

Der Einfluß der Bergbauschichte im Ostharz auf die
Schwermetalltiefengradienten in historischen Sedimenten und die fluviale
Schwermetalldispersion in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz

Dissertation



Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum naturalium (Dr. rer. Nat.)
vorgelegt der

Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
(mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich)
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Herrn Lorenz Dobler
geb. am 10.09.1963 in: Nittenau

Gutachter:

1. Prof. Dr. M. Frühauf
2. Prof. Dr. W. Gläser
3. Prof. Dr. J. Völkel

Ort und Tag der öffentlichen Verteidigung: Halle (Saale), 15.07.1999

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
-----------------------------------	-----------

Tabellenverzeichnis	V
----------------------------------	----------

Abkürzungsverzeichnis	VII
------------------------------------	------------

Danksagung	X
-------------------------	----------

1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
---	----------

2 STAND DER FORSCHUNG	2
---	----------

2.1 NUTZUNGS- UND UMWELTGESCHICHTE IN HISTORISCHEN BERGBAUGEBIETEN	2
--	----------

2.2 GRUNDLAGEN UND BESONDERHEITEN DER FLUVIALEN SCHWERMETALLDISPERSION IN BERGBAUGEBIETEN	4
---	----------

2.2.1 GEOCHEMIE VON SULFIDEN UND GELÖSTE SCHWERMETALLDISPERSION	4
--	---

2.2.2 PARTIKULÄRE SCHWERMETALLDISPERSION	7
---	---

2.2.3 QUALITATIVE ZUSAMMENSETZUNG FLUVIALER SEDIMENTE	7
--	---

2.2.4 SCHWERMETALLE IN AUENSEDIMENTEN	9
--	---

3 EINFÜHRUNG IN DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	13
---	-----------

3.1 PHYSISCH-GEOGRAPHISCHE GRUNDLAGEN	13
---	-----------

3.1.1 LAGE, GRENZEN UND GLIEDERUNG	13
---	----

3.1.2 FLUßVERLAUF VON BODE UND SELKE IM HARZ	13
---	----

3.1.3 GEOLOGIE UND GEOMORPHOLOGIE	13
--	----

3.1.4 BÖDEN	14
------------------	----

3.1.5 KLIMA UND HYDROLOGIE	15
---------------------------------	----

3.2 BERGBAU UND SEINE NATÜRLICHEN GRUNDLAGEN	16
--	-----------

3.2.1 LAGERSTÄTTEN	16
-------------------------	----

3.2.2	LOKALE BERGBAUGESCHICHTE	17
3.2.2.1	Bode	17
3.2.2.2	Selke	18
3.3	GEOCHEMISCHER HINTERGRUND UND NATÜRLICHE GEOCHEMISCHE ANOMALIEN	20
3.4	SCHWERMETALLBELASTUNGEN DURCH HISTORISCHEN BERGBAU IM HARZ	22
4	UNTERSUCHUNGSMETHODEN	24
4.1	HISTORISCH-GEOGRAPHISCHE ANALYSE	24
4.2	GELÄNDE- UND LABORMETHODEN	24
4.2.1	AUENSEDIMENTE	24
4.2.2	GERINNESEDIMENTE	25
4.2.3	LÖSUNGSTOLLEN (WASSERANALYTIK)	26
4.2.4	AUSWAHL DER UNTERSUCHTEN ELEMENTE	26
4.2.5	STATISTISCHE METHODEN	26
5	ERGEBNISSE	28
5.1	BERGBAU- UND UMWELTGESCHICHTE IM HARZ	28
5.1.1	ALLGEMEINE ENTWICKLUNGSTENDENZEN DES BERGBAUS IM HARZ	28
5.1.2	UMWELTRELEVANTE BERGBAUPERIODEN IM OSTHARZ UND VERBREITUNG POTENTIELLER HISTORISCHER SCHWERMETALLQUELLEN	29
5.2	ERGEBNISSE DER GELÄNDE- UND LABORUNTERSUCHUNGEN	33
5.2.1	CHARAKTERISIERUNG UND VERBREITUNG VON AUEN- UND TALSEDIMENTEN	33
5.2.1.1	Bode	33
5.2.1.2	Selke	34
5.2.2	GLIEDERUNG DER TEILUNTERSUCHUNGSRÄUME UND AUSWAHL DER UNTERSUCHUNGSSTANDORTE	36
5.2.3	SCHWERMETALLTIEFENGRADIENTEN IN SEDIMENTPROFILIEN UND LOKALE BERGBAU- UND UMWELTGESCHICHTE	38
5.2.3.1	Vorbemerkungen	38
5.2.3.2	Bode	40
5.2.3.2.1	Kalte Bode und Warme Bode	40
5.2.3.2.1.1	Lokale Schwermetallquellen	40
5.2.3.2.1.2	Beschreibung der analysierten Profile	40
5.2.3.2.1.3	Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte	41
5.2.3.2.2	Harzbode	46
5.2.3.2.2.1	Lokale Schwermetallquellen	46

5.2.3.2.2	Beschreibung der analysierten Profile	46
5.2.3.2.3	Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte	48
5.2.3.2.3	Statistische Auswertung	53
5.2.3.2.4	Zusammenfassung	54
5.2.3.3	Harzselke	55
5.2.3.3.1	Oberlauf und oberer Mittellauf (Flußabschnitt A und B1)	55
5.2.3.3.1.1	Lokale Schwermetallquellen	55
5.2.3.3.1.2	Beschreibung der analysierten Profile	56
5.2.3.3.1.3	Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte	57
5.2.3.3.1.4	Statistische Auswertung	61
5.2.3.3.1.5	Zusammenfassung	63
5.2.3.3.2	Unterer Mittellauf (Flußabschnitt B2)	65
5.2.3.3.2.1	Lokale Schwermetallquellen	65
5.2.3.3.2.2	Beschreibung der analysierten Profile	65
5.2.3.3.2.3	Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte	67
5.2.3.3.2.4	Statistische Auswertung	71
5.2.3.3.2.5	Zusammenfassung	72
5.2.3.3.3	Durchbruchstal und Unterlauf (Flußabschnitte C, D und E)	74
5.2.3.3.3.1	Lokale Schwermetallquellen	74
5.2.3.3.3.2	Beschreibung der analysierten Profile	74
5.2.3.3.3.3	Tiefengradienten der Schwermetalle und Bergbaugeschichte	76
5.2.3.3.3.4	Statistische Auswertung	83
5.2.3.3.3.5	Zusammenfassung	84
5.2.4	REZENTE FLUVIALE SCHWERMETALLDISPERSION	86
5.2.4.1	Gelöste Schwermetalle ausgewählter Pegelstationen	86
5.2.4.2	Lösungswässer alter Bergbaustollen	87
5.2.4.3	Gelöste Schwermetalle im Flußlängsverlauf	88
5.2.4.4	Schwermetalle in Gerinnesedimenten	92
5.2.4.4.1	Variabilität im Flußlängsverlauf	92
5.2.4.4.2	Statistische Auswertung	97
5.2.4.5	Zusammenfassung	100
5.2.5	ARSEN IN REZENTEN UND HISTORISCHEN SEDIMENTEN	100
6	ZUSAMMENFASSUNG	102
7	LITERATURLISTE	107
8	KARTENVERZEICHNIS	119
9	ANHANG	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Längsprofil (Wasserspiegelhöhe) und Flußabschnitte der Harzselke	38
Abbildung 2	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen vor Tanne (KB, WB_1, BB, WB_2)	44
Abbildung 3	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen nach Tanne (WB_3, WB_4)	45
Abbildung 4	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen des mittleren Talbodens der Harzbode (ausgewählte Profile)	51
Abbildung 5	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen am Uferabhang der Harzbode	52
Abbildung 6	Mittlere Schwermetallgehalte und Schwankungsbereiche (1./3. Quartil) für geochemisch-stratigraphische Einheiten im Einzugsgebiet der Bode im Harz	55
Abbildung 7	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezuchtmündung)	58
Abbildung 8	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezuchtmündung)	60
Abbildung 9	Mittelwerte (\bar{x}) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B1	64
Abbildung 10	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten einer verfüllten Rinne und am Talrand der Harzselke (Flußabschnitt B2)	69
Abbildung 11	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Uferprofilen der Harzselke mit aPS-Horizonten über älteren Auensedimenten (Flußabschnitt B2)	70
Abbildung 12	Mittelwerte (\bar{x}) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B2	73
Abbildung 13	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt C, kurz nach Mägdesprung)	78
Abbildung 14	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt D, kurz vor Selkemühle)	80
Abbildung 15	Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt E)	81
Abbildung 16	Mittelwerte (\bar{x}) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetallgehalte in geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke (Flußabschnitte C bis E)	85
Abbildung 17	Gelöste Schwermetalle; Flußabschnitte und wichtige Nebenbäche im Flußlängsverlauf der Harzselke (Mai 1992 und im Juni 1994)	90
Abbildung 18	Eisen, Mangan, Blei und Zink in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke	94
Abbildung 19	Cadmium, Kupfer, Silber und Arsen in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke	95
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)	97
Abbildung 21	Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Eisengehalt in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke	98
Abbildung 22	Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Mangangehalt in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke	99

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1</i>	<i>Prinzip der Sulfidverwitterung/Oxidation (nach BANKS ET AL. 1997 und SALOMONS 1995, ergänzt)</i>	<i>6</i>
<i>Tabelle 2</i>	<i>Wichtige primäre und sekundäre (CPS-) Minerale der Sulfidverwitterung in rezenten Hochflutsedimenten eines historischen Erzbergbaugebietes (Tyne) in Nordost England (verändert nach HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996)</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 3</i>	<i>Zusammenhang zwischen mineralischen Hauptkomponenten sowie Blei- und Zinkgehalten in rezenten Hochflutsedimenten eines historischen Erzbergbaugebietes (Tyne) in Nordost England (nach HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996)</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 4</i>	<i>Durchschnittliche jährliche Depositionsraten für ausgewählte Schwermetalle und deren bioverfügbaren Anteile in rezenten Auensedimenten (ca. 1960 - 1988) des Derwent Rive (GB, BRADLEY & COX 1990)</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 5</i>	<i>Hydrologische Kenngrößen ausgewählter Pegel im Untersuchungsgebiet (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998)</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 6</i>	<i>Mineralisationszyklen, Mineralassoziationen und Lagerstätten im Ostharz (nach RENTZSCH ET AL. 1985)</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 7</i>	<i>Durchschnittliche mineralogische Zusammensetzung von Eisenerzen des Elbingeröder Komplexes (nach KNAUER 1960)</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 8</i>	<i>Statistische Kenngrößen der Hintergrundgehalte ausgewählter Elemente in rezenten Bachsedimenten (1./2. Ordnung) des Ostharzes (nach Rentzsch et al. 1984) im Vergleich zu mittleren Gehalten in Sedimentgesteinen (nach Turekian & Wedepohl 1961)</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 9</i>	<i>Gliederungskriterien für historische Montanbetriebe im Ostharz</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 10</i>	<i>Historischer Überblick - umweltgeschichtlich relevante Bergbauepochen des Ostharzes</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 11</i>	<i>Morphometrische Kurzcharakteristik von Teileinzugsgebieten der Bode/Harz</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 12</i>	<i>Morphometrische Kurzcharakteristik von Flußabschnitten der Selke/Harz</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 13</i>	<i>Obergrenzen der Anreicherungsklassen und Kontrastbereiche für Blei, Zink, Kupfer und Silber in Auen- und Talsedimenten des Ostharzes gegenüber dem regionalen Hintergrund</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 14</i>	<i>Statistische Populationskenngrößen ausgewählter Elementgehalte in A- und M-Horizonten der Warmen Bode zwischen Braunlage und Sorge (aus: KUES ET AL. 1994, TEIL 1)</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 15</i>	<i>Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen der Kalten Bode, Warmen Bode/Brunnenbach (Mittelwerte)</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 16</i>	<i>Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen der Kalten/Warmen Bode und der Harzbode anhand der Mediane und Schwankungsbreiten (10./90. Perzentil, Werte in Klammern) ausgewählter Parameter</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 17</i>	<i>Relative Schwermetallan- bzw.- abreicherung (Mittelwerte) in jungen, humosen Auensedimenten der Harzbode gegenüber Kalter Bode/Warmer Bode</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 18</i>	<i>Bodenhorizonte und geochemische Gliederung in Profilen des oberen Talboden- bzw. Terrassenniveaus der Harzbode</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 19</i>	<i>Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen des mittleren Talbodenniveaus der Harzbode</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 20</i>	<i>Lithologische Schichtung und geochemische Gliederung in Profilen am Uferabhang der Harzbode</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 21</i>	<i>Geochemisch-stratigraphische Einheiten im Einzugsgebiet der Bode im Harz</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 22</i>	<i>Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt B1 anhand ausgewählter Parameter (Mediane, 10./90. Perzentil, Werte in Klammern)</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 23</i>	<i>Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) nach der Mündung der Agezucht</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 24</i>	<i>Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitte B1, Mittelwerte)</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 25</i>	<i>Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke im Flußabschnitt B1</i>	<i>62</i>

Tabelle 26	<i>Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt B2 anhand der Mediane und Schwankungsbreiten (10./90. Perzentil, Werte in Klammern) ausgewählter Parameter</i>	67
Tabelle 27	<i>Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) in ausgewählten Sedimenttypen des Flußabschnittes B2 im Vergleich zum Flußabschnitt B1</i>	68
Tabelle 28	<i>Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B2, Mittelwerte)</i>	71
Tabelle 29	<i>Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke im Flußabschnitt B2</i>	71
Tabelle 30	<i>Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt C/D anhand ausgewählter Parameter (Median, 10./90. Perzentil in Klammern)</i>	76
Tabelle 31	<i>Charakterisierung verschiedener stratigraphischer Sedimenttypen im Flußabschnitt E anhand ausgewählter Parameter (Median, 10./90. Perzentil in Klammern)</i>	76
Tabelle 32	<i>Relative Schwermetallanreicherung (Mittelwerte) in jungen Auensedimenten des Flußabschnittes E im Vergleich zum Flußabschnitt B2</i>	79
Tabelle 33	<i>Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt C/D, Mittelwerte)</i>	82
Tabelle 34	<i>Lithologische Schichtung und geochemisch-stratigraphische Gliederung in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt E, Mittelwerte)</i>	82
Tabelle 35	<i>Geochemisch-stratigraphische Einheiten der Harzselke in den Flußabschnitten C/D und E</i>	83
Tabelle 36	<i>Mittlere Schwermetallgehalte der Selke am Pegel Silberhütte in den Jahren 1992-94 und 1995/96</i>	87
Tabelle 37	<i>Lage und Betriebsdaten der untersuchten Lösungsstollen im EZG der Harzselke</i>	87
Tabelle 38	<i>Anreicherungsfaktoren für Schwermetalle und potentielle Liganden im Wasser der Harzselke an drei Standorten mit ausgeprägten Anomalien (02.06.1992 und 21./22.05.1994)</i>	91
Tabelle 39	<i>Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Baggerschlämmen (< 2 mm) des Mühlteiches bei Güntersberge (n = 28)</i>	92
Tabelle 40	<i>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</i>	96
Tabelle 41	<i>Schwermetalle in Gerinnesedimenten (< 2 mm) der Harzselke vor (S15) und unmittelbar nach (S16) Mündung des Schiebecksbaches und im Unterlauf des Schiebecksbaches</i>	97

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
∅	Durchschnittswert
*	bei Korrelationskoeffizienten: Angabe für Signifikanzniveau 95 Prozent
**	bei Korrelationskoeffizienten: Angabe für Signifikanzniveau 99,9 Prozent
°C	Grad Celsius
μl	Mikroliter, 1 μl = 0,001 Milliliter
μm	Mikrometer, 1 μm = 0,001 Millimeter
¹⁴ C	Radioaktives Kohlenstoffisotop der Massenzahl 14
Å	Angström
a	Jahr
AAS	Atomabsorbtionsspektrometer
AD	lateinisch <i>anno domini</i> , bei Jahresangaben Zeit nach Christus
AFB	abfiltrierbare Stoffe in Wasserproben
AK	Anreicherungskoeffizient für Schwermetallkonzentrationen gegenüber dem regionalen Hintergrund für den Ostahrz nach RENTZSCH ET AL. (1984)
AMD	englisch: acid-mine-drainage, deutsch: saure Lösungswässer aus Grubenentwässerungsstollen
aPS	Horizonte aus fluviatil umgelagerten Pochsanden und lehmigen Zwischelagen
aq.	Gelöste Komponente in chemischen Reaktionsformeln
BB	bei Profilbezeichnung: Brunnenbach
BC	englisch <i>before Christ</i> , bei Jahresangaben Zeit vor Christus
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
cal BC/AD	auf Kalenderjahre kalibrierte Jahresangaben für Radiokarbon- bzw. ¹⁴ C-Daten,
cm	Zentimeter
CPS-Minerale	englisch: Abkürzung für Karbonat-Phosphat-Silikat-Minerale
d.h.	das heißt
DOC	englisch: <i>dissolved organic matter</i> , gelöste organische Substanz
dt.	deutsch
EDTA	Ethylendiaminteraacetat, Komplexbildner, Zusatz in Waschmitteln
engl.	englisch
et al.	Bei Zitaten: und andere
etc.	ecetera, und so weiter
f(f)	bei Zitaten: folgende Seite(n)
g	Gramm
GB	Großbritannien
Gew.-%	Gewichtsprozent, bei Angaben der per Glühverlust ermittelten Anteile an organischer Substanz

GV	Glühverlust in Gewichtsprozent ermittelt bei 350°C
h	Stunde
HK	Holzkohle
HQ	Höchster Hochwasserabfluß
i.w.S.	im weitesten Sinne
inkl.	inklusive
Jh.	Jahrhundert
KA	Bodenkundliche Kartieranleitung
KB	bei Profilbezeichnung: Kalte Bode
kg	Kilogramm
km	Kilometer
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluß
mm	Millimeter
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluß
Mp	Mittlere Abflußspende
MQ	Mittlerer Abfluß
MS ₂ , MS	Metalldisulfide, Metallmonosulfide, allgemeine Bezeichnung für Verbindungen ein- bzw. zweiwertiger Metalle (M ^{1+/2+}) mit Schwefel (S)
n	Anzahl
NQ	Niedrigster Niedrigwasserabfluß
NTA	Nitrioltriacetat, Derivat der Essigsäure, Zusatz in Waschmitteln
o.g.	weiter oben (im Text) genannt
PE	Polyethylen
pH	negativ dekadischer Logarithmus der Konzentration an Hydronium (H ₃ O ⁺) Protonen (H ⁺) in Flüssigkeiten
qkm	Quadratkilometer
r	Korrelationskoeffizient
RDA	Röntgendiffraktometrie
S	Sandfraktion
s	Sekunde
s.o.	siehe oben/weiter vorne (im Text)
So	Sommer
StAbw.	Standardabweichung
StAU	Staatliches Amt für Umweltschutz
T	Tonfraktion

t	Tonnen
TU	Ton- und Schlufffraktion
TUS	Ton-, Schluff- und Sandfraktion, Kornfraktion unter 2 Millimeter
ü. NN	Meter über Normalnull
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
Vol.-%	Volumenprozent, bei Angaben der per Laserbeugung ermittelten Anteile bestimmter Kornfraktionen
WB	bei Profilbezeichnung: Warme Bode
Wi	Winter
WKB	Warme/Kalte Bode
x	Mittelwert
Xs_S	gemessener Gehalt des Elementes Xx in der Sandfraktion
Xx_TU	gemessener Gehalt des Elementes Xx in der Ton- und Schlufffraktion
Xx_TUS	berechneter Gehalt des Elementes Xx in der Fraktion < 2mm
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
Ztr.	Zentner, 50 Kilogramm

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand als Teil eines durch das Kultusministerium Sachsen-Anhalt finanzierten Forschungsprojektes mit dem Titel „Die Schwermetallführung von Auenböden und Hochmooren als Indikator für den Einfluß des historischen Bergbaus im Unterharz auf die Landschaftsentwicklung und -belastung“.

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Frühauf für die Initiierung des Projektes und seine fachliche Unterstützung, wie auch für die ausgesprochen freie Arbeitsmöglichkeit, die er mir am Institut für Geographie gewährt hat. Gleichzeitig bin ich den Herren Prof. Dr. W. Gläßer und Prof. Dr. J. Völkel dafür zu Dank verpflichtet, daß sie die Begutachtung dieser Arbeit übernommen haben.

Die bodenchemischen und -physikalischen Untersuchungen erfolgten im Geoökologischen Labor des Geographischen Institutes. Hier standen mir Herr Dr. M. Zierdt und die Laborantin Frau S. Schiering sowohl fachlich als auch hilfreich zur Seite.

Während der Durchführung dieser Arbeit ergaben sich weitere Kontakte zum Geographischen Institut der Humboldt-Universität Berlin und zum Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich bei den Herren Dr. R. Kleßen und Dr. K.J. Hartmann für die Bereitstellung von aufbereitetem historischen Daten und digitalen bodenkundlichen Datenmaterials.

Die Insuffizienz in Schreibweise und Ausdruck wurde hoffentlich erfolgreich von G. Görler, S. Lachmann, H. Püttmann und B. Rösel behoben. Frau H. Püttmann gilt mein spezieller Dank für technische Unterstützung bezüglich der digitalen Datenaufbereitung und -auswertung sowie alles andere. Besonders bei U. Dehner möchte ich mich für die vielen fachlich anregenden Diskussionen bedanken, deren neue Perspektiven meine Arbeit wesentlich bereichert haben.

1 Problemstellung und Zielsetzung

Im Gegensatz zu den meisten anderen deutschen Mittelgebirgen wurde der Harz schon relativ früh, d.h. bereits seit dem 9./10. Jahrhundert systematisch erschlossen (bäuerliche Kolonisation im Osthartz, Bergbau im West- und Mittelharz), wobei zumindest lokal schon seit der späten römischen Kaiserzeit (3./4. Jh.) saisonal Bergbau betrieben wurde (*KLAPPAUF 1996*). Seine überregionale Bedeutung als wichtiger Rohstofflieferant für die mittelalterliche und frühneuzeitliche Metallwirtschaft (*IRSIGLER 1985, BRACHMANN 1992, BEHRENS & KNAPPE 1985*) führte dazu, daß die Landschaft durch den Menschen seit Jahrhunderten besonders intensiv und nachhaltig umgestaltet wurde.

In vielen historischen Erzbergbauregionen waren u.a. die in der Vergangenheit freigesetzten großen Mengen an Schwermetallen Ursache für ernsthafte ökologische bzw. gesundheitliche Schäden und führten zu Streitigkeiten zwischen Bergbaubetreibenden und Anwohnern (*MEYER 1822, AGRICOLA 1980*).

Da Schwermetalle persistente Schadstoffe sind und nicht durch natürliche Prozesse abgebaut werden können, ist in solchen Gebieten auch heute noch eine potentielle Gefährdung für Pflanzen, Tiere, Böden, Grund- und Oberflächengewässer gegeben. In diesem Zusammenhang kommt den Fließgewässern als Haupttransportadern und den Auensedimenten in ihrer Rolle als „Archive der Landschaftsgeschichte“ eine wichtige Bedeutung zu. Sie speichern einerseits Informationen über historische Umweltveränderungen und -belastungen im jeweiligen Einzugsgebiet und können andererseits über Jahrhunderte als bedeutende sekundäre diffuse Schadstoffquellen fungieren. Dies gilt in besonderem Maße für historische Erzbergbaugebiete auf Bunt- und Edelmetalle (Blei, Kupfer, Silber, Gold). Seit der Mitte der siebziger Jahre ist die Geochemie von Auensedimenten daher ein wichtiger Bestandteil vieler geowissenschaftlicher Forschungsarbeiten hinsichtlich historischer und rezenter Schwermetalldispersion - dies v.a. in Großbritannien (*DAVIES & LEWIN 1974, WOLFENDEN & LEWIN 1978, WOLFENDEN & LEWIN 1977, BRADLEY & COX 1990, DAVIES 1983, LEWIN & MACKLIN 1987, BRADLEY 1995, MACKLIN 1996, HUDSON-EDWARDS ET AL. 1997*).

Obwohl der Bergbau im Osthartz in bezug auf Förder- und Produktionsmengen bei weitem nicht die Bedeutung des Westharzer Bergbaus erreichte (*LIEßMANN 1994/95*), ist in Folge der auch hier über Jahrhunderte andauernden Montanaktivitäten mit erheblichen Beeinträchtigungen des Landschaftshaushalts und damit verbundenen Schwermetallbelastungen der Umwelt zu rechnen. Letzteres wird durch neuere Auswertungen prospektionsgeochemischer Daten für den Harz bestätigt (*BIRKE ET AL. 1995A/B*).

Im Gegensatz zum Westharz (*MEYER 1822, MERKEL & KÖSTER 1980, KNOLLE 1989, BARTELS 1996A, 1996B*) fehlen im Osthartz Untersuchungen über den Zusammenhang von Bergbau- und Umweltgeschichte sowie zu den Auswirkungen der historischen Schwermetallfreisetzung auf die Geochemie von Auensedimenten und die rezente fluviale Schwermetalldispersion.

Ziel der Arbeit ist es daher, in den größten Flußeinzugsgebieten des Ostharzes (Obere Bode, Selke) den Einfluß des historischen Erzbergbaus auf die horizontale und vertikale Variabilität der Schwermetallgehalte in historischen und rezenten, fluviatilen Sedimenten abzuschätzen. Anhand sedimentologisch-pedologisch-geochemischer Untersuchungen sollen Schwermetalltiefengradienten in Sedimentprofilen geochemisch-stratigraphisch charakterisiert und unter dem Aspekt der lokalen Bergbaugeschichte umweltgeschichtlich interpretiert werden. Die Untersuchungen der Schwermetallgehalte in Gerinnesedimenten und Lösungswässern sowie die Auswertung vorliegender Gewässergütedaten dient der Beurteilung des Einflusses des historischen Bergbaus auf die rezente fluviale Schwermetalldispersion.

Die Begriffe „Bergbau-“ bzw. „Montan-“ werden im folgenden als Sammelbezeichnung für alle Anlagen bzw. Tätigkeiten in Zusammenhang mit Erzabbau i.w.S. (Prospektion, Aufschließen, Grubenausbau, Fahrung, Wasserhaltung, Wetterführung, Erzgewinnung, Förderung etc.), Rohstoffkonzentrierung/Aufbereitung (Sortieren, Pochen, Mahlen, Waschen etc.) und Metallgewinnung (Rösten, Verhütten, Treiben etc.) verstanden.

2 Stand der Forschung

2.1 Nutzungs- und Umweltgeschichte in historischen Bergbaugebieten

Das Verhältnis des Menschen zu seiner Umwelt ist sehr komplex und im Laufe der Geschichte vielschichtigen Veränderungen unterworfen. Je nach Kulturgruppe, technischem Wissen, naturräumlicher Ausstattung und/oder Rohstoffverfügbarkeit bestehen in Mitteleuropa bis zum Hochmittelalter große regionale Unterschiede hinsichtlich des Mensch-Umwelt-Verhältnisses (BRACHMANN & VOGT 1992). In den lagerstättenreichen Mittelgebirgen und deren Vorländern (Harz, Erzgebirge) bestehen seit dem Mittelalter enge Zusammenhänge zwischen (Erz-)Bergbau-, Besiedlungsgeschichte (DENECKE 1992) und der intensiven anthropogenen Umgestaltung der Landschaft.

Allgemein kann die Wirkung montanwirtschaftlicher Aktivitäten auf die Landschaft in primäre (Erkundung, Erschließung, Ausbeuten von Lagerstätten), sekundäre (Aufbereitung und Verarbeitung der gewonnenen Rohstoffe) und tertiäre (bergbauliche Inwertsetzung der Landschaft bzw. Raumerschließung) Einflüsse gegliedert werden (SCHMIDT 1997, 2ff).

Die **Umweltgeschichte** (synonym: Historische Umweltforschung, Historische Ökologie) behandelt als interdisziplinäres Forschungsgebiet zwischen Archäologie, Geschichte und Geowissenschaften die zeitliche Dimension der Umwandlung bzw. Veränderung von Natur- und Kulturlandschaften. Einen allgemeinen Überblick über Definition, Methoden und Stand der umweltgeschichtlichen Forschung in Deutschland und angrenzenden Gebieten geben u.a. DENECKE (1994) und BAYERL ET AL. (1996).

Die **Montanarchäologie** bzw. Bergbauarchäologie behandelt einen Teilaspekt innerhalb der Umweltgeschichte und beschäftigt sich mit der Rekonstruktion alter Abbau- und Verarbeitungstechniken, Fragen der wirtschaftlichen und sozialen Organisation sowie den Einflüssen des Bergbaus auf die Umwelt. Die Archäometallurgie widmet sich dabei als Teildisziplin mit naturwissenschaftlichen Methoden den technikgeschichtlichen Aspekten des Berg- und Hüttenwesens wie zum Beispiel der Analyse von Erzen, Schlacken, Metallen und den Fragen nach deren möglicher Herkunft (KOERFER 1990).

Die montanarchäologische Befundlage ist gering und in Deutschland räumlich auf den Schwarzwald (ZIMMERMANN 1993, GOLDENBERG 1993A) und den Westharz (WILHELMI 1989, KLAPPAUF 1996) beschränkt. Zusammenfassende Darstellungen verschiedener Aspekte zur Geschichte des frühen Bergbaus in Mitteleuropa geben HAUPTMANN ET AL. (1989), STEUER & ZIMMERMANN (1993A/B) und STEUER (1992). Der Schwerpunkt liegt dabei in der Zeit bis zum Hochmittelalter. Für die Zeit ab dem Mittelalter bzw. der frühen Neuzeit liegen Zusammenfassungen von KROKER & WESTERMANN (1984) und CLEMENT (1996) vor. Eine sehr anschauliche Darstellung der Bergbaugeschichte und -techniken bieten diesbezüglich auch WAGENBRETH & WÄCHTLER (1986) am Beispiel des Erzgebirges.

Eine der ältesten und vollständigsten Beschreibungen der **Bergbautechnik** in Mitteleuropa wurde erstmals von AGRICOLA (1556) vorgelegt. Aus umweltgeschichtlicher Sicht ist diese Arbeit besonders wichtig, da sie mit dem Spätmittelalter und der frühen Neuzeit die Zeit umfaßt, in der besonders gravierende, technische Neuerungen eingeführt wurden, die weiträumige und nachhaltige Veränderungen der Landschaft zur Folge hatten. Eine neuere Darstellung der historischen Bergbautechnik in Westdeutschland ist bei SLOTTA (1983) zu finden. Überregionale zusammenfassende Darstellungen geben diesbezüglich u.a. WILSDORF (1987), SUHLING, L. (1988), SHEPHERD (1993), CRADDOCK (1995). Eine nach den verschiedenen Metallen geordnete und allgemein verständliche Übersicht der historischen Metallgewinnung, -veredelung und -verarbeitung bietet SCHMÖLE (1969). Die Bände eins bis vier der PROPYLÄEN TECHNIKGESCHICHTE (HÄGERMANN & SCHNEIDER 1991, LUDWIG & SCHMIDTCHEN 1992, PAULINYI & TROITSCH 1991, KÖNIG & WEBER 1990) geben einen umfassenden Einblick in die allgemeine Technikgeschichte seit Beginn der Eisenzeit (750 BC) bis 1914.

Weitere Literatur zu montanarchäologischen, -historischen und archäometallurgischen Themen ist aus der ausführlichen, chronologisch geordneten, internationalen Fachbibliographie von WANDERER (1994) zu entnehmen.

Die **Bergbaugeschichte des Harzes** ist in zahlreichen regionalen Arbeiten gut dokumentiert, wobei der Schwerpunkt auf dem Gebiet des Westharzes liegt. Eine allgemeine Übersicht über die Entwicklung des frühen Harzer Bergbaus gibt *BRACHMANN (1992)*, die neuzeitliche Geschichte des Oberharzer Bergbaus wurde u.a. von *BARTELS* bearbeitet (*BARTELS 1992, 1995, 1996A/B/C*). Im Gegensatz dazu bestehen im Ostharz in bezug auf vormittellalterliche und mittelalterliche Bergbauperioden noch erhebliche Defizite, während für die Zeit nach 1700 umfangreiche Untersuchungen insbesondere von *OELCKE* vorliegen (*OELCKE 1968, 1970, 1973, 1978*). Neuere montanarchäologische Forschungsergebnisse liegen hier bislang für den Mittelharz vor (*BEHRENS 1988, 1992, 1994/95*), archäometallurgische Erkenntnisse fehlen jedoch weitgehend. Eine zusammenfassende Übersicht über die Bergbaugeschichte des Harzes bietet *LIEßMANN (1992)*.

Die Art, Intensität und Dauer der montanwirtschaftlichen Nutzung führen in historischen Erzbergbaugebieten zu morphologischen Veränderungen und Eingriffen in den Stoffhaushalt (*SCHMIDT 1997, 1*). Die wichtigsten Prozesse der anthropogenen **Umweltbelastung** sind die direkte und indirekte Schädigung der Waldvegetation durch Holzentnahme bzw. „Hüttenrauch“ und die Freisetzung großer Mengen Schwermetalle aus ihrer ursprünglichen Lagerung bzw. chemischen Bindung und deren Verbreitung in der Landschaft über verschiedene Quellen sowie Akkumulation in Senken (Böden, Sedimente) über unterschiedliche Transportpfade.

Insbesondere im Westharz bestehen seit ca. 1000 Jahren Zusammenhänge zwischen bestimmten Bergbauperioden und charakteristischen Veränderungen der Waldvegetation wie Degradationserscheinungen und Ausbreitung der Fichtenbestände (*SCHUBART 1978, RIEHL 1968, MEYER 1989, DENGLER 1913, KLAGES 1968, WILLUTZKI 1962, HILLEBRECHT 1982, 1986, 1989, 1992*). Einen kurzen übersichtlichen Abriß der Waldgeschichte des Westharzes gibt *MALESSA (1994)*.

Schwermetalle und Schwefeldioxid aus staub- bzw. gasförmigen Emissionen aus Hütten und Röstfeuern bereiten schon seit der Antike schwerwiegende Probleme in Bergbaugebieten (*GOLDENBERG 1993B*). Die genaue qualitative Zusammensetzung der Emissionen ist dabei entscheidend von der Erzart und der verwendeten Technik abhängig (*BRACHMANN 1993a/b*). Bei *AGRICOLA (1556)* werden erstmals Vorrichtungen zur Eindämmung von Staubemissionen aus Hütten (Flugstaubkammern) und Maßnahmen zur Verringerung von gesundheitlichen Schäden bei Hüttenarbeitern beschrieben.

Die Lage und Höhe der Öfen bzw. Schornsteine (Emissionshöhe), die Temperaturen der Emissionen und die Größe und Form der Partikel bestimmen die atmogene Verbreitung von Abgasen und Staub in der umgebenden Landschaft. Depositionsmessungen um (moderne) Verhüttungsbetriebe mit relativ hohen Schornsteinen (> 30 m) zeigen, daß die atmogene Depositionsaureole im allgemeinen eine elliptische Form hat, wobei sich die Längsachse in Hauptwindrichtung erstreckt. Die stärkste Belastung tritt dabei innerhalb der ersten 3 km auf und nimmt danach mit zunehmender Entfernung exponentiell ab. Ab 10 bis 15 km Entfernung vom Emittenten werden die regionalen Hintergrundwerte erreicht (*DAVIES 1983*). Jüngere Ergebnisse anhand von Schwermetallgehalten in Böden, Depositionsmessungen mittels Schneeproben und Vegetationsschäden belegen um das Kupferkombinat in Montschegorsk (Halbinsel Kola) ähnliche Größenordnungen der atmogenen Schwermetallausbreitung um moderne Verhüttungsanlagen (*ZIERDT 1997, CYFFKA & ZIERDT 1995*).

Aus archäologischen Befunden und historischen Abbildungen (*AGRICOLA 1556*) ist ersichtlich, daß bis zum Spätmittelalter die Höhe der bis dahin üblichen Verhüttungsanlagen höchstens 3 m betragen. Dabei ist zu bedenken, daß sich bis zum 13. Jahrhundert nichtstationäre Rennfeuerbetriebe mit maximal 1,5 m Emissionshöhe größtenteils an windexponierten Oberhängen befinden und nach Einführung von wassergetriebenen Blasebälgen (Stück- bzw. Schachtöfen) in die Täler verlegt werden. Bis zum 18. Jahrhundert sind auch bei den frühen Hochöfen die Emissionshöhen üblicherweise nicht größer als 10 m. Es ist also davon auszugehen, daß sich bis dahin die atmogene Belastung weitgehend auf die nähere Umgebung der Hütten beschränkt.

Untersuchungen im Mansfelder Kupferschieferrevier belegen einen engen räumlichen Zusammenhang der Schwermetallgehalten in Böden bzw. Gewässern und den Emissionsquellen der Kupferverhüttung (seit ca. 1200 bis 1991). In den Oberböden nehmen schon wenige Kilometer von der Kernzone der höchsten Belastung die Schwermetallgehalte rapide ab (*SCHMIDT 1997, 110ff*).

Um 1750 werden im Harz gravierende und großflächige Waldschäden durch Hüttenrauch beschrieben (*SCHRÖDER v. & REUSS 1895*). Seit Mitte des 19. Jahrhunderts rücken dabei zunehmend Säuren und Metalle als mögliche Ursachen für das Waldsterben in das Blickfeld wissenschaftlicher Forschung

(*STÖCKHARDT 1850, HASELHOFF & LINDAU 1903, HASENCLEVER 1879, WIELER 1903*, Zusammenfassung bei *LÖFFLER 1983*). Gegen Ende des 19. und zu Anfang des 20. Jahrhunderts werden im Zuge der „Politik der hohen Schornsteine“ größere Transportweiten erreicht und damit die Abgase verdünnt sowie über größere Gebiete verteilt.

Nach Erschöpfen der Reicherzonen in der frühen Neuzeit kommt es in vielen Bergbaugebieten zu einem allgemeinen Wechsel der Rohstoffbasis, so daß seit dem 16./17. Jahrhundert die Förderung von Massenerzen zunehmend an Bedeutung gewinnt (*BARTELS 1992, 1996A/B*). Trotz gleichzeitig verbesserter Ausbringungsraten führt dies dazu, daß seit dem einige Flüsse mit erheblichen Mengen an technogenen schwermetallreichen „Bergbausedimenten“ insbesondere aus Naßpochwerken (gravimetrische Erzaufbereitung) belastet werden. Nach Schätzungen gehen dabei anfangs (16. Jh.) 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 1992*). Die Funktionsweise und technikgeschichtliche Entwicklung historischer Erzaufbereitung in Poch- und Waschwerken wird am Beispiel des Harzes ausführlich bei *KRAUME (1948)* beschrieben.

Die Ausbreitungsmechanismen von fluvialen „Berg- bzw. Pochsanden“ (auch „After“) und deren Bedeutung für die Schwermetallbelastung von Flora und Fauna wird bereits Anfang des 19. Jahrhunderts in einer umfangreichen Studie am Beispiel der Innerste im nordwestlichen Harz untersucht (*MEYER 1822*). Ein Zusammenhang zwischen Vegetationsschäden und Schwermetallen wird darin allerdings - auffallend vehement und oft - verneint, und die festgestellten Beeinträchtigungen mit verändertem Bodenwasserhaushalt (edaphische Trockenheit) erklärt.

Der Bau von großräumigen wasserwirtschaftlichen Anlagen zum Betrieb von Mühlen und „Wasserkünsten“ des Bergbaus bewirkt seit dem 14./15. Jahrhundert bis zur Einführung leistungsfähiger Dampfmaschinen im 19. Jahrhundert nicht nur in der Umgebung vieler Bergbaugebiete eine gravierende Veränderung der natürlichen Abfluß- und Sedimentationsverhältnisse in den Tälern (*GLEITSMANN 1984, BARTELS 1980*).

Einen allgemeinen Überblick über die Umwelteinflüsse des „alten“ bzw. vormittelalterlichen und historischen Bergbaus geben *GOLDENBERG (1993B)*, *BARTELS (1996A)*, und *JOCKENHÖVEL (1996)*.

2.2 Grundlagen und Besonderheiten der fluvialen Schwermetalldispersion in Bergbaugebieten

Im allgemeinen nehmen die Schwermetallgehalte in fluvialen Sedimenten mit zunehmender Entfernung von der Quelle ab, wobei mehrere Mechanismen gleichzeitig und teilweise gegensätzlich wirksam sind. Die wichtigsten Prozesse der räumlichen Verbreitung der Schwermetalle in fluvialen Sedimenten sind dabei (nach *BRADLEY 1995*):

Hydraulische Sortierung aufgrund unterschiedlicher Dichte

Chemische und/oder biologische Lösung bzw. Akkumulation

Verdünnung durch „saubere“ Sedimente

Zwischenspeicherung bzw. Mobilisierung durch Akkumulation bzw. Erosion kontaminierter Auensedimente

Zeitlich variable fluvialmorphologische Prozesse.

Je nach Art der Quelle und den geochemisch-hydrologischen Bedingungen im Gewässer werden Schwermetalle in gelöster, kolloidaler oder partikulärer Form verlagert. Im folgenden wird der aktuelle Forschungsstand über grundlegende Prozesse des fluvialen Schwermetalltransports und dessen zeitlich-räumliche Variabilität in einer thematisch gegliederten Übersicht dargestellt. Ziel ist es, die Besonderheiten der fluvialen Schwermetalldynamik in (historischen) Erzbergbaugebieten herauszustellen. Einen Überblick über Dynamik von Schwermetallen und deren Einfluß auf die Umwelt in Regionen mit (historischem) Bergbau geben *DAVIES (1983)*, *SALOMONS (1995)* und einzelne Beiträge in *ALLAN & SALOMONS (1997)*.

2.2.1 Geochemie von Sulfiden und gelöste Schwermetalldispersion

In vielen historischen Erzbergbaugebieten bilden sulfidische Lagerstätten die Rohstoffbasis, so daß grundlegende Kenntnisse bezüglich der Geochemie von Sulfiden eine wichtige Voraussetzung für die Untersuchung der Schwermetalldynamik sind.

Bei sulfidischen Buntmetall-Lagerstätten ist die oxidative Verwitterung von Metalldisulfiden (MS_2 -Minerale, z.B. Pyrit, Markasit) der wichtigste Prozeß hinsichtlich Gewässerversauerung und Eintrag an gelösten Schwermetallen. Die Verwitterung von Metallmonosulfiden (MS -Minerale, z.B. Galenit, Sphalerit) bewirkt dagegen nur über den Umweg der Hydrolyse eine relativ geringe Nettoversauerung. Voraussetzungen für das Auftreten von sogenanntem „Sauerwasser“ (engl.: *acid-mine-drainage*, **AMD**) sind Sauerstoffüberschuß, ausreichende Niederschlagsmengen ($>$ Evapotranspiration) und relativ hohe Säurebildungsraten ($>$ Neutralisationskapazität) im jeweiligen System. In diesem Zusammenhang sind alte Lösungsstollen sowie Erz- bzw. Pochsandhalden als punkthafte, belastete Auensedimente dagegen als diffuse Quellen für gelöste Schwermetalleinträge zu betrachten (*SALOMONS 1995*).

In stark durch AMD beeinflussten Lösungswässern sind die pH-Werte in der Regel sehr niedrig (bis $<$ pH 2,5) und weisen sowohl in der gelösten ($<$ 45 μ m) als auch in der kolloidalen ($>$ 45 μ m) Phase hohe Metallkonzentrationen auf (*JONES 1986*).

Das Ausmaß der Versauerung und (Schwer-)Metallfreisetzung ist abhängig von Temperatur, chemischer Aktivität der Eisen(III)-Ionen, Sauerstoffkonzentration in der Gas- und Wasserphase sowie der zur Verfügung stehenden Sulfidoberfläche und den biologischen Gegebenheiten (Intensität der Bakterienbesiedlung). Die zeitliche Variabilität hängt von Art und Menge der zur Verfügung stehenden Säurepuffer ab (*SALOMONS 1995*). Die grundlegenden chemischen Reaktionen sind in den Gleichungen (1) bis (7) der **Tabelle 1** dargestellt.

In AMD-Lösungswässern mit pH-Werten über 4 sind gelöste Eisen(II)-Ionen in hohen Konzentrationen vorhanden, während Eisen(III)-Ionen nur bei pH-Werten unter 2,5 in nennenswerten Konzentrationen vorliegen. Bei Kontakt mit Luftsauerstoff bilden sich aus beiden Oxidationsstufen sehr schnell junge Eisenoxihydroxide (vgl. Gleichungen (2) und (4), Tabelle 1) in die unmittelbar an Stollenmundlöchern, aber auch bei den Sedimenten der anschließenden Gewässer durch ihre Färbung auffallen (Ocker). Bei pH-Werten unter 4 treten unter Umständen auch deutlich erhöhte Konzentrationen von Aluminium(III)-Ionen aus der Silikatverwitterung in AMD-Lösungswässern auf. Bei Erhöhung des pH-Wertes zum Beispiel durch Vermischung mit weniger sauren Gewässern bildet sich daraus GIBSIT ($Al(OH)_3$) (*BANKS ET AL. 1997*).

Die bei der Sulfidverwitterung entstehenden Protonen können durch gelöstes Bikarbonat (H_2CO_3) im Wasser und/oder karbonatische bzw. silikatische Minerale aus dem Nebengestein abgepuffert werden. Dabei ist die Neutralisationsrate von karbonaten höher als die von Silikaten. Ankerit und Siderit bewirken nur eine lokale bzw. Kurzfristige Neutralisation. In Bergbaugebieten kann unter Umständen zusätzlich CaO (Zuschlag bei der Verhüttung) eine größere Rolle bei der Erhöhung der Säureneutralisationskapazität der natürlichen Gewässer spielen.

Physikalische und chemische Prozesse steuern die Konzentration und elementspezifische Bindung in der wässrigen Phase (Spezierung). Relativ geringe Schwankungen der pH-Werte und/oder der Konzentration an Komplex- bzw. Chelatbildnern (Cl^- , SO_4^{2-} , DOC) können dabei beträchtliche Wirkung auf die Löslichkeit der Metalle ausüben. Ausschlaggebend für die Toxizität von Schwermetallen ist aber immer die *Ionenkonzentration* in der wässrigen Phase (*SALOMONS 1995*).

Bei Sulfidgemischen in wässriger Umgebung herrschen Unterschiede hinsichtlich Hydrophobizität und elektrochemischem Verhalten der beteiligten Mineralkomponenten. Die besonderen geochemischen Verhältnisse bewirken hier eine unterschiedliche Stabilität der sulfidischen Minerale gegenüber der natürlichen bakteriellen Oxidation/Verwitterung mit folgender Reihenfolge (nach *SATO 1992*): Argentit (Ag_2S) $>$ Pyrit (FeS_2) $>$ Chalkosin/Kupferglanz (Cu_2S) $>$ Covellin (CuS) $>$ Galenit (PbS) $>$ Sphalerit (ZnS) $>$ Pyrrhotin (FeS).

Acidophile, chemoautotrophe Bakterien verstärken bzw. beschleunigen die (elektrochemische) Verwitterung der wie in einer galvanischen Zelle als Anode funktionierenden Mineralkomponenten. Am Beispiel der in verockerten Sedimenten weit verbreiteten Bakterienart *Thiobacillus ferrooxidans* sind bei der Besiedlung von Mineralgemischen aus Pyrit und bestimmten Begleitmineralen folgende Affinitäten zu erkennen (*LAWRENCE ET AL. 1997*): Pyrit $<$ Pyrrhotin • Pyrit $<$ Chalkopyrit • Pyrit $<$ Sphalerit $<$ Galenit • Pyrit $<$ Galenit. Bei pH-Werten unter 3 läuft im allgemeinen die biologisch katalysierte und bei pH-Werten zwischen 6 und 7 die abiotische Oxidation schneller ab (*BANKS ET AL. 1997*).

