

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Auen- bzw. Talsedimente in den größten und durch historischen Erzbergbau geprägten Flußeinzugsgebieten des Ostharzes (Bode, Selke) anhand der horizontalen und vertikalen Variabilität der Schwermetallgehalte geochemisch-stratigraphisch zu gliedern und umweltgeschichtlich zu interpretieren. Die Untersuchung rezenter Gerinnesedimente und Lösungswässer diente der Abschätzung des aktuellen Einflusses der historischen Montanwirtschaft auf die aktuelle, fluviale Schwermetalldispersion.

Im Rahmen von **historisch-geographischen Voruntersuchungen** wurden auf Grundlage des derzeitigen montanarchäologischen und -historischen Kenntnisstandes zunächst „umweltrelevante“ Bergbauepochen für das Untersuchungsgebiet ausgegliedert. Hochphasen unterscheiden sich von Rezessionsphasen durch höhere Intensität aller montanwirtschaftlichen Aktivitäten und der zu erwartenden Schwermetallfreisetzung in die Umwelt.

Anhand der historisch-geographischen Ergebnisse wird ersichtlich, daß sich die Einzugsgebiete von Bode und Selke im Harz sowohl bezüglich der Intensität als auch der Art montanwirtschaftlicher Nutzung unterscheiden. Im Einzugsgebiet der Bode/Harz sind die Aktivitäten bis zum Spätmittelalter intensiver und erstrecken sich sowohl auf die Buntmetall- als auch auf die Eisengewinnung. Seit der frühen Neuzeit ist der Buntmetallbergbau bzw. die Verhüttung von aus dem Westharz importierten Erzen rückläufig, die Eisengewinnung und -verarbeitung wird dagegen intensiver.

Im Einzugsgebiet der Harzselke ist die Buntmetallverhüttung erst nach der spätmittelalterlichen Rezessionsphase (ab ca. 1450) urkundlich belegt. Einige Anzeichen sprechen jedoch für einen früheren Beginn der Abbautätigkeiten im 8. und eine Verstärkung zu Beginn des 14. Jahrhunderts. Während im Einzugsgebiet der Bode der Buntmetallbergbau und entsprechende Verhüttungstätigkeiten seit dem 16. Jahrhundert ausklingen, ist im Einzugsgebiet der Selke eine Verstärkung mit maximalen Produktionsmengen in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu verzeichnen. Seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und im Laufe des 19. Jahrhunderts ist auch im Einzugsgebiet der Harzselke mit einem deutlichen Rückgang der partikulären Schwermetallfreisetzung durch Abbau, Aufbereitung und Verhüttung von Buntmetallen zu rechnen. Seit ca. 1903 bis 1991 beschränkt sich die Schwermetallfreisetzung auf die Einleitung von Lösungswässern aus der Flußspatgrube Straßberg.

Alle bekannten Standorte der historischen Montanwirtschaft wurden tabellarisch erfaßt und nach Betriebsarten sowie lokalen Bergbauperioden klassifiziert. Aufgrund der schwierigen zeitlichen Zuordnung und der mangelhaften Dokumentation konnten dabei Abbaubetriebe und Haldenstandorte nicht berücksichtigt werden. Rezessionsphasen wurden in den Karten der vorangehenden Blütephase zugeordnet. Für beide Einzugsgebiete wurden folgende umweltrelevante Bergbauepochen ausgegliedert und kartographisch dargestellt:

- 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

Anhand zahlreicher **Übersichtsbohrungen** und **Bodenschurfen** wurden die fluviatilen Sedimente von Bode und Selke lithostratigraphisch gegliedert und in ihrer räumlichen Variabilität charakterisiert. In beiden Untersuchungsgebieten bilden geringmächtige humose Auensedimente die jüngste lithostratigraphische Einheit. Die Sedimente der Harzselke sind insgesamt stärker gegliedert als im Einzugsgebiet der Bode/Harz und weisen ein ausgeprägtes räumliches Verbreitungsmuster auf.

Vor Mägdesprung erreichen die jungen, humosen Auensedimente der Harzselke nur in Ufernähe größere Mächtigkeiten (> 50 cm) und werden im allgemeinen von bis zu 170 Zentimeter mächtigen fluviatilen Graulehmderivaten bzw. solifluidalen Graulehmrelikten unterlagert. Nach Straßberg eignen sich die

laminaren Wechsellagerungen aus dunklem - zum Teil verbackenen - (Poch-)Sanden und hellen Graulehmderivaten (= aPS-Horizonte) an der Basis der jungen Auensedimenten als stratigraphische Marker. Ihre Ablagerung kann mit den Betriebsperioden der lokalen Erzaufbereitungsanlagen (Naßpochwerke frühestens seit ca. 1695) korreliert werden. Unterhalb von Mägdesprung fehlen die Graulehmderivate/-relikte und statt dessen treten in Terrassen - teilweise auch in Talmitte - dichte Hangsedimente im Liegenden der Auensedimente auf. In den oberen Abschnitten der jungen, humosen Auensedimenten sind in Ufernähe häufig sekundär verlagerte (Poch)Sande eingearbeitet.

