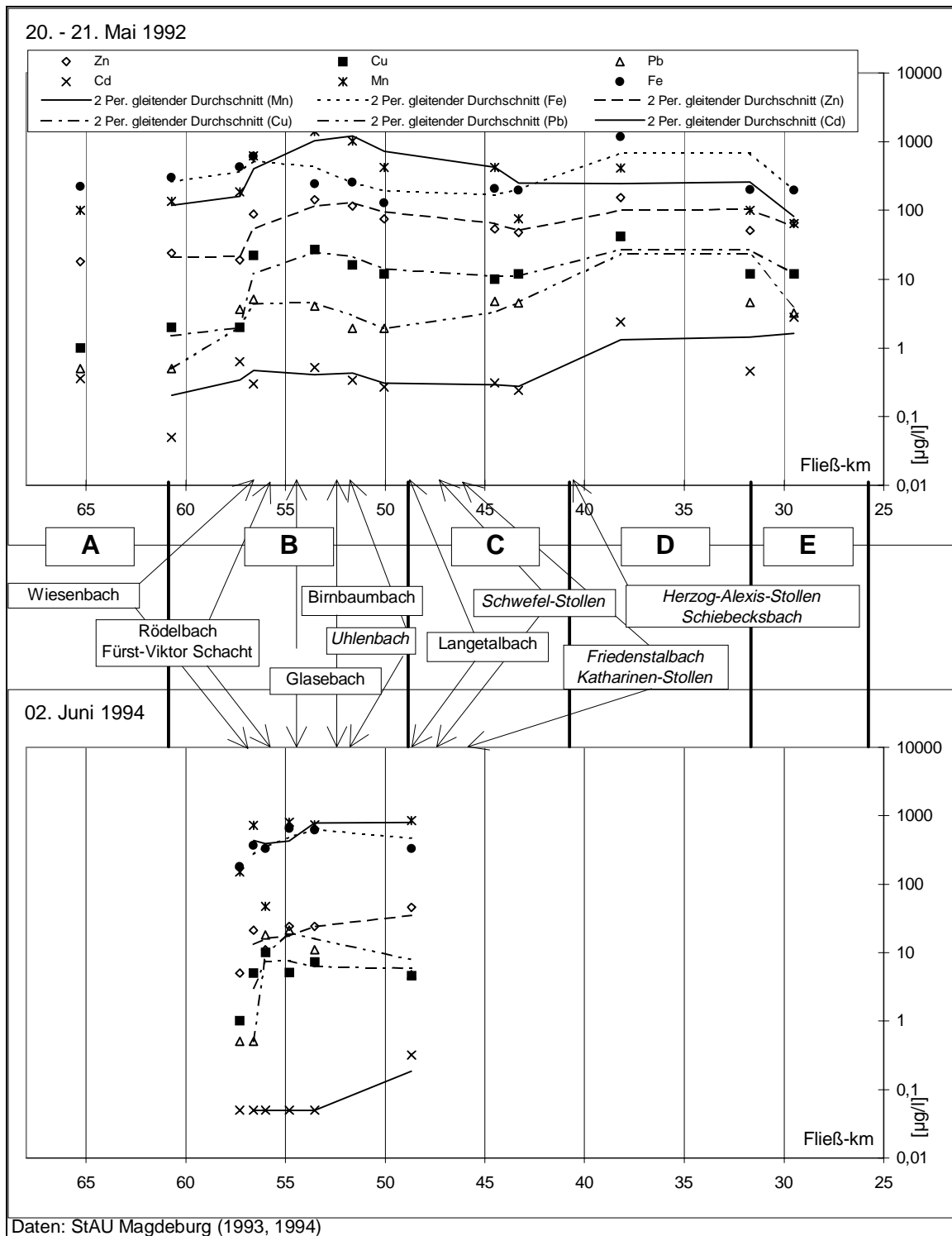


Abbildung 17 Gelöste Schwermetalle; Flußabschnitte und wichtige Nebenbäche im Flußlängsverlauf der Harzselke (Mai 1992 und im Juni 1994)

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einen räumlichen Zusammenhang zwischen stark erhöhten Gehalten im Selkewasser und dem Auftreten teilweise extremer Schwermetallkonzentrationen in der geochemisch aktiven Ton-Schlufffraktion der Gerinnesedimente (**Kapitel 5.2.4.4**). Es liegt daher der Verdacht nahe, daß in beiden Fällen nicht die zusätzliche, direkte Einleitung gelöster Metalle, sondern Rücklösungsprozesse die Hauptursache für den Anstieg der Konzentrationen sind. Da die pH-Werte im gesamten Selkeverlauf zwischen 7 und 8 liegen, kann die Mobilisierung der Metalle nur über den Eintrag an komplexierend wirkenden Substanzen ausgelöst werden. Als mögliche Quellen für Komplexbildner kommen einerseits der Wiesenbach (F⁻) sowie kommunale Abwässer aus Straßberg (DOC, EDTA, NT, Cl⁻) und andererseits die Einleitung von Deponiewässern (DOC, Cl⁻) aus der Mülldeponie Harzgerode über den Schiebecksbach in Frage (**Tabelle 38**).

Tabelle 38 Anreicherungsfaktoren für Schwermetalle und potentielle Liganden im Wasser der Harzselke an drei Standorten mit ausgeprägten Anomalien (02.06.1992 und 21./22.05.1994)¹⁵

Standort	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cl	SO4	F	PO4
nach Wiesenbach(1992)	1,7	3,4	4,6	11	1,4	6,2	0,5	1,0	1,3	n.b.	1,0
nach Wiesenbach(1994)	2,1	4,9	> 2,1	> 1,7	1,0	2,8	1,0	1,1	4,5	> 40	1,0
Straßberg - Silberhütte (1992)	0,4	2,3	1,6	1,2	0,7	1,6	1,7	1,1	1,5	n.b.	0,6
Straßberg - Silberhütte (1994)	1,7	1,1	1,1	1,2	8,3	1,0	-	1,1	1,1	1,0	1,0
nach Schiebecksbach (1992)	5,9	4,4	3,2	3,5	9,3	1,6	10	1,4	1,2	n.b.	1,6

Berechnet aus Daten des StAU Magdeburg (*HEINDORF 1993, ANONYMUS 1994*)

In **Tabelle 38** sind für die drei genannten Anomalien im Wasser der Selke die Anreicherungsfaktoren für Schwermetalle und wichtige Liganden in natürlichen Gewässern (*SIGG & STUMM 1991, 202*) im Vergleich der beiden Meßkampagnen dargestellt.