Die steuernden Parameter sind (jahres-)zeitlichen Schwankungen unterworfen. Besonders im Frühjahr treten im Vergleich zum Spätsommer aufgrund des „*first-flush*“-Effektes unter Umständen deutlich

höhere Gehalte von Sulfat, Mangan, Zink und Cadmium in AMD-Lösungswässern auf (HE ET AL. 1997). Trotz Sulfidoxidation können die pH-Werte dabei im neutralen Bereich verbleiben, wenn die Neutralisationskapazität des Nebengesteins sehr hoch ist oder Oxidation/Verwitterung von Pyrit in sulfidischen Mineralgemischen (s.o.) zeitlich versetzt beginnt (KWONG ET AL. 1997).

In AMD-Lösungswässern mit pH-Werten über 4 sind gelöste Eisen(II)-Ionen in hohen Konzentrationen vorhanden, während Eisen(III)-Ionen nur bei pH-Werten unter 2,5 in nennenswerten Konzentrationen vorliegen. Bei Kontakt mit Luftsauerstoff bilden sich aus beiden Oxidationsstufen sehr schnell junge Eisenoxihydroxide (vgl. Gleichungen 2 und 4, **Tabelle 1**), die unmittelbar an Stollenmundlöchern, aber auch bei den Sedimenten der anschließenden Gewässer durch ihre Färbung auffallen (Ocker). Bei pH-Werten unter 4 treten unter Umständen auch deutlich erhöhte Konzentrationen von Aluminium(III)-Ionen aus der Silikatverwitterung in AMD-Lösungswässern auf. Bei Erhöhung des pH-Wertes zum Beispiel durch Vermischung mit weniger sauren Gewässern bildet sich daraus Gipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) (BANKS ET AL. 1997).

Tabelle 1 Prinzip der Sulfidverwitterung/Oxidation (nach BANKS ET AL. 1997 und SALOMONS 1995, ergänzt)

Oxidation von M(etall)S₂ -Mineralen am Beispiel Pyrit $2\text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7\text{O}_2 = 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+_{(\text{aq})}$	(1)
Abiotische Oxidation von Fe^{2+} (langsam!): $4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2 = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	(2)
Reduktion von Fe^{3+} durch FeS_2 (schnell!): $\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} = 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+_{(\text{aq})}$	(3)
Hydrolyse von Fe^{3+} $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+_{(\text{aq})}$	(4)
Summe aus Gleichung (1) - (4): $4\text{FeS}_2 + 14\text{H}_2\text{O} + 15\text{O}_2 = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+_{(\text{aq})}$	(5)
Oxidation von M(etall)S -Mineralen am Beispiel Sphalerit: $\text{ZnS} + 2\text{O}_2 = \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	(6)
Allgemeine Hydrolyse von M^{n+} -Ionen $\text{M}^{n+} + n\text{H}_2\text{O} = \text{M}(\text{OH})_n + n\text{H}^+_{(\text{aq})}$	(7)

Durch neu gebildete Eisenoxide in Verockerungen werden Schwermetalle fixiert und damit aus der Lösung entfernt. Für die Elemente Blei und Barium ist dabei die Sulfatkonzentration, für Aluminium, Mangan, Eisen, Kupfer, Zink und Cadmium der pH-Wert und bei Arsen, Molybdän und Zinn die Ausfällung mit hydratisierten Eisenoxiden (Kopräzipitation) entscheidend. Hohe pH-Werte begünstigen im allgemeinen die Bindung von (Schwer-)Metallen im Sediment (FUGE ET AL. 1994).

Die beschriebenen Prozesse gelten im Prinzip auch für sulfidhaltige, technogene „Bergbausedimente“ (engl.: *mill tailings*). Die Problematik von Aufbereitungsrückständen in Gewässern wird bei SALOMONS (1988) und SALOMONS & STRIGEL (1988) ausführlich diskutiert. Die besonderen geochemischen Verhältnisse in sulfidischen *mill tailings*, v.a. die Löslichkeit der darin enthaltenen Metalle, behandeln WUNDERLY ET AL. (1996), AL ET AL. (1997), WALDER & CHAVEZ JR. (1995), KUCHA ET AL. (1996).

Im Gegensatz zum modernen Bergbau sind in historischen Bergbaugebieten die Reichweiten von AMD-Erscheinungen relativ gering. Aufgrund von jahres- und tageszeitlichen Schwankungen von Abfluß, Verwitterung und biologischer Aktivität kann es dabei zu Unterschieden in der Ausbreitung von gelösten bzw. kolloidalen Schwermetallen kommen (KWONG ET AL. 1997, BOURG & BERTIN 1996). Die Mündungen von Zuflüssen mit hohen pH-Werten verstärken zum Beispiel die Koagulation von kolloidalen, jungen Eisenoxihydroxiden und führen damit zu einem abrupten Wechsel von gelöstem bzw. kolloidalem zu partikulärem Transport von Schwermetallen in gröberen Kornfraktionen (BOULT ET AL. 1994, BOULT 1996).

Im Gegensatz zur **Sulfidoxidation** kann es bei der biologisch-bakteriologisch katalysierten Sulfatreduktion in jungen, anoxischen Sedimenten zur Neubildung von (authigenen) Sulfiden (Pyrit) kommen. Im Wasser steigt dabei gleichzeitig der pH-Wert an und die gelösten Schwermetallkonzentrationen nehmen ab. Wiedereinsetzende oxidische Verhältnisse (Bioturbation, Hochwasser) bedingen jedoch sehr schnell (innerhalb von wenigen Tagen) eine Umkehrung dieses Prozesses (MORSE 1994). Im besonderen Maß gilt dies für Cadmium, dessen Lösungskonzentration bzw. Freisetzungsrates trotz annähernd neutraler pH-Werte deutliche Zusammenhänge zur

Pyritoxidationsrate bzw. dem Sulfatgehalt in rezenten Flußsedimenten aufweisen kann (PEIFFER ET AL. 1996). Neben den pH-Werten und Oxidations-/Reduktionsprozessen spielen bei der Metallfreisetzung aus Sedimenten auch der Gehalt an organischen Liganden (DOC, EDTA) und anderen Komplexbildner (Cl⁻) sowie die Wasserhärte eine große Rolle (FÖRSTNER & SALOMONS 1984, BREAUULT ET AL. 1996).

2.2.2 Partikuläre Schwermetalldispersion

Außer unter dem Einfluß stark saurer Lösungswässer werden in historischen Erzbergbaugebieten Schwermetalle vorwiegend in partikulärer Form freigesetzt und verlagert. Unter humiden Klimabedingungen spielen daher fluvialmorphologische Prozesse die Hauptrolle bei der historischen und rezenten Schwermetalldispersion. Die prinzipiellen Prozesse der Speicherung und Verlagerung von Sedimenten und den darin enthaltenen Schwermetallen sind bei MILLER (1997) eingehend dargestellt.

Die heutigen Verbreitungsmuster und -prozesse von belasteten Auen- und/oder Gerinnesedimenten sind u.a. abhängig von geomorphologischen Verhältnissen in der Vergangenheit. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, ob in Folge des (anthropogenen) Sedimenteintrages das flußmorphologische Gleichgewicht entscheidend verändert wurde (engl.: *active transformation*) oder nicht (engl.: *passive dispersal*) (MILLER 1997, LEWIN & MACKLIN 1987).

Übersteigt der Sedimenteintrag die Transportkraft des Flusses über ein gewisses Maß hinaus (engl.: *threshold*) kann es zur deutlichen Anhebung des Gerinnebettes und zur Ausbildung größerer, flußabwärts wandernder Sedimentwellen (engl.: *sediment slugs*) kommen. Darunter sind größere klastische Sedimentkörper (Makroformen) in Fließgewässern zu verstehen, die sich länger als für die Dauer eines Hochwasserereignisses im hydrologischen Ungleichgewicht befinden. Mit zunehmender Größe können sie die gesamte fluvialmorphologische Prozeßdynamik beeinflussen und schnelle und gravierende, zyklische Veränderungen der Gerinne- und Terrassenmorphologie (engl.: *aggradation - degradation*) bewirken (NICHOLAS ET AL. 1995).

Im allgemeinen besteht dabei kein einfacher Zusammenhang zwischen Größe und Verlagerungsgeschwindigkeit von *sediment slugs*. In Tälern mit Erzbergbau sind jedoch besonders große (engl.: *super slugs*) und sich schnell verlagernde Sediment“wellen“ (1 - 5 km/a) zu beobachten. Zur weiteren Literaturübersicht und Definition, Bildungs- sowie Verlagerungsprozessen von fluvialen *sediment slugs* siehe NICHOLAS ET AL. (1995). Neuere regionale Untersuchungen zu Erzbergbau, Flußmorphologie und partikulärer Schwermetallverlagerung enthalten die Arbeiten von TAYLOR & LEWIN (1996), ROWAN ET AL. (1995), KNIGHTON (1989), LEWIN & MACKLIN (1989), JAMES (1991) und MILLER ET AL. (1996).

Die Schwermetallkonzentrationen durch Bergbau belasteter Gerinne- und Hochflutsedimente nehmen in der Regel flußabwärts schnell ab. In einigen Fällen sind die Schwermetallanreicherungen jedoch auch über Entfernungen von mehr als 100 km festzustellen (AXTMANN & LUOMA 1991). Versuche die Veränderungen der Schwermetallkonzentration im Flußbett mit mathematischen Modellen zu simulieren, scheitern häufig an der räumlichen Variabilität der Eintragsquellen (große Anzahl von Punktquellen, diffuse Einträge durch Ufererosion) bzw. den wechselnden hydrologischen Bedingungen. Letztere bewirken, daß der Sedimenttransport nicht kontinuierlich, sondern in wellenartigen Bewegungen vor sich geht (MILLER 1997). Nach MEREFIELD (1987, zitiert bei MACKLIN 1996) bewegen sich Schwermetallanomalien in Gerinnesedimenten mit ca. 100 m/a flußabwärts.

2.2.3 Qualitative Zusammensetzung fluvialer Sedimente

Die wichtigsten Komponenten in fluvialen Sedimenten sind klastische Gesteinsbruchstücke (= Detritus; u.a. Schwerminerale, Erze), daraus hervorgegangene sekundäre Verwitterungs- bzw. Umwandlungsprodukte, Mineralneubildungen bzw. Ausfällungsprodukte (Tonminerale, Eisen-Manganoxihydroxide), mehr oder weniger stark zersetzte organische Substanz und austauschbare Elemente (MEREFIELD 1995). In vielen durch Bergbau beeinflussten Flüssen haben zusätzlich technogene Sedimente (Schlacken) einen großen Anteil an der Sediment- und Metallfracht (KLEßEN & CHROBOK 1989, KLEßEN 1993, EGGERS 1994).

Im Flußlängsverlauf ändern sich neben den absoluten Schwermetallgehalten auch die mineralogische Zusammensetzung (HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996) und die geochemischen Eigenschaften der Sedimente (LEENAERS 1989, MACKLIN & DOWSETT 1989, ONGLEY 1982). Aufgrund der abweichenden

geochemischen Mobilität bestehen dabei elementspezifische Unterschiede, so daß zum Beispiel die Bleigehalte im Flußverlauf schneller abnehmen als die Cadmiumgehalte (MACKLIN ET AL. 1997, LEWIN & MACKLIN 1989).

In der Regel sind in kontaminierten Böden und Sedimenten Schwermetalle in feineren Kornfraktionen angereichert und mobiler als in groben Fraktionen, so daß bei Sedimentuntersuchungen v.a. die „geochemisch aktiven“ Kornfraktionen berücksichtigt (ONGLEY 1982) und außerdem zwischen geochemisch „reaktiven“ und „inaktiven“ Schwermetallfraktionen unterschieden werden sollte (SALOMONS 1995). Die Abtrennung von Kornsubfraktionen (meistens < 63 µm bzw. < 20 µm) ermöglicht eine Standardisierung und damit eine bessere Vergleichbarkeit von Schwermetallgehalten in Proben unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung (MÖLLER-LINDENHOF & REINCKE 1991, NOE 1990).

Es sei angemerkt, daß diese Aussagen für Flüsse in historischen Bergbaugebieten nicht immer zutreffen. Dies gilt besonders dann, wenn sich Standorte historischer Aufbereitungsbetriebe (Pochwerke, Erzmühlen, Erzwäschen) im Einzugsgebiet befinden. Unter Umständen ist hier kein Zusammenhang zwischen höherem Anteil feinerer Kornfraktionen und höheren Schwermetallgehalten oder sogar eine Anreicherung bzw. ein zweites Maximum in der (Grob-)Sandfraktion zu beobachten (BRADLEY & COX 1986, TAYLOR & LEWIN 1996, LEENAERS 1989).

MACKLIN & DOWSETT (1989) führten umfangreiche geochemische Untersuchungen an jungen Hochflutsedimenten durch - unter anderem Schwermetallanalysen in verschiedenen Korngrößen- und Dichteklassen. Mit Ausnahme einer relativen Abnahme von Grobsand ändert sich dabei die Korngrößenzusammensetzung flußabwärts kaum. Die höchsten Blei- und Cadmiumgehalte treten dabei in der Mittelsandfraktion auf. Während Blei in allen Fraktionen größtenteils an Eisen- und Manganoxide gebunden vorliegt, sind Zink und Cadmium (bis 80 Prozent austauschbar) mobiler und deutlich variabler hinsichtlich der Bindungsarten. Obwohl im allgemeinen in der spezifisch leichtesten Fraktion die niedrigsten Gehalte auftreten, hat diese Fraktion aufgrund der herrschenden Korngrößenverteilung den größten Anteil an der fluvialen Metalltransportrate. Eisen und Zink werden zu über 85 Prozent in der spezifisch leichtesten Fraktion transportiert; bei Kupfer, Blei und Mangan haben auch die schwereren Fraktionen einen etwas höheren Anteil.

Für die wichtigsten Blei-, Zink-, Kupfer- und Cadmiumsulfide in Sedimenten aus Bergbaugebieten gilt die allgemeine Verwitterungsreihenfolge: Sulfide => Karbonate/Phosphate/Silikate/Sulfate (=CPS-Mineralen => Eisen-/Mangan-Oxidhydroxide. Karbonatische CPS-Mineralen sind nur bei hohen pH-Werten (pH > 7) stabil, ansonsten bilden sich Sulfate und Silikate. Bei Auflösung der CPS-Mineralen kommt es zur Freisetzung von Schwermetallionen, die dann in Eisen-Manganoxidhydroxide als stabile Endglieder der Verwitterung eingebaut werden, wobei flußabwärts eine Abnahme der Schwermetallgehalte festzustellen ist. Blei reichert sich vorzugsweise in Manganoxiden an. Unter sauren und/oder reduzierenden Bedingungen sind Eisen- und Manganoxidhydroxide löslich und setzen die gebundenen Schwermetalle wieder frei. In **Tabelle 2** sind die wichtigsten sulfidischen Erzminerale und die daraus entstehenden Sekundär- bzw. Verwitterungsminerale dargestellt. Anhand der Dimension der Gesamtgehalte der „Hauptschwermetalle“ Blei und Zink kann die qualitativ-mineralogische Zusammensetzung grob abgeschätzt werden (HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996, **Tabelle 3**).

Zusammenfassend läßt sich daraus schließen, daß im Oberlauf bzw. in der Nähe der historischen Erzbergbaugebiete Schwermetalle in sulfidischer und karbonatischer Bindung und im Unterlauf überwiegend in oxidischer Bindung vorliegen. Im Laufe des fluvialen Transports kommt es zu gravimetrischer Sortierung und Trennung der spezifisch schwereren Ausgangsminerale (Sulfide, Karbonate) von den relativ leichteren oxidischen Verwitterungsprodukten (HUDSON-EDWARDS ET AL. 1997).

Bei der Interpretation geochemischer und mineralogischer Ergebnisse im Flußlängsverlauf muß allerdings auch der zunehmende Einfluß von verdünnend wirkenden, nicht kontaminierten Sedimenten aus flußabwärtigen (Teil-)Einzugsgebieten berücksichtigt werden.

Tabelle 2 Wichtige primäre und sekundäre (CPS-) Minerale der Sulfidverwitterung in rezenten Hochflutsedimenten eines historischen Erzbergbaugebietes (Tyne) in Nordost England (verändert nach HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996)

Sulfidische Ausgangsminerale		Sekundär- bzw. CPS-Minerale	
Mineralformel	Name	Mineralformel	Mineralname
PbS	Bleiglanz (Galenit)	Pb[CO ₃]	Weißbleierz (Cerussit)
		Pb ₅ [(Cl)/(PO ₄) ₃]	Pyromorphit
		Pb[SO ₄]	Anglesit
ZnS	Zinkblende (Sphalerit)	Zn[CO ₃]	Zinkspat (Smithsonit)
		Zn ₅ [(OH) ₃ /CO ₃] ₂	Zinkblüte (Hydrozinkit)
		Zn ₄ [(OH) ₂ /Si ₂ O ₇]*2H ₂ O	Kieselzinkerz (Hemimorphit)
CuFeS ₂	Kupferkies (Chalkopyrit)	Cu ₂ [(OH) ₂ /CO ₃]	Malachit
		Cu ₃ [OH/CO ₃] ₂	Azurit
FeS ₂	Pyrit	Fe[CO ₃]	Eisenspat (Siderit)
		CaFe[CO ₃] ₂	Ankerit
		αFeOOH bzw. FeHO ₂	Nadeleisenerz (Goethit)

Tabelle 3 Zusammenhang zwischen mineralischen Hauptkomponenten sowie Blei- und Zinkgehalten in rezenten Hochflutsedimenten eines historischen Erzbergbaugebietes (Tyne) in Nordost England (nach HUDSON-EDWARDS ET AL. 1996)

Gesamtgehalt [mg/kg]	Hauptmineral
> 10.000	PbS, Pb[CO ₃], ZnS
5.000 - 10.000	Pb[CO ₃], ZnS, Zn[CO ₃]
< 5.000	Fe-Mn-Oxidhydroxide

2.2.4 Schwermetalle in Auensedimenten

Nach Schätzungen sind in Einzugsgebieten mit historischem Erzbergbau zwischen 29 und 44 Prozent der Schwermetalle, die in der Vergangenheit in das fluviatile System gelangten, in Auensedimenten gespeichert (MACKLIN ET AL. 1997). Die Verweilzeiten von Auensedimenten betragen in Abhängigkeit von der Talbodenbreite und der Geschwindigkeit der Gerinnebettverlagerung (z.B. durch Mäandrieren) ca. 600 bis 7000 Jahre und sind damit deutlich höher als bei allen anderen fluviatilen Sedimenten (LEOPOLD ET AL. 1995, HOOK 1970 zitiert in LEENAERS 1989). Eine allgemeine Übersicht über die Rolle von Auen als Sediment- bzw. Stoffspeicher geben WALLING ET AL. (1996) und MACKLIN (1996).

Der Anteil an anthropogenen bzw. technogenen „Bergbausedimenten“ in den betroffenen Auen beträgt im Durchschnitt zwischen 10 und 30 Prozent, kann in Ausnahmefällen auch weit über 80 Prozent erreichen. Die höheren Werte werden dabei in breiteren Tälern bzw. Talabschnitten mit geringerem Gefälle erreicht. Derart belastete Auenbereiche sind auch lange Zeit nach Einstellung des Bergbaus diffuse Schwermetallquellen und daher als potentielle Gefahr für das jeweilige Flußökosystem zu betrachten. Die darin gespeicherten Schwermetalle können als "geochemische Zeitbomben" angesehen werden, die durch Veränderungen externer (Nutzungsänderungen, Klima) und interner (wasserbauliche Maßnahmen) Faktoren, d.h. bei Erhöhung der Ufererosion bzw. durch geochemische Mobilisierung, "explodieren" können (MILLER 1997).

Während der Blütephasen des historischen Bergbaus werden mehr Schwermetalle freigesetzt als in Rezessionsphasen. Außerdem ergeben sich in Abhängigkeit von Aufbereitungs- und Verhüttungstechniken bzw. der verarbeiteten Erzart unter Umständen Unterschiede im Schwermetallspektrum. In Auenprofilen sind solche Schwankungen die Folge unterschiedlicher Belastungs- und Sedimentationsbedingungen in der Vergangenheit. Neben der potentiellen Gefahr, die Schwermetalle in Auen für aquatische und terrestrische Ökosysteme darstellen, können belastete

Auensedimente daher auch als stratigraphische (Zeit-)Marker bzw. Tracer genutzt werden, um zum Beispiel komplexe fluviale Sedimentationsmuster und -prozesse (BREWER & TAYLOR 1997) zu untersuchen oder um Aussagen zur lokalen Bergbau- und Landschaftsgeschichte zu machen (MACKLIN ET AL. 1985, WOLFENDEN & LEWIN 1977, TAYLOR 1996, DAVIES & LEWIN 1974, TAYLOR & LEWIN 1996, NIEHOFF ET AL. 1992, MATSCHULLAT ET AL. 1997, DAVIES & LEWIN 1974, MACKLIN ET AL. 1985, TAYLOR 1996).

Nach dem Muster der vertikalen Schwermetallverteilung können Auenprofile in drei Klassen gegliedert werden, wobei Typ C die Typen A und B überprägen kann, im allgemeinen aber nur eine untergeordnete Rolle spielt (SWENNEN ET AL. 1997):

- A: Anthropogen unbeeinflusste Profile mit ausgeglichener Tiefenverteilung
- B: Anthropogen beeinflusste Profile mit deutlichen Konzentrationsunterschieden
- C: Pedologisch geprägte Auenprofile in Zusammenhang mit Kopräzipitation bzw. Adsorption von Schwermetallen an Eisen-Mangan-Oxihydroxiden.

In historischen Bergbaugebieten besteht ein Zusammenhang zwischen Tiefengradienten und Bergbauaktivitäten (SWENNEN ET AL. 1994). In Einzugsgebieten mit größeren geochemischen Anomalien (Lagerstätten, Gesteine) können die Tiefengradienten jedoch auch ohne Bergbaueinfluß schwanken. So berichtet zum Beispiel MACKLIN ET AL. (1992) über die Abnahme der Blei- und Zinkgehalte in Auensedimenten durch eisenzeitliche Landnutzung bzw. Rodung eines nicht mineralisierten Teileinzugsgebietes des Tyne River (Nordengland).

Schon seit den siebziger Jahren ist bekannt, daß die Schwermetalle ein horizontales und vertikales Muster in Verbindung mit Bergbaubetrieben und Bergbauperioden aufweisen (DAVIES & LEWIN 1974). In Auenoberböden ist dabei auch bei geringer Relieffierung des Talbodens häufig eine Abnahme der Schwermetallgehalte mit zunehmender Entfernung zum rezenten Gerinnebett zu beobachten. Als Gründe dafür kommen zum einen hydraulische Sortierung (Korngrößen und/oder Dichteeffekt) und zum anderen höhere Anteile an verdünnend wirkenden "sauberen" Sedimenten bei größeren Hochwasserereignissen in Frage. Werden Schwermetalle vorwiegend in der Suspensionsfracht transportiert, sind die Unterschiede im Talquerschnitt relativ gering. Ist der überwiegende Teil der Schwermetalle dagegen an die Sandfraktion gebunden, sind die Schwermetallgehalte in Ufernähe deutlich höher (MACKLIN 1996).

Neben hydraulischen Ursachen können Schwermetallgehalte im Talquerschnitt - auch bei sehr geringer Relieffierung - aufgrund des unterschiedlichen Sedimentationsalters und der unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen abrupt wechseln. Dies ist im besonderen Maße bei der Interpretation von Schwermetalltiefengradienten zu beachten (WOLFENDEN & LEWIN 1978, LEWIN ET AL. 1983). Bei Analysen junger Terrassen unterschiedlichen Alters fanden BREWER & TAYLOR (1997), daß die Schwermetallgehalte in Oberböden eher in Abhängigkeit von der relativen Terrassenhöhe als mit dem Terrassenalter variieren.

Ähnlich wie bei Gerinnesedimenten gibt es auch bei Auensedimenten (s.o.) ausgeprägte räumliche Sedimentations- und Schwermetallmuster im Flußlängsverlauf. Je nach Gefälle des Talbodens wechseln sich dabei diskrete, relativ lange und flache Sedimentations- bzw. Destabilisierungszonen mit kürzeren, relativ steilen und stabilen (Transport-) Zonen ohne Sedimentakkumulation ab (LEWIN & MACKLIN 1989).

Bei der Analyse geochemischer Daten in Auensedimentprofilen unterschiedlicher Flußabschnitte bzw. Uferentfernung muß auch die Möglichkeit der mehrfachen Um- bzw. Zwischenlagerung fluvialer Sedimente beachtet werden (TAYLOR 1996). Nur so können Schwermetalltiefengradienten verschiedener Standorte sinnvoll verglichen und umweltgeschichtlich interpretiert werden. So stellen zum Beispiel (LEWIN & MACKLIN 1987) fest, daß flußabwärts die maximalen Schwermetallkonzentrationen in Ufersedimentprofilen in immer jüngeren Schichten auftreten.

Bei Hochwasserereignissen führt die Mobilisierung historischer, schwermetallreicher Auensedimente nicht nur zu hohen Schwermetallgehalten in Gerinnesedimenten, sondern auch zu erheblichen rezenten Schwermetalleinträgen in flußabwärts gelegene Auengebiete (LEENAERS 1989, BRADLEY & COX 1990). In **Tabelle 4** sind beispielhaft die durchschnittlichen jährlichen Depositionsraten von Schwermetallen und deren bioverfügbare Anteile für den *Derwent River* angegeben. Die stärkste Ufererosion und damit die intensivste Mobilisierung von belasteten Sedimenten ist am Beginn einer Hochwasserwelle zu erwarten (NIMICK & MOORE 1994, SANDÉN ET AL. 1996).

Tabelle 4 Durchschnittliche jährliche Depositionsraten für ausgewählte Schwermetalle und deren bioverfügbaren Anteile in rezenten Auensedimenten (ca. 1960 - 1988) des Derwent River (GB, BRADLEY & COX 1990)

Element	Eintragsrate [mg/m ² /a]	mobiler Anteil [%]
Pb	1800	14,8
Zn	500	7,2
Cu	50	10,4
Cd	10	1,0

Pedologische Prozesse können im Laufe der Zeit nachträglich zu Veränderungen der ursprünglichen Tiefenverteilung von Schwermetallen in Sedimenten führen, wobei sich insbesondere niedrige pH-Werte verstärkend auswirken. Über die Mobilität und das allgemeine Verhalten von Schwermetallen unter dem Einfluß bodenbildender Prozesse existieren zahlreiche Veröffentlichungen (BRÜMMER & HERMS 1985, FLEIGE & HINDEL 1987, FILIUS 1993). Einen zusammenfassenden Überblick gibt ALLOWAY (1995).

Da insbesondere in kleineren Mittelgebirgstälern die Auensedimente auch bei relativ großer Mächtigkeit oft sehr jung sind (GAIDA ET AL. 1993), ist davon auszugehen, daß der postsedimentäre Einfluß terrestrischer Bodenbildungsprozesse auf die Schwermetalltiefenverteilung gering ist. Im Bereich der Grundwasserschwankungen beschränkt sich die pedologische Überprägung auf mehr oder weniger starke Redoximorphose (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 379ff). Dabei ist zu beachten, daß sich aufgrund der wechselnden Redoxverhältnisse die Bindungsarten und somit die geochemische Mobilität bestimmter Schwermetalle stark ändern können, wobei ein enger Zusammenhang zu den wechselnden Oxidationsstufen der Elemente Schwefel, Eisen und Mangan besteht (ALLOWAY 1995, 17f). In oxidierendem Milieu, d.h. oberhalb des mittleren Grundwasserspiegels (Go-Horizonte) können sich zum Beispiel durch Diffusion oder Massenfluß aus dem Gr-Horizont die Mangan- und Eisengehalte erhöhen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 380). In Zusammenhang mit Kopräzipitations- (= Mitfällungs-) und Adsorptionsprozessen spielen im oxidischen Milieu Mangan- und Eisenoxihydroxide eine wichtige Rolle hinsichtlich der Mobilität von Schwermetallen (ALLOWAY 1995, 16ff). Bei der Bildung schwer löslicher Eisen-Mangan-Oxide (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 43ff) können Schwermetalle durch diadochen bzw. isomorphen Ersatz im Kristallgitter fixiert werden und hier „schichtintern“, d.h. bei nur geringer Verlagerung in Rostfleckung und Konkretionen angereichert werden. Auch in anthropogen unbelasteten Böden kann es dabei zu sehr starken Erhöhungen der Konzentrationen im Vergleich zur gebleichten Bodenmatrix kommen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 325).

Aufgrund der variablen Ladungen nimmt bei steigenden pH-Werten die Bedeutung von Mangan- und Eisenoxiden hinsichtlich der spezifischen Adsorption von hydrolysierten Schwermetallionen zu. Für die hier analysierten, umweltrelevanten Schwermetalle ist dabei folgende Neigung zur Bildung stabiler Hydroxo-Komplexe zu erkennen: Cadmium < Zink << Kupfer < Blei (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, 102). Die so gebundenen Schwermetalle sind auch bei hohen Konzentrationen von Alkali- und Erdalkali-Ionen in der Bodenlösung nur schwer austauschbar.

Beim Übergang zum reduzierenden Milieu werden die oxidischen Eisen-Mangan-Verbindungen aufgelöst und die darin gebundenen Schwermetalle freigesetzt. Bei Vorhandensein von ausreichenden Mengen Schwefel gehen die Schwermetalle ähnlich wie in anoxischen Flußsedimenten in Zusammenhang mit der Bildung von Pyrit (FeS₂) in sulfidische Bindungen über und können unter oxidierenden Verhältnissen relativ schnell wieder mobilisiert werden.

Oberhalb des Schwankungsbereiches des Grundwassers beeinflussen pedologische Prozesse, mit Ausnahme der Bioturbation, nur in relativ alten Auensedimenten mit ausgeprägter Bodenbildung die vertikale Schwermetallverteilung. In größeren Flußtäälern kann der Grad der Bodenentwicklung in Abhängigkeit von der Lage im Talbodenrelief (Höhe, Entfernung zum Gerinnebett) bzw. von der Uferentfernung als Hinweis für das relative Alter oberflächennaher Sedimente sowie die allgemeine flußmorphologische Entwicklung (SCHRÖDER 1979, SCHIRMER 1983, BUCH 1987), aber auch zur zeitlichen Einordnung der darin enthaltenen Schwermetallgehalte (THIEMEYER 1989, DEHNER 1995) dienen.

Neben der postsedimentären Verlagerung durch die Bodenentwicklung besteht in Auensedimenten theoretisch auch die Möglichkeit der nachträglichen Zufuhr von Schwermetallen durch Hang-

und/oder Grundwasser. Dies dürfte allerdings nur bei sehr niedrigen pH-Werten unter reduzierenden Bedingungen und gleichzeitig hohen Konzentrationen an gelösten Schwermetallen von Bedeutung sein, so zum Beispiel bei ausgeprägtem *AMD*-Einfluß (s.o.) oder in der Nähe von Mülldeponien.

In jüngerer Zeit sind Auensedimente auch verstärkt Forschungsobjekt der **geochemischen Kartierung** (*HINDEL ET AL. 1996*). Dabei stellte sich heraus, daß in bergbaulich genutzten bzw. belasteten Einzugsgebieten unbedingt die Talbodenmorphologie sowie die stratigraphische Gliederung der Sedimente zu berücksichtigen sind und die in unbelasteten Gebieten übliche Beprobungsstrategien (*OTTESEN ET AL. 1989*) nicht anwendbar sind (*RIDGEWAY ET AL. 1994*).

3 Einführung in das Untersuchungsgebiet

3.1 Physisch-geographische Grundlagen

3.1.1 Lage, Grenzen und Gliederung

Die Fläche des Einzugsgebiets der Bode beträgt insgesamt 3297 km² und gehört dem Saale-Elbe-System an (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1998). Das Untersuchungsgebiet umfaßt das Einzugsgebiet der Bode im Harz, das mit 769 km² 23,3 Prozent der Gesamtfläche ausmacht. 189 km² davon entfallen dabei auf das Einzugsgebiet der Selke im Harz. Die Lage des Untersuchungsgebietes im Harz und die Abgrenzungen von Teileinzugsgebieten sind in **Karte 1** dargestellt.

3.1.2 Flußverlauf von Bode und Selke im Harz¹

Die **Selke** entspringt südöstlich von Stiege (520 m ü. NN) und fließt über Güntersberge (400 m ü. NN) in südöstlicher bzw. östlicher Richtung bis Straßberg (360 m ü. NN). Hier ändert sie ihre Fließrichtung in nordöstliche Richtung, wobei der Verlauf stärker durch Talmäander gegliedert ist und das Gerinnebett leicht mäandriert. Nach dem engen Durchbruchstal durch die morphologisch harten Gesteine der Tanner Grauwacke zwischen Alexisbad und Mägdesprung wird das Einzugsgebiet im Harz kurz vor der Selkemühle enger, und die angrenzenden Talhänge werden steiler. Gleichzeitig erreicht der Talboden mit maximal 200 m hier seine größte Breite innerhalb des Harzes. Die widerständigen Gesteine der Selkemulde (Selke-Grauwacke, Kieselschiefer) bewirken im weiteren Verlauf erneut eine Verengung des Talbodens. Bei Meisdorf (180 m ü. NN) verläßt die Selke nach ca. 35 km Flußlänge den Harz und mündet bei Heddersleben in die Bode. Das indirekte Harzeinzugsgebiet der Selke wird durch den Sauerbach entwässert, der etwa einen Kilometer flußabwärts von Meisdorf einmündet.

Die **Bode** entsteht durch den Zusammenfluß von Kalter Bode und Warmer Bode in Königshütte (424 m ü. NN). Beide Quellbäche entstehen aus Hochmoorabflüssen am östlichen Abhang des Brocken-Wurmberg-Massivs. Auch hier sind die charakteristischen Änderungen der Fließrichtungen von Südosten nach Nordosten auffallend. Kurz nach Königshütte durchbricht die Bode den Elbingeröder Kalkkomplex, und der weitere Talverlauf bis Thale ist durch ausgeprägte und zum Teil extreme Talmäander gekennzeichnet. Bei Wendefurth mündet die von der Nordabdachung der Südharzmulde kommende Rappbode (mit Hassel) und bei Treseburg die vom Ramberg-Massiv kommende Luppode ein. Ab Treseburg zerschneidet die Harzbode in einem Durchbruchstal den Ramberg-Granit und verläßt bei Thale bei 160 m ü. NN nach ca. 35 km Flußlänge den Harz.

Die Talböden sind mit Ausnahme des Unterlaufes der Warmen Bode durchweg enger und die Talhänge steiler als die der Harzselke. Ende der sechziger Jahre wurden für den Hochwasserschutz und die Trinkwassergewinnung im Oberlauf der Kalten Bode, der Rappbode und der Harzbode große Talsperrenanlagen errichtet, durch die seitdem das Abflußregime der Oberen Bode künstlich reguliert wird.

Das indirekte Harzeinzugsgebiet der Bode wird von Holtemme, Zillierbach, Goldbach und mehreren kleineren Bächen südlich von Blankenburg bzw. Gernrode entwässert.

3.1.3 Geologie und Geomorphologie

Der Osthartz besteht zum Großteil aus verschiedenen paläozoischen Tonschiefern und Grauwacken unterschiedlicher morphologischer „Härte“ (GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 1998). Die wellige Hochfläche des Ostharzes ist der Rest einer tertiären Landoberfläche, die aufgrund jüngerer tektonischer Bewegungen von Nordwesten nach Südosten einfällt (ca. 600 - 200 m ü NN) und durch Härtlinge und tief eingeschnittene Täler gegliedert wird. Neuere Untersuchungen von *NICKE (1995)* sehen im Relief des Ostharzes das Ergebnis einer Flächentreppenbildung in Meeresspiegelhöhe (Thalassoplanation). Entsprechend den morphologischen Gegebenheiten nimmt die Reliefenergie von Westen nach Osten ab, so daß der östliche Unterharz kaum merklich in das östliche Harzvorland übergeht.

¹ Angaben zusammengestellt aus TK 25, Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt (1991 - 1996)

Die Höhen bzw. Härtlingszüge überragen die Verebnungsfläche um 20 bis 70 m und werden von Quarziten, Diabasen, Kieselschiefern und Graniten bzw. Porphyren aufgebaut. Die größten Erhebungen bilden der Brocken (1142 m ü. NN) am westlichsten Rand des Einzugsgebiet der Harzbode und der Ramberg (582 m ü. NN) und der Auerberg (580 m ü. NN) im Einzugsgebiet der Harzselke. Spuren einer elsterzeitlichen Eisbedeckung sind östlich einer Linie zwischen Ramberg und Auerberg (Vorlandeis) und in den Oberläufen von Kalter Bode und Warmer Bode (Eigenvergletscherung des Brockens) zu finden. Während der letzten Eiszeit herrschten im gesamten Untersuchungsgebiet periglaziäre Bedingungen mit Lößaufwehung vor (*SCHRÖDER & FIEDLER 1979B, FRÜHAUF 1986*).

In geologischer und geomorphologischer Hinsicht stellt der Elbingeröder Kalkkomplex (Devon) eine Besonderheit dar. Die anstehenden Kalkgesteine bewirken hier von der Umgebung deutlich abweichende Verwitterungs- (Lösungsverwitterung => Residuallehme) und Bodenbildungsprozesse und aufgrund der Karsterscheinungen andere hydrologische Bedingungen mit geringerem Oberflächenabfluß.

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), in die sie mit ihren relativ engen Talböden tief eingeschnitten sind. Die Ablenkungen nach Nordosten sind 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 im Höhenniveau von Altflächenresten auf (*NICKE 1995*).

In bezug auf die Stratigraphie holozäner Talsedimente des Ostharzes liegen bislang nur für die Wipper detailliertere Ergebnisse vor (*WILL 1957*). Vereinzelt gibt es dahingehend noch für die Eine (*MANIA 1969*) und Selke (*LINKE 1968, MÜCKE 1966*).

Eine Übersicht über die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet vermittelt die **Karte 2** im Anhang.

3.1.4 Böden

Das Ausgangssubstrat der Bodenbildung und damit von geoökologischer Bedeutung hinsichtlich Schadstoffaufnahme und Massentransport sind weniger die autochthonen Verwitterungsbildungen der anstehenden Gesteine als vielmehr die parautochthonen periglazialen Deckschichten mit mehr oder weniger großen äolischen Fremdmaterialanteilen aus der Umgebung des Harzes (Löß). Untersuchungen von *FRÜHAUF (1986, 1991)* zeigen, daß auf den Hochlagen des Unterharzes in 450 bis 500 m ü NN flächenhaft eine geschlossene Lößdecke verbreitet ist und daß ca. 65 bis 75 Prozent der Böden des gesamten Ostharzes auf lößbeeinflußten Substraten entstanden sind, deren Feinbodenanteil nach Osten hin zunimmt und allmählich in reine Lößdecken übergeht.

Noch ältere Verwitterungsreste wie eozäne Sande, Rotverwitterung, Rot-, Braun-, Graulehme und Granitvergrusung sind oberflächlich deutlich weniger verbreitet, sind aber oft Bestandteil der tieferen periglazialen Deckschichten (*SCHRÖDER & FIEDLER 1977A/B*). Größere räumliche Verbreitung und damit Bedeutung für die Bodenbildung haben im Einzugsgebiet der Selke allein die Graulehmrelikte aus Tonschiefer, die vorwiegend in Flachgefällen, an Hangfüßen und in Talanfangsmulden auftreten. Im Einzugsgebiet der Bode sind auf der Elbingeröder Hochfläche dagegen Kalksteinbraunlehme weit verbreitet. Insgesamt heben sich diese Standorte meist durch starke Vernässung deutlich von der Umgebung ab. Eine sandigere Variante der Graulehme mit entsprechend geringerer Tendenz zur Stauwasserbildung ist auf Standorten über Grauwacken ausgebildet (*MÜCKE 1966*).

Entsprechend der geologisch-geomorphologischen und paläoklimatischen Bedingungen sind im Ostharz vorwiegend Braunerden und Braunerdevarietäten (Pseudogleye) verbreitet. Auf granitischem Untergrund sind das meist Braunpodsole und Ranker, auf der Hochfläche Fahlerden, Braunstaugleye und Braunpodsole und im stark lößbeeinflußten östlichen Unterharz Fahlerden, Pseudogleye und Parabraunerden (*SCHRÖDER & FIEDLER 1979*). Einen genaueren Überblick über Bodenformen und -typen im Untersuchungsgebiet gibt die Bodenübersichtskarte (BÜK 200) des Landes Sachsen-Anhalt (*GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 1996*).

In **Karte 5** sind die Substrate der Bodenbildung dargestellt. Es wird deutlich, daß die Einzugsgebiete von Bode und Selke im Harz vorwiegend durch Lößschutt und Berglöß geprägt sind, wobei im Einzugsgebiet der Selke der Flächenanteil mit Lößeinfluß deutlich größer ist. Auf dem Brocken und dem Ramberg nimmt Sandlöß größere Flächen ein. Sandige Auenlehme sind nur im Tal der Harzselke sowie der Hassel zu finden.

3.1.5 Klima und Hydrologie

Der überwiegende Teil des Untersuchungsgebietes gehört dem Klimabezirk „Unterharz“ innerhalb des Klimagebietes „Mitteldeutsches Berg- und Hügellandklima“ an, wobei die mittlere Jahrestemperatur (5,5 - 8°C) von Westen nach Osten zu- und die mittleren Jahresniederschläge (1100 - 600 mm/a) abnehmen. Im Einflußbereich des Brockens, im Westen des Untersuchungsgebietes, sind die Einzugsgebiete der Kalten und Warme Bode teilweise noch dem niederschlagsreichen und kühlen Klimabezirk „Oberharz“ (1100 - > 1400 mm/a; 3 - 5,5°C) zuzurechnen. Der Klimabezirk „Nördliches Harzvorland“, dem auch Teile des nördlichen Harzrandes und des östlichen Unterharzes angehören, ist wegen der Höhenlage und des Föhneffektes thermisch begünstigt und trockener (7,5 - 8,5°C; 500 - 600 mm/a).

Hinsichtlich der Jahregänge der Niederschläge (mittlere Monatssummen 1951 - 1980) sind in den Klimabezirken „Unterharz“ (Maxima im Juni/Juli und Dezember) und „Oberharz“ (Hauptmaximum im Dezember; Nebenmaximum im Juni/Juli) zweigipflige Niederschlagsverteilungen festzustellen, während das „Nördliche Harzvorland“ nur ein Maximum im Sommer aufweist (*SCHRÖDER & FIEDLER 1979B, GLÄSSER 1995*).

Die hydrologischen Kenngrößen ausgewählter Pegelstationen (**Tabelle 5**) zeigen, daß sich klimatisch bedingt Kalte Bode, Rappbode und wahrscheinlich auch die Warme Bode durch eine höhere Abflußspende (Mq) von den Pegelstationen der Selke im Harz unterscheiden. Der Pegel der Bode (Wendefurth) ist durch die in den 60er Jahren errichteten Talsperrenanlagen beeinflusst. Diese führen im allgemeinen zu einer Verringerung, in Trockenzeiten aber auch zu einer Erhöhung der Abflußmengen (*LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998*). Das Jahrhunderthochwasser im April 1994 ist sowohl an der Bode als auch an der Selke durch maximale Abflußmengen (HQ) zu erkennen.

Tabelle 5 Hydrologische Kenngrößen ausgewählter Pegel im Untersuchungsgebiet (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998)

Pegel	Gewässer	Abfluß-jahr	Mq			NQ		MNQ			MQ			MHQ			HQ	
			[l/(s*qkm)]			Wi	So	Wi	So	Wi	So	Mittel	Wi	So	Mittel	Wi	So	Mittel
Elend	Kalte Bode	1950-1995	36,3	20,4	28,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,9	0,5	0,7	13,2	7,9	15,1	83,3	39,9
							18.09.59										04.12.60	
Trautenstein	Rappbode	1951-1995	29,7	10,0	19,7	<0,1	<0,1	0,1	0,0	0,0	1,2	0,4	0,8	9,0	7,1	11,6	25,7	46,8
							01.11.58										10.06.80	
Wendefurth	Bode	1968-1995	15,6	8,7	12,1	0,6	0,5	1,4	1,3	1,2	4,8	2,7	3,8	22,6	13,2	24,0	88,2	30,6
							07.06.79										14.04.94	
Silberhütte	Selke	1949-1995	15,7	10,7	10,7	<0,1	<0,1	0,3	0,2	0,2	1,7	0,6	1,1	10,7	4,7	11,6	74,0	21,0
							15.12.62										13.04.94	
Meisdorf	Selke	1921-1995	12,2	5,0	8,6	<0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	2,3	0,9	1,6	14,4	6,2	15,4	85,7	29,4
							28.09.29										13.04.94	

3.2 Bergbau und seine natürlichen Grundlagen

3.2.1 Lagerstätten

Die Grundlage für den historischen Buntmetallbergbau im Osthartz bildeten viele kleinere und einige größere pneumatolytisch-hydrothermale und hydrothermale Ganglagerstätten². Sie entstanden beim Aufdringen der postvariszischen Magmen des Brocken- und Ramberg-Plutons. In zwei Mineralisationszyklen kam es dabei zur Ausbildung verschiedener Mineralassoziationen mit charakteristischen Erzanreicherungen (**Tabelle 6**).

Der größte Teil des durch den Ramberg-Pluton entstandenen Ostharter Gangbezirkes befindet sich innerhalb des Einzugsgebietes der Selke. Insgesamt existieren in diesem Erzbezirk ungefähr 90 Erz- und Mineralgänge, die zu 16 Ganglinien zusammengefaßt und diese wiederum in verschiedene Gangreviere bzw. Erz-zonen gegliedert werden können. Die wichtigsten Erzgänge sind der Güntersberge-Biwender Gangzug und der Straßberg-Neudorfer Gangzug im Oberlauf der Selke zwischen Güntersberge und Harzgerode. Die Quarz-Silikat-Wolframit-Assoziation ist räumlich auf den Ramberg-Granit und dessen unmittelbaren Kontakthof begrenzt, ansonsten herrschen die buntmetallreichen Gänge der Quarz-Sulfid-Assoziation - oft in Verbindung mit der Baryt-Fluorit-Assoziation - vor. Gangtrümmer mit sideritischem Eisen finden sich vereinzelt im Biwender und vor allem im östlichen Teil des Straßberg-Neudorfer Gangzuges und bildeten die Grundlage für die Eisenverhüttung und -verarbeitung in Mägdesprung. Die wichtigsten Erzminerale sind Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Arsenkies, Wolframit und Fahlerz. Die wichtigsten Gangarten sind Quarz, Flußspat, Kalkspat und Eisenspat (*MOHR 1993, 281ff*).

Tabelle 6 Mineralisationszyklen, Mineralassoziationen und Lagerstätten im Osthartz (nach RENTZSCH ET AL. 1985)

1. Mineralisationszyklus:
Karbonat-Sulfid-Assoziationen (sideritisches Eisen)
Quarz-Karbonat-Hämatit-Assoziation (Mangan, hämatitisches Eisen)
Quarz-Sulfid-Assoziation (Blei, Silber, Zink, Antimon)
Quarz-Silikat-Kassiterit-Assoziation (Zinn)
Quarz-Silikat-Wolframit-Assoziation (Wolfram)
2. Mineralisationszyklus:
Baryt-Fluorit-Assoziation (Baryt, Fluorit)

Im Vergleich zur Selke sind im direkten und indirekten Harzeinzugsgebiet der Oberen Bode und ihrer Zuflüsse Ganglagerstätten weitaus weniger weit verbreitet und auf die unmittelbare Nähe der Plutone und deren Kontakthöfe konzentriert. Kleinere Vorkommen sind außerdem in der Umgebung von Tanne - Sorge, südlich von Elbingerode und am Oberlauf der Rappbode zu finden. Mit Ausnahme der Vorkommen bei Elbingerode (Quarz-Sulfid-Assoziation) und im nordwestlichen Teil des Ostharter Gangbezirks um Altenbrak - Treseburg (Quarz-Sulfid- und Quarz-Silikat-Wolframit-Assoziation) handelt es sich dabei meistens um Vorkommen von sideritischem (Karbonat-Sulfid-Assoziation) und/oder hämatitischem Eisen (Quarz-Karbonat-Hämatit-Assoziation).