In den Tälern der Warmen Bode und Kalten Bode sind jungen, humose Auensedimente flächendeckend verbreitet und zum Teil mit Kiesbänken verzahnt. In Muldenlagen erreichen sie eine Mächtigkeit von maximal 150 Zentimeter. Charakteristisch ist der hohe Anteil an Holzkohlen sowie der schwankende Gehalt an auffälligen, hellblauen Silikatschlacken, die der Verhüttung von Eisenerzen in Hochöfen (seit dem 16. Jh.) zugeordnet werden können. Die Schlacken beweisen das relativ geringe Alter der hangenden, humosen Auensedimente. Im Tal der Warmen Bode treten zwischen den humosen Auensedimenten und den basalen Kiesen/Sanden vereinzelt auffällig ockerfarbene Schichten auf. In einer ehemaligen, verlandeten Rinne wurden darunter noch Sedimente mit einem hohen Anteil an mehr oder weniger zersetzter organischer Substanz angetroffen. Zwischen der Silberfuchsfarm und Sorge sind an Stelle humoser Auensedimente Auentorfe über einer stauend wirkenden, geringmächtigen, lehmigen Schicht anzutreffen. Der Talboden der Harzbode ist morphologisch deutlich in verschiedene Terrassenniveaus mit unterschiedlichem Sedimentaufbau gegliedert (pleistozäne Terrasse, mittlerer Talboden, Uferabhang).

Für die Auswahl der Profilstandorte wurde das direkte Einzugsgebiet der Bode/Harz in fünf **Teileinzugsgebiete** gegliedert (WarmeBode, Kalte Bode, Rappbode, Luppode, Harzbode). Im Tal der Warmen Bode, Kalten Bode und der Harzbode wurden repräsentative Profile aufgenommen und beprobt. Im Tal der Harzbode konnten dabei auch unterschiedliche Talbodenniveaus berücksichtigt werden. Das direkte Harzeinzugsgebiet der Selke wurde anhand flußmorphologischer (Gefälle), geologischer sowie sedimentologischer Verhältnisse in sechs **Flußabschnitte** mit den dazugehörigen Teileinzugsgebieten gegliedert (A, B1, B2, C, D, E). Aufgrund der geringen Talbreite wurden bis Alexisbad (Flußabschnitte A - B2) vorzugsweise Uferprofile aufgenommen und beprobt, da hier die größten Mächtigkeiten und die stärkste Differenzierung fluviatiler Sedimente anzutreffen war. Flußabwärts von Mägdesprung (Flußabschnitte C, D, E) konnten auch Profile verschiedener Talbodenhöhen bzw. Uferentfernung berücksichtigt werden.

Neben den Schwermetallen Eisen, Mangan, Blei, Zink, Kupfer, Cadmium und Silber wurde an ausgewählten Proben auch Arsen analysiert (Königswasseraufschluß). Außerdem wurden im Labor die Korngrößen (Laserbeugung), der Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust) und der pH(H₂O)-Wert ermittelt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Korngrößenanalyse (Laserbeugung) wurden die Profile anhand des Feinsand-Grobsand-Quotienten lithologisch feiner differenziert als es bei der Geländeansprache möglich war. Anhand der Ergebnisse der historisch-geographischen Analyse wurden die Schwermetalltiefengradienten umweltgeschichtlich interpretiert und Prozesse der Sedimentgenese diskutiert. Der Schichtzeiger Blei diente dabei zur Ausgliederung geochemisch-stratigraphischer Einheiten.

Im Untersuchungsgebiet der **Bode/Harz** sind die neuzeitlichen humosen Auensedimente aufgrund atmogener Deposition aus dem Westharz insgesamt schwach bis mäßig mit Schwermetallen angereichert. Die Gehalte gehen dabei mit zunehmender Entfernung vom Oberharz zurück. Vereinzelt starke Anreicherungen im liegenden der Auensedimente sind auf lokale, hochmittelalterliche Bergbauaktivitäten zurückzuführen. Die jahrhunderte lange Eisenverhüttung und -verarbeitung in Sorge und Tanne macht sich durch erhöhte Eisengehalte in flußabwärtigen, humosen Auensedimenten bemerkbar.

Im Gegensatz zu den Tälern der Kalten Bode und Warmen Bode ist der Talboden der Harzbode deutlich in drei Terrassenniveaus gegliedert. Die Schwermetalltiefengradienten 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 nicht mit Schwermetallen angereicherten frühmittelalterlichen Sedimente im Liegenden der Auensedimente belegen, daß die frühe Eisenverhüttung zwar zu erhöhten Sedimentationsraten im Tal der Harzbode, aber nicht zu einer Anreicherung mit Schwermetallen führte.

