

Schwermetalltiefigradienten in Auensedimenten der Selke als Ausdruck der historischen Montanwirtschaft im Ostharz

Lorenz DOBLER

7 Abbildungen und 2 Tabellen

ABSTRACT

DOBLER, L.: Vertical gradients of heavy metals in floodplain sediments of the river Selke as indicator of ancient mining activities in the Eastern Harz Mountains. - *Hercynia N.F.* 34 (2001): 171 - 186.

The beginning of mining activities in the surroundings of the local mining centre in the *Eastern Harz Mountains* is unknown. First indications are from the late 8th century. Relative highdays of historical mining activities are known from about 1450 AD until 1618 AD and from about 1700 AD until 1765 AD (*Straßberg*) and 1903 AD respectively (*Neudorf/Harzgerode*). Until 1765 AD mining for silver ores and Galenit was most important and in the following decades iron ores (Neudorf, Tilkerode) and feldspar became dominant. Geochemical investigations and datings (^{14}C) between *Güntersberge* and *Meisdorf* showed that horizontal and vertical patterns of heavy metal contents, especially lead, reflect local mining history. Upstream of *Agezucht* creek loamy grey sediments (Graulehme) are nearly unaffected by mining, downstream heavy metal contamination is severe and worst between *Straßberg* and *Alexisbad/Mägdesprung*. Here mine tailings from processing plants near *Straßberg* were deposited over older grey sediments until the beginning of the 20th century. High metal concentrations in old grey sediments indicate that mining was at least active since the late middle ages (13th century) and might have already begun in the early middleage (7th century). Similar results are known from the western parts of the Harz Mountains. After cessation of mining activities typical brown floodplain sediments derived from the catchment area of the *River Selke* were deposited over the mine tailings. In the youngest sediments concentrations are still high because of mixing with older contaminated sediments and recent input of copper-rich fluid waste from a feldspar mine near *Straßberg* (active until 1990). Towards the margin of the Harz Mountains heavy metal concentrations decrease and the maximum shifts towards the younger sediments.

Keywords: Heavy metals, floodplain sediments, mining, harz mountains

1 EINLEITUNG

In Flußsystemen sind die geomorphologisch-sedimentologischen Verhältnisse der Täler das Ergebnis eines dynamischen Gleichgewichts zwischen externen (Klima, Nutzung) Verhältnissen im Einzugsgebiet und internen (hydraulischen) Prozessen im jeweiligen Flußtal bzw. Flußabschnitt. In vielen Mittelgebirgen ist im Zusammenhang mit der montanwirtschaftlichen Erschließung seit dem Hochmittelalter bis zum Ende des 20. Jahrhunderts mit besonders gravierenden Eingriffen bzw. Störungen des natürlichen Stoffhaushaltes der Landschaft zu rechnen. Die verstärkte Ablagerung von Auensedimenten in den Flußtälern ist dabei Ausdruck verstärkter fluvialer Massenbewegungen. In historischen Buntmetall-Bergbaugebieten wurden gleichzeitig große Mengen potentiell toxischer Metalle aus ihrer ursprünglichen Lagerung und chemischen Bindung freigesetzt. Nach Schätzungen sind heute zwischen 29 und 44 Prozent der Metalle, die in der Vergangenheit direkt oder indirekt in das fluviatile System gelangten, in den unmittelbar angrenzenden flußabwärtigen Auensedimenten gespeichert (MACKLIN et al. 1997).

Neben der potentiellen Gefahr, die Schwermetalle in Auen für aquatische und terrestrische Ökosysteme darstellen, können die Schwermetall-Tiefengradienten in Auenprofilen aber auch als „stratigraphische (Zeit-)Marker“ genutzt werden, wenn man davon ausgeht, daß in Blütephasen des Bergbaus mehr Schwermetalle in die Umwelt freigesetzt wurden als in Phasen mit verminderter bzw. ruhender Montanaktivitäten. Damit können indirekt Aussagen zum Alter bestimmter Sedimentschichten und zur Bergbau- und

Landschaftsgeschichte gemacht werden (DAVIES et LEWIN 1974; WOLFENDEN et LEWIN 1977; MACKLIN et al. 1985; NIEHOFF et al. 1992; TAYLOR et LEWIN 1996; MATSCHULLAT et al. 1997). Dies setzt voraus, daß in den Tälern seit Beginn des Bergbaus Akkumulationsbedingungen vorherrschten und Erosion bzw. nachträgliche Sedimentumlagerungen nur eine untergeordnete Rolle spielen.

2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Zahlreiche Untersuchungen aus dem Westharz belegen, daß stromabwärts der historischen Erzbergbaugebiete rezente Fließgewässer und Auen(ober-)böden extrem mit Schwermetallen kontaminiert sein können und nur noch mit Einschränkungen für die Trinkwassergewinnung bzw. landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung stehen (BAUMANN et al. 1977; BAUMANN 1984, FYTIANOS 1982; KNOLLE 1989; MATSCHULLAT et al. 1991; DITTMER 1994; EGGERS et WOLF 1996). Besonders betroffen sind die Flüsse Oker und Innerste (MERKEL et KÖSTER 1980). In einigen Auenprofilen konnten anhand von Schwermetallanreicherungen und Datierungen Hinweise auf bislang unbekannte Bergbauperioden gefunden werden (MATSCHULLAT et al. 1997; NIEHOFF et al. 1992).

Obwohl der Ostharzer Bergbau in seiner Bedeutung immer im Schatten des Westharzes stand, ist auch hier aufgrund der langen Bergbautradition im lokalen Zentrum des Buntmetallbergbaus (Straßberg/Harzgerode) mit einer relativ starken Anreicherung von Schwermetallen in Auensedimenten der Selke zu rechnen. Trotzdem fehlen hier bislang geoökologische bzw. sedimentologisch-umweltgeschichtliche Untersuchungen - vergleichbar denen im Westharz - weitgehend.

Ziel der Arbeit war es, anhand von sedimentologisch-geochemischen Untersuchungen sowie ^{14}C -Datierungen die Auensedimente der Selke/Harz unter Berücksichtigung der Montangeschichte chronostratigraphisch einzuordnen und Rückschlüsse auf die montan- und umweltgeschichtliche Entwicklung im Einzugsgebiet zu ziehen.

3 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

3.1 Geologie und Geomorphologie

Das Einzugsgebiet der Selke umfaßt innerhalb des Ostharzes ca. 190 qkm und gehört dem übergeordneten Einzugsgebiet der Bode an, in die sie im nördlichen Harzvorland einmündet (Abb. 1). Geologisch ist das Einzugsgebiet v.a. durch karbonische und devonische Sedimentgesteine (Olisthostrome, Grauwacken) geprägt.

Die wellige Hochfläche des Ostharzes ist der Rest einer tertiären Landoberfläche, die aufgrund jüngerer tektonischer Bewegungen von Nordwesten nach Südosten einfällt und durch Härtlinge (Diabas) und tief eingeschnittene Täler gegliedert wird. Im Einzugsgebiet der Selke erreicht die Hochfläche 450 bis 200 m ü NN., wobei der Ramberg (Granit, 582 m ü. NN) und der Auerberg (Porphyry, 580 m ü. NN) die höchsten Erhebungen darstellen. Während der Elstereiszeit reichte das Vorlandeis östlich bis zur Linie zwischen Ramberg und Auerberg. In der letzten Eiszeit herrschten im gesamten Untersuchungsgebiet dagegen periglaziäre Bedingungen mit Lößaufwehung vor (FRÜHAUF 1991). Das Substrat der Bodenbildung bilden fast ausschließlich Lößschutt und Berglöß. Am nördlichen Harzrand nehmen Löß und Sandlöß größere Flächen ein, während der Anteil an Lößschutt zurückgeht.