Die wichtigsten Eisenerz-lagerstätten sind die submarin-hydrothermal-sedimentären, stratiformen, oxidischen Eisen-Mangan-Erze (Lahn-Dill-Typ, kieselig-karbonatische Hämatit-Magnetit-Assoziation) und die hydrothermal-imprägnativen bzw. submarin-hydrothermal-sedimentären Pyriterze (Rio-Tinto-Cypern-Typ, allerdings ohne Buntmetallvererzung, Pyrit-Assoziation) in und um den Elbingeröder Kalkkomplex. Ihre Entstehung ist auf basischen initialen submarinen Magmatismus zurückzuführen. Die mineralogische Zusammensetzung der Erz-lager ist sehr unterschiedlich (**Tabelle 7**), so daß Regelmäßigkeiten der Verteilung einzelner Erztypen innerhalb der Lagerstätten kaum zu erkennen sind.

Im Erz-lager Braunesumpf treten dabei kalkige Komponenten und ein hoher Anteil von Magnetit-Chlorit-Siderit-Erzen stärker in den Vordergrund, während im Erz-lager „Büchenberg“ kieselig-

² Viele kleinere, oberflächennahe Lagerstätten sind schon seit dem Mittelalter ausgeerzt und heute nur noch anhand verfallener Pingen(züge) nachweisbar. Eine Zuordnung zu bestimmten Mineralisationen ist nachträglich kaum mehr möglich. Die in **Karte 3** dargestellten Lagerstätten stellen daher nur die heute noch bestehenden Vorkommen dar.

oxidische Vererzungen und Siderit vorherrschen und der Kalkanteil niedriger ist. Die Schwermetallgehalte der Erze sind relativ gering (<100 mg/kg) und erreichen nur in Ausnahmefällen Werte über 1000 mg/kg (LANGE 1957, DAVE 1963).

Vereinzelt sind auf der Elbingeröder Hochfläche mit Eisen- bzw. Manganerz gefüllte Karstschlote und westlich von Blankenburg schichtgebundene Vorkommen der kieseligen Rhodonit-Rhodochrosit-Assoziation (Mangan) vorhanden.

Die Pyriterze der Grube „Einheit“ zwischen Elbingerode und Rübeland sind wegen der hohen Quecksilber- (10 - 15 mg/kg) und Arsengehalte (3000 - 4000 mg/kg) von besonderer geochemischer und geoökologischer Bedeutung (RENTZSCH ET AL. 1984).

Bei vielen in der Vergangenheit ausgebeuteten Lagerstätten können heute nur Vermutungen bezüglich der mineralogisch-geochemischen Zusammensetzung angestellt werden, da diese völlig ausgeerzt wurden. Dies gilt v.a. für oberflächennahe Bereiche hochkonzentrierter und vorneuzeitlich genutzter, kleinerer Buntmetall-Ganglagerstätten.

Tabelle 7 Durchschnittliche mineralogische Zusammensetzung von Eisenerzen des Elbingeröder Komplexes (nach KNAUER 1960)

Mineral	durchschnittlicher Anteil
Magnetit	9-16%
Hämatit	4-13%
Siderit	12-18%
Eisensilikate	8-13%
Kalzit	18-34%
Quarz	20-27%
Pyrit, Anthraxolit u.a.	<1%

3.2.2 Lokale Bergbaugeschichte

Im folgenden Kapitel wird die Entwicklung des Bergbaus im Untersuchungsgebiet zusammenfassend dargestellt. Soweit nicht anderweitig vermerkt beziehen sich die Angaben auf die Arbeiten von OELCKE (1973; 1978).

3.2.2.1 Bode

Der Mittelharz ist heute als das historische Zentrum der **Eisengewinnung** im Harz anzusehen (BRÜNING 1928, KLEßEN 1985). Die Grundlage hierfür bildeten insbesondere die großen Roteisensteinvorkommen (Braunlage, Elbingeröder Komplex) und das wasser- und holzreiche Einzugsgebiet abseits der Buntmetallreviere im Westen bzw. Osten (OELCKE 1973).

Auf der Elbingeröder Hochfläche sind viele Wüstungen mit älterer Eisenverhüttung archäologisch nachgewiesen, die sich bevorzugt an Oberhängen in der Nähe des Lagerstättenausbisses am Rande der Devonkalke und der ergiebigen Karstquellen befinden. Anhand von Keramikresten können diese bis in das 10. Jahrhundert zurückdatiert werden (PRELL 1971). Eine ungewöhnliche Siedlungsverdichtung am unmittelbar angrenzenden nördlichen Harzrand während der römischen Kaiserzeit läßt auf einen noch früheren Beginn schließen. Bis zum Spätmittelalter werden hier Rennöfen einfachster Bauart (Windöfen, Schmelzgruben) zur Eisengewinnung betrieben (KLEßEN 1985).

Die ältesten urkundlich erwähnten Eisenhütten stammen aus der Zeit Anfang/Mitte des 14. Jahrhunderts (Rübeland, Königshof: 1320; Tanne: 1335; Neue Hütte bei Elbingerode: 1400; Neuwerk, Wendefurth, Altenbrak, Treseburg, Thale, Trautenstein: vor 1450) als im Harz die Nutzung der Wasserkraft zum Antrieb der Blasebälge (seit 1224 im Oberharz) und damit die Verlegung der Hütten in die wasserreichen Täler (Abfluß > 0,3 m³/s) beginnt. Anfangs handelt es sich dabei um 2 bis 3 m hohe Schacht- und Stücköfen. Mit Einführung der zweistufigen bzw. indirekten Eisengewinnung kommen später Blau- und Frischöfen zur Veredelung hinzu (OELCKE 1973).

Nach der mittelalterlichen Wüstungsperiode nimmt die Eisengewinnung im oberen Bodetal im 15. und 16. Jahrhundert einen beachtlichen Aufschwung, so daß bis 1612 neben den bereits existierenden acht weitere Hütten und ab Mitte des 16. Jahrhunderts auch die ersten Holzkohlehochöfen im Harz entstehen (Ilseburg, Ifeld, Stolberg, Sülzhausen, vgl. OELCKE 1973).

Nach einer Rezession während des 30jährigen Krieges werden viele alte Hütten wieder in Betrieb genommen und neue erbaut (Schierke: 1669; Thale: 1686; Rothehütte: 1679). Aus nicht näher

bekanntesten Gründen müssen zu Anfang des 18. Jahrhunderts allerdings viele Hütten wieder aufgegeben werden. Die verbesserten Techniken (u.a. Kupolöfen auf Steinkohlebasis in Rothehütte, Rübeland, Tanne) führen aber trotzdem dazu, daß die Roheisenproduktion bis Anfang des 19. Jahrhunderts stetig zunimmt (1760-1780: ca. 6000 t/a, 1801: ca. 11000 t/a). Im Elbingeröder Komplex wird dabei zunehmend zum Untertagebau übergegangen, und Wasserlösungsstollen werden in nach Norden entwässernden Tälern (Zillierbach, Holtemme) angelegt (Rothenberger-, Charlotten-, Augusten-Stollen). In den lokalen Zentren der Eisenindustrie (Kalte Bode: Schierke, Mandelholz, Königshütte; Warme Bode: Sorge, Tanne; Bode: Neuwerk, Altenbrak/Treseburg, Thale) entstehen im 18. Jahrhundert zahlreiche veredelnde und weiterverarbeitende Betriebe.

Mitte des 19. Jahrhunderts werden zunächst verkehrsgünstige Hüttenstandorte im Harzinneren aufgegeben. Ende des 19. Jahrhunderts wird die Eisengewinnung (Blankenburg: 1895, zuletzt in Rothehütte 1926) zu Gunsten der Eisenverarbeitung ganz aufgegeben. Mit Ausnahme einer kurzen Blütezeit im ersten Weltkrieg werden an der Wende 19./20. Jahrhundert alle kleinen Gruben aufgelassen. Seit ca. 1900 entwickeln sich in Blankenburg (Gießerei) und insbesondere in Thale (Emaillierwerk, Feinblechwerk) bedeutende Zentren der Metallverarbeitung, während im Harzinneren um 1940 nur noch die Gießereien in Tanne und Königshütte/Rothehütte in Betrieb sind.

Ein planmäßiger moderner Abbau wird bis 1969/1970 in den Gruben Braunesumpf und Büchenberg aufrecht erhalten. In den sechziger Jahren werden jährlich jeweils über 400 000 t Erz gefördert und anfangs in Blankenburg, später in Calbe verarbeitet.

Neben Eisenerzen werden bei Hasselfelde, südlich von Braunlage und im Brunnenbachtal in geringerem Maße auch **Kupfererze** verhüttet. Die ältesten archäologisch faßbaren Buntmetallhütten befinden sich im Brunnenbachtal und gehen mindestens in das 10. Jahrhundert zurück, wobei die Erze zum Großteil aus dem Oberharz bzw. dem Rammelsberg bei Goslar importiert werden (*NOWOTHING 1963*). Neben alten Abbau- und Verhüttungsanlagen weisen einige Befestigungen und der Verlauf des alten Kaiserweges auf die Bedeutung und günstige Lage dieses Bergbaugesbietes im 10./11. Jahrhundert hin (*BÖHME 1978*). Ein Abbau von Kupfererzen ist für das Hochmittelalter in der Umgebung von Altenbrak und Treseburg nachgewiesen (*SCHWERDTFEGGER 1991*), der aber eventuell schon bis in die Bronzezeit zurück reichen könnte (*SIMON 1993*). Die ältesten urkundlich erwähnten Kupferhütten stammen aus dem 13. Jahrhundert, als von den Zisterziensern des Klosters Walkenried Rammelsberger und Oberharzer Kupfererze in das wasser- und holzreiche Bodeeinzugsgebiet transportiert und verhüttet werden.

Hinweise auf **Silbererzbergbau** gibt es für den Oster und Ungersberger Zug südlich von Gernrode schon aus dem 11. Jahrhundert. Namen wie „Silbergrubenteich“ und „Silberkolk“ könnten auf einen alten, zeitlich nicht faßbaren und bisher nicht belegten, Silberabbau bei Tanne hinweisen. Seit der frühen Neuzeit ist die Buntmetallverhüttung rückläufig und nur noch an wenigen Standorten nachzuweisen.

Im 18. und 19. Jahrhunderts werden bei Rothehütte, Elbingerode (1731-1842), Braunlage (1845-1905), Allrode (erwähnt 1656) und bei Breitenstein (Anfang 15. Jh.) **Glashütten** betrieben. Für den Betrieb der Glashütten werden große Mengen Holz verbraucht, aber auch Torfe aus Hochmooren des Brockenmassivs sowie Steinkohle aus dem Kunzetal in der Umgebung von Ehrenberg bei Wernigerode (*TENNER 1925*).

3.2.2.2 Selke

Die frühesten - leider nicht näher datierbaren - Abbauspuren befinden sich in der Umgebung von Straßberg und Harzgerode und sind ursprünglich wohl nicht auf Silbererze, sondern auf **Brauneisenstein** betrieben worden (Herr LORENZ, Leiter des Bergwerksmuseums „Grube Glasebach“ in Straßberg, freundliche mündliche Mitteilung Februar 1997). Viele Anzeichen deuten aber darauf hin, daß hier bereits im 15. und 16. Jahrhundert ein Schwerpunkt der Osthärzer Silbergewinnung besteht (*BARTELS & LORENZ 1993, OELCKE 1978*).

Nach der allgemeinen Bergbaukrise seit dem Ende des 16. Jahrhunderts erlebt der **Silberbergbau** im oberen Einzugsgebiet der Harzselke in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine kurze Blütezeit. Aufgrund der territorialen Zugehörigkeit zum Fürstentum Anhalt-Bernburg bzw. zur Grafschaft Stolberg-Stolberg entstehen auf engem Raum zwei konkurrierende Reviere mit abweichender Entwicklung.

Die nähere Umgebung von Straßberg (**Grafschaft Stolberg-Stolberg**) entwickelt sich zwischen 1690 und 1750 zu einem beachtlichen Zentrum der Silbergewinnung. Zeitweise sind dort bis zu 500 Bergleute angesiedelt, wobei insgesamt ca. 11,5 Tonnen Silber erschmolzen werden. In der Folgezeit ist der Bergbau wegen Lagerstättenerschöpfung stark rückläufig und kommt im Zuge des siebenjährigen Krieges (1756-1763) weitgehend zum Erliegen. Später konzentriert sich die Förderung auf oberflächennahe Brauneisenstein- und Flußspatvorkommen, die in vielen Silbergruben bisher nur als Nebenprodukt von Interesse waren. Insbesondere die Gruben „Glasebach“ und „Vorsichtiger Bergmann“ werden seit Mitte des 18. Jahrhunderts verstärkt auf Flußspatbasis betrieben. Um das umfangreiche Netz von Sammelgräben nutzen zu können übernimmt das Fürstentum Anhalt-Bernburg Ende des 18. Jahrhunderts schrittweise alle Rechte am Straßberger Revier. Um 1805 wird in der Straßberger Hütte letztmals Silber erschmolzen, im Jahr 1811 der Straßberger Silbererz-Bergbau endgültig eingestellt.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts werden in einigen Gruben nochmals geringe Mengen an Eisenerzen und **Flußspat** (Grube „Glasebach“, 1822 - 1854) abgebaut und die alten Halden aus Pocherzen aufgearbeitet. Nach vergeblichen Versuchen der Wiederaufnahme erlöschen 1876 alle bergbaulichen Aktivitäten auf Silber im Stolbergisch-Straßberger Revier. 1921 wird auf dem Ampenberg westlich von Straßberg (Grube „Frohe Zukunft“) ein letzter Versuch unternommen (*OELCKE 1978, BARTELS & LORENZ 1993*).

Bis Ende des 17. Jahrhunderts verläuft die Entwicklung des **anhaltischen Harzes** in der näheren Umgebung von Harzgerode/Alexisbad weitgehend parallel zum Straßberger bzw. stolbergischen Bergbau. Der Flurname „Kupferhammer“ bei der Selkemühle (5 km östlich von Mägdesprung) ist der älteste lokalisierbare und datierte Montanbetrieb (Kupfer-Silber-Hütte vor 1311, *KRAUSE 1967*) im Selketal. Ob die Erze dafür aus der näheren Umgebung, vom Rammelsberg oder aus dem Mansfelder Land kommen, ist nicht bekannt.

Im Gegensatz zum räumlich eng begrenzten Straßberger Revier können nach der Erschöpfung der bis dahin wichtigsten Lagerstätten bei Alexisbad/Harzgerode zuerst im Tal des Birnbaumbaches und ab 1763 auch bei Neudorf und Harzgerode neue **Silber- und Eisenerzmittel** nutzbar gemacht werden. Neudorf entwickelt sich in dieser Zeit zum Zentrum des anhaltischen Bergbaus, die umliegenden Gruben Pfaffenberg und Meiseberg werden zu den mit Abstand wichtigsten Erzbergwerken im Unterharz. Aufbereitung und Verhüttung erfolgen seit dem 18. Jahrhundert größtenteils im Selkeperiodwerk (1695 - 1903) bzw. in Mägdesprung (1646 - 1695 und 1742 - 1875) sowie in Silberhütte (seit 1692). Im Jahre 1872 gehen die Bergbaurechte an Privatunternehmer über, die insbesondere zwischen 1890 und 1894 nochmals große Mengen an Erz fördern. 1903 wird der Erzabbau auch hier ganz eingestellt, und die Schächte 1911 verfüllt.

Einen planmäßigen Bergbau auf **Flußspat** gibt es seit ca. 1780 am Brachmannsberg (Uhlenbachtal) und seit 1820 im Suderholz nördlich von Straßberg (Grube „Fluor“). Mit dem Bau der Selketalbahn um 1890 erhöhen sich die Fördermengen erheblich. Von 1888 bis 1927 werden in der „Chemischen Fabrik Fluor“ westlich von Straßberg Flußspatmehl und Flourchemikalien hergestellt. Bis zur Stilllegung 1990 werden insgesamt 1 Mio t Flußspat abgebaut (*OELCKE 1973*).

Die Hütte in Mägdesprung ist bezüglich der Buntmetallverhüttung (1646-1695) der Verläufer von Silberhütte. Seit dem Wiederaufbau 1742 bis zur Stilllegung im Jahre 1875 bilden vorwiegend Eisenerze der umliegenden Gruben, insbesondere aus Neudorf und Tilkerode, aber auch auswärtige Erze die Rohstoffbasis. In und um Mägdesprung entstehen im 18. und 19. Jahrhundert zahlreiche Hammerwerke und metallverarbeitende Betriebe.

Neben Silbererzen, Flußspat und Eisenerzen werden in Silberhütte für die Vitriolherstellung auch geringe Mengen an **Schwefelkies** (Nebenprodukt in vielen Gruben) und **Kupfererzen** (oberes Friedensbachtal: 1708-1745) verwertet. Im Tilkeröder Revier (außerhalb des Selkeinzugsgebiets) werden sogar geringe Mengen an Gold, Wolframit und Selen gefunden. Am nördlichen Harzrand werden bei Opperde und in geringem Maße auch in der Umgebung von Ballenstedt seit dem 16. Jahrhundert bis Anfang des 19. Jahrhunderts **Steinkohle** gefördert und an die anhaltischen Erzhöfen geliefert. Der Selkestollen unmittelbar vor Meisdorf lieferte Lösungswässer aus den Steinkohlengruben südlich von Ballenstedt.

Insgesamt werden nach Angaben von *OELCKE (1973)* im anhaltischen 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 (inkl. Tilkeröder Revier) abgebaut und zum größten Teil auch im

Einzugsgebiet der Harzselke aufbereitet und verhüttet. Da nicht für alle Gruben Angaben über die Abbaumengen vorliegen, sind diese Werte als Mindestmengen zu verstehen.

3.3 Geochemischer Hintergrund und natürliche geochemische Anomalien

Um in fluviatilen Sedimenten eines bestimmten Gebiets natürliche geochemische Anomalien und das Ausmaß anthropogener Anreicherung im besonderen beurteilen zu können, ist es notwendig, den natürlichen regionalen geochemischen Hintergrund (Background, Untergrund, Fond, Normalfeld) und die zeitlich, räumlich und lithologisch bedingte Schwankungsbreite für jedes der untersuchten Elemente zu kennen³. Ein weiteres Problem stellt die Festlegung eines konkreten Schwellenwertes für die Abgrenzung geochemischer Anomalie bzw. anthropogener Anreicherungen dar. Bislang jedoch gibt es dafür keine standardisierte Vorgehensweise, da diese „... letzten Endes auf die konkrete, oft einmalige geologische Situation im Untersuchungsgebiet Rücksicht zu nehmen hat“ (SEIM & TISCHENDORF 1990, 40). Unter Vernachlässigung der labormethodischen Unterschiede werden für das Untersuchungsgebiet die „regionalen Hintergrundwerte“ von RENTZSCH & ET AL. (1984) als Bezugsgrößen für quasi natürliche Schwermetallgehalte in fluviatilen Sedimenten herangezogen. Diese wurden anhand von mehr als 2000 Sedimentproben (Modi) aus Bächen erster und zweiter Ordnung für die Kornfraktion bis 0,2 mm ermittelt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß hier die über Jahrhunderte andauernde atmogene Anreicherung und der Einfluß der (modernen) Landwirtschaft mit einfließen, und daß die Werte für die Zeit vor der systematischen Erschließung des Harzes im Hochmittelalter deutlich niedriger anzusetzen sind. Im Vergleich zum Tonschieferstandard nach TUREKIAN & 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 (**Tabelle 8**).

Tabelle 8 Statistische Kenngrößen der Hintergrundgehalte ausgewählter Elemente in rezenten Bachsedimenten (1./2. Ordnung) des Ostharzes (nach Rentzsch et al. 1984) im Vergleich zu mittleren Gehalten in Sedimentgesteinen (nach Turekian & 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

* entspricht dem "regionalen Hintergrundwert" für den Ostharz; **aus: SEIM & TISCHENDORF, 1990, Anlage 12

³ Laut Definition handelt es sich beim geochemischen Background (Hintergrund, Untergrund, Fond, Normalfeld) um „... einen über eine gewisse Entfernung hin gleichbleibenden oder sich nur allmählich ändernden Gehalt an chemischen Komponenten, der für das zu untersuchende System im ganzen charakteristisch ist“ (SEIM & TISCHENDORF 1990, 38). Unter geochemischer Anomalie wird ein abgrenzbarer Bereich innerhalb eines Normalfelds verstanden, „in dem Elementgehalte auftreten, die deutlich von den Gehalten des Normalfeldes abweichen“ (SEIM & TISCHENDORF 1990, 39).

Unter Berücksichtigung eines eventuell auftretenden Korngrößeneffektes, d.h. einer Anreicherung in feineren Kornfraktionen, können die regionalen Hintergrundwerte näherungsweise als Obergrenze der quasi natürlichen Schwermetallgehalte der Fraktion < 2 mm betrachtet werden. In Granitgebieten (Ramberg) ist allerdings damit zu rechnen, daß einige Elemente (Blei, Zink, Arsen) bevorzugt in größeren Fraktionen (> 0,2 mm) angereichert sind (BIRKE & RENTZSCH 1990).

Veränderungen der Elementquotienten sind dagegen kaum von den verwendeten Labormethoden abhängig und liefern bei deutlichen Abweichungen von den Verhältnissen des regionalen Hintergrundes zusätzliche Hinweise auf eine anthropogene Beeinflussung der Schwermetallgehalte.

In fluvialen Sedimenten können natürliche geochemische Anomalien durch lithologisch-, vererzungs- und milieubedingte Besonderheiten entstehen. Bei letzteren handelt es sich meist um Elementanreicherungen an Eisen-Mangan-Oxihydroxiden und organischer Substanz in Kombination mit gravitativer Anreicherung. Dies ist sehr häufig beim Übergang von reduzierenden zu oxidierenden Verhältnissen bzw. bei ansteigenden pH-Werten zu beobachten (BIRKE & RENTZSCH 1990, BIRKE ET AL. 1995A/B).

In **Karte 4** (Anhang) sind als Ergebnis der o.g. Untersuchungen an Bachsedimenten die natürlichen und anthropogenen geochemischen Anomalien für das gesamte Untersuchungsgebiet dargestellt. Aus der **Tabelle A1** (Anhang) ist ersichtlich, daß die Schwermetallgehalte in den unterschiedlichen „Geochemischen Landschaften“ (Bachsedimente, RENTZSCH & ET AL. 1984) bzw. Böden des Ostharzes mehr oder weniger deutlich variieren. Bezüglich Blei zeichnen sich die „Elbingeröder Hochfläche“ sowie die „Brockenhänge“ durch überdurchschnittlich hohe und die „Unterharzer Hochfläche“ und das „Meisdorfer Land“ durch besonders niedrige Gehalte aus. Leider waren aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine Informationen über genaue Grenzen, Lage der geochemischen Landschaften oder die Horizontierung und Beprobungstiefen der Bodenprofile zu entnehmen.

Lithologisch bedingte Elementanomalien treten im Untersuchungsgebiet in Zusammenhang mit der Präflyschformation im nordwestlichen Teil des Elbingeröder Komplexes (Blei, Zink, Kupfer), dem Blankenburger Olisthostrom (Zink), den Wernigeröder Schichten (Blei, Zink, Kupfer) und den Stieger Schichten (Blei, Kupfer) auf. Unterdurchschnittliche Metallgehalte sind im Bereich des Harzgeröder Olisthostromes außerhalb der Unterharzer Erzzone (Blei) und in den Granitgebieten von Ramberg (Zink) und Brocken (Kupfer) zu finden.

Vererzungsbedingte natürliche Anomalien werden in den meisten Fällen durch die Schwermetallfreisetzung im Zuge historischer Bergbauaktivitäten verstärkt und sind daher oft schwer von rein anthropogenen Anomalien zu unterscheiden. Schwerpunkte sind diesbezüglich der Bereich der Unterharzer Erzzone im Kontaktbereich des Ramberg-Plutons (Blei, Zink, Kupfer, Silber, Arsen), die Pyritgrube „Einheit“ im Elbingeröder Komplex (Blei, Zink, Kupfer, Silber) und der Flußspatbergbau nördlich von Straßberg (Kupfer).

Silber ist besonders in Sedimentgesteinen mit hohen Anteilen organischer Substanz unter reduzierenden Bildungsbedingungen angereichert (Flinzkalke/Wernigeröder Schichten, Wissenbacher Schiefer/Präflyschformation, Stieger Schichten im Bereich der Südharz-/Selkemulde). Weitere lithologisch bedingte Silberanomalien (maximal 5 mg/kg) sind im Bereich Silurischer Schiefer (Wildflysch), in Karpolithenschiefern (Wippraer Einheit) und in Rotliegendensedimenten der Südharz- bzw. Selkemulde zu finden.

Aufgrund des verbreiteten Auftretens von manganreichen Gesteinen und Mineralisationen sind die Mangangehalte in Bachsedimenten des Harzes im allgemeinen relativ hoch (maximal 3,2 Prozent). Maximale Gehalte treten im Bereich vulkanogen-sedimentärer Geosynklinalformationen mit Manganmineralisationen (Stieger Schichten, Elbingeröder Komplex und umgebende Kieselschiefer, ordovizische Zonen der Wippraer Einheit) und in den Olisthostromen der Blankenburger und Harzgeröder Zone auf. Mangan reagiert besonders stark auf Veränderungen von Redox- und/oder pH-Verhältnissen und ist daher oft milieubedingt angereichert. In Zusammenhang mit der Bildung von Eisen-Mangan-Oxihydroxiden reichern sich auch andere Metalle an (Zink, Arsen, Kupfer). Bei der milieubedingten Elementanreicherung spielt neben Mangan auch das geochemische Verhalten von Eisen eine große Bedeutung. Leider fehlen bei RENTZSCH & ET AL. (1984) diesbezügliche Analysen.

Die großflächige Arsenanomalie im Bereich des Ramberges und seines Kontakthofes ist eine Besonderheit im Harzeinzugsgebiet der Selke. Die Umgebung größerer Gangzüge weist oft anthropogen (Bergbau) verstärkte Arsenanomalien mit mehr als dem zehnfachen Kontrast (maximal 5457 mg/kg) zum regionalen Hintergrund auf.

Anthropogene Elementanreicherungen sind im Bereich größerer Ortschaften und Mülldeponien (z.B.: Harzgerode) zu finden. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes führen bis 1967 (Betriebsende der Bleihütte Clausthal) die Emissionen der Westharzer Hütten zu erhöhten Bleigehalten in Oberböden und dazu korrelierten Sedimenten. Bergbauhalden wurden in der Vergangenheit häufig zum Wege- und Straßenbau verwendet und tragen so zu einer zusätzlichen und schwer einzuschätzenden Elementanreicherung in Bachsedimenten bei.

Aufgrund niedriger Schwermetallgehalte in Löß(derivaten) und der in Richtung Unterharz stärker werdenden Lößbeeinflussung ist davon auszugehen, daß im Ostharz geochemische Anomalien von West nach Ost zunehmend verdünnt und z.T. ganz verwischt werden. Nach *RENTZSCH & SCHULZE (1984)* sind natürliche geochemische Anomalien in Bachsedimenten periglazialer Gebiete nur dann nachweisbar, wenn die Lößbedeckung im Untersuchungsgebiet weniger als 25 Prozent beträgt.

3.4 Schwermetallbelastungen durch historischen Bergbau im Harz

Zahlreiche Untersuchungen belegen, daß in vielen historischen Erzbergbaugebieten Gewässer und Auenoberböden mit Schwermetallen kontaminiert sind. Als Beispiele seien hier einige Arbeiten aus dem Westharz und dem nördlichen Harzvorland genannt: *BAUMANN ET AL. (1977)*, *BAUMANN (1984)*, *FYTIANOS (1982)*, *STIER (1978)*, *KNOLLE (1989)*, *MATSCHULLAT ET AL. (1991)*, *DITTMER (1994)*, *EGGERS & WOLF (1994, 1996)*, *GÄBLER (1996)*, *NOACK & GORSLER (1984)*, *NOWAK & PREUL (1971)*. Die Schwermetallbelastungen sind dabei z.T. so hoch, daß Schäden an Ackerfrüchten und Vieh auftreten („Oker-Steinfeld-Innerste-Krankheit“, *MERKEL & KÖSTER 1980, 1985*).

Neuere geochemische Untersuchungen belegen, daß die Auensedimente in Tälern des Westharzes (*KUES ET AL. 1994*, *MATSCHULLAT ET AL. 1997*) besonders stark belastet sind, und daß die fluviale Schwermetalldispersion schon seit dem Mittelalter - eventuell sogar seit der Bronzezeit - bis in das Vorland bzw. bis zur Nordseeküste reicht (*ORTLAM 1989*, *NIEHOFF ET AL. 1992*, *CASPERS 1994*, *SAUER 1995*). Bei der Interpretation von Schwermetallgehalten in Auenprofilen des Harzvorlandes muß jedoch unbedingt berücksichtigt werden, daß im mitteldeutschen Raum bzw. in der Umgebung des Harzes Roherze und Metalle zur Verarbeitung schon seit der frühesten Bronzezeit und besonders im Mittelalter über relativ weite Strecken transportiert werden (*KLAPPAUF 1996*, *KLEIN ET AL. 1993*, *SIMON 1993*). Erhöhte Schwermetallgehalte in älteren Auensedimenten des Vorlandes sind unter Umständen daher auch auf lokale Verarbeitung von Importerzen bzw. -metallen außerhalb des Gebirges und nicht nur auf rein fluvialen Transport aus dem Harz zurückzuführen.

Aus den Untersuchungen von *RENTZSCH & ET AL. (1984)* geht hervor, daß der Westharz und das westliche Einzugsgebiet der Bode im Harz (Kalte Bode, Warme Bode) aufgrund historischer Verhüttungsaktivitäten bezüglich Blei flächenhaft kontaminiert sind, und daß im Ostharz die Umgebung von Straßberg ein lokales Zentrum der Blei- und Arsenbelastung darstellt.

Die Schwermetallgehalte im Wasser von Bode und Selke unterliegen seit Anfang der neunziger Jahre der Überwachung durch das Staatliche Amt für Umweltschutz (StAU) in Magdeburg. Für die Selke liegen diesbezüglich zusätzlich Intensivuntersuchungen der Schwermetallbelastung im Flußlängsverlauf vor (*HEINDORF 1993*, *ANONYMUS 1994*), die im Rahmen dieser Untersuchung ausgewertet werden (siehe **Kapitel 5.2.4**). Neueste Untersuchungsergebnisse zum Biomonitoring von Schwermetallen in natürlichen Gewässern weisen die Selke im Vergleich zur unmittelbar benachbarten Wipper mit bis zu neunfach erhöhten Bleigehalten in Wassermoosen als besonders belastet aus (*BRUNS 1997*).

Neben dem Westharz und der Umgebung von Straßberg ist das Mansfelder Land am östlichen Harzrand als drittes regionales Zentrum anthropogener Schwermetallbelastung zu betrachten. Da einige alte Verhüttungsbetriebe in Tälern des Unterharzes (Eine, Wipper) auf Grundlage der Mansfelder Kupferschieferlagerstätte betrieben wurden, ist hier ebenfalls eine Schwermetallanreicherung durch alte Bergbauaktivitäten zu erwarten. Jüngere geochemische Untersuchungen an Auensedimenten der Wipper bestätigen diese Vermutung (Ulrich DEHNER, Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, freundliche mündliche Mitteilung Mai 1997, HAUG [inVorbereitung]).

Insbesondere östlich des Kupferschieferausstriches verursachten der historische oberflächennahe Abbau sowie die bis 1991 betriebene Kupferverhüttung eine starke und großflächige Schwermetallbelastung der heute vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Oberböden. Aus Luftbildern sind dabei v.a. zu Beginn der Vegetationsperiode und während der Erntezeit in der Nähe

des Lagerstättenausbisses zahlreiche eng begrenzte Flächen mit sehr deutlichen Schäden an Feldfrüchten zu erkennen, die in Zusammenhang mit der Vergrabung alter Schachtpingenhalden stehen. Inwieweit die Vegetationsschäden auf edaphische Trockenheit oder direkte Schädigung der Pflanzen durch hohe Gehalte an pflanzenverfügbaren Schwermetallen stehen, ist noch nicht geklärt (*OERTEL 1998*). Eine Gefährdung der Umwelt durch Freisetzung von Schwermetallen aus den großen Halden des modernen Kupferschieferbergbaus oder eine nennenswerte natürliche Schwermetallanreicherung in Böden und Sedimenten durch Verwitterung des Kupferschiefers kann hier aufgrund der Untersuchungsergebnisse von *SCHMIDT (1997)* weitgehend ausgeschlossen werden.

4 Untersuchungsmethoden

4.1 Historisch-geographische Analyse

Ziel der montanhistorischen Analyse ist es, anhand vorhandener Sekundärliteratur alle bislang bekannten historischen Schwermetallquellen, die in Zusammenhang mit der Montanwirtschaft stehen, zu erfassen und nach Betriebsarten und Bergbauperioden geordnet kartographisch darzustellen.

Die Gliederung der Bergbauperioden des Osthazes erfolgte anhand überregionaler und regionaler Entwicklungstendenzen des historischen Bergbaus in Mitteleuropa und dem Oberharz. Aufgrund unzureichender Angaben bezüglich konkreter Förder- bzw. Produktionsmengen wurden insbesondere für die Zeit vor 1700 die Perioden anhand überregionaler Zäsuren des Bergbaus mit deutlich verminderter Produktion voneinander getrennt. Für die zeitliche Klassifizierung der Montanbetriebe war es erforderlich, konkrete Jahreszahlen für Anfang und Ende der Perioden anzugeben, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Übergänge fließend waren.

In Kombination mit den Erkenntnissen der physisch-geographischen (Geologie, Talverlauf, Gefälle) und historisch-geographischen Vorstudien (Lage und Art der historischen Montanbetriebe) sowie den Geländebefunden wurden bestimmte Flußabschnitte und ihre dazugehörigen (Teil-)Einzugsgebiete ausgegliedert (**Tabelle 11, Tabelle 12**).

Im Untersuchungsgebiet sind am nördlichen Abhang des Harzes einige Lagerstätten, geochemische Anomalien (vgl. **Karte 3** und **Karte 4** im Anhang) und außerdem einige wichtige historische Betriebe lokalisiert (vgl. **Karte 6a-d** im Anhang), die im direkten Zusammenhang mit der historischen Montanindustrie im Inneren des Harzes stehen. Um eine mögliche Zusatzbelastung beider Flüsse durch untergeordnete und eventuell kontaminierte Fließgewässer aus dem Harznordrand abschätzen zu können, werden bei der Analyse der anthropogenen und natürlichen Schwermetallquellen die indirekten Harzeinzugsgebiete von Bode und Selke mitberücksichtigt.

4.2 Gelände- und Labormethoden

4.2.1 Auensedimente

Anhand zahlreicher Geländebegehungen, Übersichtsbohrungen und Schürfen werden die lithologischen Eigenschaften und stratigraphische Gliederung der Auensedimente in den untersuchten Flußabschnitten bzw. Teileinzugsgebieten charakterisiert und in ihrer räumlichen Verbreitung beschrieben.

Die ausgewählten Profile in den verschiedenen Flußabschnitten bzw. Teileinzugsgebieten sollten einerseits möglichst mächtig sein, um eine hohe zeitliche Auflösung zu erreichen, und andererseits auch alle, die für den jeweiligen Flußabschnitt charakteristischen, Auen- bzw. Talsedimente umfassen. Da die Schwermetallgehalte in fluviatilen Sedimenten nicht nur von zeitlich variablen Eintragsraten, sondern auch von fluvialmorphologischen Prozessen und den Ablagerungsbedingungen, d.h. von der Sedimentationsfazies, abhängig sind, wurde - wenn möglich - bei der Auswahl der Profilstandorte auch das jeweilige Talbodenrelief und die Talbodenbreite berücksichtigt.

Aus einigen Profilen wurden zur Datierung Holz- und Holzkohleproben, aus der Basis und wenn möglich auch aus höheren, d.h. jüngeren Sedimentlagen entnommen. Die Radiokarbondatierungen wurden am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg durchgeführt. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die dendrokalierten Ober- und Untergrenzen der 2σ -Meßbereiche.

Die Abkürzungen für die Profilbezeichnung richtet sich mit Großbuchstaben nach dem jeweiligen Teileinzugsgebiet. Die nachgestellten Zahlen geben den Untersuchungsstandort und dann die Profilnummer des Standortes wieder (Beispiel: HB2_1 = **H**arzbode - Standort 2 - Profil Nr. 1). Die Profilbezeichnung für die Profile der Selke erfolgt wie bei der Harzbode mit Großbuchstaben für den jeweiligen Flußabschnitt und nachgestellten Zahlen für die Profilnummer (Beispiel: B2_1 = Flußabschnitt B2 - Profil Nr. 1). Die Profilstandorte sind in **Karte 8** dargestellt.

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. Die nachfolgenden 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

Im Labor wurden die Proben bei 40°C luftgetrocknet, im Porzellanmörser homogenisiert und mit Kunststoffsieben auf 2 mm abgeseibt. Die weiteren Analysen erfolgte ausschließlich an der Fraktion < 2 mm.

Die **Korngrößenverteilung** wurde anhand der Laserbeugung (Malvern MAM 5005 Master Sizer S) bestimmt. Die Fraktionen < 0,2 mm wurde dabei durch Siebung abgetrennt, mit Dispergierungsmittel (0,1 m Na₂P₂O₇) versetzt, über Nacht geschüttelt und anschließend in Suspension gemessen. Die Messung der größeren Fraktion (2,0 - 0,1 mm) erfolgte trocken im Fallschacht. Das endgültige Ergebnis der Kornverteilung wurde durch Verschneiden beider Teilergebnisse erreicht. Die Kornverteilung per Laserbeugung und die sonst übliche kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse nach KÖHN & KÖTTGE sind nur mit großen Einschränkungen miteinander vergleichbar, da sie auf unterschiedlichen Meßprinzipien aufbauen (Volumen- bzw. Gewichtsanteil).

Die Bestimmung des Gehaltes an **organischer Substanz** erfolgte über die Messung des Glühverlustes vor und nach 2 h Glühen bei 350°C im Muffelofen. Für die Bestimmung der **pH(H₂O)-Werte** wurden je 10 g Feinboden in Bechergläser eingewogen und mit 25 ml H₂O versetzt und gerührt. Die potentiometrische Messung mit dem pH-Meter erfolgten nach 24 h, wobei KCl als Eichlösung diente.

Die Ermittlung der **Schwermetall- und Arsengehalte** erfolgte nach Aufschluß mit Königswasser (HNO₃-HCl). Dazu wurden 3,000 g Feinboden eingewogen und mit Königswasser bei 120°C 2 h lang gekocht. Um die Verflüchtigung von Metallen zu verhindern, wurden den Aufschlußgefäßen Rückflußkühler und Absorptionsgefäße mit 10 ml einmolarer Salpetersäure (HNO₃) aufgesetzt. Die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte mittels Flamme am Atomabsorptionsspektrometer (AAS) 2100 der Firma Perkin-Elmer mit den entsprechenden Wellenlängen und Gasgemischen. Für Arsen wurde die Hybridtechnik angewendet.

4.2.2 Gerinnesedimente

Zwischen Güntersberge und Meisdorf wurden insgesamt 21 Sedimentproben aus dem Gerinnebett der Selke entnommen. Die Beprobung erfolgte an oberflächennahen (bis ca. 10 cm Tiefe) Sedimenten jeweils in einem Flußabschnitt von 50 bis 100 m Länge, wobei darauf geachtet wurde, möglichst feinkörniges Sediment zu erhalten. Die Proben wurden bis zur Trocknung in 250 ml PE-Flaschen bei 4°C im Kühlschrank aufbewahrt. Anschließend wurde zuerst mit destilliertem Wasser 30 min im Ultraschallbad dispergiert und anschließend mittels Naßsiegung (Kunststoff-Siebe) quantitativ Ton-, Schluff- und Sandfraktion voneinander getrennt. Die Ton-Schlufffraktion wurde durch Zentrifugieren aus der Suspension gewonnen. Die Bestimmung der Anteile der jeweiligen Kornfraktionen erfolgte durch Wägung nach 24 h Trocknung bei 105°C. Der Königswasseraufschluß und die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte wie bei den Auensedimentproben bereits beschrieben. Da nur die Subfraktionen gemessen wurden, mußten die Gehalte der Gesamtfraktion (**TUS**) nachträglich wie folgt berechnet werden:

$$Xx_TUS = (Xx_TU * TU) + (Xx_S * S)$$

Xx_TUS	=	(berechneter) Gesamtgehalt des Elementes Xx in der Fraktion < 2 mm
Xx_TU	=	(gemessener) Gehalt des Elementes Xx in der Ton- und Schlufffraktion
Xx_S	=	(gemessener) Gehalt des Elementes Xx in der Sandfraktion
TU	=	normierter Anteil der Ton- und Schlufffraktion
S	=	normierter Anteil der Sandfraktion

4.2.3 Lösungsstollen (Wasseranalytik)

Die wasseranalytischen Ergebnisse stützen sich weitgehend auf die Auswertung und Interpretation vorhandener Daten des Staatlichen Amtes für Umweltschutz (StAU Magdeburg). Aufgrund der besseren Datengrundlage liegt der Schwerpunkt dabei im Einzugsgebiet der Selke.

An ausgewählten historischen und noch wasserführenden Lösungsstollen wurden vor Ort mittels des Multifunktionsmeßgerätes der Firma TESTO bei Basis- (Februar 1997) und Trockenwetterabfluß (September 1997) vor Ort Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotential bestimmt. Anschließend wurden Wasserproben zur Bestimmung der Schwermetall- und Anionengehalte entnommen. Die Proben wurden in zuvor mit verdünnter Salpetersäure (HNO₃) gespülten 250 ml PE-Flaschen abgefüllt, mit zwei Tropfen konzentrierter Salpetersäure angesäuert und bis zur weiteren Analyse im Labor tiefgefroren. Die Messung der **Anionen** erfolgte anhand des Ionenchromatographen von DIONEX (DX 100). Die Messung der **Schwermetallgehalte** wurde wie bei den Auensedimentproben bereits beschrieben durchgeführt.

4.2.4 Auswahl der untersuchten Elemente

Die in der Vergangenheit genutzten Lagerstätten im Einzugsgebiet der Harzselke (Ostharzer Gangbezirk) wurden vorwiegend auf silber- und eisenhaltige Erze sowie in sehr geringem Maße auch auf Kupfer abgebaut. Als Nebenprodukte fielen dabei auch größere Mengen der Schwermetalle Blei, Zink, Cadmium, Arsen und Mangan an. Im Einzugsgebiet der Bode im Harz wurden überwiegend lokale Eisenerzvorkommen vorwiegend aus dem Elbingeröder Komplex, und in untergeordnetem Maße kupfer- bzw. silberhaltige Erze aus der näheren Umgebung um Altenbrak/Treseburg und Hasselfelde/Stiege sowie Importerze aus dem Westharz (Oberharz, Rammelsberg) verhüttet. Die geochemischen Untersuchungen beziehen sich daher auf die Elemente Eisen (Fe), Mangan (Mn), Blei (Pb), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Silber (Ag) und Cadmium (Cd). Bei den Sedimentprofilen im Harzeinzugsgebiet der Bode wurde auf die Analyse der Elemente Mangan und Zink verzichtet, da hier diesbezüglich nicht mit einem entsprechenden Eintrag durch historischen Bergbau zu rechnen ist.

Besonders im Harzeinzugsgebiet der Selke und flußabwärts der ehemaligen Pyritgrube „Einheit“ im Elbingeröder Komplex sind auch erhöhte Arsenkonzentrationen in fluviatilen Sedimenten zu erwarten. Aus diesem Grund wurde in einigen ausgewählten Proben neben den o.g. Schwermetallen zusätzlich das Element Arsen in das Meßprogramm aufgenommen.

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).

4.2.5 Statistische Methoden

Schwermetalltiefengradienten in Auenprofilen sind nur dann für eine geochemisch-stratigraphische Gliederung und umweltgeschichtliche Interpretation geeignet, wenn sie nicht auf postsedimentäre Verlagerungsprozesse oder eine natürliche Schwermetallanreicherung in feineren Kornfraktionen (< 63 µm bzw. < 20 µm) zurückzuführen sind. Anhand statistischer Verfahren ist es möglich, Rückschlüsse auf die Bindungsart und damit auf die Mobilität von Schwermetallen zu ziehen sowie die Rolle von Unterschieden der Korngrößenzusammensetzung auf die Schwermetallgehalte abzuschätzen (GRUPE 1987, NOE 1990).

Für die vorliegenden Schwermetallanalysen in Wässern, rezenten Gerinnesedimenten und Auenprofilen werden Korrelationsanalysen (Rangkorrelation nach SPEARMAN) durchgeführt, um folgende Fragen zu beantworten:

1. Welche Rolle spielen Eisen-Mangan-Oxidhydroxide bzw. die Redoximorphose in rezenten Gerinnesedimenten und in Auensedimenten bei der Bindung und Verlagerung von Schwermetallen?
2. Gibt es bestimmte Schwermetalle bzw. -gruppen, bei denen aufgrund positiver bzw. negativer Korrelationskoeffizienten auf Herkunft oder geochemisches Verhalten geschlossen werden kann?
3. Sind die festgestellten Schwermetalltiefengradienten in Auenprofilen auf natürliche Anreicherung in feineren Kornfraktionen ($< 63 \mu\text{m}$ bzw. $< 20 \mu\text{m}$) zurückzuführen (Korngrößeneffekt)?

Zu Punkt 1 sei angemerkt, daß bei nicht vorhandener positiver Korrelation der Buntmetallkonzentrationen zu den Eisen- bzw. Mangangehalten zwar eine Bindung an die entsprechenden Eisen-Mangan-Oxidhydroxide indirekt weitgehend vernachlässigt werden kann, der Umkehrschluß aber nicht unbedingt zutreffen muß. In Sedimenten, die durch historischen Erzbergbau unterschiedlicher Art belastet sind, können positive Korrelationen zwischen Buntmetallen und Eisen bzw. Mangan auch auf synsedimentäre Anreicherung hinweisen.

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 => „ Technische Revolution des Mittelalters “ 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 Salzschieferung 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 fluviater 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 fluviaten 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				

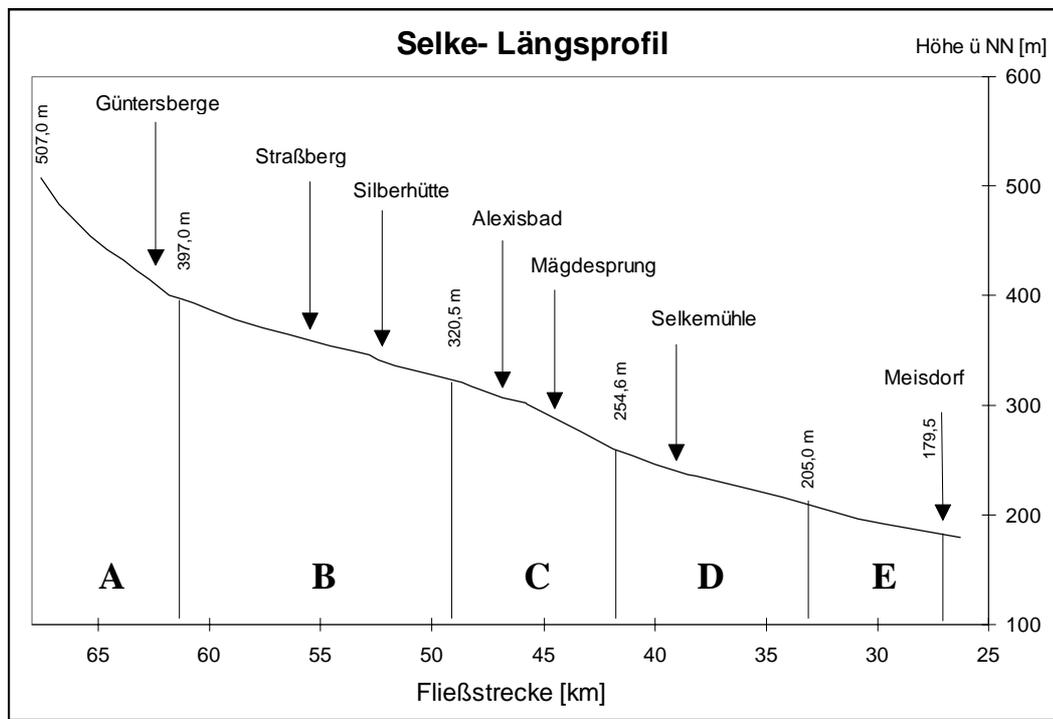


Abbildung 1 Längsprofil (Wasserspiegelhöhe) und Flußabschnitte der Harzselke

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-Oxihydroxiden) 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 fluviale 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 Clausthale 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.