Chlorid erhöht im allgemeinen die Löslichkeit von Zink und Cadmium und bildet mit Blei stabile und schwer lösliche Verbindungen. Die Chloridgehalte der Selke sind im allgemeinen jedoch niedrig und spielen in diesem Zusammenhang daher kaum eine Rolle. Karbonat und Phosphat bilden mit vielen Metallen unlösliche Verbindungen und sind daher bei der verstärkten Mobilisierung nicht von Bedeutung.

Die stärkste Anreicherung potentieller Liganden ist für das im allgemeinen sehr reaktionsfreudige Fluoridion zu verzeichnen, das bevorzugt Komplexe mit sogenannten „harten“ Metallen bzw. „A-Kationen“ bildet. Zu Kationen mit überwiegendem „A-Charakter“ gehören auch die hier analysierten Elemente Eisen, Kupfer, Blei, Zink, Nickel und zweiwertiges Mangan. Cadmium und Silber sind dagegen „weiche“ Metalle bzw. „B-Kationen“, die bevorzugt mit Schwefel-, Stickstoff- sowie Chlorliganden koordinieren (*SIGG & STUMM 1991, 194f*). Flußabwärts des Wiesenbaches führen die hohen Konzentrationen des potentiellen Komplexbildners Fluorid (F⁻) in Lösungswässern der Flußspatgrube Straßberg (20 mg/l) zu einem deutlichen Anstieg der Gehalte im Wasser der Selke (4,0 mg/l), die erst unterhalb Silberhütte zurückgehen (2,3 mg/l), aber immer noch um mindestens das 23-fache über dem Ausgangswert vor dem Wiesenbach liegen. In Böden führt eine Fluoridkontamination zu verstärkter Mobilität von Metallen und organischer Substanz (*SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 317f*). Es ist anzunehmen, daß bei hohen Fluoridgehalten im Wasser auch aus hochbelasteten Gerinnesedimenten verstärkt Schwermetalle in Lösung gehen können.

Im vorliegenden Fall sind die Konzentrationen der untersuchten Metalle erheblichen Schwankungen unterworfen und es fehlen Informationen über wichtige organische und synthetische Liganden, so daß anhand der vorliegenden Daten keine Aussagen über die Rolle einzelner Komplexbildner gemacht werden können. Bei nachfolgenden Untersuchungen sollten die Meßintervalle verkürzt und neben den anorganischen Liganden (Sulfat, Hydrogenkarbonat, Fluorid) auch der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und synthetische Komplexbildner (NT, EDTA) in das Meßprogramm aufgenommen werden.

¹⁵ Als Referenzstandort diente jeweils die unmittelbar flußaufwärts gelegene Probenahmestelle

Zusätzlich bietet sich an, vor Ort Sediment- und Abwasserproben zu entnehmen und die Rücklösung von Schwermetallen unter definierten Laborbedingungen zu untersuchen.

5.2.4.4 Schwermetalle in Gerinnesedimenten

Im Gegensatz zu den gelösten Schwermetallgehalten im Wasser sind Schwermetalle in Sedimenten keinen größeren kurzfristigen Schwankungen unterworfen und spiegeln daher die Gewässerbelastung über einen längeren Zeitraum wider. Die partikuläre Verlagerung von Schwermetallen im Flußlängsverlauf ist abhängig von den Sedimentationsverhältnissen und Abflußverhältnissen.

5.2.4.4.1 Variabilität im Flußlängsverlauf

Im Gegensatz zu Gewässern des Westharzes ist die Warme Bode nur gering mit Schwermetallen belastet. In den Bachsedimenten der Warmen Bode ist dabei eine stufenweise Anreicherung der Konzentrationen vom Grobsilt zur Tonfraktion zu erkennen. Im Flußlängsverlauf besteht ein räumlicher Zusammenhang der Gehalte von Kobalt, Chrom, Kupfer, Eisen, Blei und Zink zu alten Hütten- bzw. Haldenstandorten und Erzgängen. Die höchsten Gehalte wurden kurz nach Braunlage ermittelt (RÖßNER 1996).

Im Einzugsgebiet der Selke wurden diesbezüglich eigene Untersuchungen durchgeführt. Zwischen Güntersberge und Meisdorf wurden dafür 21 Sedimentproben entnommen (Tabellen A21/A22). Die Entnahme erfolgte dabei jeweils in einem Flußabschnitt von 50 bis 100 m Länge, wobei darauf geachtet wurde möglichst feinkörniges Sediment zu beproben. Die Probe S9 wurde aus dem verockerten Bachsediment direkt am Einlauf des Schwefel-Stollens entnommen. Anhand der Proben S12a-c sollen die geochemischen Verhältnisse am Katharinen-Stollen und die Rolle des anschließenden Teiches als Schwermetallsenke näher untersucht werden und müssen daher getrennt von den anderen Proben interpretiert werden.

In **Abbildung 18** und **Abbildung 19** sind die absoluten Elementgehalte der Sedimentproben als Punktsignaturen im Flußverlauf dargestellt. Die zusätzlich eingefügten Trendlinien eignen sich besser zur Veranschaulichung der Variabilität im Flußverlauf als eine einfache Verbindung der Meßwerte. Im folgenden sollen vorhandene räumliche Muster der Schwermetallgehalte im Flußlängsverlauf beschrieben und mögliche Ursachen dafür genannt werden.

Zur Charakterisierung der Schwermetallbelastung im Oberlauf der Selke und des Katzsohlbaches (Flußabschnitt A) dienen die Gehalte der Fraktion < 2 mm in Baggerschlämmen des Mühlteiches bei Güntersberge (**Tabelle 39**). Die Werte überschreiten den regionalen Hintergrund bei Blei, Zink und Arsen nur geringfügig, bei Kupfer dagegen deutlich.

Tabelle 39 Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Baggerschlämmen (< 2 mm) des Mühlteiches bei Güntersberge (n = 28)

Tiefe	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	As
[cm]	[mg/kg]						
0 - 270	n.b.	n.b.	78	170	60	2,1	12,3

Im Vergleich zu den niedrigen Werten in den Sedimenten des Mühlteiches vor Güntersberge (Flußabschnitt A) sind im Flußabschnitt B1 vor Straßberg (S1, S2) die Kupfer- und Cadmiumgehalte in den Gerinnesedimenten schon deutlich, die Blei-, Zink- sowie Arsengehalte um ein Vielfaches höher. Zwischen Flußkilometer 55 (Probe S3) und 52 (Probe S6) steigen die Konzentrationen in beiden Subfraktionen kontinuierlich an und verbleiben - teilweise mit leicht abnehmender Tendenz - bis Kilometer 49 (S7) auf relativ hohem Niveau. Mit wenigen Ausnahmen (Mangan) sind die Konzentrationsunterschiede zwischen den Subfraktionen gering. Außer bei Eisen sind die Gehalte in der Ton-Schlufffraktion aber im Schnitt etwas höher als in der Sandfraktion.