Die Flußtäler des nördlichen Ostharzes (Bode, Selke, Wipper, Eine) entstanden weitgehend im Plio-Pleistozän durch rückschreitende Erosion und weisen eine typische Talasymmetrie mit steilen West- und flacheren Osthängen auf. Sie orientieren sich in ihrem Verlauf vorwiegend an der Abdachung der Harzhochfläche (NW - SO). Die Ablenkung nach Nordosten ist auf ältere (saxonische) tektonische Linien und nicht auf petrographische Unterschiede zurückzuführen (MÜCKE 1966). Die pleistozänen Schotter der Niederterrassen sind im Harz relativ geringmächtig und ältere Schotterterrassen nur in wenigen Resten erhalten. Im Längsverlauf weisen die Flüsse charakteristische Gefällsknicke auf. In bezug auf

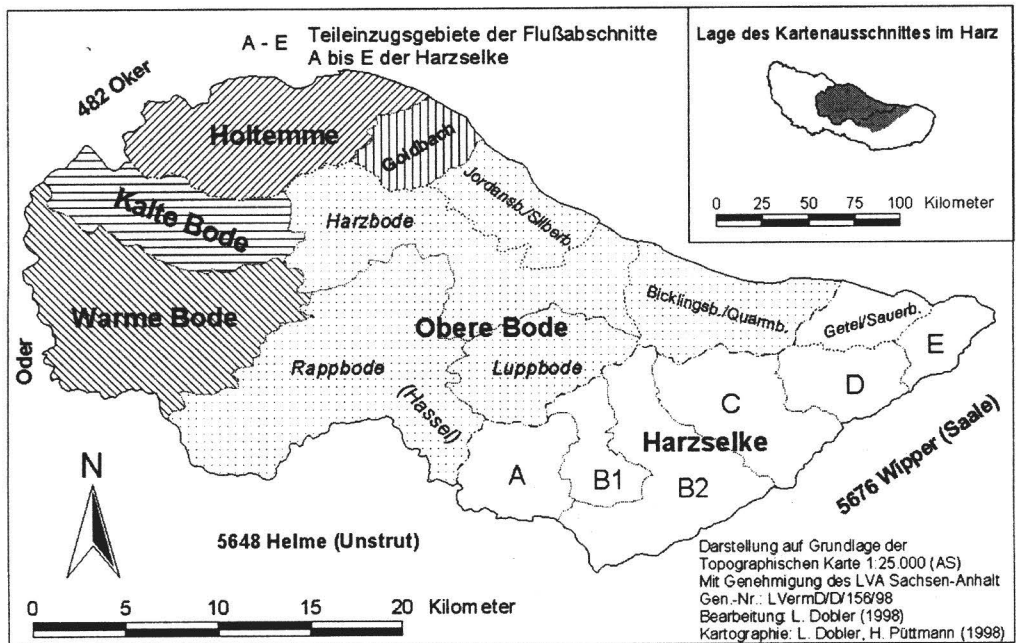


Abb. 1: Oberirdische Wassereinzugsgebiete von Bode und Selke im Harz

die Stratigraphie holozäner Talsedimente des Ostharzes liegen bislang nur für die Wipper detailliertere Ergebnisse vor (WILL 1957).

3.2 Lagerstätten und regionaler geochemischer Hintergrund

In Zusammenhang mit der Intrusion des Ramberg-Plutons im Oberkarbon bildeten sich im Ostharz zahlreiche pneumatholytisch-hydrothermale Ganglagerstätten, wovon ein Großteil im Einzugsgebiet der Selke liegt. Die größten und wichtigsten Erzzüge sind dabei die parallel zum Oberlauf der Selke verlaufenden Biwender und Straßberg-Neudorfer Gangzüge zwischen Güntersberge und Neudorf/Königerode. Die wirtschaftlich wichtigsten Erze darin waren silberhaltiger Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Arsenkies, Fahlerz, Wolframit, Flußspat und Eisenspat (MOHR 1993).

Um die Schwermetallgehalte in Sedimenten richtig beurteilen zu können, ist es notwendig, die natürlichen Elementgehalte und deren Schwankungsbreiten zu kennen. Mit Einschränkungen können für das Untersuchungsgebiet die "Regionalen Hintergrundwerte" von RENTZSCH et BIRKE 1984 herangezogen werden (Tabelle 1). Diese wurden anhand von mehr als 2000 Sedimentproben aus Bächen erster und zweiter Ordnung für die Kornfraktion bis 0,2 Millimeter ermittelt. Da es sich um rezente Sedimente handelt, ist in diesen Werten auch schon eine gewisse anthropogene Zusatzbelastung (äolische Deposition, Landwirtschaft) enthalten. Unter Ausschluß labormethodischer Unterschiede und unter Berücksichtigung des eventuell vorhandenen Korngrößeneffekts können diese Werte näherungsweise als *Obergrenze* der regionalen, natürlichen Schwermetallgehalte innerhalb der Fraktion bis zwei Millimeter betrachtet werden. Im Vergleich zum Tonschieferstandard nach TUREKIAN et WEDEPOHL (1961) sind Mediane und Modi der Elemente Blei, Zink, Mangan und Silber deutlich erhöht, während die Arsengehalte nahezu identisch und die Kupfergehalte sogar etwas niedriger sind.

Tab. 1: Hintergrundwerte (Modus) der analysierten Elemente im Ostharz (RENTZSCH et BIRKE 1984) im Vergleich zu mittleren Gehalten ausgewählter Sedimentite (nach TUREKIAN et WEDEPOHL 1961)

Element	Ostharz (rezente Bachsedimente < 0,2 mm)					nach Turekian & Wedepohl 1961*		
	n	Mittel	Modus	Median	StAbw.	Sandsteine	Grauwacken	Tonschiefer
		[mg/kg]						
Pb	2710	101	61	72	2,6	7	n.b.	20
Zn	2455	247	140	190	4,9	16	60	95
Cu	2710	61	34	39	3,1	<10	45	45
As	2464	24	10	9,9	2,4	1	n.b.	10
Ag	2710	0,8	0,5	0,5	0,1	<0,1	n.b.	0,07
Mn	2387	2384	565	1640	58	<100	750	850

(*aus: SEIM et TISCHENDORF 1990, Anlage 12)

Die zahlreichen Erzgänge zwischen Ramberg und Auerberg bewirken in der Umgebung von Straßberg/Harzgerode flächenhafte, natürliche Schwermetall- und Arsenanomalien. An ehemals bebauten Gängen werden diese durch anthropogene Einflüsse verstärkt und können weit über das 10fache des "lokalen geochemischen Hintergrundes" erreichen. Nicht durch primäre Erzanreicherungen, d.h. lithologisch und milieubedingte geochemische Anomalien sind dagegen nur kleinräumig von Bedeutung (RENTZSCH et BIRKE 1984, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1985).

3.3 Lokale Bergbaugeschichte

Der Beginn der bergbaulichen Aktivitäten in der Umgebung von Straßberg/Harzgerode liegt im Dunklen. Es gibt jedoch Vermutungen, wonach hier schon im 8. Jahrhundert Bergbau umgegangen sein soll (HARTMANN 1957). Die erste urkundliche Erwähnung von Erzabbau in der näheren Umgebung stammt aus dem Jahre 1300. Zwischen 1450 und 1550 entwickelte sich die Umgebung von Straßberg und Harzgerode zum lokalen Zentrum der Silbergewinnung im Unterharz (BARTELS et LORENZ 1993). Nach der europaweiten Bergbaukrise Ende des 16. Jahrhunderts und dem 30jährigen Krieg erlebte der ostharzer Silberbergbau in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine kurze Blütezeit. Aufgrund unterschiedlicher territorialer Zugehörigkeit (Grafschaft Stolberg-Stolberg/Fürstentum Anhalt-Bernburg) entstanden im Einzugsgebiet der Selke zwei konkurrierende Reviere mit teilweise abweichender Entwicklung (OELCKE 1973, 1978).

Mitte des 18. Jahrhunderts und Anfang des 19. Jahrhunderts können nach Niedergang des Stolbergisch-Straßberger Silberbergbaus (Gesamtförderung: 1700-1763 ca. 11,5 t Silber) im benachbarten anhaltischen Revier neue Silber- und Eisenerzmittel nutzbar gemacht werden. Die Gruben Pfaffenberg und Meiseberg bei Neudorf waren zu dieser Zeit die wichtigsten Erzbergwerke im Unterharz. Im 19. Jahrhundert bis Anfang des 20. Jahrhunderts wurden vorwiegend Eisenerze und Flußspat abgebaut. Insgesamt wurden im anhaltinischen Harz in der Zeit nach dem 30jährigen Krieg bis ca. 1920 knapp eine Million Tonnen Blei-Silbererze, 38.000 Tonnen Kupfererze und knapp 60.000 Tonnen Eisenerze (incl. Tilkeröder Revier im Einzugsgebiet der Eine) abgebaut (OELCKE 1973). Da nicht für alle Gruben Angaben über die Abbaumengen vorliegen, sind diese Werte als Mindestmengen zu verstehen. Aufbereitung und Verhüttung erfolgen seit dem 18. Jahrhundert größtenteils im (anhaltischen) Selkepothwerk (1695 - 1903) zwischen Straßberg und Silberhütte bzw. in Mägdesprung (1646 - 1695 und 1742 - 1875) sowie in Silberhütte (seit 1692). Im Gegensatz dazu konzentrieren sich in Straßberg sämtliche Montanbetriebe auf engstem Raum. Nach Entdeckung bedeutender Flußspatvorkommen nördlich von Straßberg werden hier bis 1991 insgesamt noch 1 Million Tonnen Flußspat abgebaut (OELCKE 1973).