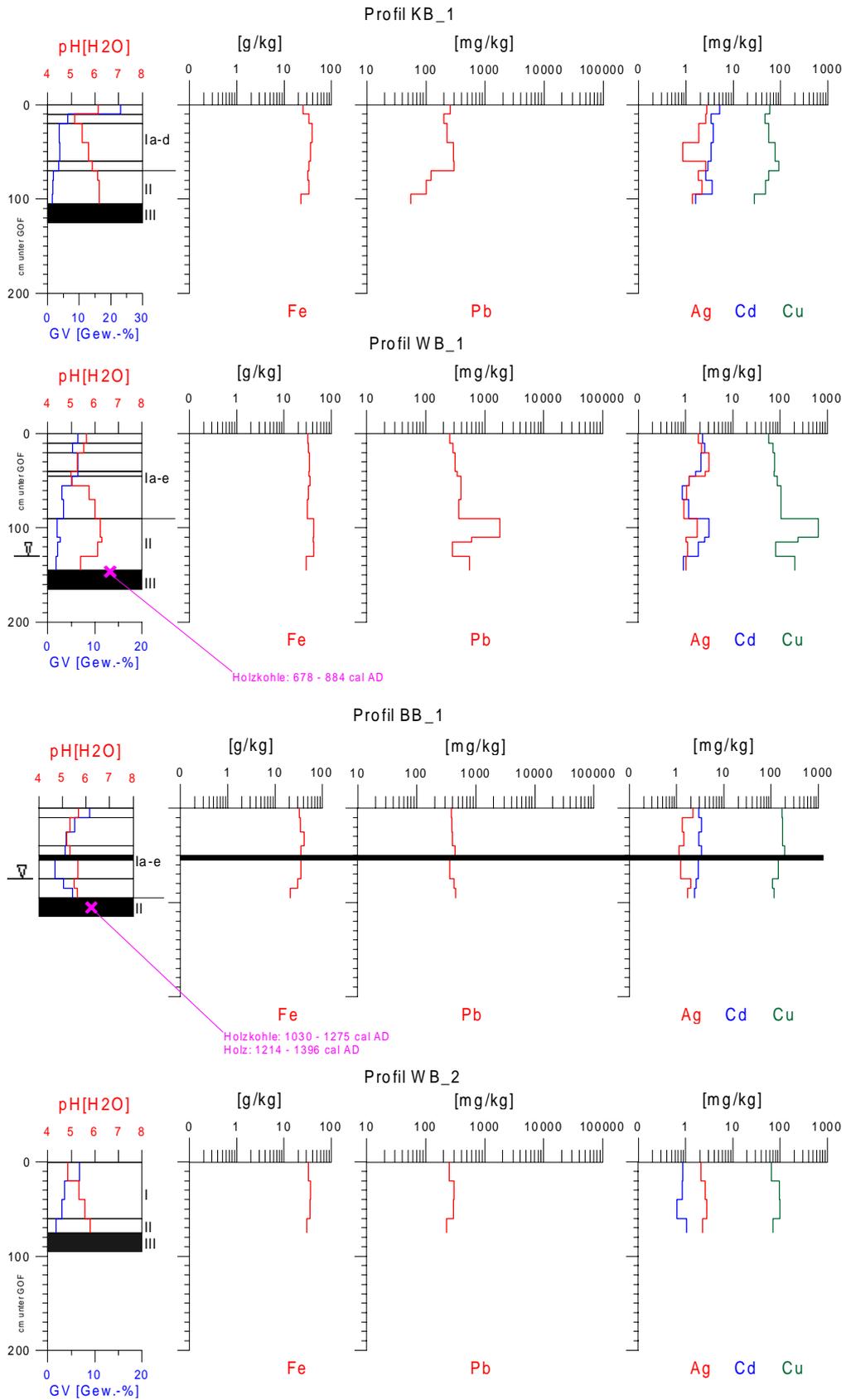


Abbildung 2 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen vor Tanne (KB, WB_1, BB, WB_2)

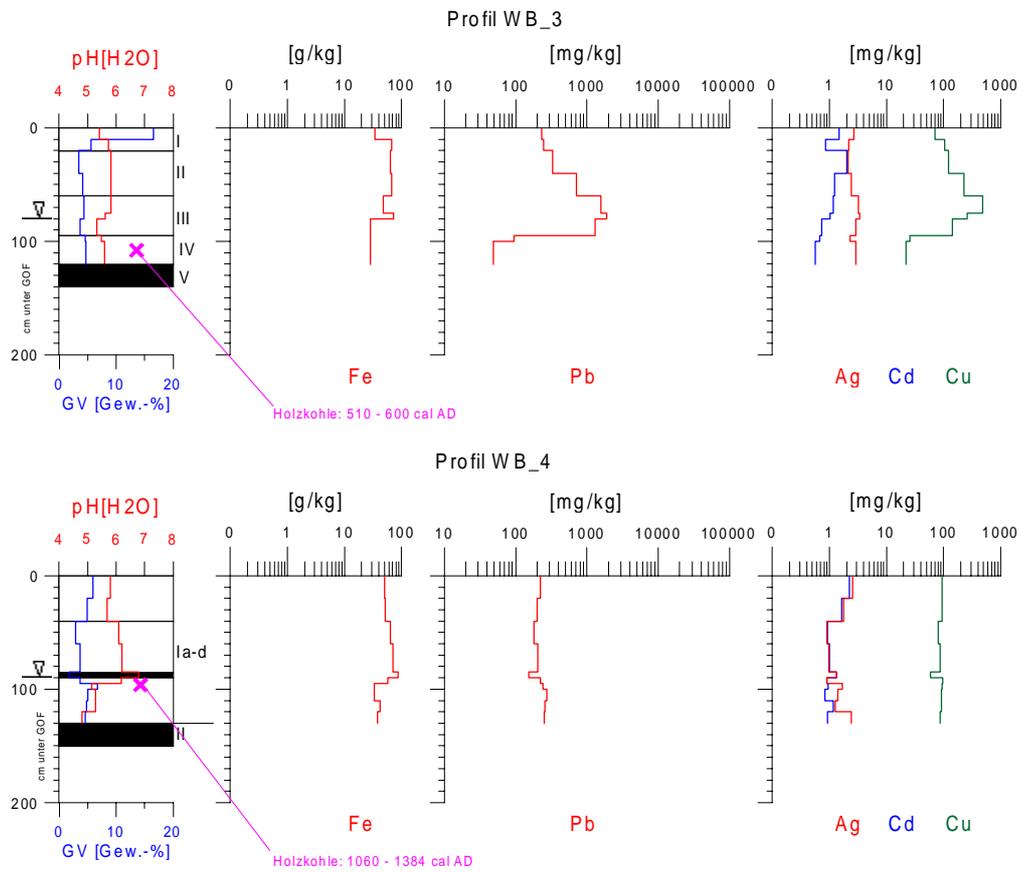


Abbildung 3 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in den Profilen nach Tanne (WB_3, WB_4)

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.

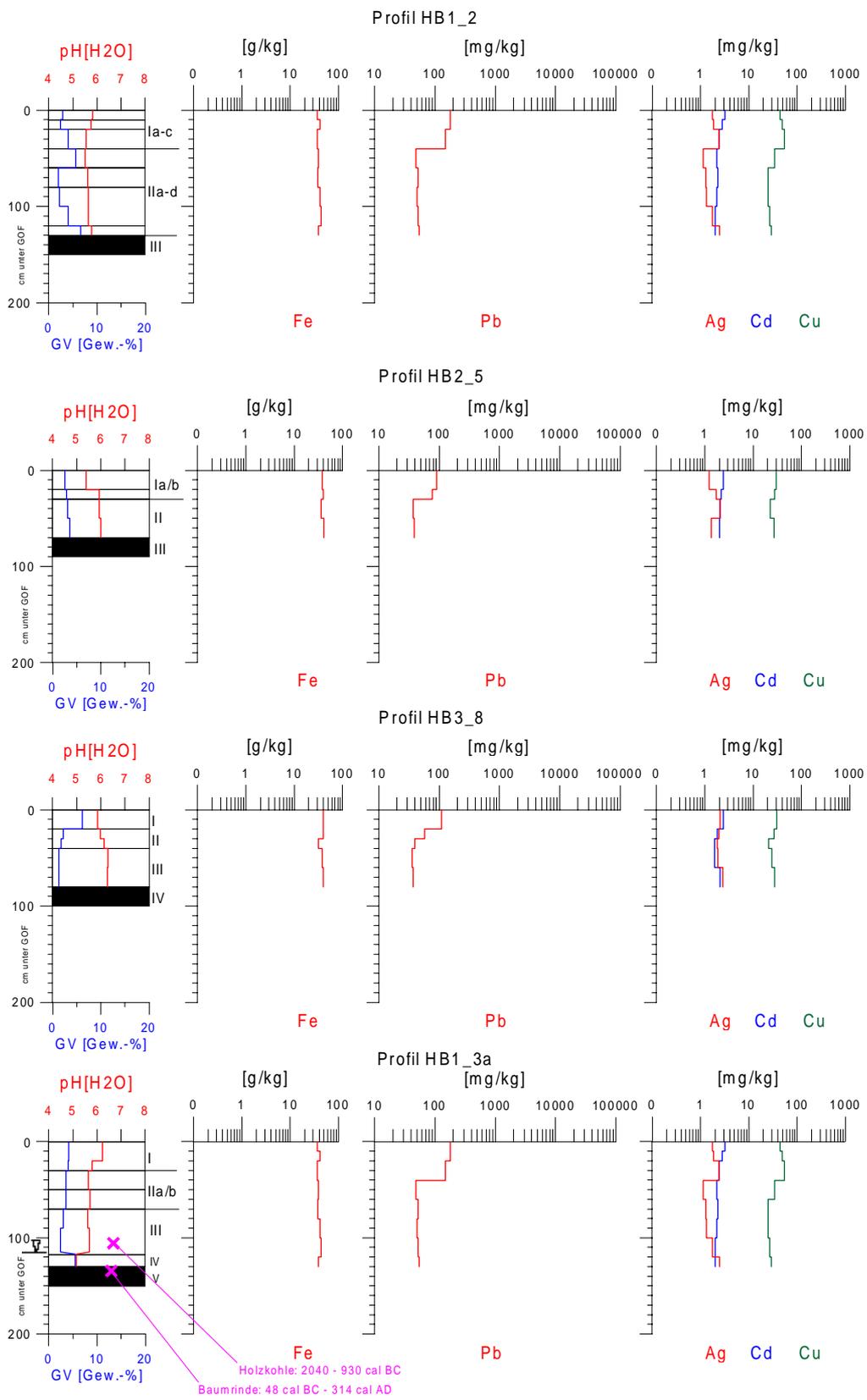


Abbildung 4 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen des mittleren Talbodens der Harzbode (ausgewählte Profile)

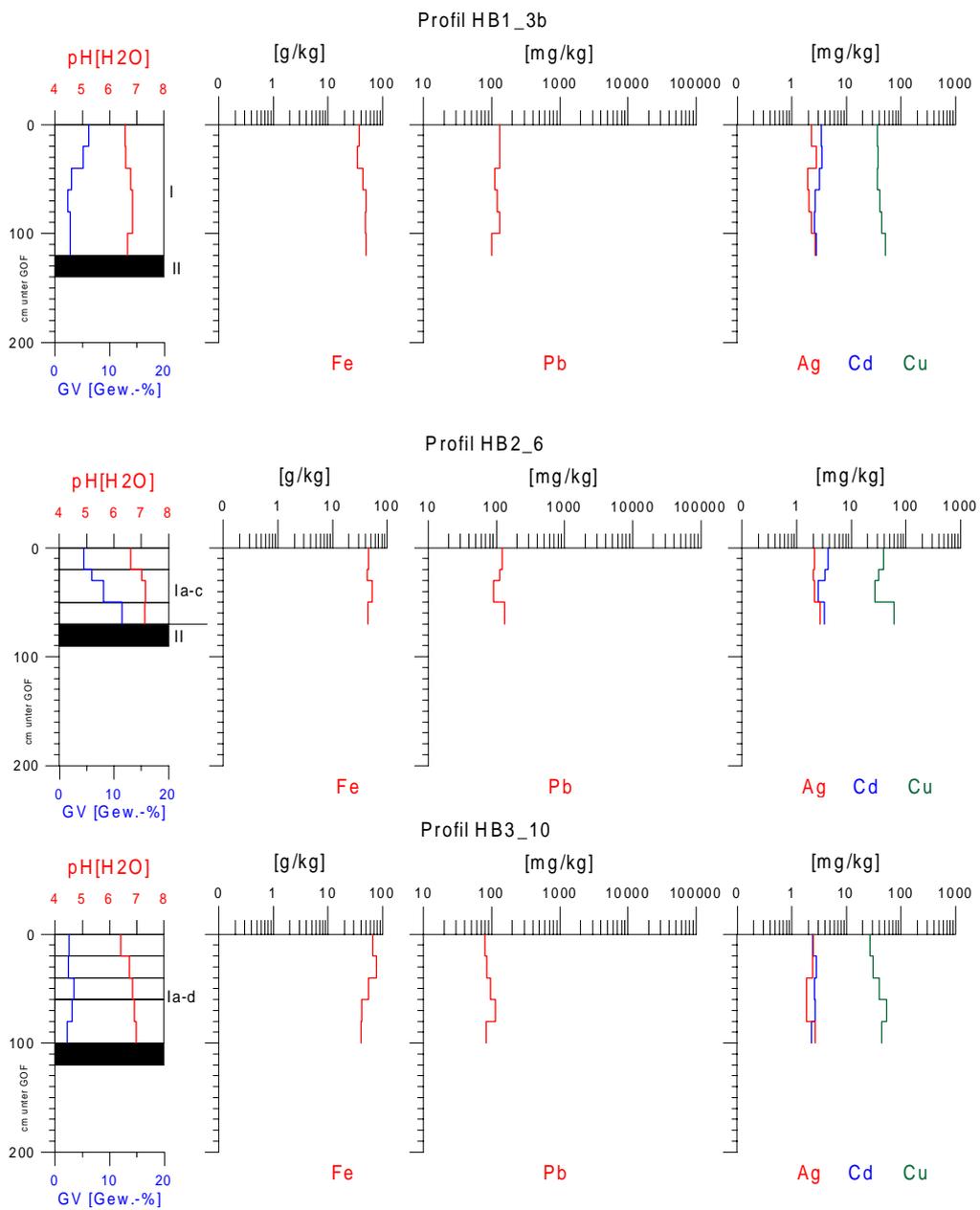


Abbildung 5 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen am Uferabhang der Harzbode

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.

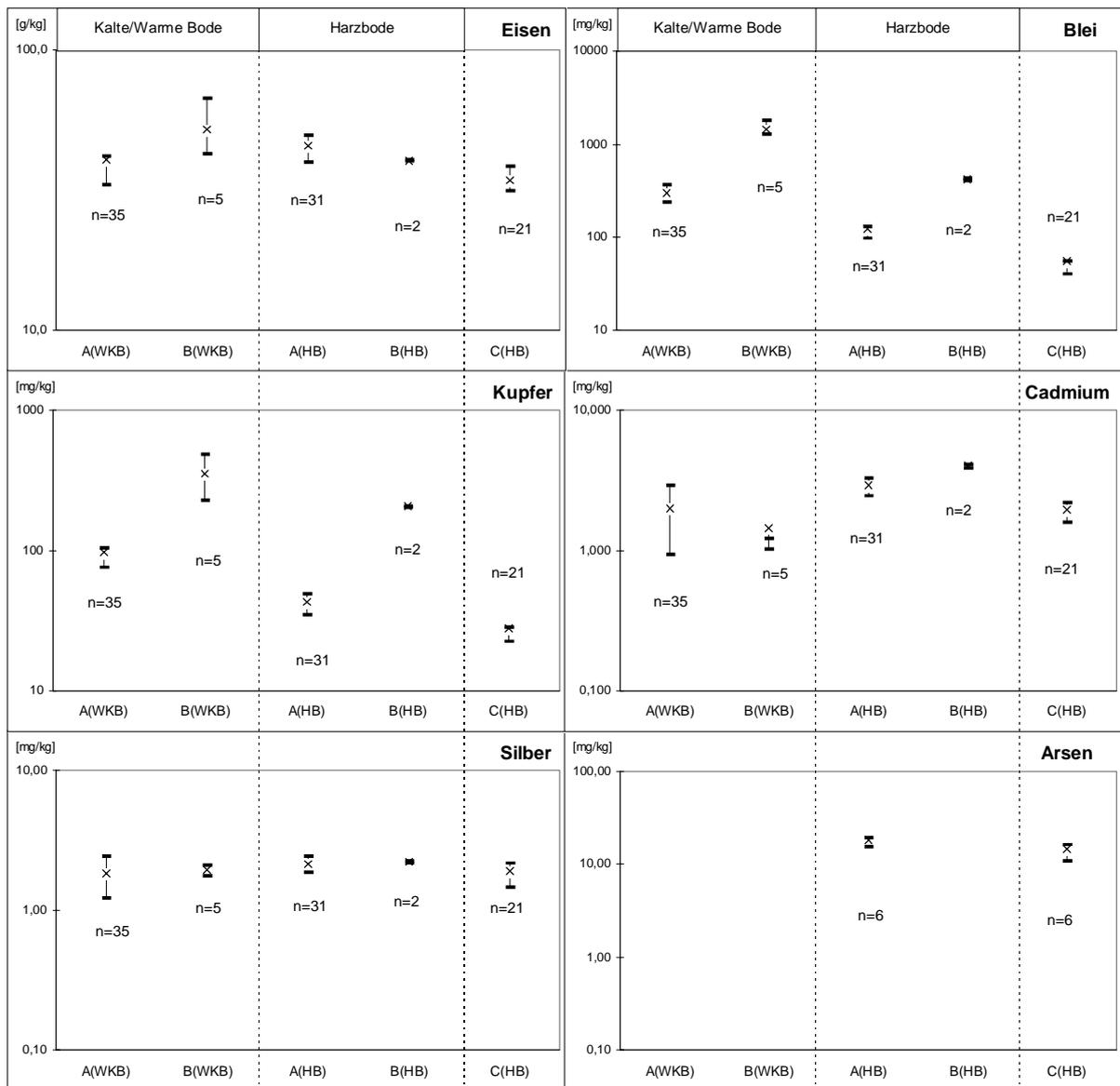


Abbildung 6 Mittlere Schwermetallgehalte und Schwankungsbereiche (1./3. Quartil) für geochemisch-stratigraphische Einheiten im Einzugsgebiet der Bode im Harz

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 Flußspatgrube 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**).

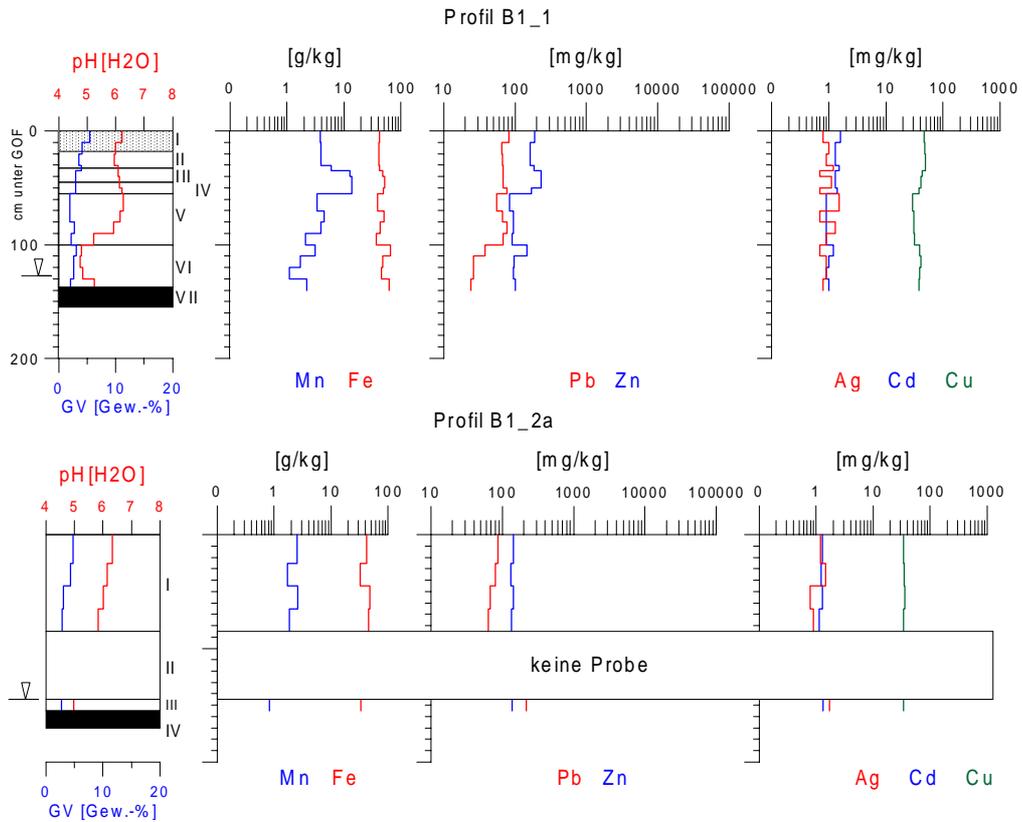


Abbildung 7 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezuchtmündung)

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.

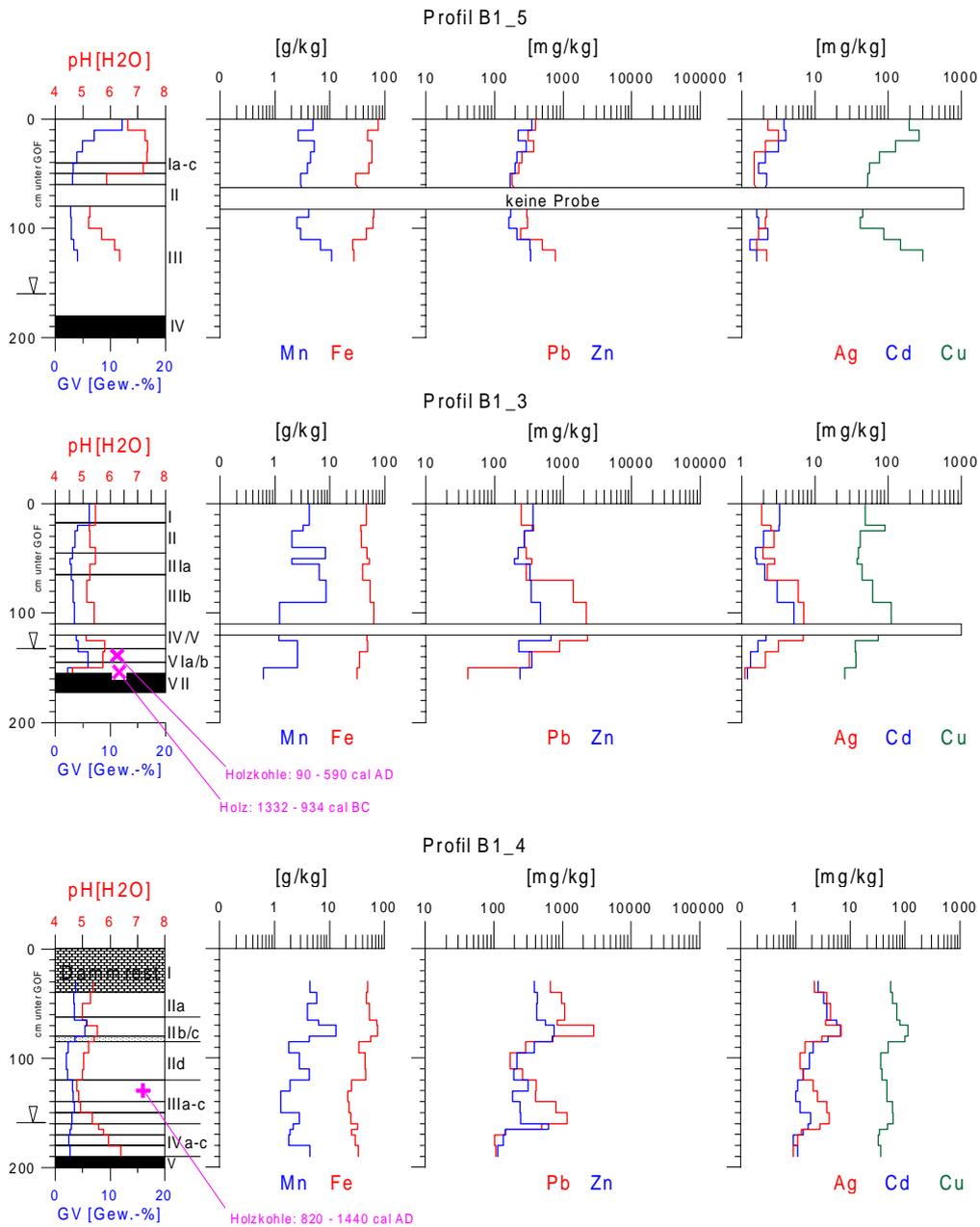


Abbildung 8 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Profilen der Harzselke (Flußabschnitt B1, nach Agezucht-mündung)

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	Ag
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	Ag
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	Ag
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	Ag
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	Ag
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.

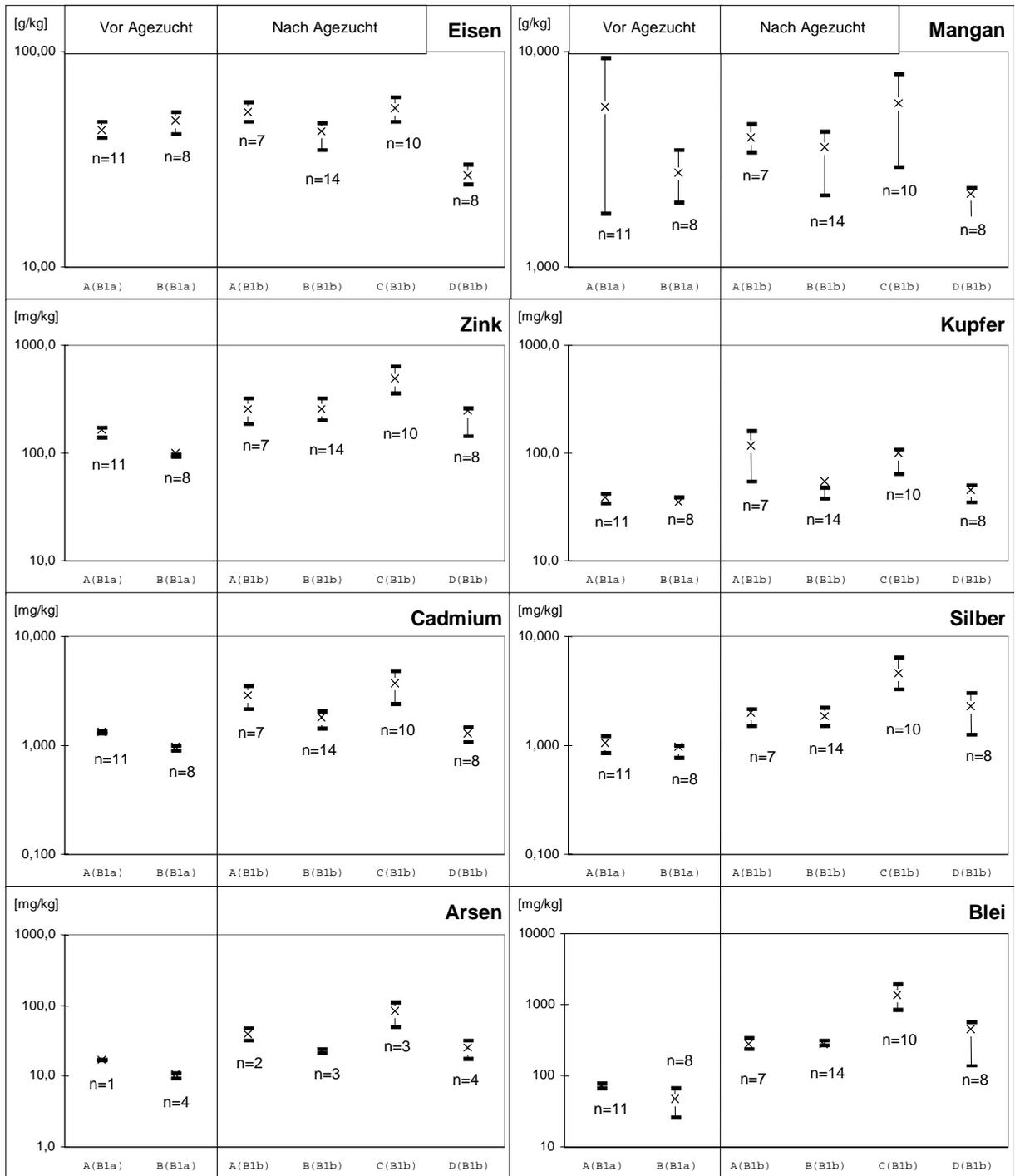


Abbildung 9 Mittelwerte (x) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B1

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.

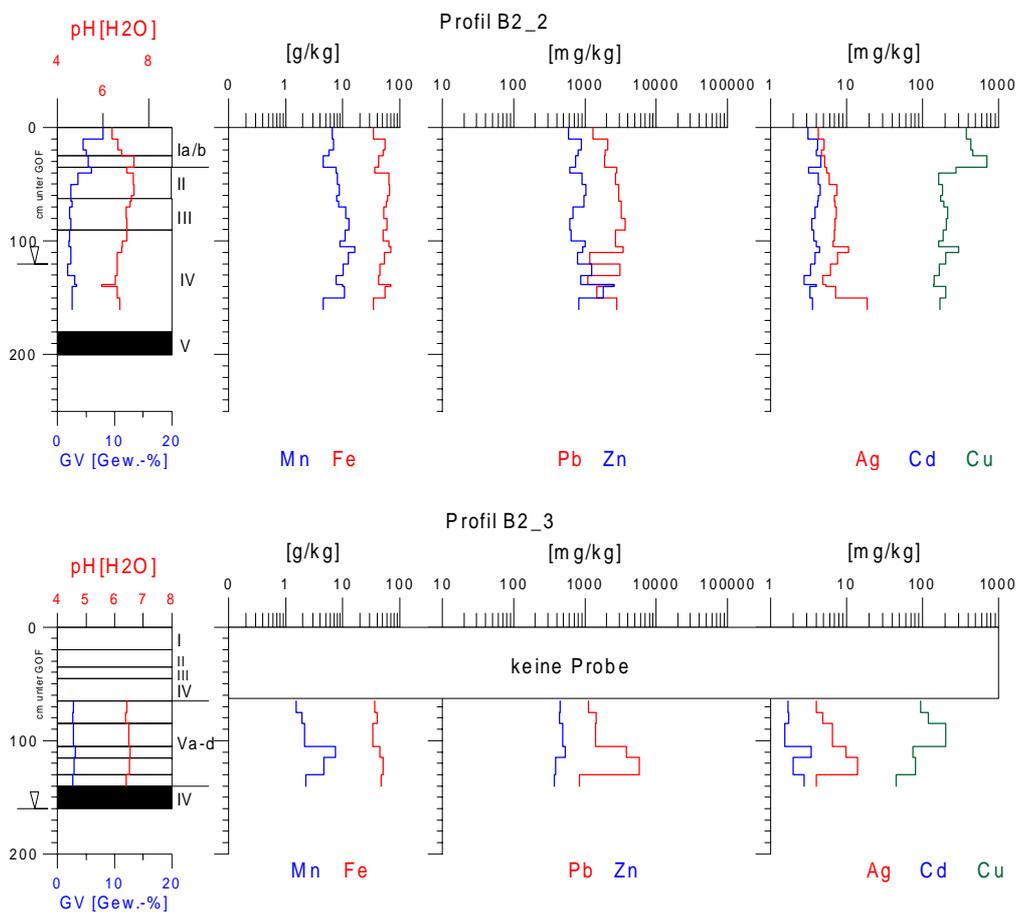


Abbildung 10 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten einer verfüllten Rinne und am Talrand der Harzselke (Flußabschnitt B2)

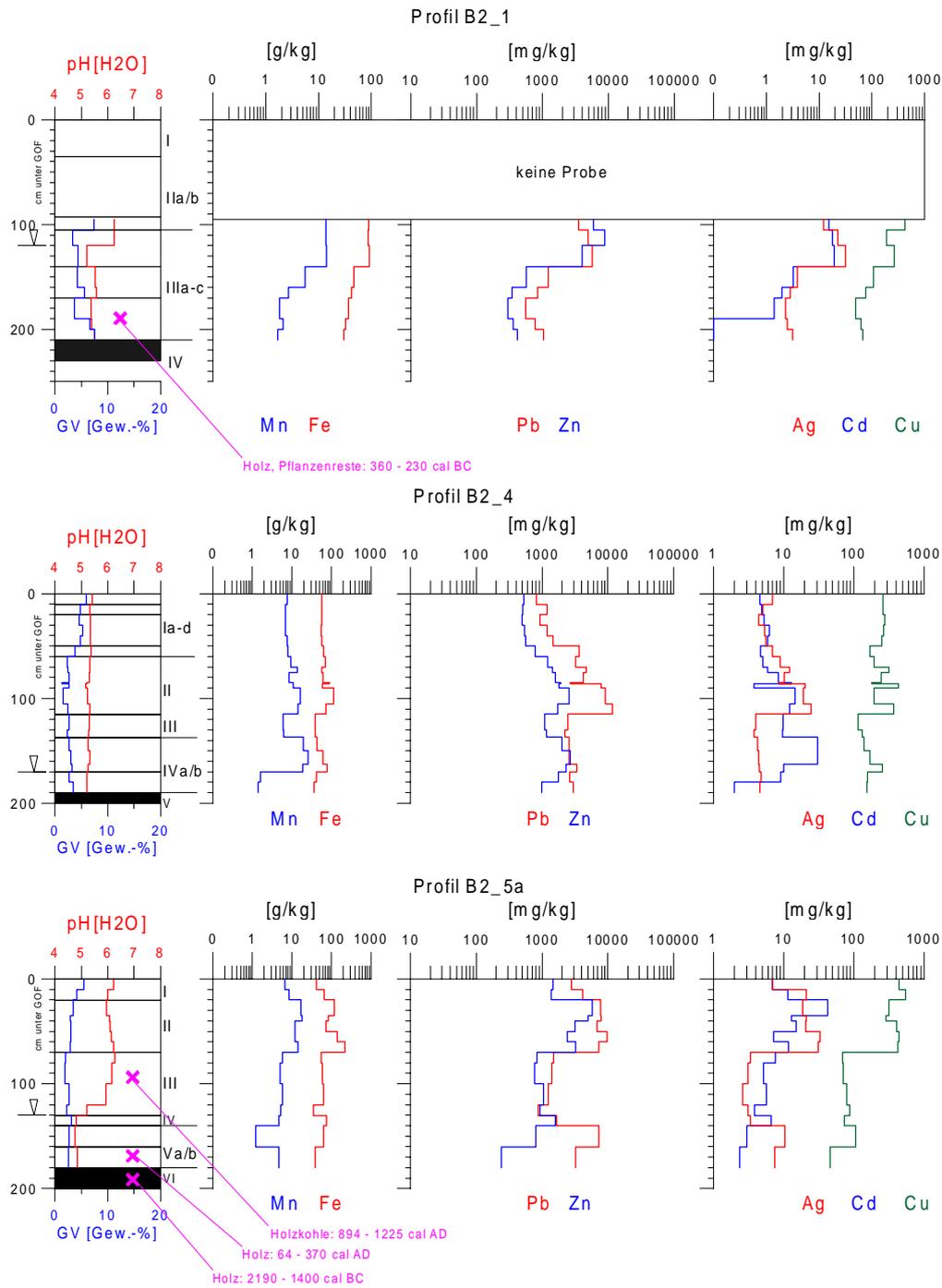


Abbildung 11 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Uferprofilen der Harzselke mit aPS-Horizonten über älteren Auensedimenten (Flußabschnitt B2)

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 (**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 (**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.

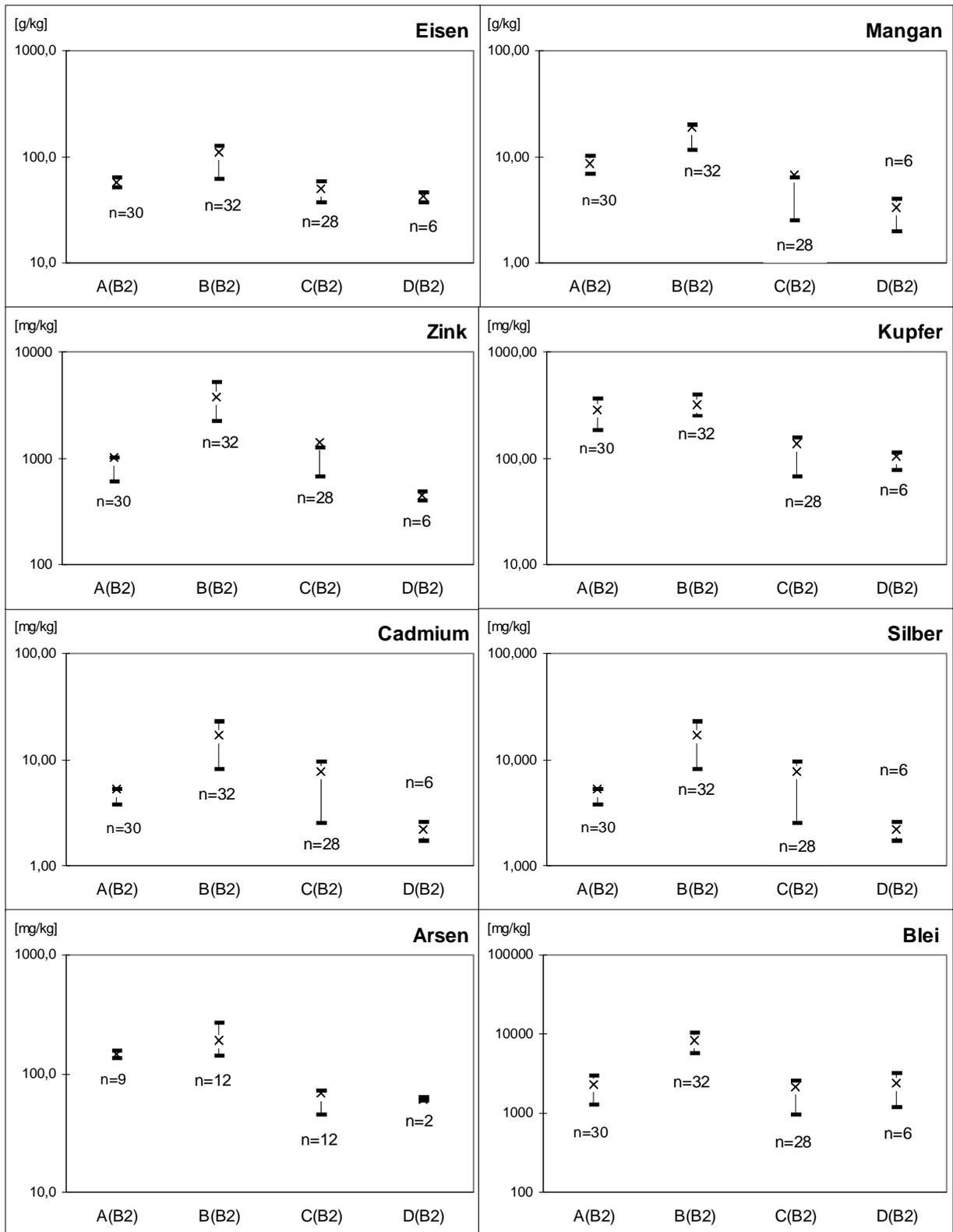


Abbildung 12 Mittelwerte (\bar{x}) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetall- und Arsengehalte in verschiedenen geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke im Flußabschnitt B2

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 Hangedimenten 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)
Hangedimente	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.

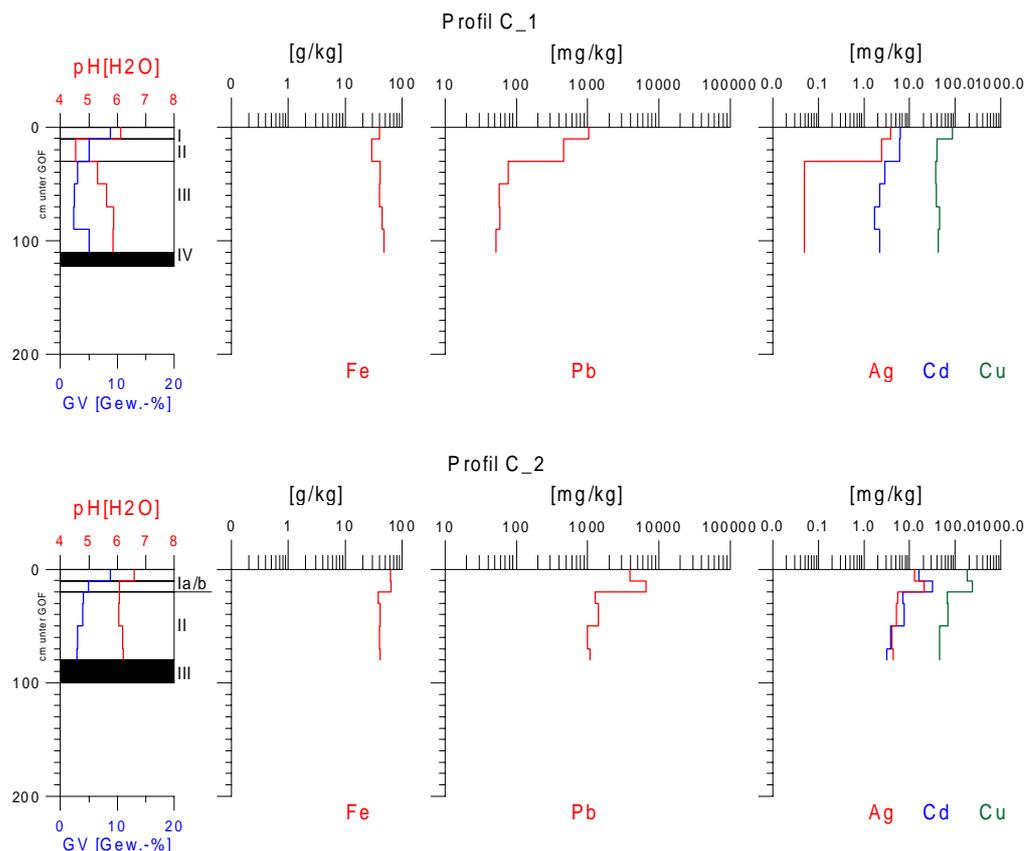


Abbildung 13 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt C, kurz nach Mägdesprung)

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.

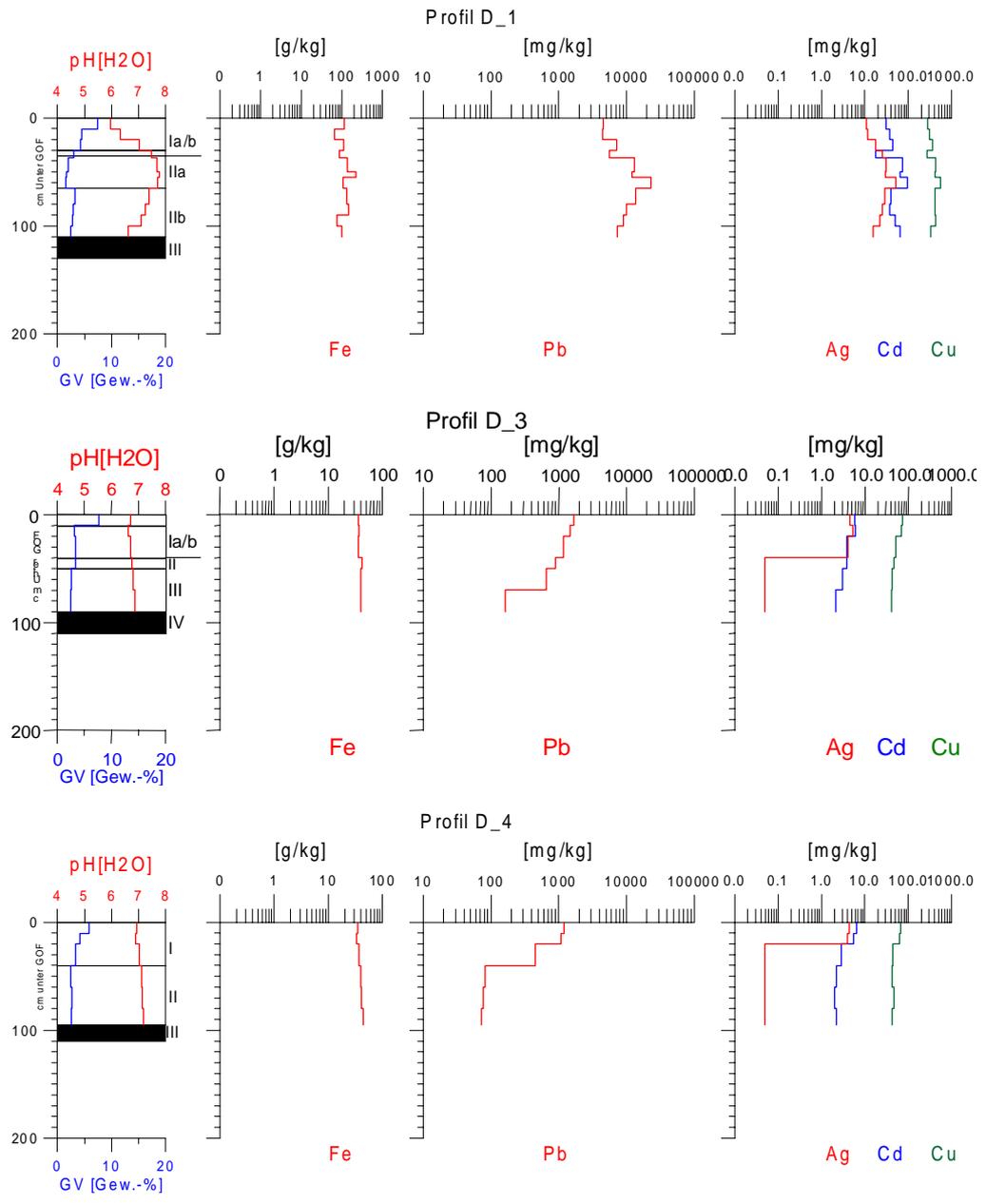


Abbildung 14 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt D, kurz vor Selkemühle)

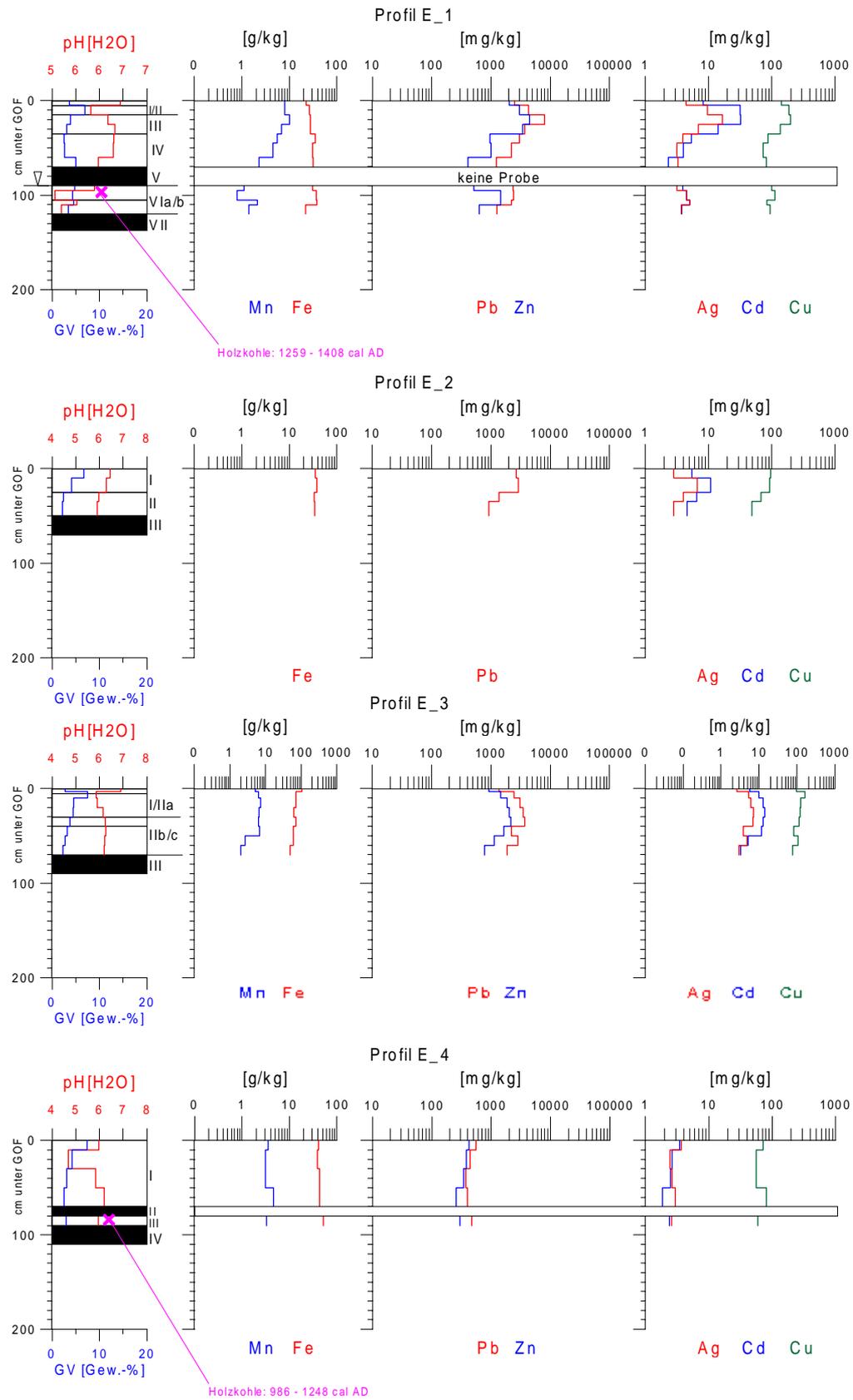


Abbildung 15 Lithologische Schichtung und Tiefenverteilung der Schwermetalle in Sedimenten der Harzselke (Flußabschnitt E)

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 Graulehmderivate 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.