Die historischen Sedimente der **Harzselke** sind mit Ausnahme der Profile bei Güntersberge erheblich stärker mit Schwermetallen belastet als im Untersuchungsgebiet der Bode/Harz. Die humosen Auensedimente wurden frühestens im 19. Jahrhundert abgelagert; die kupferreichen jüngsten Sedimente erst seit der Wende 19./20. Jahrhundert. Als Ursache ist die Zunahme ackerbaulich genutzter Flächen auf den umliegenden Hochflächen nach Rückgang bzw. weitgehender Einstellung des lokalen Silber- und Eisenbergbaus anzusehen. Im Liegenden der humosen Auensedimente führten größere Hochwasserereignisse im Zusammenhang mit hygrischen Klimaschwankungen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zur Entstehung von ufernahen Kiesbänken.

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 Bergbauaktivitäten zum Teil erheblich mit Schwermetallen angereichert. Die höchsten Schwermetallgehalte sind mit dem Betrieb des Agezuchtpochwerkes (1760 - 1795) zu korrelieren.

Der **Flußabschnitt B2**, flußaufwärts von Straßberg, ist sowohl sedimentologisch als auch geochemisch am stärksten durch historischen Buntmetallbergbau geprägt. Die maximalen Schwermetallgehalte in laminaren aPS-Horizonten (=laminare Wechsellagerungen von Pochsanden und lehmigen Zwischensedimenten) stehen dabei im Zusammenhang mit dem Betrieb von Pochwerken im 18. Jahrhundert. 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. Unabhängig davon, sprechen die Befunde insgesamt dafür, daß bereits weit vor der Blütephase des Bergbaus im 18. Jahrhundert um Straßberg intensiver Bergbau umging, der auch eine merkliche Belastung der Umwelt mit Schwermetallen zur Folge hatte.

Flußabwärts von Mägdesprung (**Flußabschnitt C bis E**) unterscheidet sich das Talbodenrelief, der lithostratigraphische Aufbau und die geochemischen Verhältnisse deutlich von den Sedimenten in den Flußabschnitten B1 und B2. Im Liegenden der jungen, humosen Auensedimente fehlen fluviatile Graulehmderivate und primäre, extrem schwermetallreiche 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. 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 im Zusammenhang mit den historischen Bergbauaktivitäten durch schwermetallreiche Sedimente nivelliert wurde. Im Flußabschnitt E haben sich am Talrand Spuren einer älteren Sedimentationsphase mit mäßigen bis schwachen Metallanreicherungen erhalten. Anhand der Radiokarbonatierung ist hier ein Zusammenhang zur spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Bergbauphase (15/16. Jh.) wahrscheinlich.

Anhand der statistischen Korrelationsanalysen ist in den historischen Sedimenten von Bode und Selke im Harz eine lithologisch bedingte Elementanreicherung in feineren Kornfraktionen 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.

Für die Abschätzung des Einflusses des historischen Bergbaus auf die rezente **fluviale Schwermetalldispersion** wurden Gewässergütedaten ausgewertet, Wasserproben an ausgewählten Lösungsstollen und Gerinnesedimente der Harzselke entnommen.

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 bezüglich Cadmium, Kupfer, Zink, Eisen und Mangan mäßige bis kritische Belastungen ermittelt. 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 Konzentrationen 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 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.

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 den am stärksten belasteten Flußabschnitt C zwischen Alexisbad und der Mündung des Schiebecksbaches steigen in der Sandfraktion die Konzentrationen stärker an als in der Ton-Schlufffraktion, 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 fixiert. 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 (Mai 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.

Als abschließendes Fazit ist festzustellen, daß v.a. das Tal der Harzselke aufgrund der historischen Bergbauaktivitäten erheblich mit Schwermetallen belastet ist, und daß noch über einen langen Zeitraum mit beträchtlichen partikulären Schwermetallausträgen in das Harzvorland zu rechnen ist. Da mit wenigen Ausnahmen bislang noch keine gravierenden, negativen ökologischen Folgewirkungen auftraten, ist zu vermuten, daß die Schwermetalle relativ immobil sind und nicht in nennenswerten Mengen in die

Nahrungskette gelangen. Ein Grund dafür sind die hohen pH-Werte in Böden, Sedimenten und Wässern. Unter planerischen Aspekten sollte daher besonders darauf geachtet werden, daß sich die pH-Werte und Redoxbedingungen hier in Zukunft nicht negativ verändern. Außerdem sollten unbedingt Maßnahmen zur Verringerung der Ufererosion eingeleitet werden.