Zahlreiche teilweise noch heute genutzte Röschen, Gräben und Teiche sind Zeugen der intensiv betriebenen Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet, wobei auch Wasser aus benachbarten Einzugsgebieten zugeführt wurde (KRAUSE 1967).

4 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Aus vorliegenden historisch-geographischen und montanarchäologischen Ergebnissen wurden für das Untersuchungsgebiet zunächst „umweltrelevante“ Bergbauepochen ausgegliedert, um festzustellen wo und zu welchen Zeiten mit relativ erhöhter Schwermetallfreisetzung aus dem Bergbau zu rechnen ist.

Anhand des Gefälles des Talbodens der Selke/Harz, der geologischen Verhältnisse, der Lage wichtiger Montanbetriebe und sedimentologischen Geländebefunden (Bohrungen, Schurfe) wurde das Einzugsgebiet der Selke zunächst in Teileinzugsgebiete gegliedert. Anschließend wurden in jedem Abschnitt mehrere repräsentative Auenprofile aufgenommen und lückenlos beprobt. Die Profile befanden sich ausschließlich im Uferabbruchbereich, da hier die größte Mächtigkeit und eine deutliche Gliederung der Sedimente auftrat. Die eigentliche Probenentnahme orientierte sich dabei in erster Linie an sedimentologischen (Struktur, Korngröße) und in zweiter Linie an pedologischen (Grundwassereinfluß) Unterschieden im Tiefenverlauf. Die Mächtigkeit der einzelnen Proben lag in der Regel bei 10 cm und schwankte in Ausnahmefällen zwischen 5 und 20 cm. In Anlehnung an die "Bodenkundliche Kartieranleitung" (AG Boden 1994) wurden aufeinander folgende Sedimentschichten von oben nach unten durch römische Ziffern und zusätzlich durch nachfolgende Kleinbuchstaben gekennzeichnet (I[a/b/c], II[a/b/c]), wenn anhand der Korngrößenanalysen deutliche Veränderungen des Grobsand-Feinsand-Quotienten zu erkennen waren.

Im Labor wurden die Proben bei 40 °C luftgetrocknet, im Porzellanmörser homogenisiert und mit Kunststoffsieben auf 2 mm abgesiebt. Die weiteren Analysen erfolgte ausschließlich an der Fraktion < 2 mm. Die Korngrößenverteilung wurde mittels Laserbeugung, Glühverlust sowie Gehalte der Elemente Eisen, Mangan, Blei, Kupfer, Zink, Cadmium und Silber im Königswasseraufschluß ermittelt.

Die nachfolgende Horizontsymbole beziehen sich auf die pedologische Einordnung der jeweiligen Schicht. Dabei bedeutet:

aGo-M/aM-Go	Humoses, lockeres, junges Auensediment (erodierter Oberboden aus dem Einzugsgebiet) im Grundwasserschwankungsbereich mit schwacher bzw. mittlerer Rostfleckung. In den obersten 5 bis 10 cm ist meist ein humusreicher Ah-Horizont bzw. Graswurzelfilz ausgebildet
aGo	älteres Sediment im Grundwasserschwankungsbereich mit starker Rostfleckung und ohne erkennbare Humusanreicherung
aG(h)r	Meist graues bis dunkelgraues (dann „h“ für Humusanreicherung) Sediment unterhalb des Grundwasserschwankungsbereiches (ständig reduzierendes Milieu)
aPS	Laminare Pochsandlagen, im oberen Bereich meist in Kombination bzw. in Wechsellagerung mit jungen Auensedimenten

Für die geochemisch-stratigraphische Interpretation von Schwermetalltiefengradienten in Auensedimenten können nur solche Elemente herangezogen werden, für die - bei den herrschenden geochemischen Bedingungen (pH, Eh) - eine postsedimentäre Verlagerung bzw. ein nachträglicher Eintrag durch Grund- und/oder Sickerwasser weitgehend ausgeschlossen werden kann. Am besten hat sich dabei das Element Blei als "Schichtzeiger" auch in anderen ähnlichen Untersuchungen bewährt (MACKLIN et al. 1985).

Die Radiokarbondatierungen wurden am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte.

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

5.1 Lokale Bergbaugeschichte und umweltrelevante Perioden des Osthärzer Bergbaus

Der Harz kann heute auf eine mindestens 1000jährige Bergbautradition zurückblicken. Insbesondere im Ober- und Mittelharz sind seit dem 9. Jahrhundert Bergbau- und Siedlungsgeschichte eng miteinander

verknüpft. Im Unterharz sind die Zusammenhänge nicht so eindeutig, da hier auch die bäuerliche Kolonisation seit dem 8. Jahrhundert eine größere Rolle spielte.

Die Ausgliederung "umweltrelevanter" Bergbauepochen soll eine zeitliche Einordnung von Schwermetalltiefengradienten in Auenprofilen erleichtern. Die Periodisierung erfolgte in Anlehnung an entsprechende Ergebnisse aus dem Oberharz (DENECKE 1978, BARTELS 1995, 1996). Die Abgrenzung der älteren Epochen (vor 1700 AD) orientierte sich v. a. an überregionalen Entwicklungstendenzen (KROKER et WESTERMANN 1984; STEUER et ZIMMERMANN 1993), die jüngeren (ab 1700 AD) verstärkt an der lokalen Bergbaugeschichte (Abb. 2).

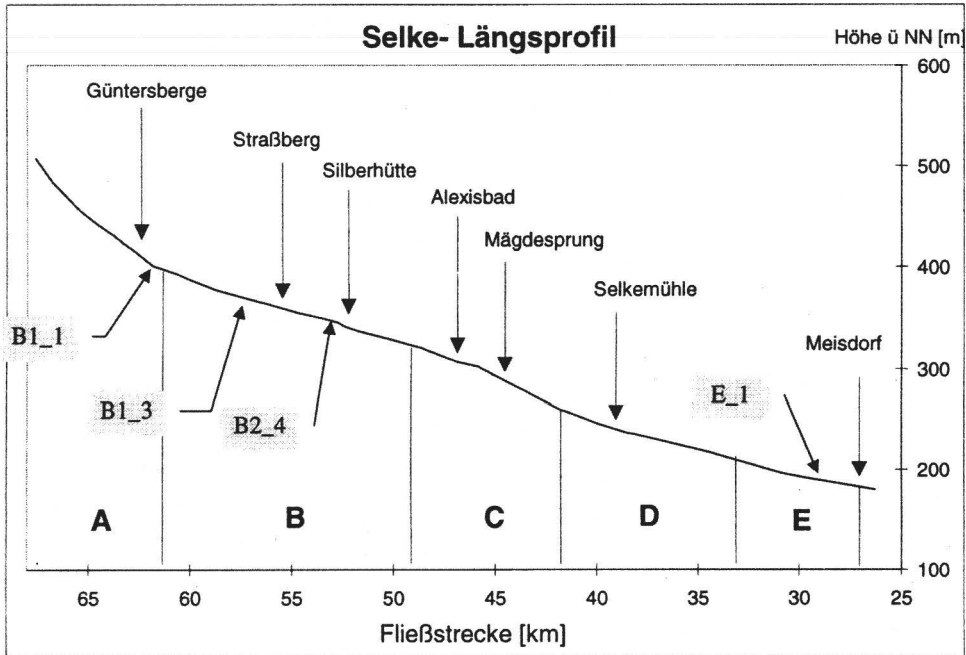


Abb. 2: Längsprofil (Wasserspiegelhöhe) mit Flußabschnitten der Selke im Harz und Lage der Profile

In Tabelle 2 ist die Chronologie des osthärzler Bergbaus in vier Hauptperioden (I, II, III, IV) gegliedert, die weiter unterteilt sind (a-d) und jeweils mit einer deutlichen Zäsur der Montanaktivitäten abschließen. Neben besonderen Ereignissen in der Entwicklung der lokalen Bergbaugeschichte sind auch überregionale technikgeschichtliche Aspekte des mitteleuropäischen Bergbaus berücksichtigt, da diese Einfluß auf Sedimentationsverhältnisse und die Schwermetallfreisetzung bzw. -verbreitung haben. Als besonders prägnante Blütezeit des lokalen Bergbaus und Zeit der maximalen Schwermetallfreisetzung in die Umwelt ist dabei die Phase IVa anzusehen. Aus der Zeit vor 1650 AD liegen keine Informationen über Abbaumengen vor, so daß hier die Phasen mit verminderten Montanaktivitäten ([Ic], IIc, IIIb, IVd) für die Interpretation von Schwermetalltiefengradienten in Auen-sedimenten von Bedeutung sind.