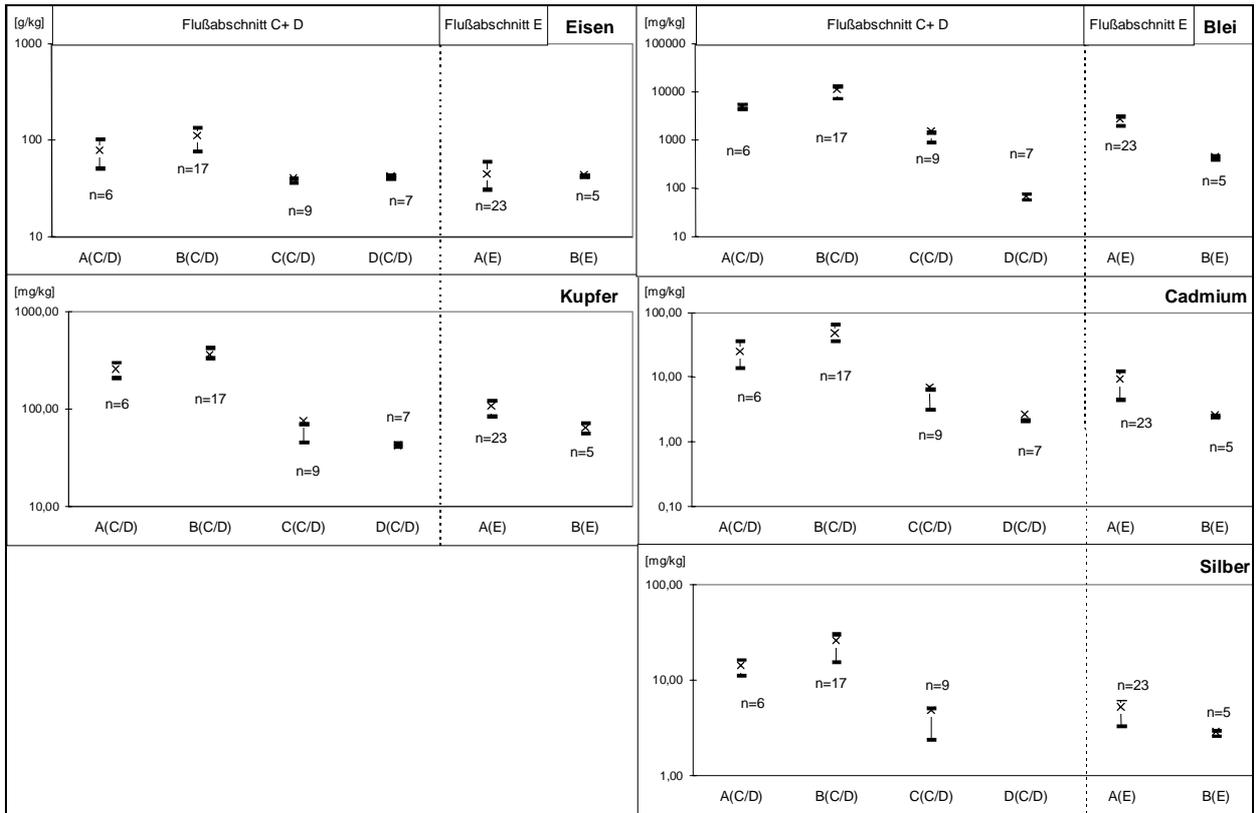


Abbildung 16 Mittelwerte (x) und Spannweiten (1./3. Quartil) der Schwermetallgehalte in geochemisch-stratigraphischen Einheiten der Selke (Flußabschnitte C bis E)

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 Mangengehalte 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.

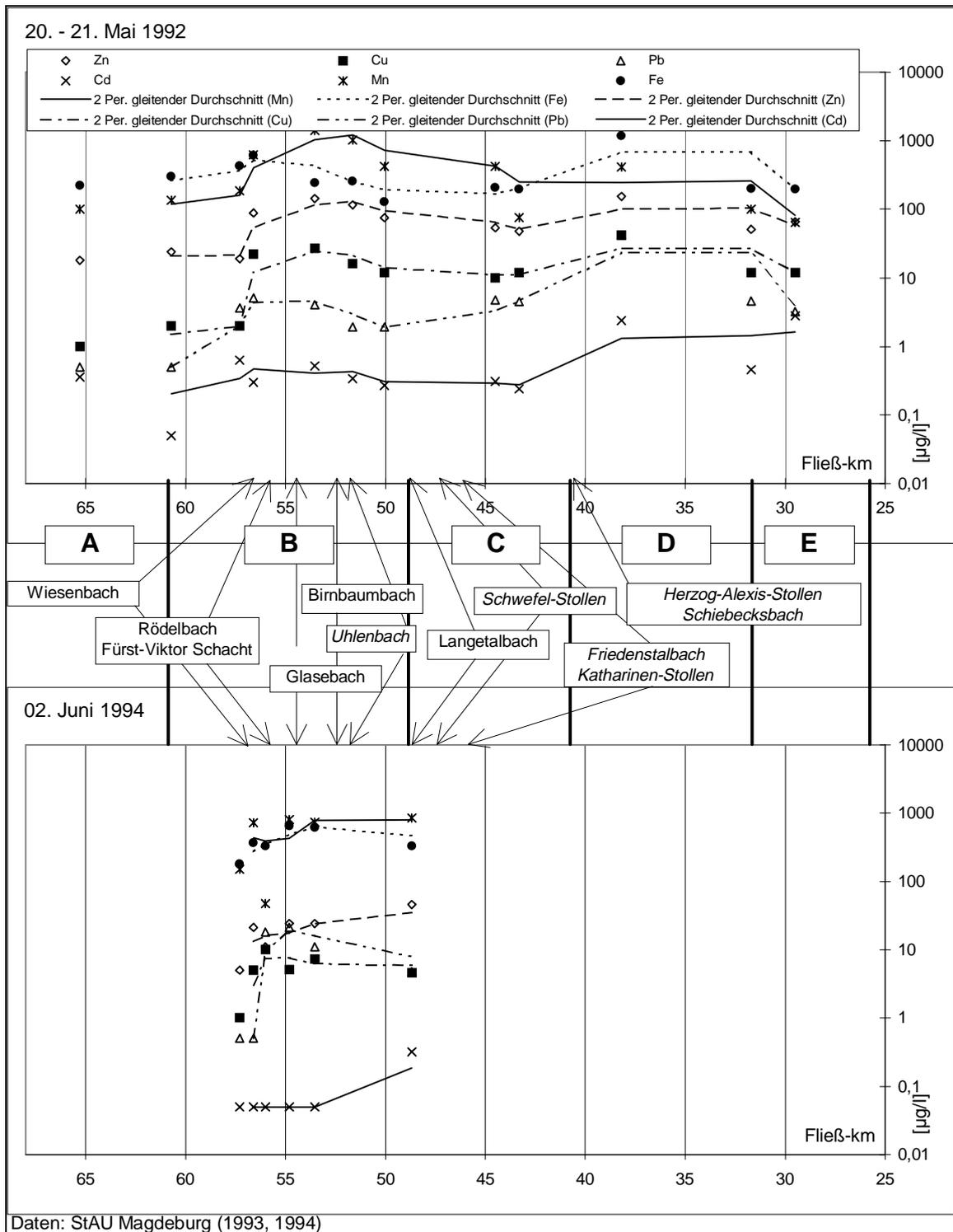


Abbildung 17 Gelöste Schwermetalle; Flußabschnitte und wichtige Nebenbäche im Flußlängsverlauf der Harzselke (Mai 1992 und im Juni 1994)

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.

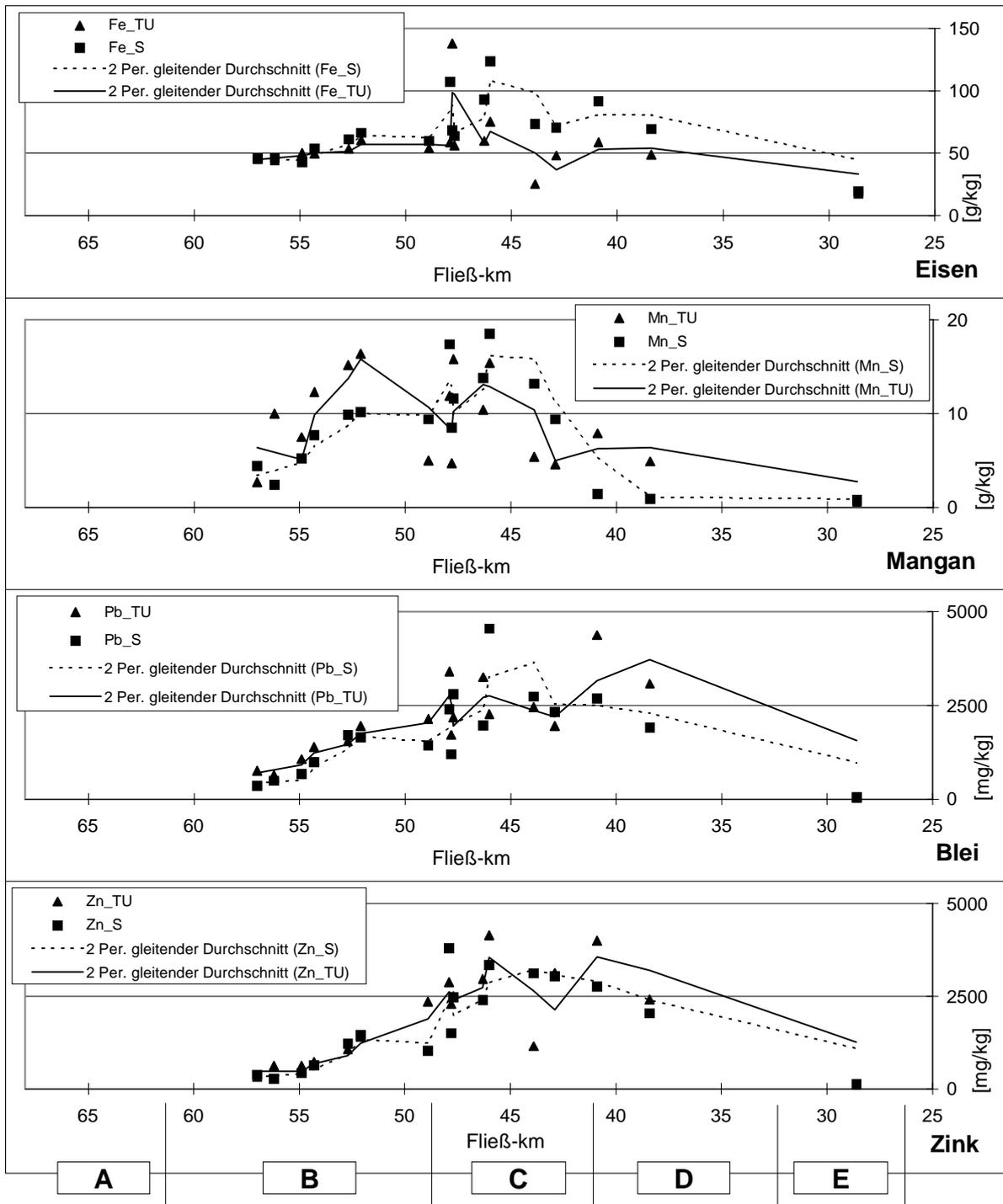


Abbildung 18 Eisen, Mangan, Blei und Zink in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

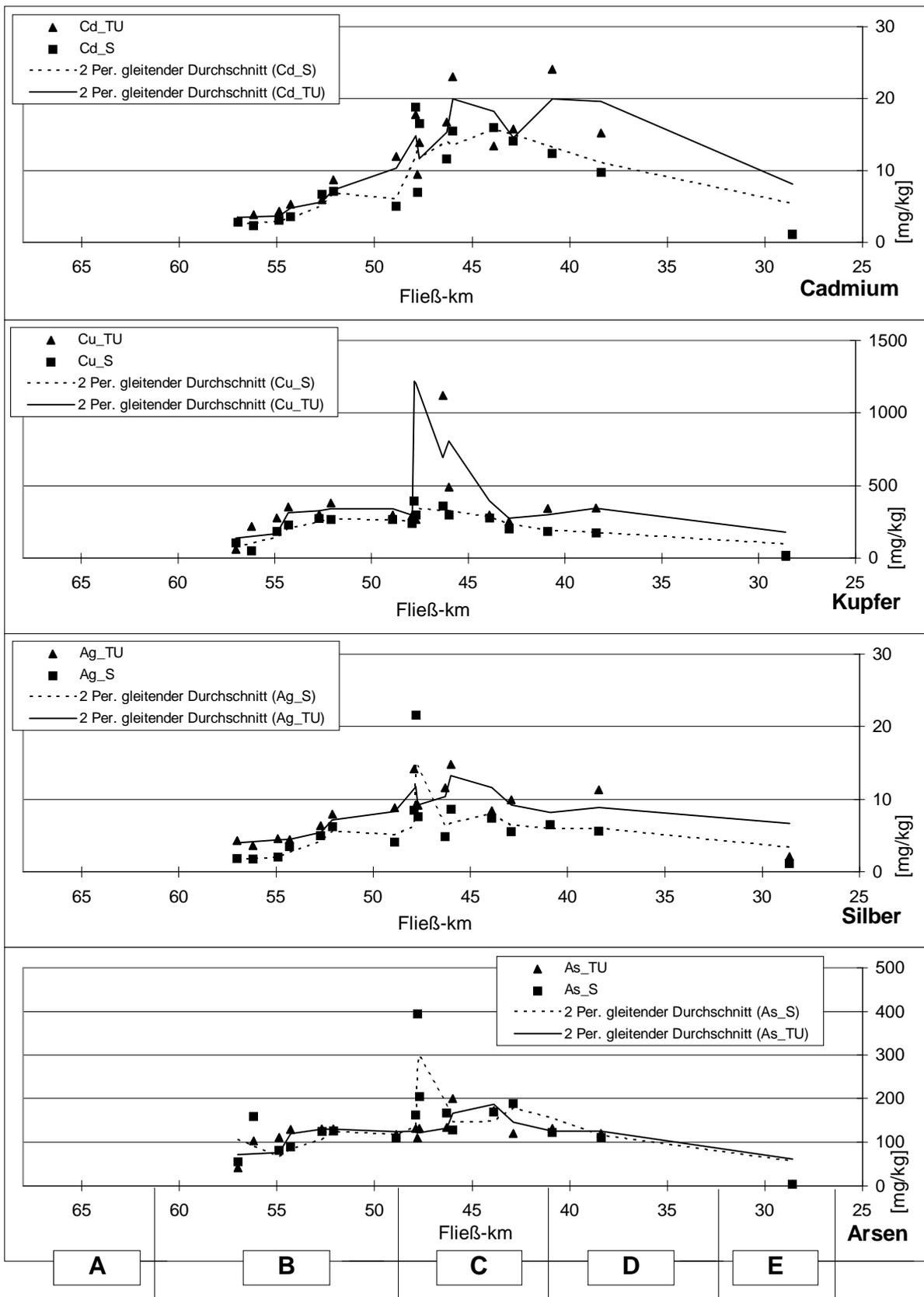


Abbildung 19 Cadmium, Kupfer, Silber und Arsen in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

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 Bakterien Schlamm (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.

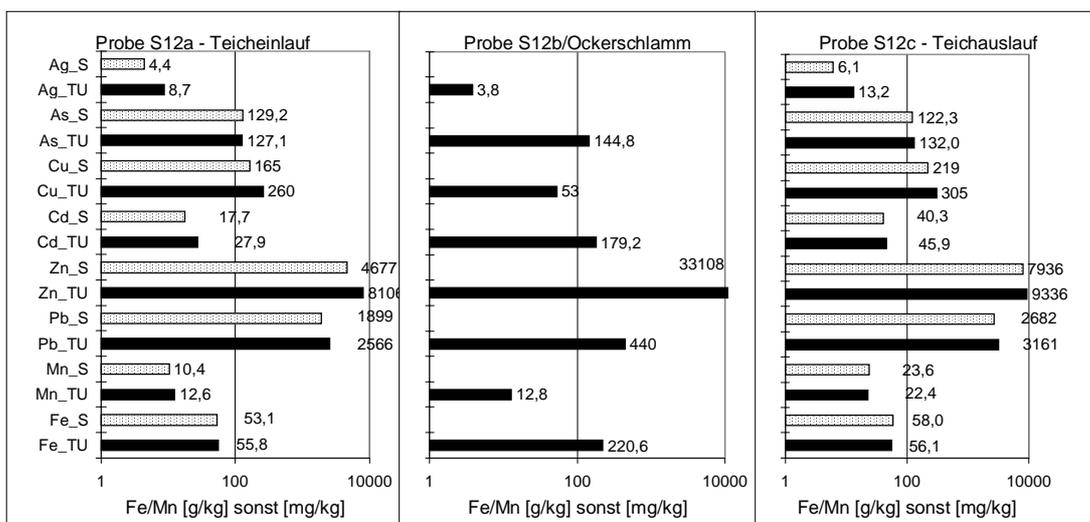


Abbildung 20 Metallgehalte im Gerinnesediment vor und nach dem Teich am Katharinen-Stollen (Xx_S: Konzentration des Elements Xx in der Sandfraktion; Xx_TU: Konzentration in der Fraktion < 63 µm)

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**).

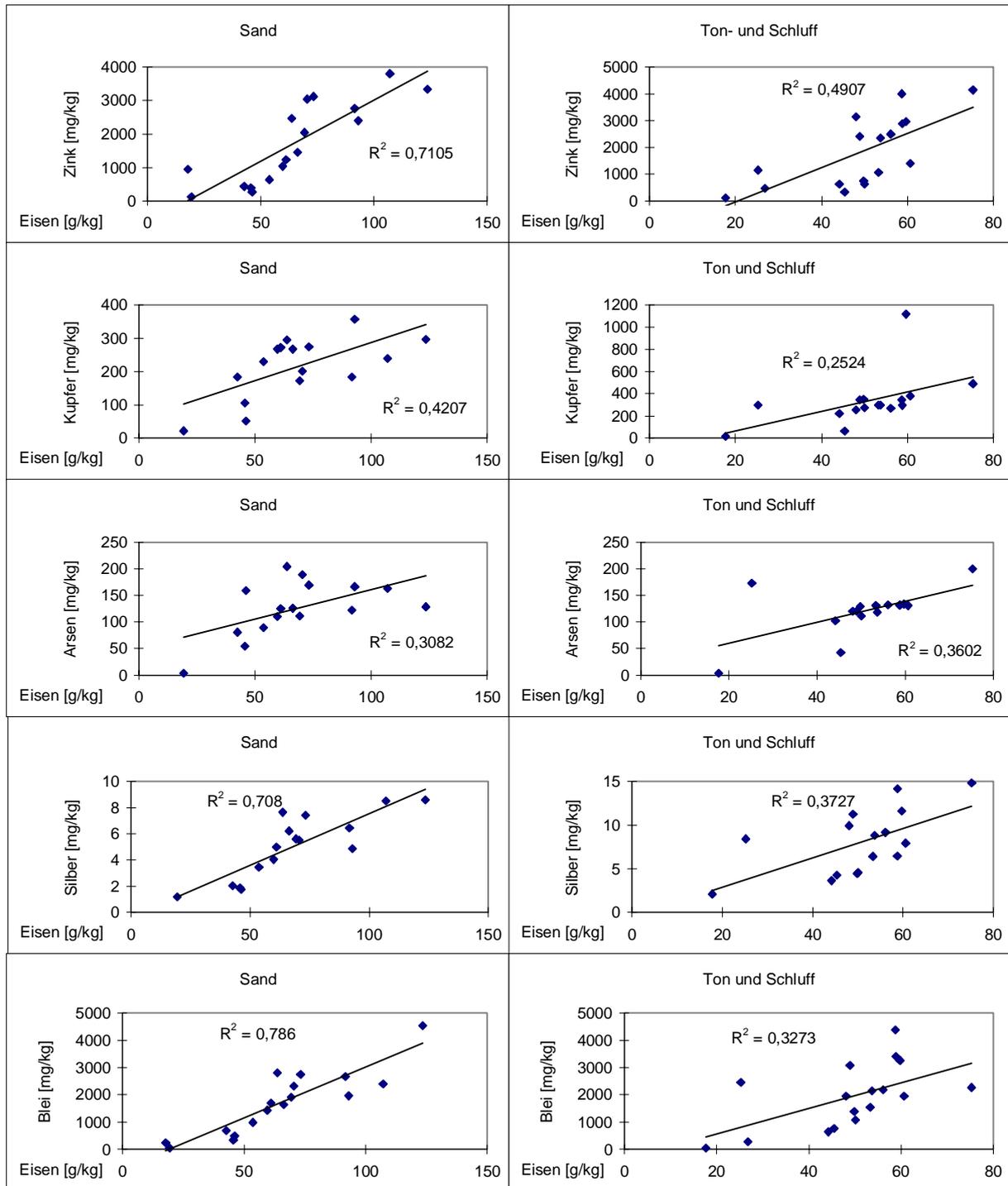


Abbildung 21 Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Eisengehalt in rezenten Gerinnesedimenten Harzselke

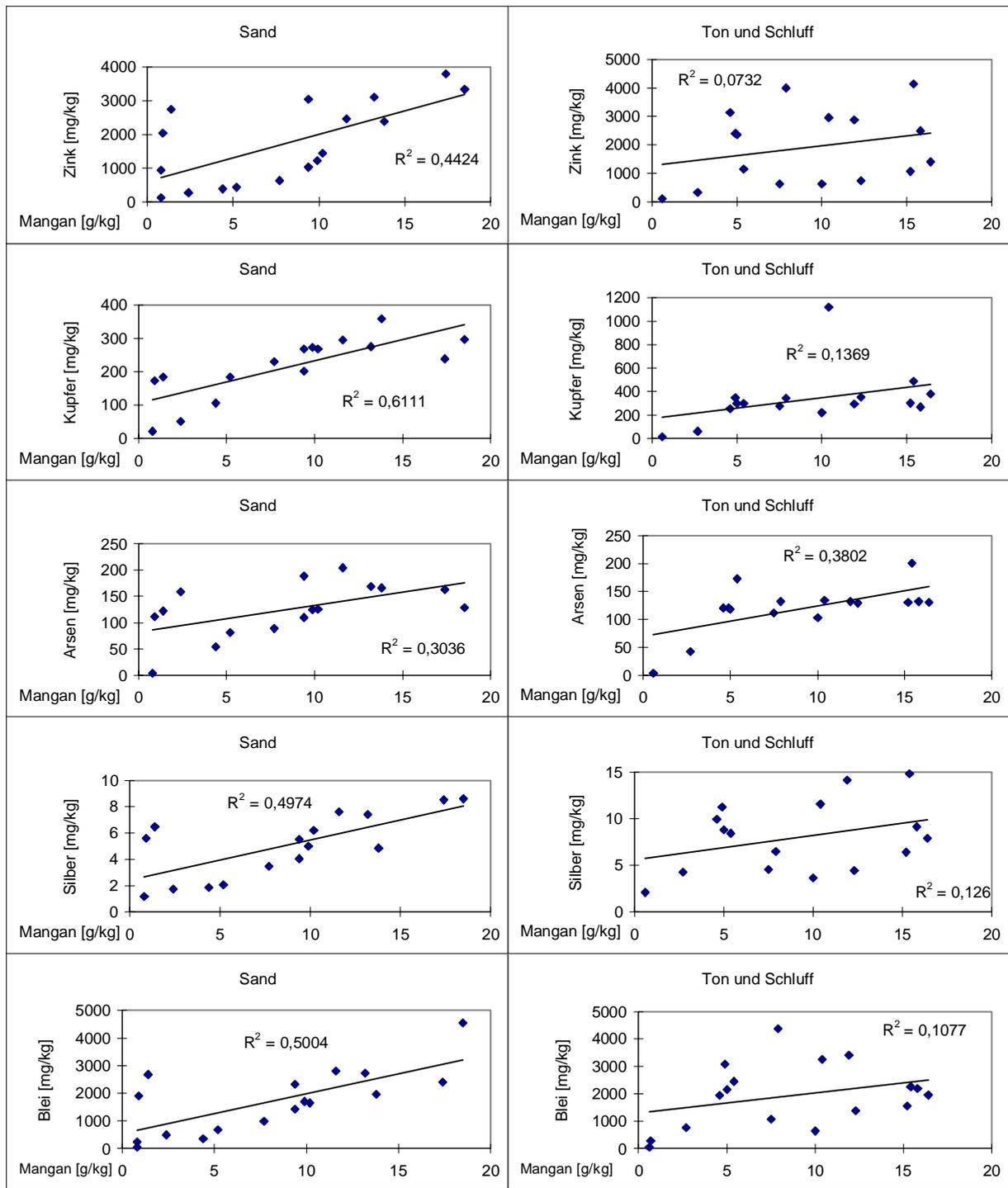


Abbildung 22 Lineare Abhängigkeit der Buntmetallgehalte vom Mangangehalt in rezenten Gerinnesedimenten der Harzselke

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.

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.

7 Literaturliste

- AGRICOLA, G. (1980): Vom Berg- und Hüttenwesen. Ausgabe nach dem Original von 1556; Düsseldorf.
- AL, T. A.; BLOWES, D. W.; MARTIN, C. J.; CABRI, L. J.; JAMBOR, J. L. (1997): Aqueous geochemistry and analysis of pyrite surfaces in sulfide-rich mine tailings. - *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 2353-2366.
- ALLAN, R.J.; SALOMONS, W. [HRSG.] (1997): Mining and Metals in the Environment. - *Journal of Geochemical Exploration, Special Issue* 58: 93-332.
- ALLOWAY, B.J. (1995): *Heavy Metals in Soils*; London.
- AMELUNG, U. (1987): Zeugnisse des frühen Bergbaus und Hüttenwesens. - *Harz-Zeitschrift* 39: 35-47.
- ANONYMUS (1994): Auszug aus der Intensivuntersuchung der Selke vom 02.06.1994. Staatliches Amt für Umweltschutz Magdeburg [Hrsg.].
- ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung*; Hannover.
- AXTMANN, E.V.; LUOMA, S.N. (1991): Large scale distribution of metal contamination in fine-grained sediments of the Clark Fork river, Montana, USA. - *Applied Geochemistry* 6: 75-88.
- BANKS, D; YOUNGER, P.L.; ARNESEN, R.-T.; IVERSEN, E.R.; BANKS, S.B. (1997): Mine water chemistry: the good, the bad and the ugly. - *Environmental Geology* 32: 157-174.
- BARTELS, C. (1980): Das Wasserkraft-Netz des historischen Erzbergbaus im Oberharz. - *Technikgeschichte* 55: 177-192.
- BARTELS, C. (1992): Vom frühneuzeitlichen Montangewerbe zur Bergbauindustrie. *Erzbergbau im Oberharz 1635 -1866*; Bochum.
- BARTELS, C. (1995): Umschwünge in der Entwicklung des Oberharzer Bergbaureviers um 1630, 1760 und 1820 im Vergleich. - *Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beiheft* 115: 151-176.
- BARTELS, C. (1996A): Mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Bergbau im Harz und seine Einflüsse auf die Umwelt. - *Die Naturwissenschaften* 83: 483-491.
- BARTELS, C. (1996B): Krisen und Innovation im Erzbergbau des Harzes zwischen ausgehendem Mittelalter und beginnender Neuzeit. - *Technikgeschichte* 63: 1-19.
- BARTELS, C. (1996C): Montani und Silvani im Harz. Mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Bergbau und seine Einflüsse auf die Umwelt. - In: Jockenhövel, A. [Hrsg.]: *Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter*; Stuttgart: 112-127.
- BARTELS, C.; LORENZ, E. (1993): Die Grube Glasebach- ein Denkmal des Erz- und Fluritbergbaus im Ostharz. - *Der Anschnitt* 45: 3-14.
- 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. [Hrsg.]: *Environmental impact of smelters. Advances in Environmental Science and Technology*; New York 14: 579-591.
- BAUMANN, A.; BEST, G.; KAUFMANN, R. (1977): Hohe Schwermetall-Gehalte in Hochflutsedimenten der Oker (Niedersachsen). - *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 21: 113-117.
- BAYERL, G; FUCHSLOCH, N; MEYER, T. (1996): *Umweltgeschichte - Methoden, Themen, Potential.*; Münster.
- BEHRENS, H.A. (1988): Ein Eisenverhüttungsplatz des 10./11. Jahrhunderts am Eggeröder Brunnen. - *Bodendenkmalpflege im Kreis Wernigerode* 6: 28-31.
- BEHRENS, H.A. (1992): Archäologische Notgrabungen auf Hütten- und Bergbaustandorte des Mittelharzes. - *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 12: 148ff.

- BEHRENS, H.A. (1994/95): Archäologische Untersuchungen auf Hütten und Bergbaustationen des Ostharzes. - Historisches Montanwesen des Harzes (besonders des Ostharzes). - Harz-Zeitschrift 46/47: 180.
- BEHRENS, H.A.; KNAPPE, H. (1985): Der Mittelharz - eine Interessensphäre deutscher Kaiser vom 10. bis 12. Jahrhundert. - Der Harz - Veröffentlichungen des Heimatmuseums Wernigerode 17: 3-10.
- BIRKE, M.; RASCHKA, H.; RAUCH, U. (1995): Regionale Oberflächengeochemie. - Zeitschrift für angewandte Geologie 41: 10-20.
- BIRKE, M.; RAUCH, U.; RENTZSCH, J. (1995): Environmental results of a regional geochemical survey in Eastern Germany. - Geologisches Jahrbuch D 94: 3-35
- BIRKE, M.; RENTZSCH, J. (1990): Komplexe Auswertung regionaler geochemischer Prospektionsmethoden im Bereich des Ramberggranits. Teil 2; Mathematisch-statistische Bearbeitung der Prospektionsergebnisse. - Zeitschrift für Angewandte Geologie 86: 249-253.
- BODE, A. (1928/29): Reste alter Hüttenbetriebe im West- und Mittelharz. - Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover.
- BÖHME, H. W. (1978): Erzbergbau im Westharz und die Besiedlung des Oberharzes seit dem frühen Mittelalter. - Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern 36: 59-126.
- BORK, H.-R.; BORK, H. (1987): Extreme hygrische Klimaschwankungen in Mitteleuropa und ihre Folgen. - Eiszeitalter und Gegenwart 37: 108-118.
- BOULT, S. (1996): Fluvial metal transport near sources of acid mine-drainage: Relationships of soluble, suspended and deposited metal. - Mineralogical Magazine 60: 325-335.
- BOULT, S.; COLLINS, D.N.; WHITE, K.N.; CURTIS, C.D. (1994): Metal transport in a stream polluted by acid mine drainage - the Afon Goch, Anglesey, UK. - Environmental Pollution 84: 279-284.
- BOURG, A. C. M.; BERTIN, C. (1996): Diurnal variability in the water chemistry of a river contaminated by heavy metals: natural biological cycling and anthropogenic influence. - Water, Air and Soil Pollution 86: 101-116.
- BRACHMANN, H.G. (1993A): Vom Erz zum Metall (Kupfer, Silber, Eisen) - Die chemischen Prozesse im Schaubild. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: Alter Bergbau in Deutschland. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 19: 35-40.
- BRACHMANN, H.G. (1993B): Zur frühen Blei- und Silbbergewinnung in Europa. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: Montanarchäologie in Europa; Sigmaringen: 29-36.
- BRACHMANN, H.-J. (1992): Der Harz als Wirtschaftsraum des frühen Mittelalters. - Harz-Zeitschrift 43/44: 7-25.
- BRACHMANN, H.-J.; VOGT, H.-J. [HRSG] (1992): Mensch und Umwelt. Studien zu Siedlungsausgriff und Landesausbau in Ur- und Frühgeschichte; Berlin.
- BRADLEY, S.B. (1995): Long-term dispersal of metals in mineralised catchments by fluvial processes. - In: I. Foster, A. Gurnell, B. Webb (eds.): Sediment and Water Quality in River Catchments; Chichester: 161-177.
- BRADLEY, S.B.; COX, J.J. (1986): Heavy metals in the Hamp and Manifold valleys, north Staffordshire, U.K.: distribution in floodplain soils. - The Science of the Total Environment 50: 103-128.
- BRADLEY, S.B.; COX J.J. (1990): The significance of the floodplain to the cycling of metals in the River Derwent catchment, UK. - The Science of the Total Environment 97/98: 441-454.
- BREAULT, R.F.; COLMAN, J.A.; AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D. (1996): Copper speciation and binding by organic matter in copper-contaminated streamwater. - Environmental Science and Technology 30: 3477-3486.
- BREWER, P.A.; TAYLOR, M. P. (1997): The spatial distribution of heavy metal contaminated sediment across terraced floodplains. - Catena 30: 229-250.
- BROEL, T. (1963): Über den frühen Eisenerzbergbau im nördlichen Oberharz. - Erzmetall 16: 173-183.

- BRÜMMER, G.W.; HERMS, U. (1985): Einflußgrößen der Schwermetalllöslichkeit, -bindung und -verfügbarkeit in Böden. - Bielefelder Ökologische Beiträge 1: 117-139.
- BRÜNING, K. (1928): Alte und neue Wasserwirtschaft im Harz und ihre natürlichen Grundlagen. - Jahrbuch Geographische Gesellschaft Hannover: 113-140.
- BRUNS, I. (1997): Induktion thiolhaltiger Peptide im Wassermoos *Fontanilis Antipyretica* C. Exhedw unter Schwermewtalleinfluß un der Nutzen als Biomarker zur Schwermetallbelastung aquatischer Systeme. - Diss., Univ. Halle-/S..
- BUCH, M. (1987): Spätpleisozäne und holozäne fluviale Geomorphodynamik im Donautal im Raum Regensburg. - Regensburger Geographische Schriften 21: 197 S..
- CASPERS, G. (1994): Metallkonzentrationen in mittelalterlichen und neuzeitlichen Flußablagerungen im Mündungsbereich der Aller. - Zeitschrift für angewandte Geologie 40: 31-37.
- CLEMENT, M. (1996): Tausend Jahre Metallerzbergbau in Mitteleuropa; Essen.
- CRADDOCK, P.T. (1995): Early metal mining and production; Edinburgh.
- CYFFKA, B.; ZIERDT, M. (1995): Bergbau und Industrie auf der Halbinsel Kola und ihre Auswirkungen auf die Umwelt. - Zeitschrift für den Erdkundeunterricht 49: 196-204.
- DAVE, A.S. (1963): Paragenetischer und geochemischer Aufbau der Eisenerzlagerstätte Braunesumpf bei Hüttenrode im Harz. - Freiburger Forschungshefte 146: 1105.
- DAVIES, B.E. (1983): Heavy metal contamination from base metal mining and smelting: Implications for man and his environment. - In: Thornton, L. [Hrsg.]: Applied Geochemistry: 425-462.
- DAVIES, B.E.; LEWIN, J. (1974): Chronosequences in alluvial soils with special reference to historic lead pollution in Cardiganshire, Wales. - Environmental Pollution 6: 49-77.
- DEHNER, U. (1995): Fluviale Schwermetalleinträge in die Rheinaue des Hessischen Rieds und ihre Bewertung. - Jb. Nass. Ver. Naturk. 116: 81-101.
- DENECKE, D. (1978): Erzgewinnung und Hüttenbetriebe des Mittelalters im Oberharz und im Harzvorland. - Archäologisches Korrespondenzblatt 8: 78-85.
- DENECKE, D. (1992): Siedlungsentwicklung und wirtschaftliche Erschließung der hohen Mittelgebirge in Deutschland: Ein historisch-geographischer Forschungsüberblick. - Siedlungsgeschichte. Archäologie-Geschichte-Geographie: 10: 9-47.
- DENECKE, D. (1994): Interdisziplinäre historisch-geographische Umweltforschung: Klima, Gewässer und Böden im Mittelalter und in der frühen Neuzeit. - Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie 12: 235-263.
- DENGLER, A. (1913): Die Wälder des Harzes einst und jetzt. - Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen 45.
- DITTMER, E. (1994): Sedimentpetrographische Arbeiten im Bereich der Oker und Innerste. - Unveröff. Gutachten, Inst. f. Geowissenschaften, TU Braunschweig.
- DRESCHHOFF, G.E. (1974): Geologische Untersuchungen in den Holozänablagerungen des mittleren Okergebietes. - Diss. TU Braunschweig.
- EGGERS, B.; WOLF, J. (1994): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Schwebstoffen und Sedimenten im Bereich der Oker und Innerste. - Abschlußbericht 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.
- FILIUS, A. (1993): Schwermetall-Sorption und -Verlagerung in Böden. - Diss. TU Braunschweig.
- FIRBAS, F. (1952): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Bd. 2: Waldgeschichte der einzelnen Landschaften; Jena.
- FLEIGE, H.; HINDEL, R. (1987): Auswirkungen pedogenetischer Prozesse auf die Schwermetallverteilung im Bodenprofil. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 55: 313-319.

- FÖRSTNER, U.; SALOMONS, W. (1984): Mobilisierung von Schwermetallen bei Wechselwirkungen mit Sedimenten. - In: Merian, E. [Hrsg.]: *Metalle in der Umwelt*: 171-179.
- FRÜHAUF, M. (1986): Beiträge zur Lithologie, Genese, räumlichen Verbreitung und standortkundlichen Bedeutung der schluffreichen Sedimentglieder der periglazialen Lockermaterialdecken in den Mittelgebirgen - dargestellt am Beispiel des Harzes (DDR-Teil). - *Habil.-Schrift, MLU Halle-Wittenberg; Halle/Saale*.
- FRÜHAUF, M. (1991): Neue Befunde zur Lithologie, Gliederung und Genese der periglazialen Lockermaterialdecken im Harz: Erfassung und Bewertung postallerödzeitlicher decksedimentbildender Prozesse. - *Petermanns Geographische Mitteilungen* 1: 49-60.
- FUGE, R.; PEARCE, F.M.; PEARCE, N.J.G.; PERKINS, W.T. (1994): Acid mine drainage in Wales and influence of ochre precipitation on water chemistry. - *American Chemical Society (ACS) Symposium Series* 550: 261-274.
- FYTIANOS, K. (1982): Schwermetalle in den Fließgewässern und Flußsedimenten des West-Harzes. - *GWF-Wasser/Abwasser* 123: 194-198.
- GÄBLER, H.-E. (1996): Mobility of heavy metals as a function of pH of samples from an overbank sediment profile contaminated by mining activities. - *Journal of Geochemical Exploration* 58: 185-194.
- GAIDA, R.; RADTKE, U.; SAUER, K.H.; ANDRES, W. (1993): Geochemisch-pedologische Detailuntersuchungen eines Wuppersediments bei Leichlingen (Bergisches Land, Rheinland) unter besonderer Berücksichtigung der Bindungsformen. - *Düsseldorfer Geographische Schriften* 31: 169-201.
- GLÄSSER, R. (1995): *Das Klima des Harzes; Hamburg*.
- GLEITSMANN, R.-J. (1984): Der Einfluß der Montanwirtschaft auf die Waldentwicklung Mitteleuropas. - *Der Anschnitt, Beiheft* 2: 24-39.
- GOLDENBERG, G. (1993A): Frühe Blei-, Silber- und Kupfergewinnung im Südschwarzwald. Hüttenplätze und bergschmieden. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: *Montanarchäologie in Europa*. Sigmaringen: 231-254.
- GOLDENBERG, G. (1993B): Frühe Umweltbelastungen durch Bergbau und Hüttenwesen. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: *Alter Bergbau in Deutschland. Archäologie in Deutschland*; Stuttgart *Sonderheft*. 54-65.
- GRINGMUTH-DALLMER, E. (1992): Die mittelalterliche Besiedlung des Mittel- und Unterharzes. - *Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie* 10: 145-162.
- GRUPE, M. (1987): Untersuchungen zur Verteilung, Bindung und Pflanzenverfügbarkeit in jungen Auenböden von Sieg und Rhein. - *Diss. Univ. Bonn*.
- HÄGERMANN, D., SCHNEIDER, H. (1991): *Landbau und Landtechnik. 750 v. Chr. - 1000. - Propyläen Technikgeschichte, Band 1; Berlin, Frankfurt/M.*
- HARTMANN, P. (1957): Der Bergbau bei Straßberg im Harz. - *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 11/12: 548-557.
- HASELHOFF, E.; LINDAU, G. (1903): *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch; Leipzig*.
- HASENCLEVER, R. (1879): *Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase; Berlin*.
- HASSE, M. (1979): Neues Hausgerät, neue Häuser, neue Kleider - Eine Betrachtung der städtischen Kultur im 13. und 14. Jahrhundert sowie ein Katalog der metallenen Hausgeräte. - *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters* 7: 7-83.
- HAUG, E. (in Vorbereitung): Schwermetallgehalte in Auensedimenten der Wipper/Harz. - *Unveröff. Dipl.-Arbeit Univ. Frankfurt/Main*.
- HAUPTMANN, A.; PERNICKA, E.; WAGNER, G. A. (1989): Archäometallurgie der alten Welt. - *Der Anschnitt* *Beiheft* 7.

- HE, M.; WANG, Z.; TANG, H. (1997): Spatial and temporal patterns of acidity and heavy metals in predicting the potential for ecological impact on the Le An river polluted by acid mine drainage. - *The Science of the Total Environment* 206: 67-78.
- HEINDORF, J. (BEARB.) (1993): Wasserwirtschaftliche Istzustandsanalyse des Fließgewässers Selke. Staatliches Amt für Umweltschutz Magdeburg [Hrsg.].
- HILLEBRECHT, M.L. (1982): Die Relikte der Holzkohlenwirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung. - *Göttinger Geographische Abhandlungen* 79: 28-30.
- HILLEBRECHT, M.L. (1986): Eine mittelalterliche Energiekrise. - In: Herrmann, B. [Hrsg.]: *Mensch und Umwelt im Mittelalter*; Stuttgart:83-112.
- HILLEBRECHT, M.L. (1989): Untersuchungen an Holzkohlen aus frühen Schmelzplätzen. Ergebnisse und Ausblick. - *Der Anschnitt Beiheft* 7: 203-212.
- HILLEBRECHT, M.L. (1992): Holzkohlen als Quelle zur Wald- und Energiegeschichte. - *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 4: 158-160.
- HINDEL, R.; SCHALICH, J.; DE VO, W.; EBBING, J.; SWENNEN, R.; VAN KEER, I. (1996): Vertical distribution of elements in overbank sediment profiles from Belgium, Germany and The Netherlands. - *Journal of Geochemical Exploration* 56: 105-122.
- HUDSON-EDWARDS, K.A.; MACKLIN, M.G.; CURTIS, C.D.; VAUGHAN, D.J. (1996): Processes of formation and distribution of Pb-, Zn-, Cd-, and Cu-bearing minerals in the Tyne Basin, Northeast England: Implications for metal contaminated river systems. - *Environmental Science and Technology* 30: 72-80.
- HUDSON-EDWARDS, K.A.; MACKLIN, M.G.; TAYLOR, M. (1997): Historical metal mining inputs to Tees river sediment. - *The Science of the Total Environment* 194/195: 437-445.
- IRSIGLER, F. (1985): Über die Harzmetalle, ihre Verbreitung und Verarbeitung im Mittelalter. - Ein Überblick. - In: *Stadt im Wandel. Kunst und Kultur des Bürgertums in Norddeutschland: 1150-1650*; Stuttgart-Bad Cannstatt.: 315.
- JAMES, L.A. (1991): Incision and morphologic evolution of an alluvial channel recovering from hydraulic mining sediment. - *Geol. Soc. Am. Bull.* 103: 723-736.
- JOCKENHÖVEL, A. [Hrsg.] (1996): *Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter: Auswirkungen auf Mensch und Umwelt*. - In: *Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte*; Stuttgart.
- JONES, K.C. (1986): The distribution and partitioning of silver and other heavy metals in sediments associated with an acid mine drainage stream. - *Environmental Pollution (Series B)* 12: 249-263.
- KLAGES, H. (1968): Die Entwicklung der Kulturlandschaft im ehemaligen Fürstentum Blankenburg. - *Forschungen zur Deutschen Landeskunde* 170.
- KLAPPAUF, L. (1996): Montanarchäologie im Harz. - In: Jockenhövel, A. [Hrsg.]: *Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter*; Stuttgart: 93-111.
- KLAPPAUF, L., LINKE, F.-A., BROCKNER, W. (1990): Interdisziplinäre Untersuchungen zur Montanarchäologie im westlichen Harz. - *Zeitschrift für Archäologie* 24: 207-242.
- KLEIN, S., URBAN, H., STEPHAN, H.-G., KÖNIG, A., BOLLINGBERG, H.J. (1993): Archäologische und metallurgische Untersuchungen zur mittelalterlichen Bunt- und Edelmetallverarbeitung in Höxter und Corvey. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: *Montanarchäologie in Europa*. Sigmaringen: 291-301.
- KLEBEN, R. (1984): Historische Standorte des Erzbergbaus und der Eisen- und Kupfermetallurgie im Mittelharz. - In: *Unveröffentlichter Ergebnisbericht. Forschungsgruppe Physische Geographie, Humboldt-Universität* [Hrsg.]; Berlin.
- KLEBEN, R. (1985): Historische Eisenhütten an Mittelgebirgsflüssen. - *Der Harz - Veröffentlichungen des Heimatmuseums Wernigerode* 17: 10-14.