Ab Kilometer 48 (S8) steigen die Gehalte erneut stark an und weisen bis Kilometer 42 (S13) größere Schwankungen auf. Bei Eisen werden dabei die Konzentrationsunterschiede zwischen den Subfraktionen

deutlich größer. Auch bei Blei, Mangan, Zink sowie Arsen liegen die Gehalte der Sandfraktion teilweise über denen der Ton-Schlufffraktion.

Bis zum Harzrand nehmen die Gehalte in beiden Fraktionen wieder ab, wobei in Probe S18, kurz vor Meisdorf, die Ausgangswerte der Sedimente des Mühlteichs unterschritten werden, was auf Verdünnungseffekte infolge stärkerer Lößbeeinflussung der Harzhochfläche zurückzuführen ist. Mit Ausnahme von Eisen sind die Gehalte in der Ton- und Schlufffraktion hier wieder höher als in der Sandfraktion. Kurz vor der Mündung in die Bode (Probe S19, nicht im Diagramm dargestellt), ist erneut eine leichte Zunahme der Konzentrationen festzustellen.

Das räumliche Muster der Schwermetallkonzentrationen deckt sich im Flußlängsverlauf sehr gut mit den Grenzen der definierten Flußabschnitte. In **Tabelle 40** sind daher die durchschnittlichen Schwermetallgehalte der Subfraktionen (TU, S) und der (berechneten) Gesamtfraction (TUS) sowie die entsprechenden Anreicherungsfaktoren (A_{TU} , A_S) nach Flußabschnitten gegliedert berechnet worden.

Bei den Übergängen zwischen den Flußabschnitten B1, B2 und C nehmen die Gesamtgehalte (TUS) jeweils deutlich zu und in den Abschnitten D und E wieder ab. Zwischen B2 und C steigen dabei die Mangan- und Eisenkonzentrationen in der Sandfraktion, während die Ton-Schlufffraktion kaum Veränderungen aufweist. Bei den übrigen untersuchten Elementen steigen die Gehalte in beiden Fraktionen an; bei Blei, Zink und Arsen in der Sandfraktion jedoch deutlicher als in der Ton-Schlufffraktion.

Die Ursache für den kontinuierlichen Anstieg der Gehalte im Flußabschnitt B2 (nach Straßberg) ist auf die kumulative Wirkung schwermetallreicher, uferbürtiger Sedimente zurückzuführen. Als Folge des leichten mäandrierens der Selke unterliegen die Steiluferbereiche in diesem Flußabschnitt verstärkt der Erosion, so daß die hier enthaltenen ufernahen Pochsandlagen verstärkt in das Gerinnebett gelangen. Ab Silberhütte bis zur Mündung des Schiebecksbaches nimmt der Anteil an verbauter Uferlänge dagegen deutlich zu, so daß der Einfluß lokaler Sediment- und Schwermetalleinträge aus der Ufererosion und damit die Schwermetallkonzentration im rezenten Gerinnesediment wieder geringer wird.

Wie bereits in **Kapitel 5.2.4.3** erläutert wurde, trägt die Einleitung kommunaler Abwässer nicht zur merklichen Erhöhung der gelösten Schwermetallkonzentrationen im Wasser der Selke bei. Für den neuerlichen starken Anstieg der Schwermetallgehalte im Flußabschnitt C kommen demnach nur die unmittelbar benachbarten Erzgänge und die Lösungstollen (Schwefel-Stollen, Katharinen-Stollen) sowie die gravimetrische Anreicherung von spezifisch schwereren und schwermetallreichen Mineralen in Folge des größeren Gefälles in Frage.