5.2 Schwermetalltiefengradienten in ausgewählten Auenprofilen der Selke/Harz

Im folgenden sollen anhand von vier charakteristischen Profilen aus unterschiedlichen Flußabschnitten der Selke die Schwermetalltiefengradienten dargestellt und die Möglichkeiten ihrer stratigraphischen Einordnung unter Berücksichtigung der Bergbaugeschichte diskutiert werden.

Tab. 2: Chronologische Übersicht der Bergbauepochen im Ostharz

	Zeit	Epoche	Allg. Bergbaugeschichte (Harz)	Montantechnik
Ia	4000-2600 -1000	Kupferzeit Bronzezeit	<ul style="list-style-type: none"> • 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?) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tagebau auf oberflächennahe hochkonzentrierte Reicherzonen, bzw. Raseneisenerze • Primitive Aufbereitung (Klauben) und Verhüttung (Rennöfen) in Lagerstättennähe
	1000-0 BC	Eisenzeit		
Ib	0 - 4. Jahrh.	Römische Kaiserzeit /Germanen	<ul style="list-style-type: none"> • Deutliche Steigerung der Eisenproduktion in Norddeutschland • Erzabbau im Oberharz, Verhüttung am Gebirgsrand (Düna/Osterode, Gittelde) • Kontinuierliche Verhüttung in Düna (Westharz) archäologisch belegt 	
Ic	4. - 6. Jahrh..	Völker- wanderung		
IIa	7. - 9. Jahrh.	Frühes Mittelalter	<ul style="list-style-type: none"> • Umfangreiche saisonale Abbau- und Verhüttungsaktivitäten (Mittel-, Westharz) • Indirekte Hinweise auf Bergbau um Straßberg • Harzwälder kaum degradiert • 9./10. Jahrh.: Planmäßige Bergbau- und Siedlungsaktivitäten im Harz (Ottonen, Salier) • Kupfer- und Eisenverhüttung im Mittelharz (Brunnenbachtal, Elbingerode, Altenbrak) • 11. Jahrh.: Kupfer- und Silberverhüttung im Unterharz (Hasselfelde, Stiege), Münzstätten (Harzgerode, Hasselfelde) • 13./14. Jahrh.: Sprunghafter Anstieg des Metallbedarfs in Mitteleuropa • Ab 14. Jahrh.: Zisterzienser führend im Harzer Bergbau (seit 1300 mit Privilegien im oberen Selketal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Übergang zu Tiefbau (Lösungsstollen) • ab 12./13. Jahrh.: Zunehmende Nutzung der Wasserkraft und Strukturwandel (Verlegung der Hütten/Stücköfen in Täler) • => „Technische Revolution des Mittelalters“ • 15. Jahrh.: Saigertechnik bei Kupfer-Silbergewinnung (Eisleben, Nürnberg)
IIb	9. Jahrh. - ca. 1350	Hohes Mittelalter		
IIc	1350 - 1450	Spätes Mittelalter	<ul style="list-style-type: none"> • 1. allgemeine Rezession (Erschöpfung der Reicherze, Probleme bei Wasserlösung, Pest, politische Wirren, sehr ausgeprägte hygrische Klimaschwankungen) • Im Hochmittelalter degradierte Waldbestände im Westharz erholen sich wieder 	
IIIa	1451 - 1618	Frühe Neuzeit	<ul style="list-style-type: none"> • 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 und technische Probleme 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkünste und planmäßige Wasserwirtschaft • Einführung der Hochofentechnik bei der Eisengewinnung • Einführung von Naßpochwerken (seit 1539 im (West-)Harz) • Zunehmende Förderung von Massenerzen und Einsatz von Sprengstoffen im Untertagebetrieb
IIIb	1618 - 1648		<ul style="list-style-type: none"> • 2. allgemeine Rezession (endgültige Erschöpfung der Reicherze/30jähriger Krieg) 	
IVa	1649 - 1762		<ul style="list-style-type: none"> • 2. allgemeine Blütephase mit maximaler Produktion im Ostharzer Buntmetallbergbau zwischen 1720 und 1740 	<ul style="list-style-type: none"> • Deutliche Verbesserung der Aufbereitungsverfahren
IVb	1763 - 1903	Frühindustr. Bergbau	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz fossiler Energieträger • Strukturwandel und <i>Ende des „hölzernen Zeitalters“ bzw. der „Solarenergie-Gesellschaft“</i>
IVc	>1900 - 1990	Industrieller Bergbau	<ul style="list-style-type: none"> • Umfangreicher Flußspatbergbau im Straßberger Revier bis 1990 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotationstechnik anstelle von gravimetrischer Aufbereitung
IVd	1990		<ul style="list-style-type: none"> • Einstellung des Flußspatbergbaus bei Straßberg 	

Die ausgewählten Profile stammen zum einen aus dem Flußabschnitt B1 vor Straßberg mit geringer bis mäßiger Montanaktivität (B1_1, B1_3) und zum anderen aus dem Flußabschnitt B2 mit sehr starker (B2_4) historischer Montanaktivität. Das Profil E_1 liegt am Harzrand bei Meisdorf ca. acht Kilometer flußabwärts und repräsentiert einen Standort im Abstrombereich bzw. im Dispersionshof des historischen Bergbaus (Flußabschnitt D+E, vgl. Abb. 2).

Im Oberlauf der Selke (Flußabschnitt A, B1) sind nur wenige Standorte historischer Montanaktivitäten bekannt. Obwohl an beiden Talflanken die größten und wichtigsten Erzgänge anstehen, sind geochemische Anomalien nur mäßig ausgebildet und in der Fläche kaum von Bedeutung. Nur am Oberlauf des Katzsohlbaches (Flußabschnitt A) machen sich vererzungsbedingte Anomalien durch stark verockerte Bachsedimente bemerkbar.

Die Profile B1_1 und B1_3 liegen ca. zweieinhalb Kilometer voneinander entfernt und bestehen aus dunkel-graubraunen, lockeren, sandig-schluffigen (Su2-Su4) humosen Auensedimenten (aGo-M-Horizonte) über lehmigeren (Slu-Sl3), stark rostfleckigen und relativ dichten Talsedimenten mit hell-graubrauner bis grauer Matrix (aGo-Horizonte). Bei letzteren handelt es sich um umgelagerte Derivate tertiärer, saprolitischer Graulehme, die v. a. in Quellmulden der benachbarten Hochflächen und in Talrandlagen der Selke anstehen (MÜCKE 1966).

Im **Profil B1_1** (Abb. 3) sind die Schwermetallgehalte insgesamt sehr niedrig, d. h. die Anreicherung im Vergleich zum jeweiligen regionalen Hintergrund erreicht maximal Faktor zwei. In den hangenden, humosen Auensedimenten sind die Zink-, Kupfer- und Cadmiumgehalte (Schicht I, Zn/Cu/Cd: 195/44/1,4 mg/kg) etwas höher als in der unteren Profilhälfte (Schicht IIa+b, Zn/Cu/Cd: 100/35/1,0 mg/kg). Die Bleikonzentrationen sind dagegen auch in Schicht IIa (68 mg/kg) leicht erhöht und gehen erst in Schicht IIb (29 mg/kg) deutlich zurück. Die Kupfergehalte steigen zur Profilbasis wieder leicht an (Schicht IIa/IIb: 31/39 mg/kg).

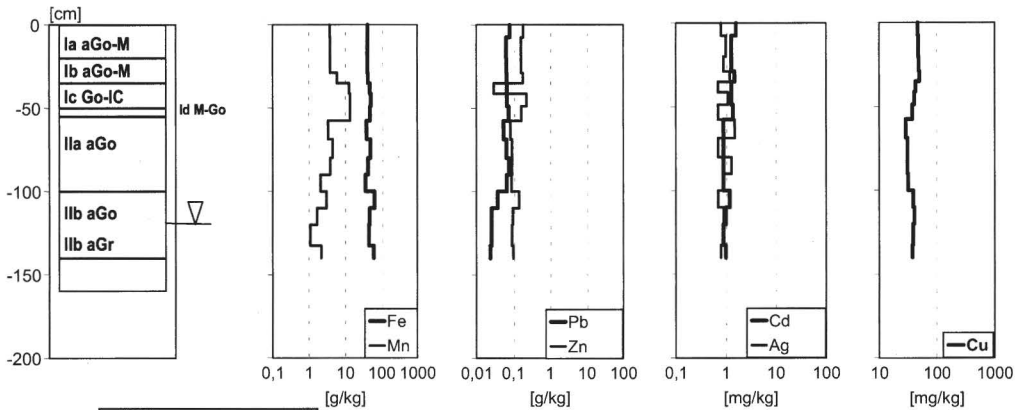
Da keine Zusammenhänge zum Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust) oder bestimmten Kornfraktionen bestehen, sind die Schwermetalltiefengradienten trotz der schwachen Ausprägung überwiegend auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Bei den humosen Auensedimenten handelt es sich um korrelierte Sedimente der Oberbodenerosion im Einzugsgebiet, so daß die allgemeine Elementanreicherung in Zusammenhang mit atmogener Deposition und/oder dem Einfluß der (modernen) Landwirtschaft (Düngung, Pestizide) im oberen Einzugsgebiet der Selke erklärt werden können. Als weitere Ursachen kommen noch die Einleitung weitgehend ungeklärter kommunaler Abwässer sowie kleinräumiger neuzeitlicher Flußspatabbau (19. Jahrh.) in der Umgebung von Güntersberge in Frage.