- KLEBEN, R. (1993): Zu geowissenschaftlichen Aussagemöglichkeiten von Hüttenschlacken im rezenten Transportgut der Bode (Harz und nördliches Vorland). - Berliner Geographische Arbeiten 78.
- KLEBEN, R.; CHROBOK, S. M. (1989): Historische Hüttenstandorte im Mittelharz und ihre fluvial transportierbaren technogenen Gesteine. - Zeitschrift für angewandte Geologie 35: 24-31.
- KNAUER, E. (1960): Quantitativ-mineralogische Untersuchungen an den mitteldevonischen Roteisensteinvorkommen vom Büchenberg bei Elbingerode im Harz. - Geologie Beiheft 5: 100-102.
- KNIGHTON, A. (1989): River adjustment to changes in sediment load: the effects of tin mining on the Ringarooma River, Tasmania, 1875-1984. - Earth Surface Processes and Landforms 14: 333-359.
- KNOLLE, F. (1989): Harzbürtige Schwermetallkontaminationen in den Flußgebieten von Oker, Innerste und Aller. - Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens 42: 53-60.
- KOERFER, S. (1990): Mineralogie und Petrographie von Verhüttungsrelikten aus dem Harzer Raum. - Diss. TU Clausthal.
- KÖNIG, W.; WEBER W. (1990): Netzwerke, Stahl und Strom. 1840 - 1914. - In: Propyläen Technikgeschichte, Band 4; Berlin, Frankfurt/M..
- KOPP, E. (1964): Zur Genese der Böden aus Hochflutlehmen auf der Niederterrasse im Raum Bonn-Köln-Krefeld. - Eiszeitalter und Gegenwart 15: 81-91.
- KRAUME, E. (1948): Die Geschichte der Erzaufbereitung im Harz. - Erzmetall 1: 1-12.
- KRAUSE, K.H. (1967): Anthropogene Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse des östlichen Harzes, dargestellt an Beispielen. - Diss. Univ. Halle/S..
- KROKER, W.; WESTERMANN, E. [Hrsg.] (1984): Montanwirtschaft Mitteleuropas vom 12. bis 17. Jahrhundert. - Der Anschnitt, Beiheft; Bochum.
- KUCHA, H.; MARTENS, A.; DE VOS, R. OTTENBURGS W.; VIAENE, W. (1996): Primary minerals of Zn-Pb mining and metallurgical dumps and their environmental behavior at Plombières, Belgium. - Environmental Geology 27: 1-15.
- KUES, J.; SCHNEIDER, J.; HINDEL, R.; GÄBLER, H.-E.; HAMMERSCHMIDT, U.; EBERLEIN, K.; BENNE, I. (1994): Bodenuntersuchungsprogramm Talauen des Harzes Teil 1 und 2. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB) [Hrsg.]; Hannover.
- KUNTZE, A., HERMS, U. (1986): Bedeutung geogener und pedogener Faktoren für die weitere Belastung der Böden mit Schwermetallen. - Naturwissenschaften 73: 195-204.
- KWONG, Y.T. J.; ROOTS, C.F.; ROACH, P.; KETTLEY, W. (1997): Post-mine metal transport and attenuation in the Keno Hill mining district, central Yukon, Canada. - Environmental Geology 30: 98-107.
- LAMB, H.H. (1994): Klima und Kulturgeschichte. Der Einfluß des Wetters auf den Gang der Geschichte; Reinbeck bei Hamburg.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1991-1996): Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.](1995): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch: Elbegebiet, Teil I; Halle/S..
- LANGE, H. (1957): Geochemische Untersuchungen an oxydischen Eisenmineralien aus dem Elbingeröder Komplex. - Geologie 6: 610-639.
- LAWRENCE, J.R.; KWONG, Y.T.J.; SWERHON, G.D.W. (1997): Colonization and weathering of natural sulfide mineral assemblages by Thiobacillus Ferrooxidans. - Canadian Journal of Microbiology 43: 178-188.
- LEENAERS, H. (1989): The dispersal of metal mining wastes in the catchment of the river Geul (Belgium - The Netherlands). - Netherlands Geographical Studies 102.

- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. (1995): *Fluvial Processes in Geomorphology*. Unveränderte, ungekürzte Neuauflage des Originals von 1964; New York.
- LEWIN, J.; BRADLEY, S.B.; MACKLIN, M.G. (1983): Historical valley alluviation in mid-Wales. - *Geological Journal* 18: 331-351.
- LEWIN, J.; MACKLIN, M.G. (1987): Metal mining and floodplain sedimentation. - In: Gardiner, V.[Hrsg.]: *International Geomorphology, Part 1*, Chichester: 1009-1027.
- LEWIN, J.; MACKLIN, M.G. (1989): Sediment transfer and transformation of an alluvial valley floor: the River South Tyne, Northumbria, UK. - *Earth Surface Processes and Landforms* 14: 233-246.
- LIEBMAN, W. (1992): *Bergbaugeschichte des Harzes*, Essen.
- LIEBMAN, W. (1994/95): Zur Geschichte des St. Andreasberger Blaufarbenwerkes. - *Historisches Montanwesen des Harzes (besonders des Ostharzes)*, - *Harz-Zeitschrift* 46/47: 191-192.
- LINKE, F.H. (1996): Frühe Bleiverhüttung im Umkreis des Rammelsberges bei Goslar. - *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 2: 58-61.
- LINKE, M. (1968): Bodenerosion und Bodenerosionsgefährdung im östlichen Harz. - *Wiss. Z. Univ. Halle* 12: 19-43.
- LÖFFLER, K. (1983): Immissionsschäden am Wald im 19. Jahrhundert. - *Allgemeine Forstzeitschrift (AFZ)* 38: 1383-1385.
- LUDWIG, K.H.; SCHMIDTCHEN, V. (1992): *Metalle und Macht. 1000 - 1600*. - In: *Propyläen Technikgeschichte, Band 2*; Berlin, Frankfurt/M..
- MACKLIN, M.G. (1996): Fluxes and storage of sediment-associated heavy metals in floodplain systems: assessment and river basin management issues at a time of rapid environmental change. - In: Anderson, M.G.; Walling, D.E.; Bates P.D.[Hrsg.]: *Floodplain Processes*; Chichester: 441-460.
- 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. (1985): *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.; DOWSETT, R.B. (1989): The chemical and physical speciation of trace metals in fine grained overbank flood sediments in the Tyne basin, north-east England. - *Catena* 16: 135-151.
- 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.
- MACKLIN, M.G.; PASSMORE, D.G.; RUMSBY, B.T. (1992): Climatic and cultural signals in holocene alluvial sequences: the Tyne Basin, northern England. - In: Macklin, M.G.; Needham, F. [Hrsg.]: *Archaeology under Alluvium*; Oxford: 123-139.
- MALESSA, V. (1994): *Waldgeschichte des Harzes vom 10. bis 19. Jahrhundert*. - In: Matschullat, J; Heinrichs, H.; Schneider, J.; Ulrich, B. [Hrsg.]: *Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität. Ergebnisse interdisziplinärer Forschung im Harz*; Berlin, Heidelberg: 37-39.
- MANIA, D. (1969): *Paläoökologie, Faunenentwicklung und Stratigraphie des Quartärs in Thüringen und dem Harzvorland aufgrund von Molluskengesellschaften*. - *Habil.-Schrift, Univ. Halle/S.*
- 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. - *Applied Geochemistry* 12: 105-114.
- MATSCHULLAT, J.; NIEHOFF, N.; PÖRTGE, K. H. (1991): Zur Element-Dispersion der Oker (Niedersachsen); röntgenfluoreszenz-spektrometrische Untersuchungen. - *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 142: 339-349.

- MEREFIELD, J. R. (1995): Sediment mineralogy and the environmental impact of mining. - In: Foster, I.; Gurnell, A.; Webb, B. [Hrsg.]: Sediment and Water Quality in River Catchments; Chichester: 145-160.
- MERIAN, E. [HRSG.](1984): Metalle in der Umwelt; Stuttgart.
- MERKEL, D.; KÖSTER, W. (1980): Schwermetallkonzentrationen von Grünlandböden in der Oker- und Alleraue. - Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 37: 556-563.
- MERKEL, D.; KÖSTER, W. (1985): Schwermetalluntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Böden und Pflanzen in Niedersachsen. Landwirtschaftskammer Hannover. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Hameln; Hannover.
- 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.
- MEYER, U. (1989): Die Bewaldung des Westharzes unter dem Einfluß von Bergbau- und Hüttenwesen. - Allgemeine Forstzeitschrift 44: 458-461.
- MILLER, J.R. (1997): The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. - Journal of Geochemical Exploration 58: 101-118.
- MILLER, J.R.; ROWLAND, J.; LECHLER, P.J.; DESILETS, M.; HSU, L.-C. (1996): Dispersal of mercury-contaminated sediments by geomorphic processes, Sixmile Canyon, Nevada, USA: implications to site characterisation and remediation of fluvial environments. - Water, Air and Soil Pollution 86: 373-388.
- MOHR, K. (1993): Geologie und Lagerstätten des Harzes; Stuttgart.
- MÖLLER-LINDENHOF, N.; REINCKE, H. (1991): Problematik der Standardisierung von Schwermetallgehalten in Sedimenten auf Korngrößenfraktionen. - Dt. Gewässerkd. Mitt. 35: 15-16.
- MORSE, J.W. (1994): Release of toxic metals via oxidation of authigenic pyrite in resuspended sediments. - American Chemical Society (ACS) Symposium Series 550: 289-297.
- MÜCKE, E. (1966): Zur Großformung der Hochfläche des östlichen Harzes. - Hercynia 3(3): 221-244.
- NICHOLAS, A.P.; ASHWORTH, P.J.; KIRKBY, L.B.; MACKLIN, M.G.; MURRAY, T. (1995): Sediment slugs: large-scale fluctuations in fluvial sediment transport rates and storage volumes. - Progress in Physical Geography 19: 500-519.
- NICKE, H. (1995): Reliefgenese des Harzes. - NARDUS, Naturwissenschaftliche Arbeiten, Regionale Darstellung und Schriften 1.
- NIEHOFF, N.; MATSCHULLAT, J.; PÖRTGE, K.H. (1992): Bronzezeitlicher Bergbau im Harz?. - Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 1: 12-14.
- NIMICK, D.A.; MOORE, J.N. (1994): Stratigraphy and chemistry of sulfidic floodplain sediments in the upper Clark Fork valley, Montana. - American Chemical Society (ACS) Symposium Series 550: 276-288.
- NOACK, U.; GORSLER, M. (1984): Schwermetalle in den Ufersedimenten der Aller. - Mitt. Niedersächs. Wasseruntersuchungsamt 10: 1-40.
- NOE, K. (1990): Korngrößenbezogene Methoden zur Erkennung und Bewertung anthropogener Schwermetallbelastungen in Böden - Fallbeispiel: Rhein-Neckar-Raum. - Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen 36.
- NOWAK, H.; PREUL, F. (1971): Untersuchungen über Blei- und Zinkgehalte in Gewässern des Westharzes. - Beiheft Geologisches Jahrbuch 105.
- NOWOTHING, W. (1963): Zur Vor- und Frühgeschichtsforschung im Oberharz unter besonderer Berücksichtigung der Bergbauforschung. - Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 1: 87-94.

- NOWOTHING, W. (1965): Neue Ergebnisse der Bergbauforschung im Oberharz. - Neue Ausgrabungen und Funde in Niedersachsen 2.
- NOWOTHING, W. (1968): Frühmittelalterliche Hüttenplätze mit Rammelsberger Erzen. - Erzmetall 21: 355.
- OELCKE, E. (1968): Zur regionalen Entwicklung der Eisenindustrie im Osthartz bis 1945. - Wiss. Z. Univ. Halle 12: 59-69.
- OELCKE, E. (1970): Der alte Bergbau um Schwenda und Stolberg/Harz. - Hercynia, N.F. 7: 337-354.
- OELCKE, E. (1973): Der Bergbau im ehemals anhaltinischem Harz. - Hercynia, N.F. 10: 77-95.
- OELCKE, E. (1978): Die Silbergewinnung im ehemals stolbergischen Harz. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften 3: 57-79.
- OERTEL, T. (1998): Untersuchung und Bewertung geogener und anthropogener Bodenschwermetallanreicherungen als Basis einer geoökologischen Umweltanalyse im Raum Eisleben-Hettstedt. - In: Frühauf, M; Hardenbicker, U [Hrsg.]: Geowissenschaftliche Umweltforschung im mitteldeutschen Raum. Beiträge der 3. Tagung zur Geographischen Umweltforschung in Mitteldeutschland, 6.-7. November; Halle/S.: 33-44.
- ONGLEY, E.D. (1982): Influence of season, source and distance on physical and chemical properties of suspended sediment. - IAHS Publication 137: 371-383.
- ORTLAM, D. (1989): Geologie, Schwermetalle und Salzwasserfronten im Untergrund von Bremen und ihre Auswirkungen. - Jb. Geol. Paläont. Mh 8: 489-512.
- OTTESEN, R.T; BOGEN, J.; BOLVIKEN, B.; VOLDEN, T. (1989): Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. - Journal of Geochemical Exploration 32: 257-277.
- OTTO, H.; WITTER, W. (1952): Handbuch der vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa; Leipzig.
- PANTSAR-KALLIO, M.; MANNINEN, P.K.G. (1997): Speciation of mobile arsenic in soil samples as a function of pH. - The Science of the Total Environment 204 (2): 193-200.
- PAULINYI, A.; TROITZSCH, U. (1991): Mechanisierung und Maschinisierung. 1600 - 1840. - In: Propyläen Technikgeschichte, Band 3; Berlin, Frankfurt/M..
- PEIFFER, S.; STUBERT, I.; BÄR, S. (1996): Die Mobilisierung von Cadmium aus gut gepufferten, pH-neutralen Sedimenten infolge der Oxidation von Eisensulfiden. - Wasser und Boden 48: 62-65.
- PFISTER, C. (1988): Historische Umweltforschung und Klimageschichte. - Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie 6: 113-127.
- PRELL, M. (1971): Auf alten Wegen zu neuen Erkenntnissen. - Nordharzer Jahrbuch 4: 7-27.
- REINBOTH, F. (1979): Die Schwefelsäurefabrik Schächermühle am Brunnenbach bei Braunlage. - Harz-Zeitschrift 31: 75-93.
- RENTZSCH, H.J.; SCHULZE, W. (1984): Geochemische Prospektion in periglazial beeinflussten Gebieten des S-Teils der DDR. - Zeitschrift für angewandte Geologie 30: 253-254.
- RENTZSCH, J. ET AL. (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.
- RENTZSCH, J.; SCHULZE, W.; BIRKE, M.; MÜLLER, H.; EICHBERG, M.; PILLATZKE, L. (1985): Geochemische Prospektion in anthropogen beeinflussten Gebieten. - Zeitschrift für Angewandte Geologie 31: 290-295.
- RIDGEWAY, J.; FLIGHT, D.M.A.; MARTINY, B.; GOMEZ-CABALLERO, A.; MACIAS-ROMO, C.; GREALLY, K. (1994): Overbank sediments in contamination assessment and regional geochemical mapping. - British Geological Survey, Technical Report WC/94/4, Overseas Geology Series.

- RIEHL, G. (1968): Die Forstwirtschaft im Oberharzer Bergbauggebiet von der Mitte des 17. bis Ausgang des 19. Jahrhunderts. - Aus dem Walde, Mitteilungen der niedersächsischen Landesforstverwaltung 15.
- RIPPEL, J.K. (1958): Die Entwicklung der Kulturlandschaft am nordwestlichen Harzrand. - Veröffentlichungen des Niedersächsischen Amtes für Landesplanung und Statistik A.
- RÖBNER, R. (1996): Hydrgeochemische Untersuchungen an Sedimenten und Wässer der Warmen Bode (Harz). - Unveröff. Dipl.-Arbeit, Lehrstuhl für angewandte Geologie, Univ. Erlangen-Nürnberg
- ROWAN, J.S.; BARNES, S.J.A.; HETHERINGTON, S.L.; LAMBERS, B.; PARSONS, F. (1995): Geomorphology and pollution: The environmental impacts of lead mining, Leadhills, Scotland. - Journal of Geochemical Exploration 52: 57-66.
- SALOMONS, W. (1995): Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. - Journal of Geochemical Exploration 52: 5-24.
- SALOMONS, W. [Hrsg.]:(1988): Chemistry and biology of solid waste: dredged material and mine tailings; Berlin.
- SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. (1984): Metals in the hydrocycle; Berlin-Heidelberg-New York-Tokio.
- SALOMONS, W.; STRIGEL, G. [HRSG.] (1988): Metals and metalloids in the hydrosphere; Impact through mining and industry, and prevention technology : Proceedings of an IHP Workshop. - In: Workshop on Metals and Metalloids in the Hydrosphere, Bochum, 1987.09.21-25.; Paris.
- SANDÉN, P.; KARLSSON, S.; DÜKER, A.; LEDIN, A.; LUNDMAN, L. (1996): Variations in hydrochemistry, trace metal concentration and transport during a rain storm event in a small catchment. - Journal of Geochemical Exploration 58: 145-156.
- SATO, M. (1992): Persistency-field Eh-pH-diagrams for sulfides and their application to supergene oxidation and enrichment of sulfide orebodies. - Geochimica et Cosmochimica Acta 56: 3133-3156.
- SAUER, M. (1995): Umweltgeowissenschaftliche Untersuchungen der Wesermarsch im Bereich der Hafenschlickspülflächen in Bremen-Niedervieland. - Diss. Univ. Münster.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde; Stuttgart.
- SCHIRMER, A. (1983): Symposium "Franken": Ergebnisse zur holozänen Talentwicklung und Ausblick. - Geologisches Jahrbuch A 71: 355-370.
- SCHMIDT, G. (1997): Umweltbelastung durch Bergbau - Der Einfluß von Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus auf die Schwermetallführung der Böden und Gewässer im Einzugsgebiet Süßer See. - Diss. Univ. Halle/S..
- SCHMIDT, H. (1991): Mittelalterliche Waldhütten. - Unser Harz 39: 73-75.
- SCHMÖLE, C. (1969): Von den Metallen und ihrer Geschichte, Band I/II.; Menden/Sauerland.
- SCHRÖDER v., J.; REUSS, C. (1895): Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenschäden; Berlin.
- SCHRÖDER, D. (1979): Bodenentwicklung in spätpleistozänen und holozänen Hochflutlehmen des Niederrheines. - Habil.-Schrift, Univ. Bonn.
- SCHRÖDER, H.; FIEDLER, H.J. (1977A): Beitrag zur Kenntnis der periglazialen Deckschichten des östlichen Harzes. Teil 2: Genese, stratigraphische Deutung und Parallelisierung der periglazialen Deckschichten- Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 5(9): 1083-1104.
- SCHRÖDER, H.; FIEDLER, H.J. (1977B): Beitrag zur Kenntnis der periglazialen Deckschichten des östlichen Harzes. Teil 1: Gliederung, Lithologie und Verbreitung der periglazialen Deckschichten. - Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 5(1): 51-81.
- SCHRÖDER, H.; FIEDLER, H.J. (1979): Beiträge zur Kenntnisse der Böden des östlichen Harzes. - Hercynia, N. F. 16.

- SCHRÖDER, H.; FIEDLER, H.J. (1979): Standortkundliche Grundlagen der Bodenbeurteilung im östlichen Harz. - *Hercynia*, N. F. 16: 57-74.
- SCHUBART, W. (1978): Die Verbreitung der Fichte im und am Harz vom hohen Mittelalter bis in die Neuzeit. - Aus dem Walde, Mitteilungen der niedersächsischen Landesforstverwaltung 28.
- SCHWERDTFEGER, K. (1991): 400 Jahre Bergbau und Eisenverhüttung in Altenbrak; Berlin (Selbstverlag).
- SEIM, R., TISCHENDORF, G. [HRSG.] (1990): Grundlagen der Geochemie; Leipzig.
- SHEPHERD, R. (1993): Ancient Mining; London; New York.
- SIGG, L.; STUMM, W. (1991): Aquatische Chemie; Stuttgart.
- SIMON, K. (1993): Zum ältesten Erzbergbau in Ostthüringen und Sachsen. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: Montanarchäologie in Europa; Sigmaringen: 89-104.
- SLOTTA, R. (1983): Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland 4. Der Metallerzbergbau, Teil I und Teil II. - Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbaumuseum; Bochum.
- STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ MAGDEBURG [HRSG.] (1992-1996): Gewässergütebericht, Magdeburg.
- STEUER, H. (1992): Die Entwicklung des Bergbaus in den deutschen Mittelgebirgen seit der Römerzeit und ihr Zusammenhang mit der Besiedlung. - Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie 10: 121-144.
- STEUER, H.; ZIMMERMANN, U. [Hrsg.] (1993): Montanarchäologie in Europa. - Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 82.
- STEUER, H.; ZIMMERMANN, U. [Hrsg.] (1993): Alter Bergbau in Deutschland. - Archäologie in Deutschland, Sonderheft; Stuttgart: 48-59.
- STIER, G. (1978): Geochemische Untersuchungen an Gesteinen, Böden und Gewässern des nördlichen Harzvorlandes sowie des Hils. - Diss. TU Braunschweig.
- STÖCKHARDT, A. (1850): Untersuchung junger Fichten und Kiefern, welche durch den Rauch der Antoniushütte krank geworden. - Tharandter Forstwissenschaftliches Jahrbuch 9: 469-472.
- STROMER V., W. (1980): Eine "industrielle Revolution" des Spätmittelalters. - In: Troitzsch, U.; Wohlauf G. [Hrsg.]: Technikgeschichte, Frankfurt/M.: 105-138.
- SUHLING, L. (1988): Aufschließen, Gewinnen und Fördern. Geschichte des Bergbaus; Reinbeck bei Hamburg.
- SWENNEN, R.; VAN DER SLUYS, J.; HINDEL, R.; BRUSSELMANN, A. (1997): Geochemical characterisation of overbank sediments: away to assess background reference data and environmental pollution in highly industrialised areas (such as Belgium and Luxembourg). - Zentralblatt für Geologie und Paläontologie I: 925-942.
- SWENNEN, R.; VAN KEER, I.; DE VOS, W. (1994): Heavy metal contamination in overbank sediments of the Geul river (East Belgium). Its relation to former Pb-Zn-mining activities. - Environmental Geology 24: 12-24.
- TAYLOR, M.P. (1996): The variability of heavy metals in floodplain sediments: a case study from mid-Wales. - *Catena* 28: 71-87.
- TAYLOR, M.P.; LEWIN, J. (1996): River behaviour and holocene alluviation: The River Severn at Welshpool, mid-Wales, UK. - *Earth Surface Processes and Landforms* 21: 77-91.
- TENNER, F. (1925): Die ehemaligen Glashütten im Harz. - Zeitschrift des Harzvereins für Geschichte und Altertumskunde 58: 1-22.
- THIEMEYER, H. (1989): Schwermetallgehalte von typischen Böden einer Toposequenz im Hessischen Ried. - *Geoökodynamik* 10: 47-62.
- WAGENBRETH, O.; WÄCHTLER, E. (1986): Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte; Leipzig.

- WALDER, I.F.; CHAVEZ JR., W.X. (1995): Mineralogical and geochemical behavior of mill tailing material produced from lead-zinc skarn mineralisation, Hanover, Grant County, New Mexico, USA. - *Environmental Geology* 26: 1-18.
- WALLING, D.E.; HE, W.; NICHOLAS, A.P. (1996): Floodplains as suspended sediment sinks. - In: Anderson, M.G.; Walling, D.E.; Bates P.D.[Hrsg.]: *Floodplain Processes*; Chichester: 399-340.
- WANDERER, J. (1994): Archäometallurgie. Geschichte der Metallherstellung. Chronologischer Auszug aus dem internationalen Schrifttum mit 235 Literaturhinweisen. - *Metallurgie-Archiv*, Band 42.; Heere.
- WEGENER, W. (1991): Das Selketal. - *Unser Harz* 39: 3-8.
- WIELER, A. (1903): *Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*; Berlin.
- WILHELMI, K. [Hrsg.] (1989): *Montanarchäologie im Harz*. - *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 9.
- WILL, K.H. (1957): *Untersuchungen über die Entstehung des Auelehms im Gebiet der Harz-Wipper*. - *Diss. Univ. Halle/S*.
- WILLUTZKI, H. (1962): *Zur Waldgeschichte und Vermoorung sowie über Rekurrenzflächen im Oberharz*. - *Nova Acta Leopoldina*, N. F. 160.
- WILSDORF, H. (1987): *Montanwesen. Eine Kulturgeschichte*; Leipzig.
- WOLFENDEN, P.J.; LEWIN, J. (1977): Distribution of metal pollutants in floodplain sediments. - *Catena* 4: 309-317.
- WOLFENDEN, P.J.; LEWIN, J. (1978): Distribution of metal pollutants in active stream sediments. - *Catena* 5: 67-78.
- WUNDERLY, M.D.; BLOWES, D.W.; FRIND, E.O.; PTACEK, C.J. (1996): Sulfide mineral oxidation and subsequent reactive transport of oxidation products in mine tailings impoundments: a numerical model (Paper 96WR02105). - *Water Resources Research* 32: 3173-3188.
- ZERJADTKE, W. (1982): *Der Silberhütter Kunstgraben und Herzog-Alexis-Erbstollen*. - *Der Harz* 6: 36-37.
- ZIERDT, M. (1997): *Umweltmonitoring mit natürlichen Indikatoren. Pflanzen - Boden - Wasser - Luft*; Stuttgart.
- ZIMMERMANN, U. (1993): *Untersuchungen zum frühen Bergbau im Südschwarzwald*. - In: Steuer, H.; Zimmermann, U. [Hrsg.]: *Montanarchäologie in Europa*. Sigmaringen: 201-221.

8 Kartenverzeichnis

- GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1992): Geologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1 : 400.000. Halle.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1996): Bodenübersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1 : 200.000 (BÜK200). Halle
- GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1998): Geologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1 : 100.000. Halle.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-C-a Brocken. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (88): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-C-b Schierke. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-D-a Wernigerode Süd. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-D-b Blankenburg (Harz). Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-C-d Benneckenstein (Harz). Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-D-c Hasselfelde. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-10-D-d Allrode. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-11-C-c Thale (Harz) Süd. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-11-C-d Ballenstedt. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-11-D-c Ermsleben. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-22-B-b Güntersberge. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-23-A-a Straßberg. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-23-A-b Harzgerode. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1988): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-23-B-a Pansfelde. Halle / S.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [Hrsg.] (1992): Übersichtskarte 1 : 200.000 Sachsen-Anhalt Wasserwirtschaft. Halle.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT - LANDESVERMESSUNG [Hrsg.] (1992): Topographische Karte 1 : 25.000 Blatt 4229 Braunlage. Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESVERWALTUNGSAMT - LANDESVERMESSUNG [Hrsg.] (1992): Topographische Karte 1 : 25.000 Blatt 4329 Zorge. Hannover.
- THÜRINGER LANDESVERWALTUNGSAMT - LANDESVERMESSUNGSAMT [Hrsg.] (1989): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-22-A-b Ellrich. Halle / S.

- THÜRINGER LANDESVERWALTUNGSAMT - LANDESVERMESSUNGSAMT [Hrsg.] (1989): Topographische Karte 1 : 25.000 (AS) Blatt M-32-22-B-a Ilfeld. Halle / S.
- ZENTRALES GEOLOGISCHES INSITUT [Hrsg.] (1985): Regionales Geologisches Kartenwerk Harz 1 : 100.000 Karte der Lagerstätten und Lagerstättenanzeichen. Berlin.
- ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT [Hrsg.] (1985): Regionales Geologisches Kartenwerk Harz 1 : 100.000 Karte der geochemischen Anomalien. Berlin.

9 Anhang

Inhaltsverzeichnis

TABELLE A1	SCHWERMETALLE IN BODENPROFILIEN, ERZEN UND BACHSEDIMENTEN GEOCHEMISCHER LANDSCHAFTEN IM EINZUGSGEBIET VON BODE UND SELKE IM HARZ (AUS: RENTZSCH ET AL. 1984)
TABELLE A2	ERLÄUTERUNG ZU DEN STANDORTNUMMERN HISTORISCHER MONTANBETRIEBE IN DEN KARTEN 6A-D
TABELLE A3	KOORDINATEN UND KURZBESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROFILE IN DEN EINZUGSGEBIETEN VON WARMER BODE UND KALTER BODE
TABELLE A 4	KOORDINATEN UND KURZBESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZBODE
TABELLE A5	KOORDINATEN UND KURZBESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITT B1)
TABELLE A6	KOORDINATEN UND KURZBESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITT B2)
TABELLE A7	KOORDINATEN UND KURZBESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITTE C BIS E)
TABELLE A8	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER WARMEN BODE UND KALTEN BODE
TABELLE A9	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZBODE
TABELLE A10	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITT B1)
TABELLE A11	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITT B2)
TABELLE A12	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITTE C UND D)
TABELLE A13	MEßERGEBNISSE DER ANALYSIERTEN PROFILE IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE (FLUBABSCHNITT E)
TABELLE A 14	STATISTISCHE POPULATIONSKENNGRÖßEN GEOCHEMISCH-STRATIGRAPHISCHER EINHEITEN IN FLUVIATILEN SEDIMENTEN IM DIREKTEN HARZEINZUGSGEBIET DER BODE
TABELLE A 15	STATISTISCHE POPULATIONSKENNGRÖßEN GEOCHEMISCH-STRATIGRAPHISCHER EINHEITEN IN FLUVIATILEN SEDIMENTEN IM DIREKTEN HARZEINZUGSGEBIET DER SELKE (FLUBABSCHNITT B1 UND B2)
TABELLE A 16	STATISTISCHE POPULATIONSKENNGRÖßEN GEOCHEMISCH-STRATIGRAPHISCHER EINHEITEN IN FLUVIATILEN SEDIMENTEN IM DIREKTEN HARZEINZUGSGEBIET DER SELKE (FLUBABSCHNITT C,D UND E)
TABELLE A17	ABFLUBMENGEN (Q), ABFILTRIERBARE STOFFE (AFS) UND SCHWERMETALLE IM WASSER AN AUSGEWÄHLTEN PEGELN DER BODE UND SELKE IM HARZ (GEWÄSSERGÜTEBERICHTE SACHSEN-ANHALT 1991 - 1996)
TABELLE A 18	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ABFLUBMENGEN (Q) UND SCHWERMETALLGEHALTEN IM WASSER AN AUSGEWÄHLTEN PEGELN DER BODE UND SELKE IM HARZ (RANGKORRELATION NACH SPEARMAN)
TABELLE A 19	GELÖSTE SCHWERMETALLE IM WASSER DER HARZSELKE UND AUSGEWÄHLTER NEBENBÄCHE IM MAI 1992 UND JUNI 1994
TABELLE A 20	ERGEBNISSE HYDROCHEMISCHER UNTERSUCHUNGEN AN AUSGEWÄHLTEN LÖSUNGSSTOLLEN IM EINZUGSGEBIET DER HARZSELKE
TABELLE A 21	GERINNESEDIMENTE DER HARZSELKE: LAGE UND BEZEICHNUNG DER PROBESTANDORTE, KORNGRÖßENANTEILE, pH-WERTE, SCHWERMETALLGEHALTE (Fe, Mn, Pb, Zn) IN SUBFRAKTIONEN UND ANREICHERUNGSFAKTOREN
TABELLE A 22 (FORTSETZUNG VON TABELLE A 21):	GERINNESEDIMENTE DER SELKE/HARZ: LAGE UND BEZEICHNUNG DER PROBESTANDORTE, SCHWERMETALLGEHALTE (Cd, Cu, As, Ag) IN SUBFRAKTIONEN UND ANREICHERUNGSFAKTOREN
TABELLE A 23	KORRELATIONSMATRIX FÜR SCHWERMETALLGEHALTE IN GERINNESEDIMENTEN DER HARZSELKE (RANGKORRELATION NACH SPEARMAN)
TABELLE A 24	¹⁴ C-DATIERUNGEN (INSTITUT FÜR BODENKUNDE UNIV. HAMBURG)
KARTE 1	OBERIRDISCHE WASSEREINZUGSGEBIETE VON BODE UND ELKE IM HARZ
KARTE 2	GEOLOGIE IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ
KARTE 3	LAGERSTÄTTEN(-ANZEICHEN) IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ
KARTE 4	GEOCHEMISCHE ANOMALIEN IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ
KARTE 5	BODENSUBSTRATEE IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ
KARTE 6A	STANDORTE DER HISTORISCHEN MONTANWIRTSCHAFTEN IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ VOR 1450 AD
KARTE 6B	STANDORTE DER HISTORISCHEN MONTANWIRTSCHAFTEN IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ, 1451-1648
KARTE 6C	STANDORTE DER HISTORISCHEN MONTANWIRTSCHAFTEN IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ, 1649 BIS 1763
KARTE 6D	STANDORTE DER HISTORISCHEN MONTANWIRTSCHAFTEN IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ, 1764 BIS 1903
KARTE 6E	ÜBERSICHT HISTORISCHER VERHÜTTUNGSBETRIEBE IN TEILEINZUGSGEBIETEN VON BODE UND SELKE IM HARZ BIS 1903
KARTE 7	VERBREITUNG UND MÄCHTIGKEIT VON POCHSANDLAGEN („APS-HORIZONTE“) IN DER SELKEAUEN ÖSTLICH VON STRABBERG
KARTE 8	LAGEPLAN DER BEPROBTEN PROFILE
KARTE 9	LAGEPLAN DER WASSER UND -SEDIMENTPROBEN AUS DEM GERINNEBETT DER SELKE

Tabellen

Tabella A1 Schwermetalle in Bodenprofilen, Erzen und Bachsedimenten geochemischer Landschaften im Einzugsgebiet von Bode und Selke im Harz (aus: RENTZSCH ET AL. 1984)

	Proben n	Mn						Zn						Pb					
		Mo	Me	Mi	SA	Min	Max	Mo	Me	Mi	SA	Min	Max	Mo	Me	Mi	SA	Min	Max
Bodenprofile im Untersuchungsgebiet																			
um Elbingerode	164	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	170	n.b.	5	547	n.b.	n.b.	136	n.b.	9	411
um Benneckenstein	302/124	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	107	n.b.	1	253	n.b.	n.b.	107	n.b.	14	350
um Hasselfelde	416/185	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	93	n.b.	16	224	n.b.	n.b.	72,5	n.b.	15	197
um Harzgerode	206/110	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	102	n.b.	47	269	n.b.	n.b.	83	n.b.	21	373
Gesteine und Erze																			
Kalke und Eisenerze des Elbingeröder Komplexes	3-4	685	1418	1124	n.b.	685	1418	677	639	528	n.b.	229	716	26	105	117	n.b.	26	182
Bachsedimente gegliedert nach geochemischen Landschaften im Untersuchungsgebiet																			
Elbingeröder Plateau	65-76	1000	1402	2281	386,0	250	27000	274	289	376	45,0	114	2765	107	106	105	4,9	19	218
Brockenmassiv	71-89	260	435	685	84,0	58	4495	92	136	173	17,4	32	887	64	200	231	18,1	41	1183
Brockenhänge	125-160	468	967	1298	135,0	70	10600	126	210	263	17,2	52	1370	94	149	170	8,2	20	751
Rambergmassiv	46-65	431	693	1103	187,0	138	6375	97	105	131	15,8	25	751	67	85	97	4,3	41	194
Rambergabhängige	66-84	838	1050	1430	119,0	351	6103	205	236	264	17,2	89	857	68	78	82	3,7	18	238
Unterharzer Hochfläche	1057-1147	1000	1910	2891	104,0	89	32130	162	205	268	9,0	23	3550	47	69	104	5,4	14	4231
Meisdorfer Randhänge	32-48	1300	1750	2421	n.b.	195	10360	175	188	218	n.b.	63	660	57	65	68	n.b.	17	149
Meisdorfer Land	9-11	650	680	1270	483,0	405	5955	116	107	124	26,0	20	339	20	46	43	4,1	20	61
Durchbruchstal Bode	54-66	2175	2191	2440	202,0	274	9939	225	242	299	25,0	138	1070	59	83	85	5,0	39	349
Durchbruchstal Selke	61-62	1927	2060	2830	333,0	668	15190	158	179	268	39,0	79	2040	61	69	142	26,0	37	979
Ostharz, gesamt	2455-2710	565	1640	2387	58	58	32130	140	190	247	4,9	20	3550	61	72	101	2,6	14	4231
	Proben n	Cu						Ag						As					
		Mo	Me	Mi	SA	Min	Max	Mo	Me	Mi	SA	Min	Max	Mo	Me	Mi	SA	Min	Max
Bodenprofile im Untersuchungsgebiet																			
um Elbingerode	164	n.b.	n.b.	33	n.b.	4	82	n.b.	n.b.	0,7	n.b.	0	3	n.b.	n.b.	18,0	n.b.	1,0	125,0
um Benneckenstein	302/124	n.b.	n.b.	36	n.b.	7	161	n.b.	n.b.	0,5	n.b.	0	4	n.b.	n.b.	9,9	n.b.	1,0	129,0
um Hasselfelde	416/185	n.b.	n.b.	25	n.b.	3,5	116	n.b.	n.b.	0,4	n.b.	0	3,5	n.b.	n.b.	11,8	n.b.	1,0	145,0
um Harzgerode	206/110	n.b.	n.b.	14	n.b.	1,5	113	n.b.	n.b.	0,4	n.b.	0	1,5	n.b.	n.b.	16,0	n.b.	1,0	62,0
Gesteine und Erze																			
Kalke und Eisenerze des Elbingeröder Komplexes	3-4	19	59	81	n.b.	19	160	0	1,5	4,5	n.b.	0	15	5	7,5	10,7	n.b.	3	22
Bachsedimente gegliedert nach geochemischen Landschaften im Untersuchungsgebiet																			
Elbingeröder Plateau	65-76	15	26	39	3,9	9	160	0,5	0,4	0,7	0,2	0	15	7,8	9,7	12,2	1,3	1,0	48,0
Brockenmassiv	71-89	12	19,3	28	2,3	6	169	0,5	0,4	0,5	0,1	0	3,5	7,0	13,9	21,0	2,6	1,0	108,0
Brockenhänge	125-160	15	21	29	8,2	5	450	0,5	0,5	0,6	0,1	0	9	9,0	11,1	13,4	1,0	1,0	61,0
Rambergmassiv	46-65	63	63	75	7,2	7	286	0,5	0,6	0,7	0,1	0	3	25,0	29,0	40,0	4,3	9,0	154,0
Rambergabhängige	66-84	40	61	85	7,9	18	400	0,5	0,6	0,7	0,05	0	3	39,0	55,0	69,0	10,8	1,0	653,0
Unterharzer Hochfläche	1057-1147	33	37	60	4,4	9	3800	0,5	0,5	1,1	0,2	0	213	7,2	7,1	7,0	5,5	3,7	8,8
Meisdorfer Randhänge	32-48	27	25	44	n.b.	15	173	0,5	0,5	1,2	n.b.	0,5	2,1	1,9	4,5	18,4	n.b.	1,0	457,0
Meisdorfer Land	9-11	13	26	32	6,2	6	66	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0	6,4	7,7	6,4	1,0	2,0	12,0
Durchbruchstal Bode	54-66	26	43	57	5,3	15	271	0,5	0,4	0,4	0,04	0	1,5	6,0	7,0	9,8	1,4	1,0	41,0
Durchbruchstal Selke	61-62	50	45	158	89,0	16	5550	0,5	0,6	1,2	0,3	0,5	1,2	6,0	7,7	30,0	6,9	1,0	279,0
Ostharz, gesamt	2455-2710	34	39	61	3,1	4	5500	0,5	0,5	0,8	0,1	0	213	10	9,9	24	2,4	1	5475

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
28	Kalte Bode	Oberer Eisenhammer Neuehütte	1	1648	1865			X	X						X		
29	Kalte Bode	Zainhammer Neuehütte	2	1648	1865			X	X						X		
31	Kalte Bode	Unterer Eisenhütte Neuehütte	3	1419	1680	X	X	X				X					
32	Kalte Bode	Unterer Eisenhammer Neuehütte	1	1792	1880				X						X		
33	Kalte Bode	Eisenhütte/Pochwerk Lüdershof	1	1483	1624	X	X					X		X		X	
34	Kalte Bode	Eisenhütte Lüdershof	1	1630	1680		X	X				X					
35	Kalte Bode	Eisenhütte/Hochofen Lüdershof	1	1736	1797			X	X			X					
36	Kalte Bode	Eisenhämmer/Pochwerk Lüdershof	1	1541	1624		X							X		X	
37	Kalte Bode	Eisenhämmer Lüdershof	1	1630	1680		X	X							X		
38	Kalte Bode	Eisenhämmer Lüdershof	2	1770	1890				X						X		
39	Kalte Bode	Zainhammer Lüdershof	1	1790	1890				X						X		
40	Kalte Bode	Drei obere Rothehütter Pochwerke	2	1679	1819			X	X					X			
41	Kalte Bode	Eisenhammer Rothehütte	1	1679	1925			X	X	X					X	X	
42	Kalte Bode	Eisenhütte Rothehütte	1	1679	1925			X	X	X		X					
43	Kalte Bode	Drei untere Rothehütter Pochwerke	2	1803	1819				X					X			
46	Kalte Bode	Eisenhütte Lukashof	2	1315	1680	X	X	X				X					
47	Harzbode	Eisenhütte Königshof	3	1350	1550	X	X					X					
50	Harzbode	Eisenhütte/Pochwerk Königshof	1	1551	1624		X					X		X			
51	Harzbode	Eisenhütte/-hammer Königshof	1	1641	1700			X				X					
52	Warme Bode	Glashütte Braunlage	1	1836	1905				X				X				
54	Warme Bode	Oberer Eisenhammer Braunlage	1	1648	1769			X							X	X	

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
55	Warme Bode	Untere Eisenhütte Braunlage	2	1531	1725		X	X				X					
56	Warme Bode	Unterer Eisenhammer Braunlage	1	1725	1857			X	X							X	
57	Warme Bode	Eisenhütte Kattnese	4/5	1531	17. Jh.(?)		X					X					
58	Warme Bode	Pochwerk Braunlage	1	1746	18. Jh.(?)			X									
60	Warme Bode	Kupferschlackenplatz an der Silberfuchsfarm	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X					X						
61	Warme Bode	Kupferschlackenplatz an der Silberfuchsfarm	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X					X						
62	Warme Bode	Kupferhütte am Doktorskopf	1	1610	1700		X	X			X						
64	Warme Bode	Kupferhütte Goldhaufen	1	1713	1721			X			X			X			
65	Brunnen- bach	Blaufarbenwerk Waldmühle	1	1756	1849				X		X						X
67	Warme Bode	Hütte Waldmühle	1	1719	1756			X			X						
69	Brunnen- bach	Schwefelsäurefabrik Schächermühle	1	1798	1858				X								X
71	Brunnen- bach	Kupferschlackenplatz Brunnenbach	5	10./11. Jh.	Spätmittel- alter	X					X						
72	Brunnen- bach	Kupferschlackenplatz Brunnenbach	5	10./11. Jh.	Spätmittel- alter	X					X						
73	Brunnen- bach	Kupferschlackenplatz Brunnenbach	5	10./11. Jh.	Spätmittel- alter	X					X						
74	Brunnen- bach	Eisenhütte am Brunnenbach	4	1557	1557		X					X					
75	Brunnen- bach	Weißblechhammer Brunnenbach	1	1717	1740			X				X					
76	Warme Bode	Eisenhütte Voigtsfelde	2	1260	1835	X	X	X	X			X					
78	Warme Bode	Zweiter Eisenhammer Voigtsfelde	1	1805	1870				X						X		
79	Warme Bode	Dritter Eisenhammer Voigtsfelde	1	1819	1835				X						X		
80	Warme Bode	Erster Eisenhammer Neuhütte	1	1835	1845				X						X		

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
81	Warme Bode	Zweiter Eisenhammer Neuhütte	1	1835	1845				X						X		
82	Warme Bode	Schleifwerk Neuhütte	1	1835	1845				X							X	
83	Warme Bode	Achsenschmiede	1	1819	1894				X						X	X	
85	Warme Bode	Weissblechhammer Sorge	1	1780	1870				X						X	X	
86	Warme Bode	Schwarzblechhammer Sorge	1	1835	1841				X							X	
87	Warme Bode	Eisenhammer Sorge	1	1648	1894			X	X						X		
89	Warme Bode	Eisenhütte Sorge	2	1424	1593	X	X					X					
90	Warme Bode	Eisenhütte Sorge	2	1648	1739			X				X					
91	Warme Bode	Eisenhammer/Schleifwe rk Sorge	1	1739	1873			X	X							X	
93	Warme Bode	Blechhammer	2	1700	1780			X	X							X	
94	Warme Bode	1. Pochwerk Tanne	1	1658	1795			X	X					X			
95	Warme Bode	Eisenhütte Tanne	3	1355	1618	X	X					X					
96	Warme Bode	Hochofen Tanne	1	1654	1867			X	X			X					
97	Warme Bode	Walzwerk/Giesserei Tanne	2	1840	1967				X	X						X	
98	Warme Bode	Sägeschmiede Tanne	2	1780	1867				X							X	
99	Warme Bode	Achsenschmiede Tanne	2	1780	1900				X						X		
100	Warme Bode	1. Eisenhammer Tanne	2	1355	1900	X	X	X	X						X	X	
101	Warme Bode	2. Pochwerk Tanne	1	1650	1736			X						X			
102	Warme Bode	2. Eisenhammer Tanne	2	1763	1900				X						X		
105	Warme Bode	Kupferhütte am Silberkolk	3	1226	1506	X	X				X						