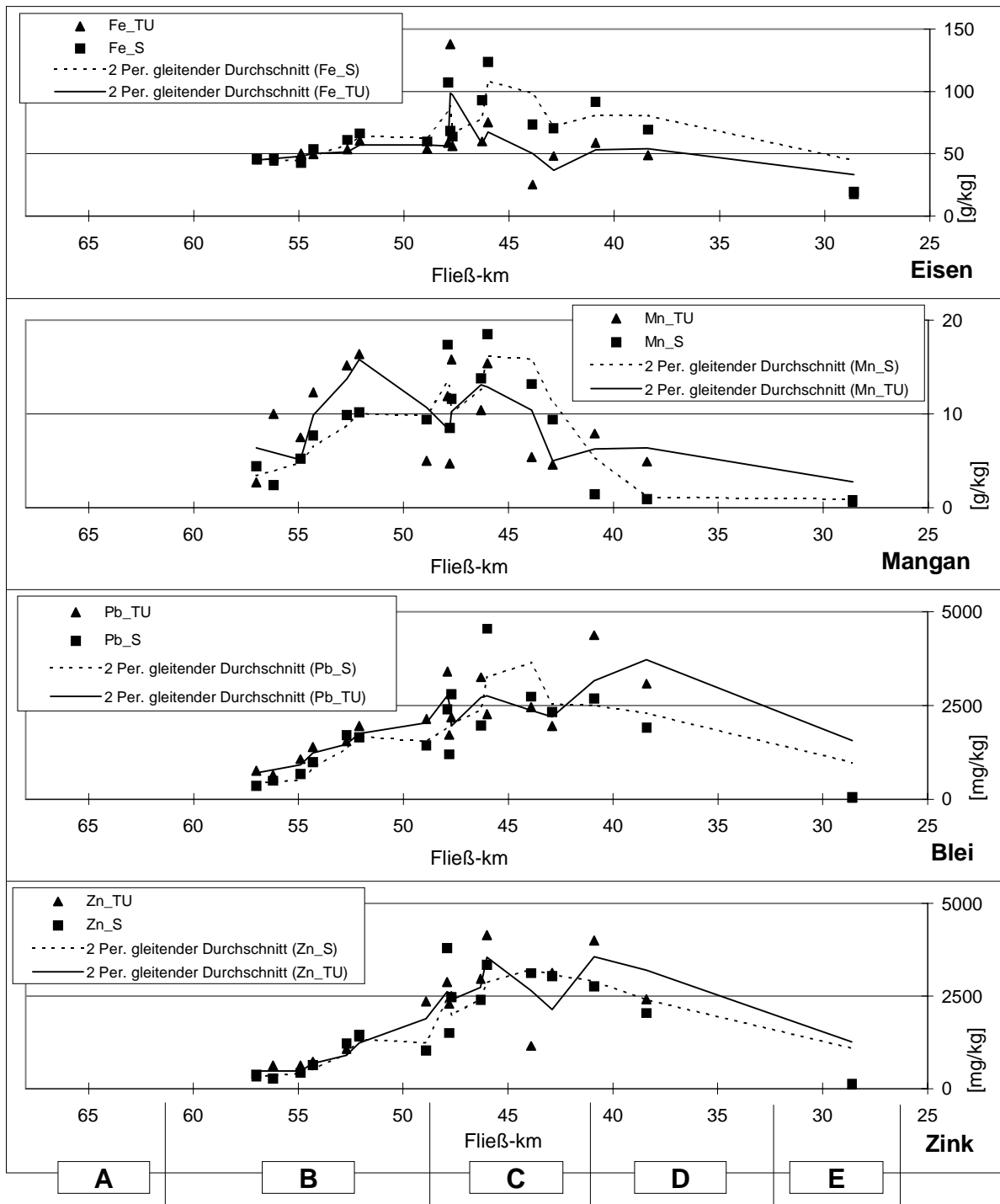


Abbildung 18 Eisen, Mangan, Blei und Zink in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

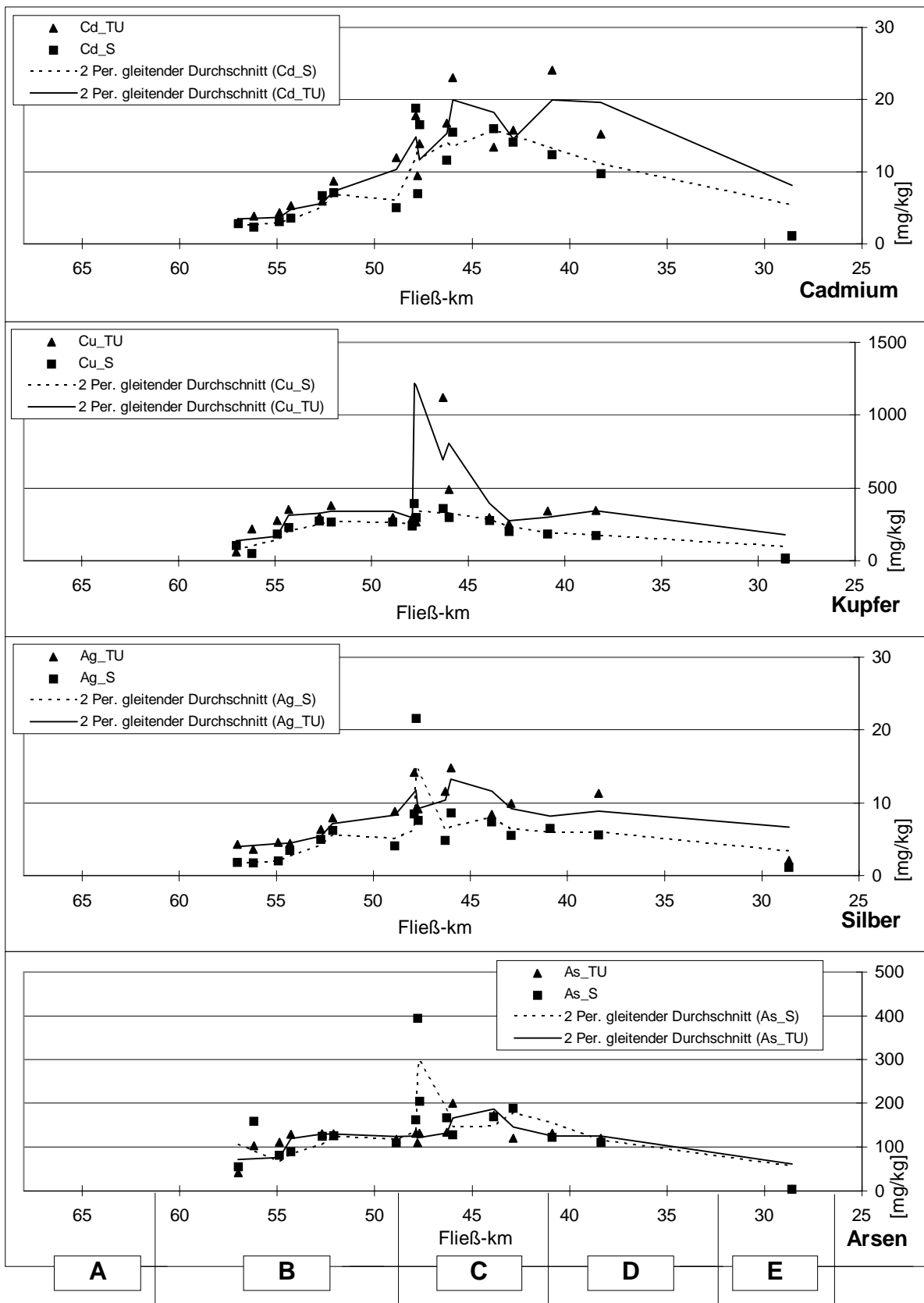


Abbildung 19 Cadmium, Kupfer, Silber und Arsen in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

Tabelle 40 Durchschnittliche Schwermetallgehalte in einzelnen Fraktionen in Gerinnesedimenten der Harzselke und relative Anreicherung der Subfraktionen (A_TU/S) gegenüber der Fraktion < 2 mm (TUS) gegliedert nach Flußabschnitten

Fluß- abschnitt	TU	S	TUS	A_TU	A_S	TU	S	TUS	A_TU	A_S	TU	S	TUS	A_TU	A_S	TU	S	TUS	A_TU	A_S
	Fe				Mn				Pb				Zn							
	[g/kg]				[g/kg]				[mg/kg]				[mg/kg]							
B1	44,8	45,9	45,6	1,0	1,0	6,4	3,4	4,3	1,5	0,8	701	422	468	1,5	0,9	478	326	371	1,3	0,9
B2	53,5	56,7	55,6	1,0	1,0	11,3	8,5	8,9	1,3	0,9	1620	1290	1419	1,1	0,9	1237	951	1110	1,1	0,9
C	53,8	88,5	75,9	0,7	1,2	10,6	14,0	12,6	0,8	1,1	2586	2796	2782	0,9	1,0	2793	3023	2835	1,0	1,1
D, E	41,8	60,1	54,7	0,8	1,1	4,5	1,0	1,9	2,3	0,5	2497	1546	1812	1,4	0,9	2168	1641	1769	1,2	0,9
Fluß- abschnitt	Cd				Cu				As				Ag							
	[mg/kg]				[mg/kg]				[mg/kg]				[mg/kg]							
B1	3,4	2,5	2,7	1,2	0,9	140	78	99	1,4	0,8	72	107	98	0,7	1,1	4,0	1,8	2,2	1,8	0,8
B2	7,2	5,1	6,0	1,2	0,8	321	244	266	1,2	0,9	124	106	111	1,1	1,0	6,4	4,2	5,1	1,3	0,8
C	16,7	15,4	15,4	1,1	1,0	453	277	323	1,4	0,9	148	170	156	0,9	1,1	11,3	7,1	8,5	1,3	0,8
D, E	13,4	7,7	9,2	1,5	0,8	234	126	157	1,5	0,8	85	79	81	1,1	1,0	6,6	4,4	5,4	1,2	0,8