Die erhöhten Bleigehalte in Schicht IIa sowie die ansteigenden Kupfergehalte an der Profilbasis (Schicht IIb) weisen eventuell auf frühe Emissionen aus historischen Verhüttungsanlagen hin. Dabei könnte die überwiegende Verarbeitung von Kupfererzen im Mittelalter und der spätere Wechsel der Rohstoffbasis auf silberhaltige Bleierze die abweichenden Tiefengradienten beider Elemente bewirkt haben.

Im **Profil B1_3** (Abb. 3) sind die Schwermetallkonzentrationen mit Ausnahme von Eisen bzw. Mangan im gesamten Tiefenbereich deutlich höher als in Profil B1_1 und weisen außerdem einen stark ausgeprägten Tiefengradienten auf. Im Gegensatz zum Profil B1_1 zeigen alle untersuchten Buntmetalle über die gesamte Profiltiefe den gleichen Trend. Auffallend ist die abrupte Zunahme der Schwermetallgehalte zwischen 70 und 135 Zentimeter Tiefe (Schicht IIIb-V), wo die Bleikonzentration im Durchschnitt (1668 mg/kg, Maximum: 2268 mg/kg) um fast das dreißigfache über dem regionalen Hintergrund liegt und auch die durchschnittliche Konzentration in den hangenden Sedimentschichten (Schicht I-IIa: 304 mg/kg) um mehr als das fünffache übertrifft. An der Profilbasis treten wieder relativ niedrige Gehalte auf, die bei Blei (24 mg/kg) und Kupfer (25 mg/kg) sogar den regionalen Hintergrundwert unterschreiten.

Obwohl gleichzeitig der Anteil feinerer Kornfraktionen zunimmt, können die extrem erhöhten Blei-, Cadmium- und Silbergehalte in Profil B1_3 nach jetzigem Stand der Erkenntnisse nicht mit lithologischer Anreicherung, sondern nur mit der Einmündung der "Agezucht" interpretiert werden. Am Oberlauf der "Agezucht", einem kleinen Seitenbach, der von Süden in die Selke mündet, wurden zwischen

Profil B1_1



Profil B1_3

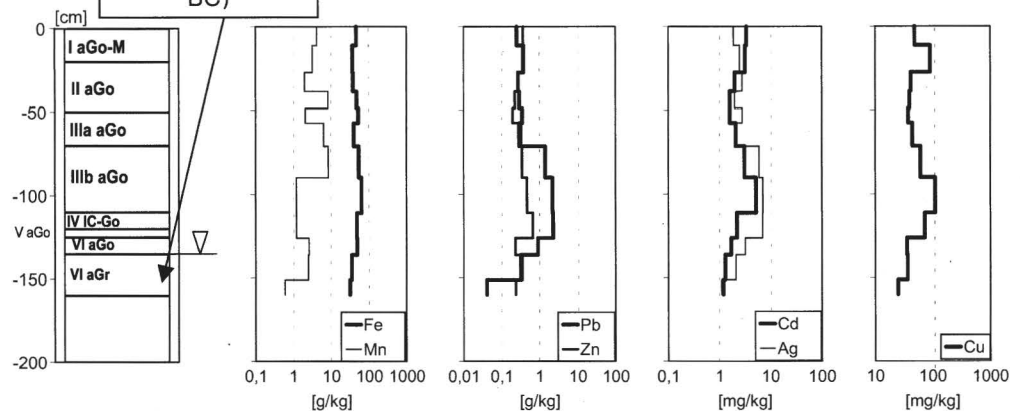


Abb. 3: Profilaufbau und Tiefengradienten der Schwermetalle in ausgewählten Profilen des Flußabschnittes B1

1760 und 1795 Buntmetalle abgebaut und in einem Pochwerk aufbereitet. Da die zu dieser Zeit üblichen Naßpochwerke zu einem erheblichen Eintrag an schwermetallreichen Sedimenten in die Fließgewässer führten (s. u.) und keine zusätzlichen anthropogenen Schwermetallquellen in Frage kommen, muß die Ablagerungszeit der Schicht mit den maximalen Schwermetallkonzentrationen (70-135 cm) in etwa mit dieser Betriebszeit übereinstimmen. Die hangenden, mäßig mit Schwermetallen angereicherten Sedimente sind demnach nicht älter als ca. 200 Jahre. Das Alter der oberflächennahen, humosen Auensedimente ist nochmals deutlich jünger einzustufen. Die Radiokarbondatierung an Holzkohlen aus dem unbelasteten, basalen Sedimenten (Gr-Horizont) zeigen, daß der lokale geogene Hintergrund hier trotz der umliegenden Lagerstätten niedrig ist und eine deutliche Schwermetallfreisetzung in Zusammenhang mit historischem Bergbau frühestens im 7. Jahrhundert begonnen haben kann.

Im Flußabschnitt B2 zwischen Straßberg und Alexisbad ist aufgrund zahlreicher Standorte historischer Abbau-, Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen sowie umfangreichen wasserwirtschaftlichen Einrichtungen (KRAUSE 1967) und großflächigen und z. T. stark ausgeprägten geochemischen Anomalien (RENT-

ZSCH et BIRKE 1984) einerseits mit starken Veränderungen der natürlichen Abfluß- und Sedimentationsverhältnisse und andererseits mit einer erheblichen historischen Schwermetallbelastung in Auensedimenten der Selke zu rechnen. Aus sedimentologischer Hinsicht ist für diesen Flußabschnitt in ufernahen Bereichen das Auftreten von bis zu einem Meter mächtigen laminaren Wechsellagerungen aus hellem, sandig-lehmigem Schluff mit dunklen Pochsandlagen (aPS-Horizonte) im Liegenden der jungen, humosen Auensedimente typisch. Es handelt sich dabei um schwermetallreiche Rückstände aus der historischen Erzaufbereitung in Naßpochwerken. Nach Schätzungen gehen dabei anfangs (Mitte 16. Jahrh.) aufgrund mangelhafter Techniken bis zu 75 Prozent und zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch ca. 25 Prozent des aufzubereitenden Erzes bereits vor der Verhüttung verloren und gelangen direkt in die entsprechenden Vorfluter (BARTELS 1996). An der Innerste bewirken derartige Ablagerungen schon im 17. und 18. Jahrhundert enorme ökologische Schäden an Flora und Fauna im Gerinnebett sowie in umliegenden Überschwemmungsbereichen (MEYER 1822).

Das **Profil B2_4** (Abb. 4) ist sowohl im Hinblick auf den Profilaufbau als auch der der Schwermetallgehalte deutlich gegliedert. Wie in Profil B1_3 zeigen alle Elemente dabei einen annähernd gleichen Tiefenverlauf, wobei die Konzentrationen jedoch erneut deutlich höher sind.

In den humosen Auensedimenten (Schicht I) übertreffen die Schwermetallgehalte von Profil B2_4 die maximalen Konzentrationen in Profil B1_3 um mindestens das doppelte und steigen beim Übergang zu den Pochsandlagen nochmals deutlich an (Schicht II, PbZn/Cu/Cd/Ag: 7907/3906/377/18/25 mg/kg). Unterhalb der Pochsandlagen gehen die Schwermetallgehalte in Schicht III abrupt zurück, liegen aber mit Ausnahme von Blei immer noch im Bereich der maximalen Gehalte von Profil B1_3 bzw. leicht darüber. Im Gegensatz zu den anderen Elementen steigen an der Profilbasis die Blei und Silbergehalte wieder deutlich an.