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
106	Warme Bode	Burgruine Königsburg	5	11./12. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
109	Warme Bode	Troglurter Hütte	1	1548	1700		X	X				X		X	X	X	
110	Harzbode	Burgruine Susenburg	3	Hochmittel- alter (?)	Spätmittel- alter (?)	X						X					
111	Harzbode	Zwei Susenburger Hütten	1	1538	1600		X					X		X		X	
112	Harzbode	Rübeländer Pulvermühle	1	1865	1919				X	X							X
113	Harzbode	Rübeländer Pulverfabrik	1	1865	1918				X	X							X
115	Harzbode	Eisenhütte nordwestlich Elbingerode	3	1427	1600	X	X					X					
116	Bode, indirekt	Schlackenplätze südlich Egininkisrod	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
117	Bode, indirekt	Schlackenplätze südlich Egininkisrod	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
118	Bode, indirekt	Schlackenplätze nordwestlich Egininkisrod	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
119	Harzbode	Wüstung/Ruine Bodfeld	3	10. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
120	Harzbode	Schlackenplätze nördlich Bodfeld	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
121	Harzbode	Schlackenplätze nördlich Bodfeld	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
122	Harzbode	Schlackenplätze nördlich Hordeshusen	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
123	Harzbode	Schlackenplätze nördlich Hordeshusen	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
124	Harzbode	Wüstung Egininkisrod	5	10. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
125	Harzbode	Wüstung Hordeshusen	5	12. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
126	Harzbode	Wüstung Heiligenstock	5	11. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
127	Harzbode	Wüstung Ertfelde	5	10. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
128	Harzbode	Wüstung Peersgrund	5	10. Jh.	Spätmittel- alter	X						X					
129	Bode, indirekt	Schlackenplatz in Hüttenrode	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
130	Bode, indirekt	Schlackenplatz in Hüttenrode	5	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
132	Harzbode	Eisenhütte im Mühlthal	3	1427	1600	X	X					X					
136	Harzbode	Öl-/Papiermühle im Schwefeltal	1	1698	1846			X	X								X
136a	Harzbode	Querfurtshütte im Schwefeltal	3	1448	1578	X	X					X					
137	Harzbode	Papiermühle im Kalten Tal	2	1788	1913				X	X							X
139	Harzbode	Sallingermühle	2	1506	1950		X	X	X	X							X
140	Harzbode	Hütte im Kalten Tal	3	1448	1618	X	X					X					
142	Harzbode	Rübeländer Blankschmiede	1	1788	1867				X							X	
144	Harzbode	Obere Rübeländer Eisenhütte	2	1320	1618	X	X					X					
145	Harzbode	Obere Rübeländer Eisenhütte	1	1648	1924			X	X	X		X					
146	Harzbode	Zwei Rübeländer Eisenhämmer	2	1565	1897		X	X	X					X			
147	Harzbode	Frischhammer Rübeland	1	1846	1867				X						X		
148	Harzbode	Pochwerk Rübeland	1	1788	1846				X				X				
152	Harzbode	Gießerei Rübeland	1	1830	1924				X	X						X	
153	Harzbode	Verkohlungsanstalt Rübeland	1	1850	1871				X							X	
154	Harzbode	Dreh-/Bohrwerk Rübeland	3	1871	1921				X	X						X	
155	Harzbode	Untere Rübeländer Eisenhütte	3	1550	1618		X					X		X			
156	Harzbode	Neuwerker Blankschmiede	2	1717	1890			X	X							X	
159	Harzbode	Eisenhütte Neuwerk	2	1448	1867	X	X	X	X			X			X		
160	Harzbode	Pochwerk Neuwerk	2	1790	1800				X				X				
161	Harzbode	Eisenhämmer Neuwerk	2	1448	1867	X	X	X	X				X	X	X		
163	Harzbode	Steinbruchwasserkraft- werk	1	1890	1961				X	X							
167	Rappbode	Gustavshütte	3	1448	1714	X	X	X				X			X		
168	Rappbode	Eisenhütte an der Hüttenmühle	1	1700	1747			X				X					
170	Rappbode	Kahlenberger Hütte	2	1448	1714	X	X	X				X			X		
172	Rappbode	Trautensteiner Eisenhammer	2	1448	1618		X								X		

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Bode/Harz																	
282	Brunnenba- ch	Eisenhütte am Weißblechhammer	4	1557	1557		X					X					X
283	Bode, indirekt	Seigerhütte Wernigerode	4	Frühe Neuzeit	Frühe Neuzeit		X				X						
284	Bode, indirekt	Eisengießerei Wernigerode	5	Frühe Neuzeit	Frühe Neuzeit		X										
Einzugsgebiet der Selke/Harz																	
1	Selke (A)	Wüstung Selkenkirch	3	Hochmittel- alter	Spätmittel- alter	X						X					
9	Selke (B1)	Agezucht-Pochwerk	1	1760	1795				X					X			
10	Selke (B1)	Chemische Fabrik Fluor	1	1888	1927				X	X							X
14	Selke (B2)	Straßberger Oberhütte	1	1700	1730			X			X						
15	Selke (B2)	Rödelbachpochwerk	1	1717	1765			X						X			
16	Selke (B2)	Straßberger Pochwerke	1	1712	1806			X	X					X			
17	Selke (B2)	Straßberger Unterhütte	1	1700	1806		X	X	X		X						
18	Selke (B2)	Gräfliche Hütte Straßberg	3	1462	1566		X				X						
22	Selke (B2)	Selkepochwerk	1	1693	1905			X	X					X			
23	Selke (B2)	Birnbaumhütte	1	1695	1739			X			X						
24	Selke (B2)	Birnbaumpochwerk	2	1736	1780			X	X					X			
26	Selke (B2)	Schmelzhütte Rinkemühle	4	1518	1518		X				X						
28	Selke (B2)	Pochwerk unterm Fürstenteich	1	1729	1910			X	X					X			
29	Selke (B2)	Fürst-Victor-Friedrich- Silberhütte	1	1692	1910			X	X	X	X				X		
30	Selke (B2)	Vitriol- und Schwefel- werk Silberhütte	1	1797	1910				X								X
31	Selke (B2)	Pottaschenhütte Silberhütte	2	1668	1692			X									X
33	Selke (B2)	Pulvermühle Silberhütte	2	1608	1700		X	X									X
34	Selke (B2)	Pulvermühle/Pyro- technik Silberhütte	1	1700	1990			X	X	X							X
39	Selke (C)	Ericksburger Hütte und Pochwerk	1	1720	1742			X			X			X			
40	Selke (C)	Pochwerk unterm oberen Karlsteich	2	1500	1608		X					X		X			
41	Selke (C)	Drahtzug Neues Werk	1	1769	1840				X						X	X	
42	Selke (C)	Neue Hütte	2	1563	1608		X				X						
43	Selke (C)	Stahlhammer	1	1782	1875				X						X	X	

Nr.	Einzugs- gebiet	Betriebsname	Qualität der Datierung	Betriebs- beginn	Betriebs- ende	vor 1450	1451- 1648	1649- 1763	1764- 1903	nach 1903	Buntmetall- hütte	Eisen- hütte	Glas- hütte	Poch- werk	Eisen- veredelung	Eisen- verarbeitung	Sonstiger Betrieb
Einzugsgebiet der Selke/Harz																	
44	Selke (C)	Mägdesprunger Eisenhütte	1	1646	1875			X	X			X		X	X	X	X
45	Selke (C)	Silberhütte Mägdesprung	1	1710	1728		X	X			X			X			
46	Selke (C)	Karlswerk	1	1800	1842				X						X	X	
48	Selke (C)	Kleine Teufelstalmühle	2	1748	1777			X	X								
50	Selke (C)	I. Friedrichshammer	1	1777	1883				X						X		
51	Selke (C)	II. Friedrichshammer	1	1777	1883				X						X		
52	Selke (D)	III. Friedrichshammer	1	1782	1861				X						X	X	
54	Selke (D)	IV. Friedrichshammer	1	1786	1861				X						X	X	
55	Selke (D)	Schleifhütte/Sägemühle Schneidemühle	1	1838	1931				X	X						X	
59	Selke (D)	Kupferhammer	3	1311	1536	X	X				X				X		
61	Selke (E)	Papiermühle Meisdorf	1	1753	1878			X	X								X
Buntmetallhütten aus benachbarten Flußeinzugsgebieten																	
279	Zorge	Kupferhütte am Sprakelbach	3	1254	1506	X	X				X						
280	Zorge	Kupferhütte am Staufenberg	4	1571	1571		X				X						
281	Zorge	Walkenrieder Kupfer- hütte "Szurgenge"	3	1249	1506	X	X				X						
62	Wipper	Hütte am Pfaffenberg	4	1492	1492		X				X						
63	Eine	Hütte am Clusberg	4	1572	1572		X				X						

1	Betriebsbeginn und -ende genau bekannt
2	Betriebsbeginn oder -ende nicht genau bekannt
3	Betriebsbeginn und -ende nicht genau bekannt
4	urkundliche Erwähnung
5	archäologische Datierung

Tabelle A3 *Koordinaten und Kurzbeschreibung der analysierten Profile in den Einzugsgebieten von **Warmer Bode und Kalter Bode***

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
KB:R: 26 19 310 H: 57 36 220		
0-70	aGo-M	Su4, dunkelbraun, locker, viele blaue Schlacken, leicht rostfleckig
70-105	II aGo	Su3, gG/gGr3, graubraun, stark rostfleckig, deutlich skelettreicher als Schicht I, oben vereinzelt mit blauen Schlacken, Basis schlackenfrei
105+	III IC	Kies, Schutt?
WB_1: R: 26 15 580 H: 57 31 590		
0-55	aGo-M	Su3-4, dunkelbraun, locker viele blaue Schlacken, Holzkohlen, leicht rostfleckig
55-90	aM-Go	Su3-4, braun, deutlich mehr Rostflecken als aGo-M-Horizont
90-115	II aGo	Su3, viele Eisen-/Mangankonkretionen, stark fleckig, Basis verockert, Holzkohlen
115-145	Gr	Su3, grau bis dunkelgrau, Pflanzen- und Wurzelreste, Holzkohlen
145+	III IC	Kies, Schutt?
BB: R: 26 14 520 H: 57 31 020		
0-55	aGo-M	Su2, dunkel-graubraun, leicht rostfleckig (nach unten zunehmend)
55-85	aM-Go	Su3, hell-graubraun, stärker rostfleckig, bei ca. 60 cm Holzkohleschicht (ca. 3 cm mächtig)
85-95	II Gr	Su3, grau mit Eisenflecken an Wurzelbahnen und Sandbändern, oben Holzkohlen angereichert, Pflanzenreste
95+	III IC	gG*, Grobkies, Pflanzenreste, Baumstämme (Balken?)
WB_2: R: 26 16 050 H: 57 31 220		
0-60	aGo-M	Su3-4, gG2*, dunkelbraun, locker, viele blaue Schlacken, Holzkohlen, nach unten heller und kiesiger
60-75	II aGo-M	Su4, gG/gGr3*, braun, dicht
75+	III IC	gG/gGr*, Grobkies und -grus
WB_3: R: 26 20 630 H: 57 32 940		
0-20	aM-Go	Su3, schmutzig braun, locker, rostfleckig, blaue Schlacken
20-60	II aM Go	Su3, geringerer Grobsandanteil als Schicht I, braungrau, stärker rostfleckig, Holzkohlen
60-75	III aM-Go	Su3, braungrau, rostfleckig, deutlich bindiger als Schicht II
75-80	aGo	Su3, leuchtend rotbraun (Ocker)
80-95	Gr	Su3, Gr, blaugrau
95-120	IV Ghr	Su3, oben grau unten dunkelgrau mit vielen Pflanzen- und Holzreste, Eisenflecken an Wurzelbahnen, Holzkohlen, Pflanzenreste, H ₂ S-Geruch
WB_4: R: 26 20 940 H: 57 33 020		
0-85	aGo-M	Su2, dunkelbraun, viele blaue Schlacken, Holzkohlen
85-90	II IC-Go	Su2, f-mG5*, schwarzbrauner verbackener Sand mit gerundeten dunklen, gerundeten Schlacken, stark rostfleckig
90-120	III Ghr	Su2, grau, Pflanzenreste, Holzkohlen, blaue Schlacken
120+	IV IC	gG*, Grobkies

Tabelle A 4 Koordinaten und Kurzbeschreibung der analysierten Profile im Einzugsgebiet der *Harzbode*

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
HB1_1: R: 26 25 280 H: 57 36 090		
0-10	Ah	Su4, braun, locker, Wurzelfilz
10-30+	ICv-Bv	Su4, gG/fO5*, hellbraun, sandiger Grobkies/gerundete Steine
HB1_2: R: 26 25 220 H: 57 36 150		
0-60	aGo-M	Su4, dunkelbraun, locker, rostfleckig, vereinzelt Holzkohle und blaue Schlacken
60-130	II (aM)-Go	Su4, hellbraun, dichter, bindiger und stärker rostfleckig als Schicht I, etwas, vereinzelt Holzkohle
130+	III IC	G6, Kies
HB1_3a: R: 26 25 120 H: 57 36 040		
0-30	aGo-M	Su4, G1*, dunkel-graubraun, oben locker, leicht rostfleckig, viele blaue Schlacken
30-70	II aGo-M	Su4, schmutzig graubraun, stärker rostfleckig als Schicht I, dicht, viel zersetzte Holzkohlereste
70-115	III aM-Go	Su4, hellbraun, fleckig, an Basis ca. 2 cm verbackenes Eisenkonkretionsband, vereinzelt blaue Schlacken und Holzkohlen
115-140	IV Ghr	Su3, blaugrau, vereinzelt Holzkohlen
140-150	V IC	Ss über G, Holz- und Pflanzenreste
HB1_3b: R: 26 25 200 H: 57 36 200		
0-40	aGo-M	Su3, schwarzbraun, sehr locker, leicht rostfleckig, viele blaue Schlacken und unzersetzte Holzkohle
40-120	aGo-M	Su3, dunkelbraun, locker, leicht rostfleckig, viele blaue Schlacken und Holzkohle
120+	II IC	G, Kies
HB2_4: R: 26 32 890 H: 57 35 480		
0-10	Ah	Su4, gG2*, braun, Wurzelfilz
10-40+	Bv-ICv	Su4, gG/fO4*, hellbraun, sandiger Grobkies/gerundete Steine
HB2_5: R: 26 32 900 H: 57 35 480		
0-30	aGo-M	Su4, gG1*, dunkelbraun, leicht rostfleckig, blaue Schlacken, Holzkohlen
30-70	aM-Go	Su4, gG1*, braun, vereinzelt blaue Schlacken, rostfleckig
70+	II IC	Ss*, G6*, sandiger Kies
HB2_6: R: 26 32 930 H: 57 35 480		
0-30	aGo-M	Su4, gG1*, dunkelbraun, viele blaue Schlacken, Holzkohlen
30-70	aGo-M	Su4, gG1*, braun, blaue Schlacken, Holzkohlen
70+	II IC	Ss, G6*, sandiger Kies
HB3_7: R: 26 35 670 H: 57 34 630		
0-35	aM	Su4, schwarzbraun, locker, viele blaue Schlacken und Holzkohlen
35-40+	II aGo	Su4, G4*, hellbraun, dicht, rostfleckig, keine Schlacken

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
HB3_8: R: 26 35 680 H: 57 34 610		
0-20	aM	Su3-4, G2*, dunkelbraun, locker, blaue Schlacken, Holzkohlen, oben sandiger
20-40	II aGo	Su4, G3*, hellbraun, rostfleckig, dicht
40-80	III aGo	Slu-Sl3, G2*, hellbraun, rostfleckig, deutlich bindiger als Schicht II
80+	II IC	Ss*, G4*, sandiger Kies
HB3_9: R: 26 35 850 H: 57 34 350		
0-20	aGo-M	Su3, G1*, dunkelbraun, leicht rostfleckig, locker, viele blaue Schlacken, Holzkohlen
20-60	II aM-Go	Su4, G/Gr3*, braun, rostfleckig, dichter als 0-40 cm
60+	II IC	gS/mS*, G4*, sandiger Kies
HB3_10: R: 26 35 870 H: 57 34 320		
0-100	aGo-M	Su4, G2*, oben dunkel- unten hellbraun, leicht rostfleckig, locker viele blaue Schlacken, Holzkohlen, unten kiesiger
100+	II IC	G4*, Kies

Tabelle A5 Koordinaten und Kurzbeschreibung der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (*Flußabschnitt B1*)

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
B1_1: R: 26 038 040 H: 57 258 860		
0-20	aM	Su2, dunkelbraun, locker
20-35	II aM	Slu, schmutzig graubraun, dichter, Glas-/Keramikscherben, Knochen, Holzkohlen
35-50	III aGo-M	Su4, fG2, schmutzig graubraun, Eisenflecken an Wurzelbahnen, Holzkohlen
50-55	IV aM-Go	Su4, hell-graubraun, Eisenflecken
55-100	IV aGo	Slu (Durchschnitt), hellgrau mit Eisenflecken und rostroten Sandbändern
100-130	V aGo	Slu, Basis weniger lehmig, grau mit Eisenflecken, keine Sandbänder
130-140	Gr	Slu, blaugrau, Eisenflecken an Wurzelbahnen
140+	VI IC	G4* (Kies)
B1_2a: R: 26 38 940 H: 57 25 240		
0-30	aGo-M	Su3, braun, leicht rostfleckig, locker, vereinzelt Holzkohlen, nach unten zunehmend
30-85	aM-Go	Su3, schmutzig braun und grau gefleckt, mehr Rost- und Manganflecken
85-145	II IC-Go	G, gS, bis ca. 100 cm dunkelgrau darunter rostrot und verbackener sandiger Kies
145-155	III Ghr	Su4, dunkel-blaugrau, modriger Geruch
155+	IV IC	G5, Bachkiese, vereinzelt Holzkohlen
B1_2b: R: 26 38 920 H: 57 25 240		
0-30	aGo-M	Su3, dunkelbraun, leicht rostfleckig, Basisfläche schräg zum Gerinnebett hin einfallend
30-110	II aM-Go	Su4, schmutzig braun und grau gefleckt, deutlich bindiger und mehr Rost- und Manganflecken, vereinzelt Holzkohlen, Basis etwas dunkler
110-140	aGo	Su4, schmutzig hellgrau, deutlich dichter als Schicht II, zahlreiche Rost- und Manganflecken
B1_3: R: 26 40 470 H: 57 24 160		
0-+80		Dammaufschüttung
0-20	aGo-M	Su3, braun, leicht rostfleckig
20-50	II aGo	Su4(Slu), schmutzig hell-braungrau mit braunen (oben) und rostroten (unten) Eisenflecken v. a. an Wurzelbahnen, oben hellgrau mit schwarzen Konkretionsbändern
50-110	III aGo	Slu, schmutzig dunkelgrau, deutlich feinkörniger als Schicht II, ab 70 cm deutliche Zunahme von Eisen-/Manganflecken und Vorkommen glitzernder Mineralkomponenten (sulfidische Erzbruchstücke?), ab 90 cm Mangankonkretionen
110-120(140)	IV aGo	Gr, gS, rostroter verbackener Schutt, stark schwankende Mächtigkeit (evtl. künstlich angelegter Graben?)
120-135	V aGo	Su4/Slu, hellgrau mit Eisenflecken, mehr Holzkohlen als in darüberliegenden Schichten
135-160	VI Ghr	oben blaugrau in der Mitte eher dunkelgrau, leicht violettstichig und mit vielen Pflanzenresten bzw. Holzkohlen, Modergeruch, Basis wieder heller
160+	VII IC	G/Gr (Kies und Schutt)

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
B1_4: R: 26 40 700, H: 57 23 860		
0-30	I	sandige Dammaufschüttung mit Kiesen und Steinen
30-80	II aGo	Su4, G2, schmutzig graubraun, Bleich-, Eisen- und Manganflecken (v.a. zwischen 70 und 80 cm), vereinzelt Sand- und Kieslinsen, Holzkohlen
80-120	III aGo	Su4, hellgrau, weniger fleckig und deutlich weniger (Grob-)Sand als Schicht II, vereinzelt rostrote Sandlinsen, vereinzelt Holzkohlen
120-160	IV aG(j)o	Su4, hell-graubraun, deutlich weniger Flecken als oben und dichter gelagert, untere 10 cm dunkler (Wasserstau), vereinzelt Holzkohlen
160-190	V Gjr	Slu, grau, deutlich bindiger als Schicht IV, oben vereinzelt Eisenflecken an Wurzelbahnen, unten Röhren aus Eisenkonkretionen um alte Wurzeln
190-260	VI Gjr	Ut4*, grau, dichter als Schicht V, Holz- und Wurzelreste, nach unten sandiger und skelettreicher
260+	VII IC	gS, G, Sand und Skelett

B1_5: R: 26 41 470 H: 57 23 370

0-40	aGo-M	Su4, braun, locker, , vereinzelt Holzkohlen, Ziegelbruchstücke, nach unten zunehmend Eisen-/Manganflecken und etwas heller
40-60	II aGo-M	wie oben jedoch deutlich geringerer (Grob-)Sandgehalt
60-80	III IC	gS*, G5*, sandiger Kies mit Scherben und Ziegelgeröllen
80-90	IV aGor	Slu*, hellgrau mit schwarzen Konkretionsbändern
90-150	Gr	Slu*, blaugrau
150+	V IC	G/Gr (Kies u. Schutt)

Tabelle A6 Koordinaten und Kurzbeschreibung der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (*Flußabschnitt B2*)

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
B2_1: R: 26 42 430 H: 57 23 090		
0-35	aGo-M	Su3, braun, locker, Holzkohlen, Basis leicht rostfleckig
35-95	II aGo-PS	Wechselagerung von schwarzen Pochsanden (Ss*) und braungrauem Slu* (jeweils 1-4 cm mächtig), ab ca. 70 cm weisen die Pochsandlagen rostrote Überzüge auf und sind teilweise stark verbacken
95-105	III aPS-Gohr	Su4 (Durchschnitt), laminare Wechselagerung von dunkelgrauem Su3* und rostrottem Ss
105-210	IV Ghr	Su4, grau, Basis schwarzgrau und reich an Holzkohlen sowie Pflanzenresten
210+	IC	gS*, G/Gr4* sandiger Kies und Grus
B2_2: R: 26 42 440 H: 57 23 090		
0-30	aGo-M	Su2, braun, locker an der Basis
30-35	Ib aM-Go	wie oben mit laminaren, dunklen Sandlagen
35-40	II faM-Ah	Su2, dunkelbraun, locker
40-65	aGo-M	Su2, braun, leicht bleich und rostfleckig
65-90	III aGo-M	Su2, braun, leicht bleich und rostfleckig, mit Sandlinsen, deutlich geringerer (Grob-)Sandgehalt als Schicht II
90-160+	IV fF	Su3 (Mittelwert), schräg geschichtete Gerinnesedimente, Sand (m-fS*) in Wechselagerung mit Su2*
B2_3: R: 26 41 850 H: 57 23 280		
0-20	aGo-M	Su4*, graubraun, leicht rostfleckig
20-35	II aGo-M-PS	Wechselagerung von dunkelbraunen Pochsanden (Ss*) und graubraunem aM-Material (Su4*)
35-45	III aGho	Su4*, schmutzig graubraun, rostfleckig
45-65	IV aGo-PS	Wechselagerung aus hellgrauem Lu* und braunem Pochsand (Ss*)
65-75	V aG(j)o	Slu, hellgrau, leicht rostfleckig, Eisen-/Mangankonkretionen
75-85	aG(j)ho	Slu, wie oben, jedoch Grundfarbe etwas dunkler (Humus?), Obergrenze scgarf, Untergrenze diffus
85-115	aG(j)o	Slu, wie oben, jedoch Grundfarbe wieder hellgrau
115-130	aG(j)ho	Su4, wie bei 75-85, Obergrenze jedoch nicht ganz so scharf ausgeprägt
130-140	aG(j)o	Slu, hellgrau, rostfleckig, Eisen-/Mangankonkretionen
140+	IC	Gr, kantiger Grus
B2_4: R: 26 43 350 H: 57 23 440		
0-50	aGo-M	Su3-4, dunkelbraun, locker, leicht rostfleckig, Holzkohlen
50-60	aGo-M-PS	Su3 (Mittelwert), laminare Wechselagerung von dunkelbraunen Pochsanden mit aGo-M-Material
60-115	II aGo-PS	Su3 (Mittelwert), laminare Wechselagerungen von Ss* und Slu* oben je 1-2 cm, unten welliger, mächtige Pochsandlage bei 90-105 cm Tiefe, Basis der Schicht fällt in Richtung des Gerinnebettes leicht schräg ein
115-137	III aM-Go	Su4, schmutzig graubraun, rostfleckig, rechts graublau Krotowine (?) mit blaugrauem Gr-Material
137-170	IV aGo	Su3-4 (Mittelwert), Wechselagerung dichter, verbackener, schmutzig dunkelgrauer Sand- und rostfleckiger Su4 Lagen, Basissandlage (163-170 cm) stark rostfleckig
170-190	V Gr	Su3-4, blaugrau, viele Pflanzenreste

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
B2_5a: R: 26 43 680 H: 57 23 960		
0-20	aM	Su2, dunkel-braungrau, sehr locker
20-35	II aGo-PS	Pochsandlagen, Wechsellagerung von dunkelbraunen bis schwarzen Pochsanden (Ss*) und leicht rostfleckigem hellgrauem Slu*
35-70	aPS-Go	wie oben, Sandlagen rostrot und teilweise stark verbacken
70-140	III aM-Go	Slu-Su4, braungrau, rostfleckig, vereinzelt Holzkohlen, oben (70-80 cm) noch mit Pochsandlage verzahnt
140-195	IV Gr	Su4, blaugrau, viele Pflanzenreste
195+	V	gS, G4 (sandiger Kies), Holz- und Pflanzenreste

B2_5b: R: 26 43 720 H: 57 23 960		
0-20	aM	Su2, dunkel-braungrau, sehr locker
20 -70	II aGo-PS	Wechsellagerung von dunkelbraunen bis schwarzen Pochsanden (Ss*) und hellgrauem, rostfleckigem Slu*, zwischen 40 und 60 cm etwas heller, d.h. geringerer Anteil an dunklen Pochsandlagen
70-120	III aM-Go	Slu*, braungrau, rostfleckig, vereinzelt Holzkohlen, oben (70-90 cm) noch mit dünnen, welligen Pochsandlagen verzahnt
120+	III IC	gS*, G5*, Kies

B2_6: R: 26 45 730 H: 57 25 380		
0-30	aM-PS	Wechsellagerung von schwarzen Pochsand- und dunkelbraunen humosen Slu*-Lagen
30-70	aM-PS-Go	Wechsellagerung von schwarzen Pochsand- und braunen humosen Slu*-Lagen, Slu-Lagen deutlich mehr Rostflecken
70-135	aPS-Gor	Wechsellagerungen von mächtigeren (bis 10 cm) graublauen Slu* - mit dünnen (2-3 cm) rostroten Pochsandlagen
135-170	Gr	Su4, graublau, Basis mit höherem (Grob-)Sandanteil
170+	IC	gS*, Gr3*Schutt

B2_7a: R: 26 45 990 H: 57 25 980		
0 - 30	aM	Su3, braungrau, sehr locker
30-90	II aPS	dunkel rotbraune feinkörnige Pochsandlagen, sehr dicht, helle Ul-Lagen fehlend oder sehr dünn (<1 cm!)
90+	III IC	gS*, G4*, Sand, Kies

B2_7b: R: 26 45 990 H: 57 25 990		
0-10	aGo-M	Slu*, braun, leicht rostfleckig, stark durchwurzelt
10-75	aGo-PS	Laminare Wechsellagerung von braungrauem Slu* und dunkelbraunen Pochsandlagen (Ss*)
75-100	aGo	Slu*, schmutzig graubraun, rostfleckig
100+	IC	gS, G, Sand, Kies

Tabelle A7 Koordinaten und Kurzbeschreibung der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (*Flußabschnitte C bis E*)

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
C_1: R: 26 49 280 H: 57 28 540		
0-15	aM	Su4, dunkelbraun, Wurzelfilz, locker
15-30	II M-Bv	Su4, braun, dichter, subpolyedrisches Gefüge
30-110	M-Go	Su4-Slu, G/Gr3, braun, fleckig, sehr dicht, nach unten zunehmender Skelettanteil
110+	III IC	Gr/X (Schutt)
C_2: R: 26 49 280 H: 57 28 530		
0-10	aGo-M	Su4, dunkel-graubraun, locker, vereinzelt blaue Schlacken
10-20	a(PS)-M	Su4-Ss, Wechsellagerung von dunkel-braunrotem Pochsand mit braunem Su4
20-80	aGo-M	Su4, streifig graubraun, dicht, Holzkohlen, blaue Schlacken, nach unten fleckiger, vereinzelt Holzkohle und blaue Schlacken
80+	II IC	Gr/X (Schutt)
D_1: R: 26 49 780 H: 57 28 760		
0-30	aGo-M	Su2, streifig schmutzig graubraun, blaue Schlacken
30-37	aGo-PS-M	Su2 (Mittelwert), Pochsandlagen, Wechsellagerung von dunkelbraunen lockeren Pochsanden (Ss*) und schmutzig graubraunem Zwischensediment (Su4*; aM-Material), vereinzelt blaue Schlacken
37-100	II a(PS?)-Go	Su3 (Mittelwert), Wechsellagerung von hell-graubraunem Slu* und rostroten (Poch-?) Sandlagen (Ss*), nach unten eher braungrau
100-110	Gr	Su3 (Mittelwert), Wechsellagerungen von dunkelgrauem Slu* und leicht rostroten (Poch-?)Sandlagen (Ss*)
110+	III IC	Ss*, grauer Grobsand
D_2: 26 51 390 H: 57 29 480		
0-28	aGo-(PS-)M	Su4*, dunkelbraun, sehr locker, viele blaue Schlacken, bei 8 -10 cm Tiefe verockertes (Poch-?)Sandband (fS*, mS*)
28-60	II a(PS)-Go	teilweise verockerte (Poch-?)Sandlagen mit vereinzelt hell-graubraunen Schlufflagen, viele blaue Schlacken
60-70+	III IC	gS*, G3*, blaue Schlacken
D_3: R: 26 51 390 H: 57 29 500		
0-40	aGo-M	Su4, braun, oben vereinzelt blaue Schlacken, nach unten zunehmend fleckig und kaum noch blaue Schlacken
40-50	II aM-Go	Su3, schmutzig braun, fleckig, dichter als Schicht I, viele Eisen- und Manganflecken
50-95	III M-Go	Slu-Su4, schmutzig braun, fleckig, sehr dicht, viele Eisen- und Manganflecken
95-100+	III IC	gG/O(?)6 (Kiese, Schotter?)
D_4: R: 26 51 420 H: 57 29 620		
0-60	aGo-M	Su4, G1, braun, oben vereinzelt blaue Schlacken
60-95	II Go-M	Slu, G3, hellbraun, fleckig, deutlich bindiger und dichter als Schicht I
95+	III IC	Gr, X (Grus, Schutt)

Tiefe [cm]	Schicht Horizont	Kurzbeschreibung
E_1: R: 26 56 270 H: 57 31 000		
0-5	aM	Su2, schwarzgrau, sehr locker
5-15	II aM-fAh	Su2, fossiler humoser Oberboden
15-35	III aGo(-PS-)M	Su3, dunkel-braungrau, dichter als Schicht I, undeutliche Wechsellagerungen von sekundär verlagerten Pochsand- und braun-humosen Su4-Lagen, vereinzelt blaue Schlacken
35-60	IV aGo-M	Su4, graubraun, leicht rostfleckig, blaue Schlacken
60-70	aM-Go	Su2-3, schmutzig hellgraubraun, rostfleckig, blaue Schlacken
70-105	V IC-Gro	Ss*, G5*, sandiger Kies mit rostroten bzw. schwarzen Überzügen, ab ca. 90 cm Tiefe verzahnt mit grauem Su3, viele Holzkohlen
105-120	VI Ghr	Su2, dunkelgrau mit Holzkohlen und blauen Schlacken, modriger Geruch
120+	VII	G*, Kies

E_2: R: 26 57 957 H: 57 31 520

0-25	aM(-Ah)	Su4, braun, humos, blaue Schlacken
0-25	aM(-Ah)	Su4, braun, humos, rostfleckig, blaue Schlacken

E_3: R: 26 58 010 H: 57 31 620

0-5	aM	Su2, dunkelbraun, sehr locker, jüngstes Hochwassersediment (Mai 1994)
5-10	II aM-fAh	S2, fossiler braun, humoser, ehemaliger Oberboden
10-70	aGo-M	Su2-3, dunkelbraun, locker, blaue Schlacken, Holzkohlen
70+	III IC	gS, gG, Sand und Kies

E_4: R: 26 58 060 H: 57 32 130

0-10	aM	Su4, dunkelbraun, Wurzelfilz
10-70	aGo	Su4, hellbraun, fleckig
70-80	II IC	S, G, Sand und Kies
80-90	III aGo	Su4, hellbraun, viele Eisen-/Manganflecken, vereinzelt schwarze Konkreteionen u. Holzkohlen
90+	IV IC	S, G (Sand, Kies)

Tabelle A8 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Warmen Bode und Kalten Bode

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
KB/1	10	aGo-M	6,14	23,1	Su4	18,7	22,1	15,8	56,5	24,9	11,8	3,7	40,4	3,0	0,8	25,4	n.b.	256	n.b.	59	5,1	n.b.	2,8
KB/2	20	Ib aGo-M	5,14	6,4	Su4	8,7	27,1	14,9	50,7	22,0	15,8	6,1	44,0	5,3	1,7	33,6	n.b.	200	n.b.	46	3,4	n.b.	2,6
KB/3	40	Ic aGo-M	5,45	3,7	Su4	22,4	25,4	10,8	58,6	22,0	12,1	3,9	37,9	3,4	0,5	38,6	n.b.	226	n.b.	56	3,8	n.b.	1,9
KB/4	60	Ic aGo-M	5,72	3,9	Su4	17,7	24,3	8,9	50,9	15,2	18,7	8,3	42,2	6,9	0,5	36,5	n.b.	295	n.b.	77	3,4	n.b.	0,9
KB/5	70	Id Go-M	5,89	3,5	Su3	24,5	24,5	22,0	71,0	19,2	6,1	1,9	27,2	1,8	0,9	33,4	n.b.	300	n.b.	92	2,9	n.b.	2,6
KB/6	80	II aGo	6,11	1,8	Su3	24,9	24,5	22,6	72,1	17,7	6,2	2,1	25,9	2,0	0,9	31,8	n.b.	121	n.b.	57	2,6	n.b.	1,8
KB/7	95	II Go	6,18	1,7	Su3	16,4	26,3	27,2	69,9	18,3	6,9	2,5	27,7	2,3	1,7	33,7	n.b.	102	n.b.	49	3,6	n.b.	2,2
KB/8	105	II aGo	6,19	1,5	Su3	25,3	24,2	22,6	72,2	17,0	6,2	2,4	25,6	2,1	0,9	22,5	n.b.	55	n.b.	28	1,6	n.b.	1,4
WB_1/1	10	aGo-M	5,65	6,4	Su3	11,1	30,3	20,6	62,1	20,7	10,6	3,6	34,9	3,0	1,9	31,8	n.b.	255	n.b.	58	2,3	n.b.	1,9
WB_1/2	20	Ib aGo-M	5,54	5,3	Su3	7,3	33,4	32,3	73,0	16,9	6,5	1,9	25,2	1,8	4,4	33,0	n.b.	288	n.b.	70	2,5	n.b.	2,2
WB_1/3	40	Ic aGo-M	5,25	6,4	Su4	13,2	26,6	16,1	55,9	22,0	13,4	4,7	40,1	4,1	1,2	34,2	n.b.	318	n.b.	76	2,1	n.b.	3,1
WB_1/4	45	Id aGo-M	4,98	6,3	Su3	17,5	31,7	26,0	75,2	15,6	5,7	1,8	23,1	1,7	1,5	33,4	n.b.	342	n.b.	75	1,6	n.b.	2,6
WB_1/5	55	Ie aGo-M	5,01	5,1	Su4	15,7	25,1	11,6	52,4	24,4	14,7	6,1	45,2	2,4	0,7	35,5	n.b.	393	n.b.	87	1,2	n.b.	1,2
WB_1/6	70	Ie aM-Go	5,75	3,1	Su4	20,6	24,2	8,8	53,6	16,3	17,3	7,1	40,8	5,5	0,4	32,4	n.b.	397	n.b.	104	0,9	n.b.	1,0
WB_1/7	90	Ie aM-Go	6,00	3,4	Su3	20,1	23,2	10,8	54,1	17,9	15,4	6,5	39,9	5,9	0,5	31,1	n.b.	364	n.b.	105	1,2	n.b.	0,9
WB_1/8	110	II aGo	6,24	2,0	Su3	16,5	27,2	11,4	55,0	15,2	16,2	7,7	39,1	5,9	0,7	42,7	n.b.	1800	n.b.	651	3,1	n.b.	1,8
WB_1/9	115	II aGo	6,29	2,6	Su3	19,6	26,1	11,4	57,1	16,9	14,3	6,2	37,4	5,6	0,6	40,8	n.b.	604	n.b.	243	2,6	n.b.	1,0
WB_1/10	130	II aGo	6,11	2,1	Su3	15,8	28,1	10,5	54,4	16,0	15,8	7,6	39,3	6,3	0,7	42,5	n.b.	281	n.b.	82	1,9	n.b.	1,1
WB_1/11	145	II Gr	5,39	1,7	Su3	12,8	30,3	14,0	57,1	15,4	14,7	7,0	37,2	5,7	1,1	29,8	n.b.	549	n.b.	203	0,9	n.b.	1,0
BB/1	10	aGo-M	5,68	10,8	Su2	15,8	31,1	28,1	75,1	15,9	4,9	1,9	22,8	2,2	1,8	32,4	n.b.	388	n.b.	171	3,0	n.b.	2,2
BB/2	25	Ib aGo-M	5,31	7,6	Su3	29,1	19,9	22,4	71,4	16,8	6,6	2,7	26,1	2,4	0,8	34,6	n.b.	392	n.b.	174	3,4	n.b.	1,3
BB/3	40	Ib aGo-M	5,19	5,8	Su3	30,3	17,7	16,5	64,5	19,2	9,3	3,8	32,3	3,1	0,5	41,7	n.b.	401	n.b.	176	3,0	n.b.	1,4
BB/4	50	Ib aGo-M	5,31	5,6	Su3	13,8	28,7	21,8	64,4	18,4	9,7	4,0	32,0	3,6	1,6	35,1	n.b.	443	n.b.	194	3,4	n.b.	1,1
BB/5	75	Ic aM-Go	5,66	3,4	Su3	5,8	29,8	30,1	65,7	17,2	9,3	4,0	30,5	3,8	5,2	35,5	n.b.	365	n.b.	142	2,9	n.b.	1,2
BB/6	85	Ic aM-Go	5,50	5,3	Su3	21,3	23,3	19,3	63,9	18,0	9,9	4,4	32,3	3,7	0,9	30,1	n.b.	430	n.b.	106	2,6	n.b.	2,0
BB/7	95	Ic Ghr	5,64	7,1	Su3	27,2	24,6	19,2	71,0	16,9	6,9	2,6	26,5	2,5	0,7	21,1	n.b.	453	n.b.	116	2,4	n.b.	1,7

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
WB_2/1	20	aGo-M	4,85	6,7	Su4	15,7	22,7	13,3	51,6	26,3	14,0	4,5	44,8	3,5	0,8	32,8	n.b.	250	n.b.	65	0,9	n.b.	2,1
WB_2/2	40	aGo-M	5,32	3,6	Su3	16,6	24,7	20,7	62,0	23,4	9,4	2,6	35,4	2,6	1,2	36,5	n.b.	301	n.b.	96	0,9	n.b.	2,6
WB_2/3	60	aGo-M	5,58	3,0	Su4	20,0	22,9	10,8	53,6	16,8	17,1	7,0	40,8	5,5	0,5	35,1	n.b.	298	n.b.	98	0,7	n.b.	2,8
WB_2/4	75	II Go-M	5,80	1,7	Su4	27,1	16,6	9,9	53,6	18,2	16,6	6,9	41,7	4,5	0,4	30,2	n.b.	225	n.b.	71	1,0	n.b.	2,3
WB_3/1	10	aGo-M	5,42	16,5	Su3	21,8	24,9	21,5	68,2	21,9	6,4	1,5	29,8	2,0	1,0	34,2	n.b.	231	n.b.	72	1,5	n.b.	2,7
WB_3/2	20	aGo-M	5,72	5,6	Su3	21,3	27,2	22,8	71,2	15,9	7,1	3,0	25,9	2,8	1,1	67,1	n.b.	250	n.b.	105	0,9	n.b.	2,2
WB_3/3	40	II aM-Go	5,82	3,4	Su3	12,4	30,0	26,8	69,2	17,4	7,6	2,8	27,8	2,9	2,2	63,8	n.b.	332	n.b.	124	2,0	n.b.	2,1
WB_3/4	60	II aM-Go	5,82	4,1	Su3	12,3	30,3	21,0	63,6	18,2	9,8	4,5	32,4	4,0	1,7	67,4	n.b.	721	n.b.	230	1,2	n.b.	2,4
WB_3/5	75	II aM-Go	5,83	4,3	Su3	4,3	34,3	23,1	61,7	16,5	11,7	5,5	33,6	4,7	5,3	48,2	n.b.	1558	n.b.	485	1,2	n.b.	3,2
WB_3/6	80	III aGo	5,62	4,4	Su3	5,5	35,3	28,1	68,8	13,9	8,3	4,6	26,8	4,4	5,1	72,3	n.b.	1890	n.b.	258	1,0	n.b.	3,4
WB_3/7	95	IV Ghr	5,33	3,6	Su3	3,5	31,4	29,4	64,3	15,6	10,5	5,4	31,4	4,3	8,5	28,4	n.b.	1295	n.b.	143	0,7	n.b.	2,9
WB_3/8	100	IV Ghr	5,48	4,6	Su3	12,2	29,8	23,3	65,3	15,5	10,3	5,0	30,8	3,9	1,9	28,5	n.b.	95	n.b.	26	0,7	n.b.	2,3
WB_3/9	120	IV Ghr	5,59	4,7	Su3	10,8	31,0	24,1	65,9	15,7	9,9	4,8	30,3	3,8	2,2	28,7	n.b.	49	n.b.	22	0,6	n.b.	2,9
WB_4/1	20	aGo-M	5,79	6,0	Su2	23,7	32,8	27,7	84,1	11,4	2,2	1,1	14,7	1,2	1,2	50,5	n.b.	222	n.b.	93	2,2	n.b.	2,5
WB_4/2	40	aGo-M	5,68	4,9	Su2	20,0	31,1	30,4	81,5	12,0	3,4	1,5	16,9	1,6	1,5	51,7	n.b.	202	n.b.	94	1,7	n.b.	1,8
WB_4/3	60	Ib aGo-M	6,09	2,9	Su2	6,4	35,4	35,3	77,1	14,0	4,9	2,0	20,9	2,0	5,5	63,4	n.b.	183	n.b.	80	0,9	n.b.	0,9
WB_4/4	85	Ib aGo-M	6,20	3,7	Su2	11,0	34,7	30,7	76,3	14,4	5,4	1,9	21,6	2,0	2,8	71,0	n.b.	204	n.b.	87	1,0	n.b.	1,0
WB_4/5	90	Schlacken	6,79	1,8	Su2	40,4	12,3	14,0	66,7	20,1	8,6	2,6	31,4	1,9	0,3	87,0	n.b.	152	n.b.	59	1,3	n.b.	1,3
WB_4/6	95	Id Ghr	6,18	3,6	Su2	17,4	29,4	26,7	73,5	15,3	6,1	2,5	23,9	2,5	1,5	57,7	n.b.	222	n.b.	97	0,9	n.b.	0,9
WB_4/7	100	Id Ghr	5,15	6,7	Su3	12,6	33,3	26,6	72,5	17,8	5,8	1,8	25,4	2,1	2,1	32,9	n.b.	244	n.b.	94	1,0	n.b.	1,7
WB_4/8	110	Id Ghr	5,28	5,0	Su2	13,1	31,5	30,1	74,7	15,7	5,5	2,0	23,2	2,2	2,3	33,2	n.b.	272	n.b.	93	0,8	n.b.	1,4
WB_4/9	120	Id Ghr	5,28	4,8	Su2	18,8	27,8	26,6	73,1	16,5	6,2	2,0	24,7	2,1	1,4	42,1	n.b.	258	n.b.	93	1,2	n.b.	1,3
WB_4/10	130	Id Ghr	4,80	4,6	Su3	11,2	36,0	25,5	72,7	16,5	6,3	2,2	24,9	2,3	2,3	37,9	n.b.	254	n.b.	88	0,9	n.b.	2,4

Tabelle A9 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der **Harzbode**

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
HB1_1/1	10	Ah	4,93	9,1	Su4	23,1	20,2	8,7	52,0	22,5	14,6	6,8	44,0	4,0	0,4	24,4	n.b.	137	n.b.	21	1,8	n.b.	1,5
HB1_1/2	30	ICv-Bv	5,10	3,6	Su4	23,4	18,4	6,9	48,7	15,4	19,5	10,3	45,3	5,9	0,3	25,5	n.b.	64	n.b.	18	2,0	10,7	2,2
HB1_2/1	10	aGo-M	5,81	2,9	Su4	23,0	20,0	9,5	52,6	21,7	15,1	6,4	43,2	4,1	0,4	36,2	n.b.	181	n.b.	45	3,2	n.b.	1,8
HB1_2/2	20	Ib aGo-M	5,76	2,4	Su4	10,4	24,3	14,7	49,4	16,8	18,9	8,6	44,4	6,2	1,4	41,8	n.b.	180	n.b.	50	2,8	n.b.	1,9
HB1_2/3	40	Ic aGo-M	5,55	4,0	Su4	17,4	21,8	9,8	48,9	12,5	20,3	11,4	44,2	6,9	0,6	36,8	n.b.	148	n.b.	54	2,4	n.b.	2,4
HB1_2/4	60	Id aGo-M	5,51	5,6	Slu	15,1	24,2	9,3	48,6	9,9	19,2	14,3	43,4	8,0	0,6	38,4	n.b.	48	n.b.	34	2,2	n.b.	1,1
HB1_2/5	80	Ila aGo	5,61	2,0	Slu	5,7	25,9	16,0	47,6	8,9	18,1	15,4	42,5	9,9	2,8	37,2	n.b.	52	n.b.	25	2,3	n.b.	1,3
HB1_2/6	100	Ilb aGo	5,65	2,1	Slu	10,6	24,1	12,5	47,1	9,7	15,5	15,5	40,6	12,0	1,2	41,6	n.b.	50	n.b.	25	2,2	n.b.	1,3
HB1_2/7	120	Ilc aGo	5,64	4,0	Slu	8,2	25,3	14,2	47,7	9,3	16,4	15,5	41,2	11,0	1,7	43,7	n.b.	52	n.b.	27	2,0	n.b.	1,8
HB1_2/8	130	Ild aGo	5,78	6,5	Su4	10,3	26,3	14,4	51,0	12,0	16,9	12,2	41,2	7,9	1,4	38,0	n.b.	55	n.b.	29	2,0	n.b.	2,5
HB1_3a/2	20	aGo-M	6,24	4,1	Su4	15,3	25,5	11,5	52,3	19,1	16,6	6,8	42,5	5,3	0,8	45,5	n.b.	216	n.b.	65	3,3	n.b.	2,2
HB1_3a/3	30	aGo-M	5,79	4,0	Su4	15,9	22,7	10,4	49,0	13,7	19,9	10,1	43,6	7,4	0,7	50,0	n.b.	228	n.b.	90	4,1	n.b.	1,6
HB1_3a/4	50	Ila aGo-M	5,64	3,5	Su4	18,9	22,3	8,5	49,7	14,0	19,8	9,8	43,7	6,6	0,4	40,9	n.b.	433	n.b.	209	4,2	n.b.	2,3
HB1_3a/5	70	Ilb aGo-M	5,70	3,6	Su4	11,2	26,0	12,5	49,7	11,9	19,7	11,5	43,1	7,2	1,1	40,0	n.b.	408	n.b.	204	3,8	n.b.	2,1
HB1_3a/6	90	IIIa aGo	5,61	3,0	Su4	11,8	27,4	10,0	49,1	9,6	19,0	14,3	42,9	8,0	0,8	38,0	n.b.	55	n.b.	31	2,9	n.b.	2,2
HB1_3a/7	115	IIIb aGo	5,68	2,5	Su4	11,0	26,5	12,0	49,6	11,1	18,2	13,5	42,8	7,6	1,1	33,1	n.b.	44	n.b.	22	1,5	12,2	2,1
HB1_3a/8	130	IV Ghr	5,15	5,5	Su3	23,4	23,3	10,3	57,0	15,4	14,8	8,3	38,4	4,6	0,4	20,5	n.b.	32	n.b.	16	2,3	n.b.	2,2
HB1_3b4/1	20	aGo-M	6,56	6,1	Su3	20,5	23,8	11,7	56,0	20,7	13,2	5,9	39,8	4,2	0,6	37,0	n.b.	131	n.b.	37	3,5	n.b.	2,3
HB1_3b4/2	40	aGo-M	6,60	5,1	Su4	16,9	25,0	12,8	54,7	20,2	14,0	6,3	40,5	4,8	0,8	34,9	n.b.	131	n.b.	38	3,6	n.b.	2,8
HB1_3b4/3	60	aGo-M	6,78	3,0	Su4	13,4	28,0	13,2	54,5	17,9	15,4	7,1	40,4	5,0	1,0	43,9	n.b.	110	n.b.	37	3,2	n.b.	2,0
HB1_3b4/4	80	aGo-M	6,83	2,3	Su4	11,7	28,9	11,9	52,5	15,6	17,0	8,6	41,2	6,3	1,0	49,1	n.b.	121	n.b.	41	2,7	n.b.	2,1
HB1_3b4/5	100	aGo-M	6,83	2,8	Su3	15,4	26,8	13,0	55,2	15,5	16,1	7,5	39,1	5,7	0,8	48,1	n.b.	132	n.b.	44	2,6	19,8	2,3
HB1_3b4/6	120	aGo-M	6,66	2,7	Su3	14,9	26,6	12,9	54,4	15,5	16,0	7,5	38,9	6,7	0,9	50,1	n.b.	101	n.b.	52	2,8	n.b.	2,7
HB2_4/1	20	Ah	5,06	2,5	Su4	15,3	25,1	8,8	49,2	14,0	19,3	10,8	44,1	6,6	0,6	32,6	n.b.	77	n.b.	26	2,1	n.b.	1,2
HB2_4/2	40	Bv-ICv	5,83	4,8	Su4	14,3	27,1	7,5	48,9	10,3	19,4	13,8	43,4	7,5	0,5	34,8	n.b.	44	n.b.	24	1,6	n.b.	1,5