In den verockerten Sedimenten unmittelbar an der Mündung des Schwefel-Stollens (S9) sind Arsen und Silber in der Sandfraktion sowie Kupfer in der Ton-Schlufffraktion deutlich erhöht. Im Gegensatz dazu sind die Konzentrationen der anderen Elemente - auch bei Eisen - relativ niedrig. Unterhalb der Mündung (S10) sind nur noch die höheren Kupfergehalte in der Ton-Schlufffraktion und zusätzlich relativ hohe Eisengehalte festzustellen. Die Anreicherung von Kupfer und teilweise von Eisen ist auf die hohen Konzentrationen im Stollenwasser und auf Koagulation bzw. Adsorption an die geochemisch aktive Feinsubstanz zu erklären. Obwohl die Zink- und Mangankonzentrationen im Lösungswasser ebenfalls sehr hoch sind, ist im Gerinnesediment diesbezüglich keine Anreicherung festzustellen.

Nach Mündung des Katharinen-Stollens (S13) steigen mit Ausnahme von Kupfer alle Elementgehalte deutlich an. Im Gegensatz zum Schwefel-Stollen gelangen die Lösungswässer des Katharinen-Stollens jedoch nicht direkt in die Selke, sondern durchfließen erst einen schmalen etwa 60 m langen Teich. Durch die Beprobung vor und nach dem Teicheinlauf sollte untersucht werden, ob und inwieweit der Teich als Schwermetallsenke anzusehen ist.

Beim Vergleich der Bachsedimente vor (S12a) und nach dem Teich (S12c) sind mit Ausnahme von Eisen am Teichauslauf alle Werte höher als am Teicheinlauf (**Abbildung 20**). Dies bedeutet, daß der Teich nicht als Schwermetallsenke, sondern als zusätzliche Schwermetallquelle zu bewerten ist. In dem ockerfarbenen Bakterienschlamm (S12b), der direkt am Mündungsloch des Stollens entnommen wurde, sind Zink, Cadmium und Eisen extrem angereichert.

Wie schon nach der Mündung des Katharinen-Stollens beschrieben wurde, steigen auch nach Mündung des Schiebecksbaches die Elementgehalte in der Ton-Schlufffraktion erneut an. Die relative Anreicherung zwischen Probe S15 und S16 ist v.a. bei Blei (Faktor 2,2), Mangan (Faktor 1,7) sowie bei Cadmium, Kupfer (Faktor 1,5) und Zink (Faktor 1,3) besonders ausgeprägt. Wie aus **Tabelle 41** ersichtlich, bleiben die Gehalte der Sand- und Gesamtfraction dagegen annähernd gleich oder nehmen sogar ab. Aus dieser Tabelle geht auch hervor, daß die Sedimente des Schiebecksbaches nicht zur Erhöhung der Schwermetallgehalte im Gerinnebett der Selke beitragen. Uferabbrüche und die extremen Schwermetallgehalte in ufernahen Auenprofilen zwischen Mägdesprung und der Mündung des Schiebecksbaches könnten die hohen Gehalte im Gerinnesediment erklären.

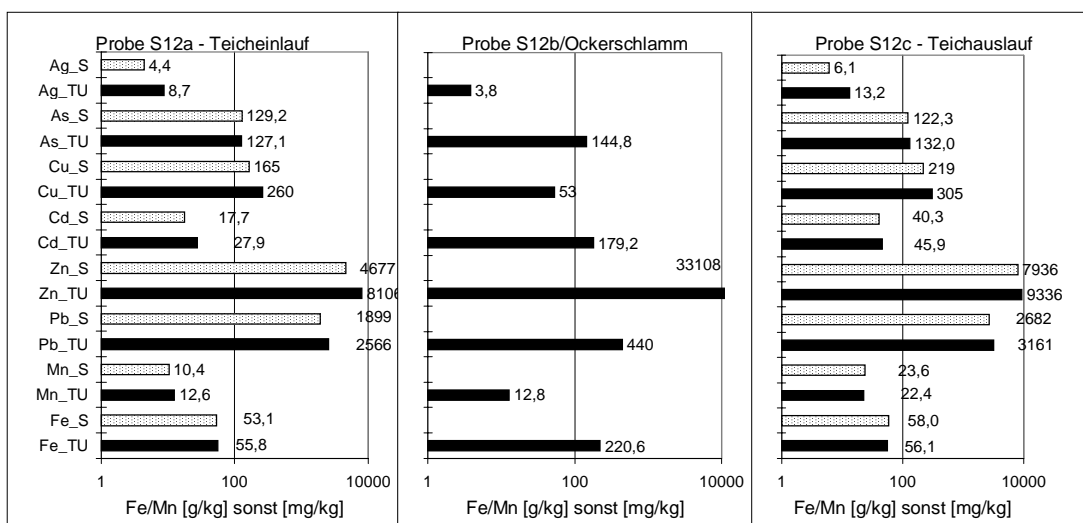


Abbildung 20 Metallgehalte im Gerinnesediment vor und nach dem Teich am Katharinen-Stollen (Xx_S: Konzentration des Elements Xx in der Sandfraktion; Xx_TU: Konzentration in der Fraktion < 63 µm)

Tabelle 41 Schwermetalle in Gerinnesedimenten (< 2 mm) der Harzselke vor (S15) und unmittelbar nach (S16) Mündung des Schiebecksbaches und im Unterlauf des Schiebecksbaches

Probe	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Ag	As
	[g/kg]		[mg/kg]					
S15*	84,6	6,8	2122	3086	15,0	229	7,9	152
Schiebecksbach	24,4	2,2	67	358	2,7	36	2,2	n.b.
S16*	61,5	2,8	3043	3020	14,9	218	8,5	124

* nach Korngrößenanteilen der Subfraktionen (TU, S) gewichteter Gesamtgehalt der Fraktion < 2 mm

5.2.4.4.2 Statistische Auswertung

Anhand statistischer Verfahren können vorhandene Ähnlichkeiten im geochemischen Verhalten einzelner Elemente charakterisiert werden. Eine Regressionsanalyse gibt Aufschluß darüber, welche Rolle Eisen- und Manganoxide beim Transport von Schwermetallen spielen. Da keine mineralogischen Analysen durchgeführt werden konnten, wurde dabei davon ausgegangen, daß die Elementgehalte von Eisen und Mangan in etwa den relativen Anteilen der entsprechenden Oxide gleichzusetzen ist.