Die Ablagerungszeit der Pochsandlagen kann in etwa mit den Betriebszeiten des anhaltischen Pochwerkes (1695 - 1903) und/oder der Aufbereitungsanlagen in Straßberg in Verbindung gebracht werden (bis Ende 18. Jahrh.). Wie bereits für Profil B1_3 festgestellt, sind die hangenden humosen Auensedimente nicht

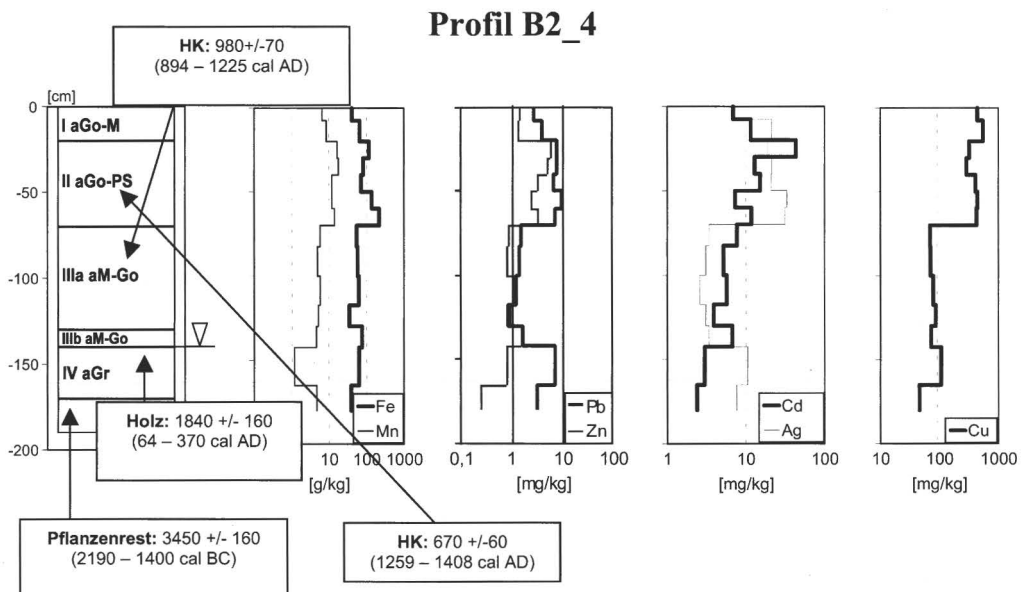


Abb. 4: Profilaufbau und Tiefengradienten der Schwermetalle im Flußabschnitt B2

älter als 250 Jahre und wahrscheinlich sogar jünger als 100 Jahre. Die Radiokarbondaten an Holzkohlen deuten auf späthochmittelalterliche Ablagerungszeit der Schicht III hin. Die Datierung von Holzresten an der Profilbasis zeigt, daß die feinklastischen Talsedimente nicht älter als frühmittelalterlich sein können. Die ^{14}C -Daten der basalen Schotter weisen auf ein höchstens bronzezeitliches Alter hin.

Hier wird ein prinzipielles Problem bei der Interpretation von Radiokarbondatierungen in Sedimenten deutlich, da mit ^{14}C -Daten nur indirekt auf das Höchstalters des jeweiligen Sedimentkörpers geschlossen werden kann. Erfahrungen mit Radiokarbondatierungen aus anderen Sedimentprofilen der Bode und Selke zeigen, daß die Daten von Pflanzen- und Holzresten stark schwanken und oft ein höheres Alter aufweisen als Holzkohlen der gleichen Schicht. Unter Berücksichtigung der Schwermetalltiefengradienten sind hier zwei Alternativen der chronostratigraphischen Interpretation möglich.

Mit Ausnahme von Kupfer, dessen maximale Gehalte in der jüngsten Sedimentschicht liegen, zeigen alle untersuchten Schwermetalle einen fast identischen Tiefengradienten. Die Kupferanreicherung in den jüngsten Auensedimenten treten auch in anderen Profilen der Selke auf. Sie können mit Einleitungen durch die Chemische Fabrik Fluor (Herstellung von Fluorchemikalien bis 1927) und/oder kupferreichen Lösungswässern über den Wiesenbach, der auf gleicher Höhe in die Selke mündet, erklärt werden. Während der Betriebszeit des modernen Flußspatbergbaus wurden hier in Bachsedimenten ($< 0,2\text{ mm}$) Gehalte von über 2.000 mg/kg ermittelt (RENTZSCH et BIRKE 1984).

In Anbetracht der Tatsache, daß die Pochsandlagen frühestens im 18. Jahrhundert abgelagert wurden, könnten die ansteigenden Schwermetallgehalte an der Profilbasis mit dem urkundlich belegten Bergbau im Spätmittelalter und der frühen Neuzeit (Phase IIIa/Tabelle 2) in Zusammenhang stehen. Die Anreicherung der Schwermetallgehalte in Schicht III müßte demnach der allgemeinen Zäsur zu Ende des 16. und in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts (Phase IIIb/Tabelle2) zugeordnet werden. Die Radiokarbonwerte täuschen in diesem Falle ein zu hohes Alter der Sedimente vor.

Wenn die Radiokarbondaten das tatsächliche Alter der Sedimente in Schicht III ungefähr wiedergeben, müßten sie dagegen der spätmittelalterlichen Wüstungsphase (Phase IIc/Tabelle2) zugeordnet werden. Dies würde bedeuten, daß zu den hangenden Pochsandlagen eine ca. 350jährige Sedimentationslücke besteht, die auf Erosion und/oder fehlende Sedimentation zwischen dem 14. und 17. Jahrhundert hinweist. Die basale Schwermetallanreicherung wäre demnach zumindest hochmittelalterlich (Phase IIb/Tabelle2) oder sogar noch älter (Abb. 5).

Der urkundlich belegte Bergbau des 15. und 16. Jahrhunderts ist anhand dieser Alternative nicht nachzuweisen.

Da unterhalb der Pochsande keine Anzeichen für einen fossilen Oberboden auftreten (z.B. durch Humusanreicherung im oberen Abschnitt von Schicht III) und der Übergang von Schicht III zu Schicht II sehr scharf ist, kann zwar von einer zwischenzeitlichen Erosionsphase vor Ablagerung der Pochsande ausgegangen werden. Der schlechte Erhaltungszustand der datierten Holzkohlepartikel spricht allerdings für sekundäre Verlagerung (der Holzkohle) und damit für ein zu hohes Alter der indirekten Datierung der Sedimente.

Das **Profil E1** (Abb. 6) liegt kurz vor Meisdorf am nördlichen Harzrand und ist ein Beispiel für einen Standort im Abstrombereich, der weitgehend frei von historischen Montanbetrieben und geochemischen Anomalien ist. Erhöhte Metallgehalte in den Auensedimenten sind daher ausschließlich auf Verlagerung aus dem ungefähr acht Kilometer entfernten Bergbauzentrum um Straßberg/Harzgerode zu erklären.

Die Tiefengradienten der Schwermetalle sind, wie in den beiden vorherigen Profilen B1_3 und B2_4, sehr ausgeprägt und weisen keine elementspezifischen Unterschiede auf. Im Gegensatz zu Profil B2_4 treten die schwermetallreichen Pochsandlagen (Schicht Ib) hier aufgrund sekundärer Verlagerung nicht als eigenständige Schicht, sondern innerhalb der jungen, humosen Auensedimente auf. Sie sind im Gelände nicht so deutlich zu erkennen wie im Flußabschnitt B2, heben sich jedoch durch abrupt ansteigende Konzentrationen von Blei, Zink, Cadmium und Kupfer von den hangenden und liegenden Sedimenten ab. Unterhalb der Pochsandlagen gehen mit Ausnahme von Eisen die Gehalte schrittweise zurück und steigen im Liegenden der Kiesschicht (Schicht II) wieder leicht an.



Abb. 5: Beispiel für humose Auensedimente über laminaren Pochsandlagen in der Selkeae (Flußabschnitt B2)

Das Auftreten von blauen Silikatschlacken aus der Eisenverhüttung in Mädesprung (Beginn 1646 AD) in den humosen jüngeren Auensedimenten (Schicht I) und der Kiesschicht (Schicht II) spricht dafür, daß die Sedimente bis 90 Zentimeter Tiefe jünger als 350 Jahre alt sind. Die sekundären Pochsandlagen (Schicht Ib) stammen frühestens aus der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts und sind aufgrund des postulierten Alters der humosen Auensedimente (vgl. Profil B2_4) sehr wahrscheinlich nicht älter als 100 Jahre. Der Sedimentationszeitraum von Schicht II und Ic beginnt demnach frühestens 1646 AD und endet spätestens zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Fehlende Silikatschlacken, die Radiokarbonaten an Holzkohlen und der Anstieg der Schwermetallgehalte sprechen für eine Zuordnung der Sedimente unterhalb der Kiesschicht (Schicht III) zur spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Bergbauphase (Phase IIIa/Tabelle 2).