Die Korrelationsmatrix der absoluten Elementgehalte (vgl. **Tabelle A23**) zeigt, daß, mit Ausnahme von Kupfer, alle untersuchten Metalle unabhängig von der Fraktion eine hoch signifikante positive Korrelation untereinander aufweisen.

Kupfer spielte bei den in der Vergangenheit im Harzeinzugsgebiet der Selke verarbeiteten Erzen nur eine sehr untergeordnete Rolle. Die relativ hohen Gehalte in rezenten Gerinnesedimenten und in den jüngsten Schichten einiger Auenprofile des Flußabschnittes B (z.B.: Profil B1_5, B2_2, B2_5) und die geringe Korrelation zu anderen typischen Bergbau-Elementen (Zink, Cadmium, Blei, Arsen) könnte mit relativ jungen Einträgen erklärt werden, die nicht in direktem Zusammenhang mit der historischen Montanwirtschaft stehen. Mangan weist in der Ton-Schlufffraktion zu Kupfer und Silber ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang auf.

In **Abbildung 21** und **Abbildung 22** sind die Schwermetallgehalte in Abhängigkeit der Eisen- und Mangangehalte der jeweiligen Subfraktion und die zugehörigen linearen Regressionsgeraden dargestellt sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) angegeben. Hier wird deutlich, daß Blei, Zink und Silber ($R^2 > 0,7$) in der Sandfraktion eine enge Beziehung zu Eisen(oxiden) und Kupfer ($R^2 = 0,61$) zu Mangan(oxiden)

aufweisen. In der Ton-Schlufffraktion ist der Zusammenhang mit Eisen deutlich geringer ($R^2 < 0,5$) und hinsichtlich Mangan nur bei Arsen von Bedeutung. Diese Ergebnisse decken sich sehr gut mit den entsprechenden Erkenntnissen an jungen Auensedimenten kurz vor Meisdorf, in denen ebenfalls eine hohe Affinität der Buntmetalle zu Mangan festzustellen ist (vgl. **Kapitel 5.2.3.3.1**).

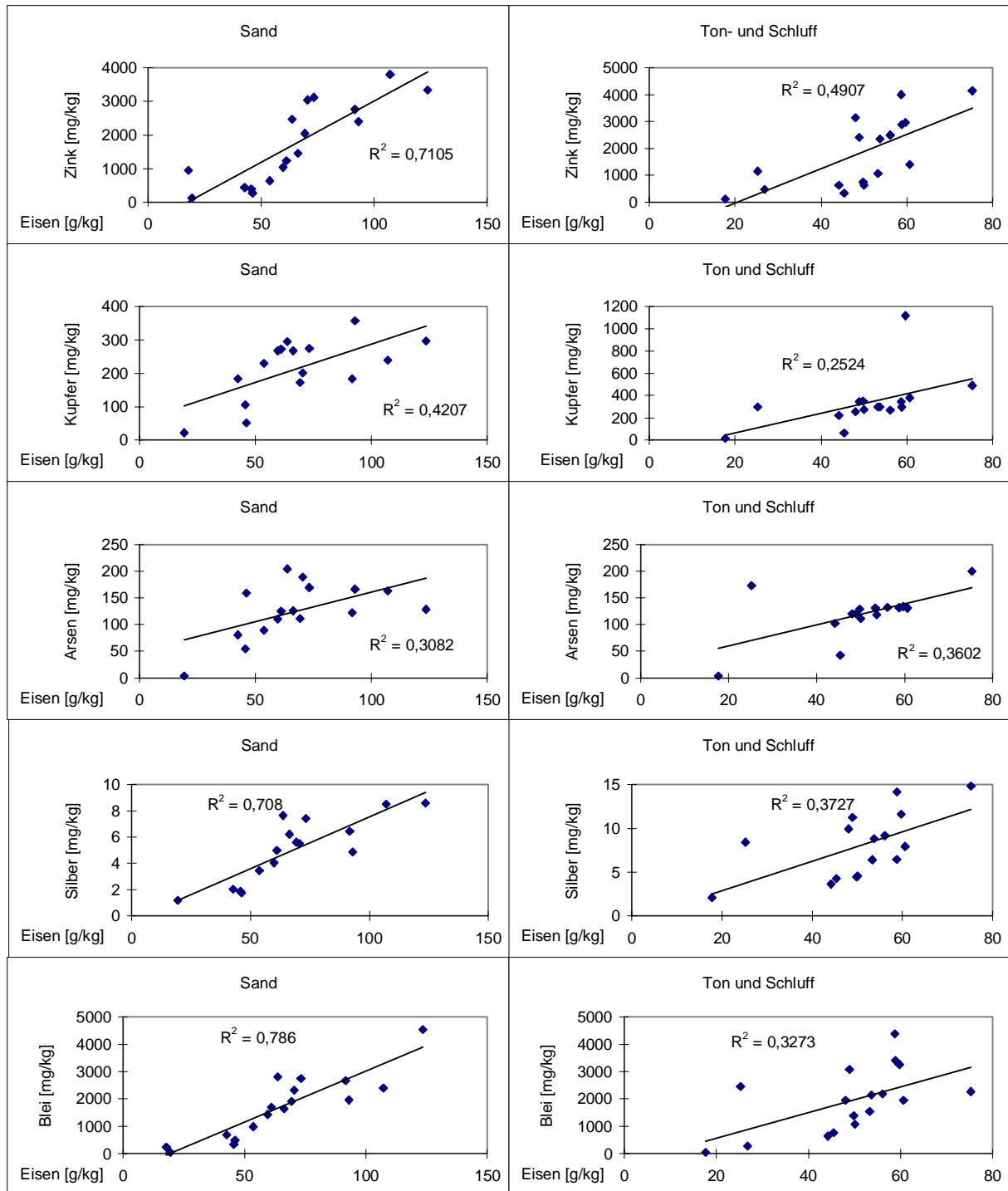


Abbildung 21 Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Eisengehalt in rezenten Gerinnesedimenten Harzselke

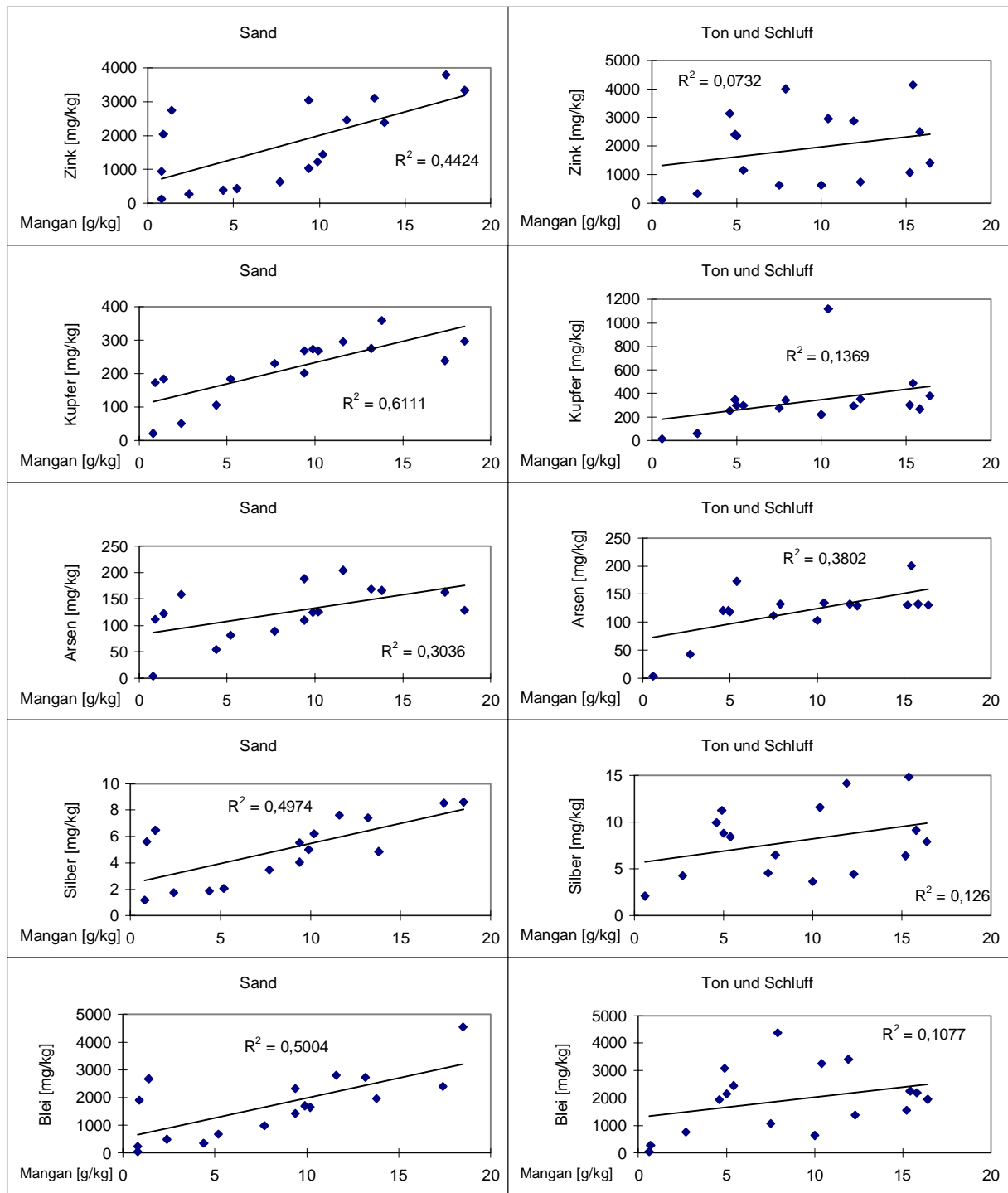


Abbildung 22 Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Mangan Gehalt in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

5.2.4.5 Zusammenfassung

Sowohl im Wasser der Selke als auch der Bode und ihrer Nebenflüsse sind die mittleren Schwermetallgehalte im Jahresdurchschnitt relativ niedrig, wobei die Kupfer-, Blei- und Mangankonzentrationen der Harzselke - v.a. im Flußabschnitt B2 (Pegel Silberhütte) - über denen der Bode/Harz liegen. Bei Intensivuntersuchungen der Harzselke wurden hier bezüglich Cadmium, Kupfer, Zink, Eisen und Mangan sogar mäßige bis kritische Belastungen ermittelt (HEINDORF 1993, ANONYMUS 1994). Obwohl bei der Harzselke aufgrund der verbesserten Wasserhaltung in der ehemaligen Flußspatgrube Straßberg eine deutliche Absenkung der Gehalte seit 1994 festzustellen ist, erreicht Mangan hier immer noch sehr bedenkliche Konzentration um 500 µg/l. Im Gegensatz zur Bode/Harz besteht bei der Harzselke für Blei eine signifikant positive Korrelation der Gehalte zur Abflußmenge, was auf die Herkunft aus älteren und durch historischen Bergbau stark vorbelasteten Auen- bzw. Talsedimenten zurückzuführen ist.

Die Intensivuntersuchungen der Harzselke ergaben im Flußlängsverlauf lokale Belastungsschwerpunkte, deren Ursachen bislang weitgehend ungeklärt geblieben sind. Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigt sich, daß die erhöhten Schwermetallgehalte im Wasser der Selke nach Straßberg und der Mündung des Schiebecksbaches im Zusammenhang mit Rücklösungsprozessen aus älteren Auen- und Talsedimenten sowie rezenten Gerinnesedimenten stehen. Eine Erklärung dafür könnte die erhöhte Konzentration an komplexierend wirkenden Liganden (u.a. DOC, EDTA, F⁻) durch die Einleitung kommunaler Abwässer, Deponiewässer bzw. Lösungswässer sein.

In den untersuchten Lösungswässern historischer Stollen sind zwar die Schwermetallgehalte teilweise sehr hoch (Katharinen-Stollen, Schwefel-Stollen), führen aber aufgrund der geringen Abflußmengen im Gegensatz zum Wiesenbach, über den Grubenwässer der bis 1991 betriebenen Flußspatgrube Straßberg eingeleitet werden, nicht zur Erhöhung der Gehalte im Selkewasser. Dies ist teilweise durch die Auswahl der Probennahmestandorte und die Überdeckung durch andere Einleitungen bedingt.

In den Gerinnesedimenten der Selke sind die Schwermetallgehalte insgesamt sehr hoch und weisen in ihrer räumlichen Variabilität deutliche Zusammenhänge zur Verbreitung schwermetallreicher, ufernaher Auen- und Talsedimente sowie dem Gefälle bzw. der Fließgeschwindigkeit auf. Im am stärksten belasteten Flußabschnitt C zwischen Alexisbad und der Mündung des Schiebecksbaches steigen in der Sandfraktion die Konzentrationen stärker an als in der Ton-Schluff-Fraktion, während die Gehalte in der feineren Kornfraktion meist höher liegen.