Die vorliegenden Ergebnisse decken sich hier mit Aussagen von LEWIN et MACKLIN (1987), wonach mit zunehmender Entfernung von historischen Bergbaugebieten die maximalen Schwermetallkonzentrationen bei Ufersedimenten in immer jüngeren Schichten auftreten.

Profil E1_1

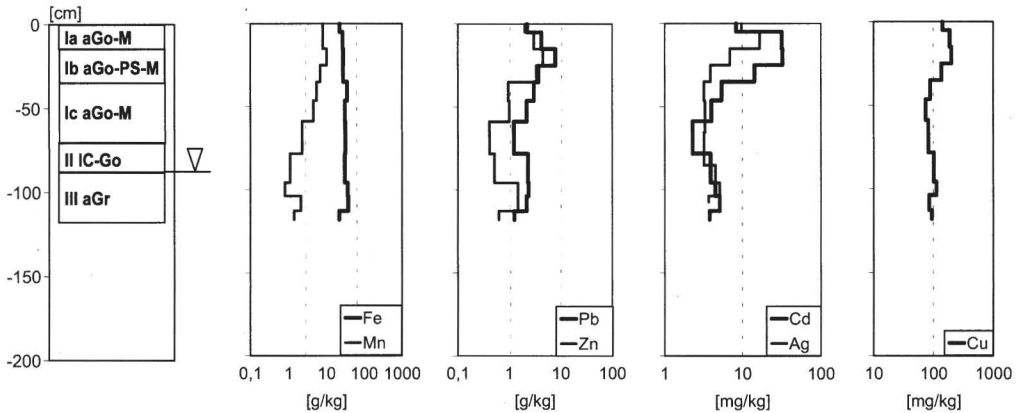


Abb. 6: Profilaufbau und Tiefengradienten der Schwermetalle im Flußabschnitt E

5.3 Montan- und umweltgeschichtliche Interpretation

Aus umweltgeschichtlicher Hinsicht kann festgestellt werden, daß der Buntmetallbergbau frühestens im 7. Jahrhundert zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen in fluvialen Sedimenten der Selke geführt haben kann und daß zu Beginn vorwiegend ältere Talsedimente (Graulehnderivate) umgelagert und mit Schwermetallen angereichert wurden.

Da auch in Sedimenten aus der Zeit vor der lokalen Blütephase des Bergbaus deutlich erhöhte Schwermetallgehalte in Sedimenten auftreten, sind ältere Bergbauaktivitäten vor 1700 AD zumindest aus umweltgeschichtlicher Hinsicht von Bedeutung. Die hohen Schwermetallkonzentrationen in alten Sedimenten sind dabei zum Teil auf mangelhafte Technik bei Aufbereitung und Verhüttung zurückzuführen und lassen keine Rückschlüsse auf den Umfang der Aktivitäten zu.

Im 18. Jahrhundert führten umfangreiche wasserbauliche Maßnahmen und der Eintrag großer Mengen schwermetallreicher Sedimente zu erheblichen Veränderungen des Abfluß- und Sedimentationsregimes der Selke. In Folge dessen kam es v. a. im Flußabschnitt B2 zwischen Straßberg und Alexisbad zur flächenhaften Ablagerung schwermetallreicher Pochsande (Abb. 7).

Die Oberbodenerosion im Einzugsgebiet der Selke setzte erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts, d. h. im Zuge der intensivierten Landwirtschaft nach Einstellung des Blei-Silber-Eisenerzbergbaus, ein. Die hohen Schwermetallgehalte der jungen, humosen Auensedimente sind dabei auf sekundäre Durchmischung mit älteren Sedimenten während des fluvialen Transportes und nicht auf atmogene Deposition zurückzuführen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

DOBLER, L.: Schwermetalltiefengradienten in Auensedimenten der Selke als Ausdruck der historischen Montanwirtschaft im Ostharz. - Hercynia N.F. 34: 171-186.

Für typische Sedimentprofile aus verschiedenen Flußabschnitten der Selke wurden an der Fraktion < 2 mm u.a. Korngrößenverteilung (Laserbeugung), Glühverlust und pH-Werte sowie die Gehalte der Elemente Eisen, Mangan, Blei, Zink, Kupfer, Cadmium und Silber im Königswasseraufschluß bestimmt.

Pochsandlagen in der Selkeaue östlich von Straßberg

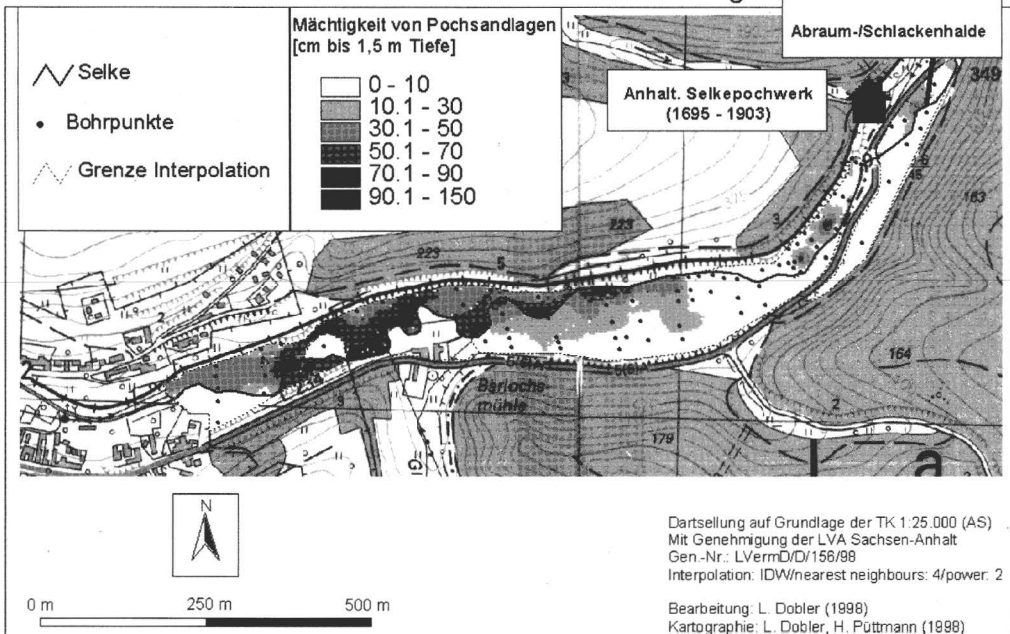


Abb. 7: Verbreitung und Mächtigkeit von Pochsandlagen im Flußabschnitt B2 östlich von Straßberg

Die Ergebnisse zeigen, daß im Untersuchungsgebiet durch die Kombination montanhistorisch bzw. -archäologischer Befunde mit geowissenschaftlichen Untersuchungsmethoden und indirekten Datierungsverfahren Sedimente teilweise gut gegliedert und chronostratigraphisch eingeordnet werden können. Aufgrund der geringen Mobilität ist für chronostratigraphische Aussagen der Tiefengradient der Bleikonzentration von entscheidender Bedeutung.

Die Sedimente und die Schwermetallgehalte bzw. -tiefengradienten ändern sich im Flußlängsverlauf zwischen den Flußabschnitten deutlich, wobei ein klarer Zusammenhang zur historischen Montanwirtschaft besteht. Die höchsten Konzentrationen mit deutlich über 20.000 mg/kg Blei treten in fluvial verlagerten Relikten der Erzaufbereitung (laminaren Pochsandlagen) zwischen Straßberg und Mägdesprung auf. Am Harzrand gehen die Gehalte wieder deutlich zurück, wobei das Maximum in sekundär verlagerten Pochsandlagen der jüngeren Ufersedimenten zu finden ist.

Die Relikte der Erzaufbereitung eignen sich wegen der extremen Schwermetallgehalte und der besonderen Sedimentstruktur besonders als Marker für die zeitliche Einordnung von Sedimenten, während Radiokarbondaten oft ein zu hohes Alter vortäuschen können. Flußabwärts von Mägdesprung liefern zusätzlich Silikatschlacken aus der Eisenverhüttung in Hochöfen wertvolle Hinweise auf das Höchstalter der Sedimente.