Aufgrund der hohen pH-Werte werden die gelösten bzw. kolloidal eingetragenen Schwermetalle aus angereicherten Lösungswässern unmittelbar nach der Mündung in die Selke im Gerinnesediment festgelegt. Während im Wasser der Selke diesbezüglich keine Konzentrationserhöhungen festzustellen waren, bewirken die hohen Gehalte in den Lösungswässern des Katharinen-Stollens und des Schwefel-Stollens eine deutliche Erhöhung der Konzentrationen einiger Elemente im Gerinnesediment. Beim Wiesenbach ist das Gegenteil zu beobachten, da hier die Gehalte im Wasser deutlich und im Gerinnesediment nur wenig ansteigen.

Am Harzrand sind die Gehalte in den Gerinnesedimenten niedriger als im Oberlauf, da die Verdünnungsrate hoch ist und/oder die Verlagerungsgeschwindigkeit der Schwermetallanomalien im Gerinnebett seit dem letzten großen Hochwasser (April 1994) relativ niedrig ist. Außerdem ist hier die Anreicherung aller Elemente in der Ton-Schlufffraktion am stärksten ausgeprägt.

Bezüglich der Schwermetallbindung scheint in der Sandfraktion der Gerinnesedimente eine hohe Affinität der Buntmetalle zu Eisen- und Manganoxihydroxiden zu bestehen.

5.2.5 Arsen in rezenten und historischen Sedimenten

Arsen ist kein Schwermetall sondern ein Metalloid. Aufgrund der natürlichen und anthropogenen Anreicherung in der Umgebung von Lagerstätten bzw. Bergwerken sowie der ökotoxikologischen Bedeutung wurde dieses Element mit in das Meßprogramm einbezogen. Bei der geochemischen Prospektion wird Arsen häufig als Zeigerelement für Metall-Lagerstätten genutzt. Aufgrund der heterogenen Bindungsformen ist Arsen geochemisch nicht mit den untersuchten Schwermetallen

vergleichbar, da es in der Natur nicht als Kation, sondern als Oxianion in fünf- bzw. dreiwertiger Form vorkommt. Die Toxizität von Arsen(III) ist dabei höher einzustufen als von Arsen(V). In aeroben Bodenhorizonten ist zu 90 Prozent Arsen(V) anzutreffen, während im wassergesättigten Bereich Arsen(III) vorherrscht (MERIAN 1984, 319ff, ALLOWAY 1995, 106ff).

Die Löslichkeit, Oxidationsstufen und Bindungsformen von Arsen sind abhängig von den pH-Werten und den Redoxbedingungen, wobei die Mobilität durch die Anwesenheit organischer Substanz, Eisenoxihydroxiden und Tonmineralen eingeschränkt ist (ALLOWAY 1995, 318ff). Nach PANTSAR-KALLIO & MANNINEN (1997) ergibt sich in Abhängigkeit vom pH-Wert folgende Reihenfolge der mobilen Anteile von As(V) bzw. As(III) am Gesamtarsengehalt:

mobiles As(V): pH 13 > pH 1 >> pH 3-9
mobiles As(III): pH 1 >> pH 3-9 > pH 13

Arsen(V) ist demnach sowohl in extrem basischem als auch sehr saurem Milieu mobil; Arsen(III) nur in extrem saurem Milieu.

Nach ALLOWAY (1995, 119) ist es bei geochemischen Arbeiten entscheidender, die verschiedenen Bindungsformen und Oxidationsstufen von Arsen zu ermitteln als Aussagen über die Gesamtgehalte zu machen. Aus diesem Grund und wegen des weitgehend ungeklärten geochemischen Verhaltens wird im folgenden nur kurz auf die räumliche Variabilität der ermittelten Arsenkonzentrationen eingegangen.

Im Untersuchungsgebiet stellen die flächenhafte natürliche Arsenanomalie (vgl. Karte 4) im Einflußbereich des Ramberg-Plutons und die ehemalige Pyritgrube „Einheit“ im Elbingeröder Komplex die wichtigsten Quellen für Anreicherungen in Sedimenten dar (RENTZSCH ET AL. 1984). In ausgewählten Profilen der Harzbode wurden insgesamt 12 und in Profilen der Harzselke 78 Einzelproben auf Arsen analysiert (vgl. Tabelle A14 bis A16).

Die mittleren Arsengehalte der jungen humosen Auensedimente der Harzbode (18 mg/kg) liegen nur geringfügig über denen der älteren, nicht angereicherten, liegenden Sedimente (15 mg/kg). Die maximalen Konzentrationen (25 mg/kg) überschreiten dabei den regionalen Hintergrund (10 mg/kg) nur wenig. Der Einfluß des Pyritbergbaus auf die Arsenkonzentrationen in historischen Sedimenten ist trotz der extremen Arsengehalte in Bachsedimenten des Elbingeröder Komplexes (RENTZSCH ET AL. 1984) als unbedeutend einzustufen.

Im Untersuchungsgebiet der Harzselke verhalten sich die Arsengehalte in ihrer vertikalen und horizontalen Variabilität entsprechend dem generellen Trend der Schwermetalle. Im Flußabschnitt B1 liegen die Gehalte vor der Agezuchtmündung im Bereich des regionalen Hintergrundes und sind in den humosen Auensedimenten leicht gegenüber den Graulehmderivaten/-relikten erhöht. Die maximalen Konzentration mit Werten um 270 mg/kg werden im Flußabschnitt B2 und im Profil D_1 nach Mägdesprung erreicht. Da bereits die natürliche Anreicherung zu einer flächenhaften, mehr als zehnfachen Anreicherung führen kann, sind die extremen Gehalte nur zum Teil auf historischen Bergbau zurückzuführen. Im Flußabschnitt E sind die Konzentrationen in den humosen Auensedimenten wieder deutlich niedriger ($\bar{\varnothing}$ 76 mg/kg).

In den Gerinnesedimenten liegen die Arsengehalte in einer ähnlichen Größenordnung wie in den entsprechenden historischen Sedimenten. Die extremen Konzentrationen in Verockerungen des Schwefel-Stollens (395 - 3324 mg/kg) sind auf Verwitterung von Arsenopyrit und die Einleitung der Lösungswässer zurückzuführen. Bei Meisdorf sind die Gehalte sehr niedrig und liegen deutlich unterhalb des regionalen Hintergrundes.