Anhand der ^{14}C -Datierungen und sedimentologisch-geochemischen Befunde ist festzustellen, daß bereits weit vor der regionalen Blütephase des Bergbaus erhebliche Mengen an Schwermetallen in die Umwelt freigesetzt wurden. Eine genaue Zuordnung von erhöhten Schwermetallgehalten in tieferen Profilabschnitten zu spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Bergbauphase bzw. zu bislang nicht bekannten frühmittelalterlichem Bergbau ist jedoch nicht möglich.

7 LITERATUR

- BARTELS, C. (1992): Vom frühneuzeitlichen Montangewerbe zur Bergbauindustrie. Erzbergbau im Oberharz 1635 - 1866. - Veröff. Dt. Bergbaumus. **54**.
- BARTELS, C. (1995): Umschwünge in der Entwicklung des Oberharzer Bergbaureviere um 1630, 1760 und 1820 im Vergleich. - Vierteljahresschr. Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beih. **115**: 151-176.
- BARTELS, C. (1996): Krisen und Innovation im Erzbergbau des Harzes zwischen ausgehendem Mittelalter und beginnender Neuzeit. - Technikgeschichte **63**: 1-19.
- BARTELS, C.; LORENZ, E. (1993): Die Grube Glasebach - ein Denkmal des Erz- und Fluritbergbaus im Ostharz. - Der Anschnitt **45** (4).
- BAUMANN, A. (1984): Extreme heavy metal concentrations in sediments of the Oker - a river draining an old mining and smelting area in the Harz Mountains, Germany. - In: NRIAGU, J. O. (ed.): Environmental impact of smelters. - Advances Environ. Science and Technology, New York **14**: 579-591.
- BAUMANN, A.; BEST, G.; KAUFMANN, R. (1977): Hohe Schwermetall-Gehalte in Hochflutsedimenten der Oker (Niedersachsen). - Dt. Gewässerkundl. Mitt. **21**: 113-117.
- BGR - BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (ehemals Zentrales Geologisches Institut der DDR) (1985): Geologisches Kartenwerk der DDR - Regionalgeologische Karten Harz 1:100.000, Karte der Lagerstätten und Lagerstättenanzeichen. BGR - BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (ehemals Zentrales Geologisches Institut der DDR) (1985): Geologisches Kartenwerk der DDR - Regionalgeologische Karten Harz 1:100.000, Karte der geochemischen Anomalien (Bachsedimente).
- DAVIES, B. E.; LEWIN, J. (1974): Chronosequences in alluvial soils with special reference to historic lead pollution in in Cardiganshire, Wales. - Environ. Pollution **6**: 49-77.
- DENECKE, D. (1978): Erzgewinnung und Hüttenbetriebe des Mittelalters im Oberharz und im Harzvorland. - Archäolog. Korrespondenzbl. **8**: 78-85.
- DITTMER, E. (1994): Sedimentpetrographische Arbeiten im Bereich der Oker und Innerste. - Unveröff. Gutachten, Inst. f. Geowissenschaften, TU Braunschweig.
- EGGERS, B.; WOLF, J. (1996): Schwermetallbelastung von Schwebstoffen und Sedimenten an Oker und Innerste. - Arbeitsgemeinschaft zur Reinhaltung der Weser **4**.
- FRÜHAUF, M. (1991): Neue Befunde zur Lithologie, Gliederung und Genese der periglazialen Lockermaterialdecken im Harz: Erfassung und Bewertung postallerödzeitlicher decksedimentbildender Prozesse. - Petermanns Geograph. Mitt. **1**: 49-60.
- FYTIANOS, K. (1982): Schwermetalle in den Fließgewässern und Flußsedimenten des West-Harzes. - GWF-Wasser/Abwasser **123**: 194-198.
- HARTMANN, P. (1957): Der Bergbau bei Straßberg im Harz. - Z. Angew. Geol. **11/12**: 548-557.
- KNOLLE, F. (1989): Harzbürtige Schwermetallkontaminationen in den Flußgebieten von Oker, Innerste und Aller. - Beitr. Naturk. Niedersach. **42**: 53-60.
- KRAUSE, K. H. (1967): Anthropogene Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse des östlichen Harzes, dargestellt an Beispielen. - Diss. Univ. Halle.
- KROKER, W.; WESTERMANN, E. (HRSG.) (1984): Montanwirtschaft Mitteleuropas vom 12. bis 17. Jahrhundert. - Veröff. Dt. Bergbaumus. **30**.
- LEWIN, J.; MACKLIN, U. G. (1987): Metal mining and floodplain sedimentation. - In: GARDNER, V. [ed.]: International Geomorphology, Part 1, Chichester: 1009-1027.
- MACKLIN, M. G.; BRADLEY, S. B.; HUNT, C. O. (1985): Early mining in Britain: the stratigraphic implications of heavy metals in alluvial sediments. - In: FIELLER, N.R.; GILBERTSON, D.D.; RALPH, N.G.A.: Palaeoenvironmental investigations: Research design, methods and data analysis. Symposium number 5(i) of the Association for Environmental Archaeology. British Archaeological Reports International Series, Oxford: 45-57.
- MACKLIN, M. G.; HUDSON-EDWARDS, K. A.; DAWSON, E. J. (1997): The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine orefield on river sediment contaminant fluxes to the North Sea. - The Science of the Total Environment **194/195**: 391-397.
- MATSCHULLAT, J.; NIEHOFF, N.; PÖRTGE, K. H. (1991): Zur Element-Dispersion der Oker (Niedersachsen); röntgenfluoreszenz-spektrometrische Untersuchungen. - Z. dt. geol. Ges. **142**: 339-349.
- MATSCHULLAT, J.; ELLMER, F.; AGDEMIR, N.; CRAMER, S.; NIEHOFF, N. (1997): Overbank sediment profiles - evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. - Appl. Geochemistry **12**: 105-114.
- MERKEL, D.; KÖSTER, W. (1980): Schwermetallkonzentrationen von Grünlandböden in der Oker- und Alleraue. - Landwirtschaftl. Forsch., Sonderh. **37**: 556-563.
- MEYER, C. F. W. (1822): Beiträge zur chorographischen Kenntnis des Flußgebietes der Innerste in den Fürstentümern Grubenhagen und Hildesheim mit besonderer Rücksicht auf die Veränderung, die durch diesen Strom in der

Beschaffenheit des Bodens und in der Vegetation bewirkt worden sind. Erste Anlage zur Flora des Königreichs Hannover.

- MOHR, K. (1993): Geologie und Lagerstätten des Harzes. - Stuttgart.
- MÜCKE, E. (1966): Zur Großformung der Hochfläche des östlichen Harzes. - *Hercynia N.F.* **3**: 221-244.
- NIEHOFF, N.; MATSCHULLAT, J.; PÖRTGE, K.H. (1992): Bronzezeitlicher Bergbau im Harz?. - *Ber. Denkmalpfl. Niedersachs.* **1**: 12-14.
- OELCKE, E. (1973): Der Bergbau im ehemals anhaltinischem Harz. - *Hercynia N.F.* **10**: 77-95.
- OELCKE, E. (1978): Die Silbergewinnung im ehemals stolbergischen Harz. - *Hall. Jb. Geowiss.* **3**: 57-79.
- RENTZSCH, J. BIRKE, M. (1984): Regionale geochemische Prospektion Harz, Teil 1 und 2. Abschlußbericht. BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (ehemals ZGI: Zentrales Geologisches Institut der DDR) [Hrsg.]. - Berlin.
- SEIM, R.; TISCHENDORF, G. (1990): Grundlagen der Geochemie. - Leipzig.
- STEUER, H.; ZIMMERMANN, U. (HRSG.) (1993): Alter Bergbau in Deutschland. - *Archäologie in Deutschland*, Sonderh. Z. Archäol. Deutschland.
- TAYLOR, M. P.; LEWIN, J. (1996): River behaviour and holocene alluviation: The River Severn at Welshpool, mid-Wales, U.K.. - *Earth Surface Processes and Landforms* **21**: 77-91.
- TUERKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. - *Geol. Soc. Am. Bul.* **72**: 175-192.
- WOLFENDEN, P.J.; LEWIN, J. (1977): Distribution of metal pollutants in floodplain sediments. - *Catena* **4**: 309-317.
- WILL, K.H. (1957): Untersuchung über die Entstehung des Auenlehms im Gebiet der Harz-Wipper. - *Diss. Univ. Halle.*
- ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (1985): Geologisches Kartenwerk der DDR - Regionalgeologische Karten Harz 1:100.000, Karte der geochemischen Anomalien (Bachsedimente), Karte der Lagerstätten und Lagerstättenanzeichen. Berlin

Manuskript angenommen: 7. April 2001

Anschrift des Autors:

Dr. Lorenz Dobler

Bayerisches Geologisches Landesamt

Heßstr.128,

D-80797 München