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
HB2_5/1	20	aGo-M	5,39	2,6	Su4	12,1	29,0	9,9	51,1	17,3	18,3	8,4	44,0	4,9	0,8	38,0	n.b.	92	n.b.	30	2,4	n.b.	1,2
HB2_5/2	30	Ib aGo-M	5,94	2,8	Su4	17,4	24,7	6,9	49,0	12,9	19,9	11,3	44,1	6,8	0,4	39,5	n.b.	77	n.b.	28	2,2	n.b.	1,7
HB2_5/3	50	Ic aM-Go	5,94	3,1	Su4	14,1	26,4	9,6	50,1	11,9	17,1	12,9	41,9	7,8	0,7	36,3	n.b.	37	n.b.	23	2,1	n.b.	2,1
HB2_5/4	70	Ic aM-Go	6,00	3,5	Su4	15,9	23,6	10,9	50,4	12,0	17,4	13,1	42,5	6,9	0,7	40,8	n.b.	39	n.b.	27	2,0	n.b.	1,4
HB2_6/1	20	aGo-M	6,62	4,4	Su4	15,2	25,8	12,1	53,1	19,0	16,0	7,2	42,2	4,6	0,8	44,9	n.b.	122	n.b.	39	3,8	n.b.	2,1
HB2_6/2	30	Ib aGo-M	7,01	6,0	Su3	9,5	30,3	15,9	55,6	18,4	14,3	6,7	39,4	4,9	1,7	42,8	n.b.	111	n.b.	31	3,3	n.b.	2,0
HB2_6/3	50	Ib aGo-M	7,16	8,1	Su3	12,7	30,0	22,7	65,3	19,0	8,7	4,3	32,0	2,6	1,8	53,5	n.b.	91	n.b.	27	2,5	n.b.	2,2
HB2_6/4	70	Ic aGo-M	7,14	11,4	Su4	13,8	25,5	10,6	49,9	13,4	19,0	10,7	43,1	6,8	0,8	43,9	n.b.	132	n.b.	61	3,2	n.b.	2,7
HB3_7/1	10	aM	5,72	10,2	Su4	19,0	24,5	11,8	54,8	23,3	12,9	5,2	41,4	3,8	0,6	39,4	n.b.	118	n.b.	34	3,4	n.b.	2,6
HB3_7/2	20	aM	5,73	7,9	Su4	18,0	26,0	8,5	52,4	24,0	14,0	5,5	43,5	4,2	0,5	41,9	n.b.	109	n.b.	39	2,4	n.b.	2,7
HB3_7/3	35	aM	6,03	9,1	Su4	15,0	24,6	10,0	49,9	20,2	17,0	7,3	44,4	5,7	0,7	45,0	n.b.	95	n.b.	36	2,9	n.b.	2,4
HB3_7/4	40	II aGo	6,50	1,6	Su4	13,0	25,6	13,9	52,1	18,6	16,1	7,8	42,5	5,3	1,1	39,8	n.b.	114	n.b.	57	2,9	n.b.	1,6
HB3_8/1	20	aM	5,86	6,1	Su4	12,0	26,3	10,0	48,4	14,8	21,1	9,9	45,8	5,8	0,8	39,6	n.b.	110	n.b.	31	2,4	n.b.	2,1
HB3_8/2	30	II aGo	5,97	2,2	Su4	17,0	23,7	7,8	48,7	11,7	19,8	12,7	44,1	7,0	0,5	39,6	n.b.	58	n.b.	27	1,8	n.b.	2,0
HB3_8/3	40	II aGo	6,13	1,8	Su4	16,0	23,5	7,1	47,1	9,1	20,5	17,2	46,7	6,2	0,4	31,4	n.b.	40	n.b.	21	1,6	n.b.	1,8
HB3_8/4	60	III aGo	6,30	1,3	Sl3	18,0	24,3	7,5	49,9	9,1	15,8	14,8	39,8	10,4	0,4	38,3	n.b.	36	n.b.	24	1,6	n.b.	1,9
HB3_8/5	80	III aGo	6,26	1,3	Slu	23,0	21,8	6,2	50,7	10,3	16,0	14,0	40,3	9,0	0,3	39,6	n.b.	37	n.b.	28	2,1	n.b.	2,4
HB3_9/1	20	aGo-M	6,01	9,2	Su3	26,0	22,9	22,5	71,5	18,8	6,2	1,8	26,8	1,6	0,9	45,7	n.b.	124	n.b.	39	3,3	n.b.	0,7
HB3_9/2	40	II aGo-M	6,61	4,5	Su4	20,0	21,2	8,8	49,8	20,6	17,5	6,7	44,7	5,4	0,4	50,6	n.b.	108	n.b.	41	2,3	n.b.	2,4
HB3_9/3	60	II aGo-M	6,75	3,8	Su4	22,0	19,0	8,2	49,2	19,8	17,8	7,3	44,8	5,8	0,4	53,5	n.b.	115	n.b.	49	3,8	n.b.	2,5
HB3_10/1	20	aGo-M	6,40	2,6	Su4	13,0	30,2	12,5	55,2	21,4	13,9	5,7	41,0	3,8	1,0	65,9	n.b.	80	n.b.	27	2,4	n.b.	2,5
HB3_10/2	40	Ib aGo-M	6,72	2,4	Su4	9,0	24,7	16,7	50,5	23,3	15,2	6,4	44,9	4,6	1,9	77,0	n.b.	85	n.b.	31	2,8	n.b.	2,4
HB3_10/3	60	Ic aGo-M	6,84	3,5	Su4	16,0	19,4	12,9	48,8	22,3	16,6	6,9	45,8	5,4	0,8	55,3	n.b.	96	n.b.	40	2,6	n.b.	1,9
HB3_10/4	80	Id aGo-M	6,90	3,1	Su4	19,0	23,2	9,4	51,3	13,1	18,5	10,3	41,9	6,7	0,5	42,0	n.b.	113	n.b.	55	2,7	n.b.	1,9
HB3_10/5	100	Id aGo-M	6,97	2,2	Su4	22,0	18,7	7,1	48,1	13,1	20,9	12,2	46,2	5,4	0,3	40,0	n.b.	84	n.b.	45	2,3	n.b.	2,7

Tabelle A10 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (**Flußabschnitt B1**)

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]	
B1_1/1	10	aM	6,23	5,4	Su2	24,6	27,1	28,5	80,2	15,7	2,6	1,2	19,5	0,3	1,2	41,6	3,8	81	189	47	1,6	n.b.	0,8	
B1_1/2	20	aM	6,00	4,1	Su2	41,2	34,3	7,7	83,1	10,3	4,6	1,9	16,8	0,1	0,2	41,2	3,9	65	164	48	1,3	9,7	1,0	
B1_1/3	30	II aGo-M	5,95	3,5	Slu	14,8	22,4	8,2	45,4	10,2	23,3	12,9	46,4	8,3	0,6	41,2	3,9	66	164	49	1,3	n.b.	0,9	
B1_1/4	35	II aGo-M	6,07	3,9	Slu	16,2	21,9	8,0	46,1	9,8	22,7	13,1	45,5	8,3	0,5	42,3	6,0	67	183	50	1,5	n.b.	1,2	
B1_1/5	40	III aGo-M	6,09	3,0	Us,fG2*	22,8	18,3	6,0	47,1	27,8	17,2	5,2	50,2	2,6	0,3	48,1	12,8	68	230	43	1,3	n.b.	0,7	
B1_1/6	50	III aGo-M	6,14	3,0	Su4, fG4*	27,1	16,6	11,1	54,8	23,4	11,9	5,4	40,8	4,1	0,4	51,4	13,8	68	232	41	1,3	17,1	1,1	
B1_1/7	55	III aGo-M	6,23	2,9	Su4	20,8	19,0	6,7	46,5	16,1	18,4	11,0	45,5	7,7	0,3	48,8	13,8	76	168	38	1,4	n.b.	0,7	
B1_1/8	70	IV aGo	6,27	2,0	Slu	9,1	23,6	15,8	48,4	15,1	16,7	11,3	43,0	8,4	1,7	38,8	3,4	55	84	29	0,9	7,9	1,5	
B1_1/9	80	IV aGo	6,16	1,9	Slu	13,7	21,2	12,8	47,8	15,2	15,9	11,4	42,6	9,4	0,9	49,7	4,5	66	94	31	0,9	n.b.	0,7	
B1_1/10	90	IV aGo	5,92	2,7	Su4	12,5	23,3	16,8	52,7	18,7	14,3	8,3	41,3	5,9	1,3	42,7	3,9	77	94	31	0,9	13,2	1,3	
B1_1/11	100	IV aGo	5,22	2,2	Slu	9,1	21,2	14,6	44,9	10,4	18,4	15,1	44,0	10,9	1,6	36,3	2,1	67	90	32	0,9	n.b.	0,9	
B1_1/12	110	Va Go	4,80	3,1	Slu	15,5	22,8	9,0	47,3	10,9	16,6	14,1	41,7	10,7	0,6	64,4	3,1	38	145	39	1,2	n.b.	0,7	
B1_1/13	120	Vb Go	4,75	2,7	Slu	11,3	23,3	13,4	48,0	11,1	18,7	13,7	43,6	8,2	1,2	47,3	1,7	26	97	41	1,0	10,5	0,9	
B1_1/14	130	Vc Go	4,85	2,6	Su3	12,3	26,2	16,2	54,6	16,1	15,1	8,8	39,9	5,3	1,3	45,2	1,1	26	94	39	0,9	n.b.	0,9	
B1_1/15	140	VI Gr	5,25	2,1	Slu	14,2	21,8	11,2	47,3	11,0	17,9	14,6	43,6	8,8	0,8	61,5	2,2	24	101	38	1,0	9,9	0,8	
B1_2a/1	25	aGo-M	6,32	4,7	Su3	17,9	27,0	20,6	65,4	19,2	9,2	3,4	31,9	2,7	1,2	41,9	2,5	87	145	34	1,3	n.b.	1,2	
B1_2a/2	45	aGo-M	6,14	4,3	Su3	11,8	31,1	21,2	64,0	19,3	9,9	3,7	33,0	3,0	1,8	32,2	1,7	80	131	35	1,2	n.b.	1,5	
B1_2a/3	65	aGo-M	6,01	3,1	Su3	11,7	31,9	20,7	64,3	18,4	10,4	3,8	32,7	3,1	1,8	47,0	2,6	68	144	36	1,3	n.b.	0,8	
B1_2a/4	85	aGo-M	5,84	2,8	Su3	14,3	30,9	18,7	64,0	19,2	9,9	3,9	32,9	3,1	1,3	45,0	1,9	64	135	34	1,1	n.b.	0,9	
keine Probe	145	II IC-Go	n.b.	n.b.	gS, G5*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
B1_2a/5	155	III Ghr	4,98	2,7	Su4	5,4	25,6	27,1	58,1	22,3	11,8	4,1	38,2	3,6	5,0	33,0	0,8	217	139	35	1,3	n.b.	1,7	
B1_2b/1	110	II aM-Go	5,65	3,4	Su4	4,7	29,3	22,3	56,3	22,4	13,3	4,6	40,2	3,4	4,7	39,1	1,4	81	137	31	1,3	n.b.	1,3	
B1_2b/2	130	III aGo	5,23	2,1	Su4	4,1	26,6	27,5	58,1	20,6	13,2	4,5	38,3	3,5	6,7	39,3	0,7	64	145	37	1,5	n.b.	1,2	
B1_3/1	20	aGo-M	5,46	6,1	Su3	22,3	20,9	19,4	62,5	18,8	11,3	4,4	34,5	2,8	0,9	45,9	4,2	248	367	49	3,4	n.b.	1,9	
B1_3/2	25	II aGo	5,23	4,0	Su4	11,8	21,6	11,8	45,1	12,5	21,1	13,4	47,0	7,7	1,0	36,2	3,2	376	356	91	3,2	n.b.	2,5	

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]	
B1_3/3	40	II aGo	5,26	3,5	Slu	11,8	24,6	10,9	47,3	12,8	18,3	13,3	44,3	8,2	0,9	37,6	2,0	271	272	42	2,0	n.b.	2,8	
B1_3/4	50	II aGo	5,46	3,1	Su4	13,5	20,5	12,2	46,1	14,4	19,2	12,5	46,1	7,5	0,9	46,8	8,3	290	222	40	1,6	n.b.	2,0	
B1_3/5	55	IIIa aGo	5,45	2,7	Slu	8,1	22,5	15,3	45,9	13,6	18,3	13,4	45,3	8,7	1,9	51,6	2,1	348	196	38	1,6	n.b.	2,8	
B1_3/6	70	IIIa aGo	5,26	2,9	Slu	7,3	25,0	13,6	45,9	10,4	20,9	13,5	44,8	9,2	1,9	39,4	6,4	292	327	45	2,1	n.b.	2,2	
B1_3/7	90	IIIb aGo	5,15	3,2	Slu	11,7	24,7	10,6	47,1	10,3	18,8	14,2	43,3	9,5	0,9	53,4	8,4	1404	345	62	3,1	n.b.	6,0	
B1_3/8	110	IIIb aGo	5,42	3,4	Slu	15,1	23,7	8,9	47,7	11,7	17,9	13,3	42,9	9,1	0,6	62,9	1,2	2176	463	111	5,2	n.b.	7,1	
keine Probe	120(140)	IV IC-Go	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
B1_3/9	125	Va aGo	5,13	3,8	Slu	7,7	24,7	15,8	48,2	12,3	17,8	13,3	43,3	8,5	2,0	47,2	1,2	2268	659	73	2,2	n.b.	7,0	
B1_3/10	135	Vb aGo	5,79	4,1	Su4	14,6	23,2	10,0	47,8	12,9	18,1	13,0	44,0	7,8	0,7	48,4	2,6	896	226	36	1,7	n.b.	3,2	
B1_3/11	150	VIa aGhr	5,73	6,0	Su3	14,0	26,9	20,1	61,0	17,8	11,8	6,2	35,8	3,1	1,4	34,9	2,5	322	350	37	1,3	n.b.	2,1	
B1_3/12	160	VIIb aGr	4,63	2,2	Su3	28,6	18,9	11,0	58,5	15,7	13,1	8,6	37,4	3,9	0,4	31,4	0,6	41	234	25	1,2	n.b.	1,1	
keine Probe	30	Damm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
B1_4/1	40	IIa aGo	5,37	3,8	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	49,0	4,4	667	390	54	2,6	n.b.	2,2	
B1_4/2	50	IIa aGo	5,28	3,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	47,4	5,9	966	432	59	3,3	n.b.	3,7	
B1_4/3	65	IIa aGo	4,99	3,5	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	53,9	4,0	1079	419	71	3,7	70,6	4,3	
B1_4/4	70	IIb aGo	5,15	5,7	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	73,0	6,4	849	565	81	5,7	n.b.	3,5	
B1_4/5	80	IIb aGo	5,54	5,5	Su3	16,8	23,5	15,6	55,9	20,5	13,0	6,0	39,6	4,4	0,9	75,4	13,2	2861	757	111	6,6	149,9	6,7	
B1_4/6	85	IIIa aGo	5,43	3,6	Su4	11,6	22,6	12,4	46,6	16,0	19,8	10,6	46,4	7,0	1,1	56,5	4,3	726	710	99	3,9	n.b.	3,0	
B1_4/7	95	IIIb aGo	5,22	2,3	Su4	5,2	23,6	17,3	46,0	14,7	20,0	12,0	46,7	7,2	3,4	34,3	1,8	292	387	49	2,1	25,0	1,5	
B1_4/8	110	IIIc aGo	5,05	2,0	Su4	10,2	21,5	22,2	53,9	20,6	13,8	6,9	41,3	4,6	2,2	44,7	2,8	171	218	36	1,8	19,4	1,2	
B1_4/9	120	IIIc aGo	4,99	2,2	Su4	7,2	23,5	20,1	50,9	21,4	15,3	7,2	43,9	5,0	2,8	46,2	4,3	263	194	38	1,4	n.b.	1,4	
B1_4/10	130	IVa aG(j)o	4,79	3,1	Su4	11,5	27,5	15,7	54,6	19,1	15,0	6,9	40,9	4,4	1,4	25,0	1,9	412	315	46	1,1	18,6	2,1	
B1_4/11	140	IVa aG(j)o	4,85	3,3	Su4	10,0	28,5	16,6	55,1	18,3	15,3	7,0	40,6	4,3	1,7	21,5	1,3	403	188	47	1,0	n.b.	2,5	
B1_4/12	150	IVb aG(j)o	4,93	3,5	Su3	5,7	28,9	23,1	57,8	16,3	14,0	7,2	37,5	4,7	4,0	22,7	1,3	803	239	58	1,2	n.b.	3,7	
B1_4/13	160	IVc aG(j)o	5,36	3,0	Su4	9,1	26,8	17,8	53,7	17,5	15,1	8,3	40,9	5,3	1,9	24,8	2,8	1174	247	61	1,9	35,9	4,1	
B1_4/14	165	Va Gjr	5,58	2,9	Slu	11,9	25,0	9,2	46,1	11,9	20,6	12,6	45,2	8,5	0,8	32,9	2,2	500	631	48	1,7	n.b.	2,8	
B1_4/16	180	Vb Gjr	5,95	2,4	Slu	2,6	22,5	20,7	45,8	12,6	18,3	14,1	44,9	9,2	8,1	29,2	1,8	103	136	32	0,9	n.b.	1,1	

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]	
B1_4/17	190	Vb Gjr	6,40	2,7	Su4	4,4	24,5	24,9	53,8	16,6	14,6	9,5	40,8	5,3	5,7	33,5	4,4	106	113	36	1,1	31,9	0,9	
B1_4/15	170	Vb Gjr	5,77	2,7	Slu	4,8	23,9	16,2	44,9	7,8	17,9	17,8	43,5	11,5	3,4	25,0	1,9	150	147	34	1,4	13,7	1,3	
B1_5/1	10	aGo-M	6,64	12,1	Su4	18,6	18,5	11,6	48,7	20,0	18,4	8,2	46,6	4,7	0,6	74,7	4,9	397	351	196	3,8	n.b.	2,3	
B1_5/2	20	aGo-M	7,27	7,0	Su4	23,1	18,1	9,5	50,7	19,7	16,5	8,0	44,2	4,9	0,4	48,9	2,6	305	222	264	4,0	55,4	3,2	
B1_5/3	30	aGo-M	7,36	5,0	Su4	24,0	15,7	7,8	47,5	18,5	19,1	9,0	46,7	5,7	0,3	57,7	5,2	370	290	127	3,2	n.b.	2,1	
B1_5/4	40	aGo-M	7,33	3,9	Su4	21,8	18,8	10,7	51,3	16,3	20,8	6,2	43,3	5,3	0,5	58,7	4,4	251	212	76	2,1	n.b.	1,5	
B1_5/5	50	II aGo-M	7,21	3,3	Su3	11,8	29,5	16,4	57,8	21,8	12,2	4,9	38,9	3,3	1,4	51,3	3,9	228	199	56	1,7	n.b.	1,5	
B1_5/6	60	II aGo-M	5,86	3,1	Su4	12,3	24,0	10,6	46,9	14,5	19,5	11,6	45,7	7,4	0,9	29,5	2,9	179	170	53	2,2	23,9	1,5	
keine Probe	80	III aIC	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
B1_5/7	90	IV aGor	5,26	2,7	Slu*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	62,0	4,1	296	172	46	1,6	n.b.	2,2	
B1_5/8	100	IV Gr	5,22	2,9	Slu*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	60,4	2,5	303	162	41	1,7	24,2	2,1	
B1_5/9	110	IV Gr	5,69	2,9	Slu*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	45,6	2,9	241	213	87	2,3	n.b.	1,7	
B1_5/10	120	V Gr	6,16	3,3	Slu*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	25,9	6,8	493	328	149	1,3	n.b.	1,6	
B1_5/11	130	V Gr	6,33	4,0	Slu*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	27,2	10,8	763	334	301	1,6	30,3	2,2	

Tabelle A11 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (**Flußabschnitt B2**)

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]	
keine Probe	35	aGo-M	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
keine Probe	95	II aGo-PS	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
B2_1/1	105	III aPS- Gohr	6,25	7,4	Su4	18,6	16,1	20,0	54,7	16,6	17,6	7,8	42,0	3,2	1,1	89,2	13,9	3551	5896	430	15,2	n.b.	12,0	
B2_1/2	120	IVa Ghr	6,24	3,3	Su3	6,6	22,2	27,0	55,9	16,4	15,2	7,5	39,2	4,8	4,1	86,5	13,7	4978	8889	192	18,0	n.b.	22,5	
B2_1/3	140	IVa Ghr	5,21	4,4	Su3	6,2	21,6	28,1	55,9	18,0	13,0	7,9	38,9	5,1	4,5	90,6	14,2	5698	3996	269	19,4	195,5	31,6	
B2_1/4	160	IVb Ghr	5,53	4,2	Su4	8,1	26,2	17,9	52,1	17,3	16,0	9,1	42,4	5,5	2,2	46,3	5,6	1231	566	108	3,2	n.b.	3,9	
B2_1/5	170	IVb Ghr	5,57	5,6	Su4	6,4	28,0	16,4	50,9	15,1	16,4	10,9	42,4	6,7	2,5	42,2	2,7	835	349	76	2,0	n.b.	2,9	
B2_1/6	190	IVc Ghr	5,36	3,7	Su4	13,1	24,3	12,9	50,3	20,3	16,1	8,2	44,5	5,0	1,0	36,8	1,8	557	296	50	1,4	37,7	2,3	
B2_1/7	200	IVc Ghr	5,38	6,6	Su4	16,0	20,4	14,8	51,2	20,7	15,4	9,8	45,9	2,8	0,9	32,8	2,1	781	357	63	0,1	n.b.	2,5	
B2_1/8	210	IVc Ghr	5,49	7,5	Su4	9,8	29,4	14,2	53,4	19,9	14,6	8,8	43,3	3,1	1,4	29,7	1,7	1030	413	68	0,1	n.b.	3,1	
B2_2/1	10	aGo-M	6,39	8,0	Su2	23,6	28,9	25,7	78,2	14,6	4,2	1,6	20,4	1,4	1,1	34,9	6,5	1298	592	376	3,1	n.b.	4,3	
B2_2/2	20	aGo-M	6,64	4,5	Su2	22,1	27,5	21,1	70,6	17,4	7,2	2,3	26,9	2,5	1,0	55,5	6,9	2080	888	437	4,2	n.b.	5,1	
B2_2/3	25	aGo-M	6,80	5,0	Su2	17,3	31,3	25,0	73,6	16,9	5,7	2,0	24,5	1,9	1,4	51,4	5,8	1942	801	456	4,0	118,5	4,7	
B2_2/4	35	Ib aM-Go	7,35	5,3	Su2	11,9	32,7	30,3	74,9	18,0	4,8	1,0	23,8	1,4	2,5	42,5	4,5	1865	741	705	4,6	n.b.	5,2	
B2_2/5	40	Ila faM- Ah	7,05	5,9	Su2	23,5	26,7	23,6	73,7	15,4	6,2	2,3	23,9	2,4	1,0	36,7	7,6	2799	614	279	3,2	n.b.	5,5	
B2_2/6	50	Ila aM	7,31	3,6	Su2	20,2	28,8	24,1	73,0	16,6	6,4	1,8	24,7	2,2	1,2	64,4	8,1	2678	901	164	4,3	136,2	5,9	
B2_2/7	60	Ilb aM	7,34	2,3	Su2	11,4	35,5	27,9	74,8	16,5	5,4	1,7	23,5	1,6	2,4	65,8	8,8	2979	1034	184	4,5	n.b.	7,5	
B2_2/8	65	III aM	7,22	2,3	Su2	3,7	36,1	33,4	73,2	18,1	5,1	1,8	25,0	1,9	9,1	61,3	7,8	2957	961	174	4,3	n.b.	6,9	
B2_2/9	70	III aM	7,19	2,5	Su2	7,8	36,3	31,7	75,8	18,2	3,5	1,1	22,8	1,5	4,1	58,2	8,4	3214	965	192	4,2	n.b.	7,1	
B2_2/10	80	III aM	7,01	2,1	Su2	8,6	35,4	29,4	73,5	17,7	5,2	1,9	24,7	1,8	3,4	52,2	11,4	3197	677	213	3,9	n.b.	7,4	
B2_2/11	90	III aM	7,04	2,3	Su2	10,6	40,8	24,6	76,0	14,4	5,6	2,2	22,1	1,9	2,3	59,3	12,7	3654	611	207	3,5	n.b.	7,1	
B2_2/12	100	IV fF	7,03	2,1	Su3,S	20,7	31,6	21,0	73,3	16,4	6,1	2,2	24,6	2,0	1,0	50,4	10,9	2651	642	187	3,7	153,9	7,0	
B2_2/13	105	IV fF	6,84	2,1	Su3,S	16,8	32,1	21,8	70,7	17,4	7,1	2,6	27,1	2,2	1,3	65,0	9,0	2659	998	164	4,0	153,7	6,7	
B2_2/14	110	IV fF	6,81	2,4	Su3	15,3	37,4	19,2	71,9	14,8	7,3	3,4	25,4	2,7	1,3	70,4	16,4	3412	927	297	4,4	205,8	10,6	
B2_2/15	120	IV fF	6,61	2,3	Su3	27,3	28,0	16,9	72,1	14,4	7,5	3,4	25,3	2,5	0,6	54,1	12,4	1173	783	203	3,9	n.b.	7,7	

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
B2_2/16	130	IV fF	6,60	1,8	Su3	16,5	34,2	17,8	68,5	15,8	8,9	3,9	28,6	2,9	1,1	44,7	10,2	3121	1236	166	3,4	n.b.	6,2
B2_2/17	138	IV fF	6,52	3,0	Su3	13,2	30,4	24,7	68,2	18,6	7,8	3,0	29,3	2,5	1,9	42,5	7,6	1102	869	144	2,8	167,8	4,9
B2_2/18	140	IV fF	5,93	3,3	Su2	31,7	30,1	16,2	78,0	15,0	4,2	1,6	20,8	1,2	0,5	70,3	9,8	2469	2560	140	4,0	n.b.	5,4
B2_2/19	150	IV fF	6,60	2,6	Su3	24,9	29,7	17,5	72,1	18,3	6,3	1,6	26,2	1,8	0,7	54,6	10,7	1468	1806	201	3,3	148,6	7,3
B2_2/20	160	IV fF	6,72	2,5	Su3	8,6	32,0	27,2	67,8	16,7	8,6	3,9	29,2	2,9	3,2	34,6	4,6	2803	825	172	3,6	157,7	18,7
B2_3/1	75	Va G(j)o	6,44	2,8	Slu	9,6	25,6	12,1	47,3	11,4	17,5	14,1	43,1	9,6	1,3	36,2	1,5	1112	444	95	1,7	n.b.	4,1
B2_3/2	85	Va G(j)ho	6,39	2,7	Slu	8,2	25,5	12,7	46,5	12,6	19,1	13,5	45,2	8,3	1,5	40,7	1,9	1422	437	120	1,7	66,0	4,9
B2_3/3	105	Va G(j)o	6,50	2,8	Slu	4,1	23,9	17,2	45,2	10,8	19,7	15,4	45,8	9,0	4,2	33,3	2,1	1397	491	201	1,5	n.b.	6,5
B2_3/4	115	Va G(j)o	6,54	3,2	Slu	6,2	28,5	11,9	46,5	9,4	18,2	15,9	43,4	10,0	1,9	45,2	7,4	3844	527	75	3,5	n.b.	9,8
B2_3/5	130	Vb G(j)ho	6,52	2,9	Su4	9,6	25,4	11,8	46,9	15,0	20,2	11,6	46,8	6,3	1,2	51,2	4,6	5744	391	81	2,0	n.b.	14,1
B2_3/6	140	Vc G(j)o	6,41	2,7	Slu	9,6	24,7	12,8	47,1	9,5	19,6	15,5	44,6	8,3	1,3	47,1	2,3	845	370	45	2,8	56,6	4,0
B2_4/1	10	aGo-M	7,09	5,9	Su4	20,1	19,3	11,6	51,0	19,1	14,9	8,8	42,8	5,9	0,6	56,8	7,5	822	526	262	4,6	n.b.	7,0
B2_4/2	20	Ib aGo-M	6,62	4,9	Su3	11,6	30,3	22,9	64,8	18,3	9,6	4,3	32,2	2,9	2,0	56,7	6,9	1180	506	259	4,9	n.b.	5,1
B2_4/3	30	Ic aGo-M	6,68	4,6	Su4	16,0	23,7	12,3	52,0	21,0	14,7	7,2	42,9	4,9	0,8	57,0	6,7	924	494	274	5,3	n.b.	4,4
B2_4/4	40	Ic aGo-M	6,69	5,2	Su3	22,3	17,2	21,8	61,3	24,0	9,7	3,6	37,3	1,4	1,0	55,6	6,9	1190	535	266	6,3	79,9	5,4
B2_4/5	50	Ic aGo-M	6,70	4,8	Su4	20,5	18,3	15,2	54,0	26,6	12,7	3,1	42,4	3,4	0,7	57,3	7,6	1456	568	253	5,9	n.b.	5,6
B2_4/6	60	II aGo-M- PS	6,83	3,8	Su4	8,1	28,3	16,3	52,7	25,8	13,0	5,1	43,9	3,3	2,0	62,6	7,7	3634	780	168	4,7	n.b.	7,0
B2_4/7	70	II aGo-PS	6,60	2,3	Su4	11,0	30,4	12,8	54,2	18,4	14,2	7,3	40,0	5,8	1,2	68,5	9,2	3225	1216	195	5,1	127,9	9,0
B2_4/8	75	II aGo-PS	6,66	2,4	Su3	14,1	28,3	12,6	55,0	20,8	13,2	5,3	39,3	5,7	0,9	57,0	13,4	4705	1441	319	5,9	n.b.	12,3
B2_4/9	85	II aGo-PS	6,50	2,6	Su3	12,8	30,0	15,0	57,8	22,6	11,5	4,4	38,4	3,8	1,2	60,0	8,4	4219	1587	247	8,4	146,6	10,3
B2_4/10	86	Pochsand	6,01	1,3	Su3	7,8	33,9	26,6	68,3	19,0	7,3	2,9	29,2	2,5	3,4	89,3	10,7	2679	1935	182	13,0	n.b.	8,6
B2_4/11	90	II aGo-PS	5,77	2,7	Su4	21,6	18,5	8,4	48,5	19,7	16,5	7,6	43,8	7,4	0,4	58,0	10,9	7869	1795	435	3,8	n.b.	20,5
B2_4/12	105	Pochsand	6,19	1,5	Su3	25,1	27,0	18,4	70,5	15,3	7,8	3,3	26,4	2,9	0,7	111,3	16,2	9215	2580	194	14,7	281,3	19,0
B2_4/13	115	II aGo-PS	5,89	2,9	Su3	25,4	21,3	14,9	61,7	20,2	10,3	3,9	34,5	3,7	0,6	56,6	21,0	11892	2359	368	12,2	n.b.	18,7
B2_4/14	115	II aGo-PS	6,57	2,5	Su3	15,0	26,5	17,3	58,7	21,9	12,0	3,7	37,6	3,7	1,2	73,0	14,0	11636	1746	369	12,2	n.b.	24,5
B2_4/15	130	III aM-Go	6,53	2,7	Su4	10,8	26,9	11,7	49,4	13,0	18,1	12,0	43,1	7,5	1,1	38,3	5,9	2451	1092	116	9,8	50,1	4,0
B2_4/16	137	III aM-Go	6,36	2,4	Su4	11,2	27,7	14,1	53,1	21,7	14,2	6,3	42,2	4,7	1,3	38,6	6,2	2233	1167	131	9,7	n.b.	3,8
B2_4/17	150	IV Go	6,24	2,6	Su3	26,1	19,8	12,8	58,8	22,7	11,3	4,2	38,2	2,9	0,5	42,5	19,5	2544	2006	140	30,8	63,5	4,3

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Bodenart	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
B2_4/18	163	IV Go	6,65	3,0	Su4	26,0	20,1	7,3	53,4	17,5	15,4	8,0	40,8	5,7	0,3	60,2	25,3	2541	2667	170	30,6	n.b.	4,4
B2_4/19	170	IV Go	6,24	3,3	Su3	26,3	19,9	15,2	61,4	20,4	10,3	4,0	34,7	3,8	0,6	78,0	18,8	3400	2308	254	10,0	97,9	4,5
B2_4/20	180	V Gr	6,05	2,7	Su4	10,5	25,6	18,3	54,4	17,2	15,0	8,4	40,6	5,0	1,7	41,0	1,6	2602	1779	159	9,2	n.b.	4,8
B2_4/21	190	V Gr	6,07	3,5	Su3	10,9	27,0	22,1	60,0	15,6	13,3	7,1	36,1	3,9	2,0	36,2	1,4	2942	978	154	2,0	59,1	4,6
B2_5a/1	10	aM	6,23	5,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	41,0	6,6	2804	1456	440	6,9	n.b.	6,9
B2_5a/2	20	aM	6,00	4,1	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	65,8	8,5	4118	1368	549	11,5	n.b.	21,0
B2_5a/3	35	II aGo-PS	5,95	3,5	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	117,0	16,6	7749	5744	320	42,9	n.b.	18,7
B2_5a/4	40	II aGo-PS	6,07	2,9	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	81,3	17,8	7877	5004	287	12,9	n.b.	21,2
B2_5a/5	50	II aGo-PS	6,09	3,0	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	72,0	12,0	6861	3145	409	15,1	n.b.	20,7
B2_5a/6	60	II aGo-PS	6,14	3,0	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	139,0	12,0	9708	2408	442	7,3	n.b.	32,9
B2_5a/7	70	II aGo-PS	6,23	2,9	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	219,0	14,1	7338	3231	427	11,7	n.b.	31,2
B2_5a/8	80	III aM-Go	6,27	2,0	Su4	10,5	21,6	11,6	43,7	8,9	21,7	16,5	47,1	9,0	1,1	55,0	5,8	1497	836	70	7,7	n.b.	3,4
B2_5a/9	100	III aM-Go	6,16	1,9	Su4	9,5	22,0	11,8	43,4	15,1	22,3	11,9	49,3	7,2	1,2	58,0	4,9	1417	777	71	5,2	n.b.	3,1
B2_5a/10	120	III aM-Go	5,92	2,7	Su4	10,3	24,8	13,1	48,2	17,9	18,9	9,2	46,0	5,7	1,3	62,0	5,8	1232	1044	79	5,7	n.b.	2,6
B2_5a/11	130	III aM-Go	5,22	2,2	Su4	9,8	20,8	13,4	44,0	12,3	21,8	13,6	47,7	7,9	1,4	35,0	5,2	871	933	87	3,9	n.b.	3,1
B2_5a/12	140	IV Gr	4,80	3,1	Su3	26,3	23,4	8,5	58,3	20,3	11,9	5,5	37,6	4,0	0,3	76,0	4,6	1660	1600	73	6,7	n.b.	3,4
B2_5a/13	160	Va Gr	4,75	2,7	Su4	6,7	23,5	23,0	53,3	19,8	14,9	7,0	41,8	4,7	3,4	63,0	1,2	7246	794	107	3,0	n.b.	10,5
B2_5a/14	180	Vb Gr	4,85	2,6	Su4	10,8	27,7	14,0	52,5	17,9	15,7	8,6	42,1	5,3	1,3	39,0	4,7	3231	239	46	2,4	n.b.	7,6
B2_5b/1	10	aM	5,79	12,9	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	55,5	6,6	986	607	472	6,9	n.b.	5,7
B2_5b/2	20	aM	6,16	6,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	65,8	8,5	1322	1024	390	13,2	n.b.	7,4
B2_5b/3	30	II aGo-PS	6,41	6,1	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	253,7	18,1	5351	5190	380	25,5	n.b.	16,7
B2_5b/4	40	II aGo-PS	6,56	4,0	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	123,4	16,7	6673	6107	276	27,1	n.b.	21,2
B2_5b/5	50	II aGo-PS	6,48	3,9	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	105,0	15,2	9275	3519	277	17,5	n.b.	30,6
B2_6/1	120-135	III aPS-Gor			Su4	10,8	24,8	12,9	48,5	14,7	17,7	12,0	44,4	7,0	1,2	36,1	n.b.	9120	n.b.	187	3,2	n.b.	n.b.
B2_6/2	150	IVa Gr			Su4	11,2	26,2	12,2	49,5	14,6	16,5	12,2	43,3	7,0	1,1	42,8	n.b.	907	n.b.	42	3,0	n.b.	n.b.
B2_6/3	170	IVb Gr			Su4	5,5	28,6	21,0	55,1	19,2	14,5	7,1	40,9	4,0	3,8	33,0	n.b.	932	n.b.	49	2,3	n.b.	n.b.
B2_7a/1	30-40	II aGo-PS	6,63	3,8	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	118,5	29,0	12156	4302	405	15,5	n.b.	31,7
B2_7a/2	50	II aGo-PS	6,94	3,9	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	157,7	47,0	23233	4681	414	26,5	271,3	44,4

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
B2_7a/3	52	Schluffband	7,39	4,0	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	54,9	15,3	13388	3334	381	6,7	107,9	27,7
B2_7a/4	60	II aGo-PS	7,13	3,8	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	239,6	41,7	14099	5405	399	32,6	n.b.	38,7
B2_7a/5	70	II aGo-PS	6,95	3,8	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	187,0	41,3	13196	3451	399	17,3	n.b.	35,5
B2_7a/6	80	II aGo-PS	6,71	4,1	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	136,6	47,9	9282	3788	413	18,7	n.b.	30,0
B2_7a/7	90	II aGo-PS	6,56	3,8	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	83,4	34,9	10276	5057	368	16,5	248,1	29,7
B2_7b/1	10	aGo-M	6,67	7,2	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	122,9	15,8	5363	4121	317	16,4	n.b.	10,0
B2_7b/2	20	II aGo-PS	6,12	10,4	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	117,7	17,0	5499	4243	252	19,4	155,9	14,3
B2_7b/3	30	II aGo-PS	6,33	7,6	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	120,8	19,9	6633	5868	244	30,5	155,3	16,6
B2_7b/4	40	II aGo-PS	6,64	4,2	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	151,3	24,4	6008	7970	247	29,3	n.b.	18,1
B2_7b/5	50	II aGo-PS	6,71	2,7	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	116,0	19,0	6483	6404	178	45,9	269,3	14,9
B2_7b/6	65	II aGo-PS	6,71	3,6	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	55,3	6,9	5804	3839	183	21,9	n.b.	12,2
B2_7b/7	75	II aGo-PS	6,65	3,3	Ss/S14*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	52,1	2,0	4662	1057	120	4,3	113,3	9,0
B2_7b/8	90	III aGo	6,65	2,0	Su2*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	49,9	4,6	2318	703	60	4,4	n.b.	3,9
B2_7b/9	100	III aGo	6,67	1,9	Su2*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	44,8	4,6	807	830	45	4,7	47,4	2,4

Tabelle A12 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (Flußabschnitte C und D)

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
C_1/1	10	a M	6,12	8,8	Su4	23,2	16,0	9,5	48,8	17,6	18,9	9,4	45,9	5,1	0,4	39,2	n.b.	1039	n.b.	88	6,2	n.b.	3,9
C_1/2	30	II M-Bv	4,53	5,0	Su4	24,0	17,0	7,4	48,3	13,8	19,9	11,7	45,5	6,1	0,3	29,1	n.b.	460	n.b.	41	6,0	n.b.	2,4
C_1/3	50	II M-Go	5,30	3,0	Su4	10,1	25,2	11,9	47,2	11,0	19,7	14,2	44,9	7,8	1,2	41,2	n.b.	78	n.b.	37	2,9	n.b.	0,0
C_1/4	70	II M-Go	5,62	2,4	Slu	9,2	24,0	14,1	47,3	10,2	19,0	14,9	44,1	8,6	1,5	39,5	n.b.	57	n.b.	39	2,2	n.b.	0,0
C_1/5	90	II M-Go	5,86	2,4	Slu	7,6	23,8	15,1	46,5	9,2	18,2	17,0	44,4	9,1	2,0	44,2	n.b.	58	n.b.	45	1,7	n.b.	0,0
C_1/6	110	II M-Go	5,85	5,1	Su4	10,0	26,3	11,6	47,9	10,6	19,5	14,9	45,0	7,1	1,2	47,4	n.b.	52	n.b.	43	2,2	n.b.	0,0
C_2/1	10	aGo-M	6,60	8,7	Su4	18,7	23,5	11,1	53,3	16,2	15,5	8,9	40,6	6,1	0,6	61,9	n.b.	3910	n.b.	186	16,2	n.b.	12,7
C_2/2	20	Ib a(PS)- M	6,08	4,9	Su4	15,2	25,5	14,3	55,0	20,2	13,7	6,2	40,1	4,9	0,9	63,3	n.b.	6623	n.b.	240	32,2	n.b.	20,9
C_2/3	30	Ic aGo-M	6,06	4,1	Su4	17,7	19,6	10,3	47,6	17,4	19,5	9,1	46,0	6,3	0,6	37,8	n.b.	1293	n.b.	66	7,1	n.b.	5,5
C_2/4	50	Ic aGo-M	6,05	3,9	Su4	21,4	18,1	7,0	46,5	14,3	20,7	11,9	46,9	6,4	0,3	40,6	n.b.	1420	n.b.	70	7,7	n.b.	5,1
C_2/5	70	Ic aGo-M	6,19	3,1	Slu	12,9	25,5	8,0	46,4	11,3	19,7	14,2	45,1	8,3	0,6	39,3	n.b.	989	n.b.	45	3,8	n.b.	4,1
C_2/6	80	Ic aGo-M	6,21	2,9	Su4	13,1	28,0	7,6	48,7	11,9	19,7	12,7	44,3	7,0	0,6	40,2	n.b.	1091	n.b.	46	3,2	n.b.	4,4
D_1/1	10	aGo-M	5,97	7,4	Su2	15,1	33,6	32,3	80,9	13,6	2,8	1,2	17,7	1,4	2,1	114,0	13,7	4545	3264	283	31,2		11,0
D_1/2	20	aGo-M	6,32	4,5	Su2	17,0	32,5	28,9	78,5	14,4	4,1	1,2	19,8	1,7	1,7	66,0	10,7	4445	4055	309	37,8	24,6	11,6
D_1/3	30	aGo-M	7,02	4,2	Su2	16,0	27,9	30,7	74,7	15,7	5,8	1,9	23,3	2,0	1,9	110,0	14,0	7183	5549	366	44,1		18,0
D_1/4	37	Ib aGo- PS-M	7,48	3,0	Su3	4,4	33,2	33,1	70,7	16,5	7,2	2,9	26,7	2,6	7,6	85,2	29,6	5660	4184	270	17,4	220,9	24,9
D_1/5	50	Ila aGo	7,67	2,0	Su3	10,2	29,6	28,0	67,8	18,5	8,1	2,7	29,2	3,0	2,8	135,0	21,7	13275	6337	423	73,5	214,4	31,2
D_1/6	55	Ila aGo	7,76	1,6	Su3	9,7	31,0	28,7	69,4	18,2	7,2	2,3	27,7	2,8	3,0	224,0	24,5	12154	5413	416	66,1		30,3
D_1/7	65	Ila aGo	7,69	1,6	Su3	11,1	33,9	25,9	70,8	16,3	7,5	2,6	26,3	2,9	2,3	108,0	21,6	23268	8968	555	97,6		51,5
D_1/8	80	Ilb aGo	7,38	3,2	Su3	18,1	25,4	18,3	61,8	16,7	12,8	4,6	34,1	4,1	1,0	132,0	16,4	13716	5479	418	40,1	119,9	28,9
D_1/9	90	Ilb aGo	7,24	2,9	Su3	16,8	27,5	18,1	62,4	16,9	12,0	4,7	33,7	3,9	1,1	145,0	18,9	10057	4082	412	37,3		25,1
D_1/10	100	Ilb aGo	7,08	2,8	Su3	16,4	29,1	19,7	65,2	16,2	10,1	4,6	30,9	3,8	1,2	76,0	14,7	8941	6029	434	50,8		22,2
D_1/11	110	Ilb Gr	6,62	2,5	Su3	19,6	25,7	15,6	61,0	16,5	13,0	5,3	34,8	4,2	0,8	98,0	13,1	7347	4793	336	64,8	196,8	15,6
D_2/1	8	aGo-M	6,89	12,0	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	44,6	n.b.	4813	n.b.	189	12,8	n.b.	11,6
D_2/2	10	Ib a(PS)- M	n.b.	2,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	54,7	n.b.	5891	n.b.	253	24,1	n.b.	14,6
Profil	[cm u.	Schicht/	pH	Glühverl	Boden-	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	As	Ag

Proben-Nr.	GOK]	Horizont	[H ₂ O]	[350°C]	art											[g/kg]	[g/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
D_2/3	28	Ic aGo-M	6,38	4,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	45,9	n.b.	3800	n.b.	112	11,3	n.b.	7,5
D_2/4	30	II aGo	n.b.	3,5	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	46,8	n.b.	6201	n.b.	162	6,9	n.b.	15,3
D_2/5	40	II aGo	n.b.	2,9	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	36,2	n.b.	7116	n.b.	105	4,5	n.b.	12,3
D_3/1	10	aGo-M	6,71	7,7	Su4	23,7	21,4	4,6	49,7	15,2	19,8	9,7	44,7	5,3	0,2	36,5	n.b.	1696	n.b.	74	5,9	n.b.	4,6
D_3/2	20	Ib aM	6,63	3,2	Su4	9,0	32,8	7,8	49,6	13,7	20,2	10,0	44,0	6,4	0,9	37,1	n.b.	1491	n.b.	71	6,2	n.b.	5,3
D_3/3	40	Ib aM	6,72	3,4	Su4	7,0	30,9	10,4	48,4	11,8	20,3	12,1	44,3	7,3	1,5	36,2	n.b.	1174	n.b.	52	3,9	n.b.	4,2
D_3/4	50	II aM-Go	6,76	3,4	Su3	20,7	26,9	9,3	56,8	17,8	13,9	7,2	38,9	4,1	0,4	42,7	n.b.	899	n.b.	48	3,9	n.b.	< 0,1
D_3/5	70	III aM-Go	6,80	2,6	Slu	27,5	19,2	2,0	48,8	11,2	16,9	13,7	41,8	9,1	0,1	40,3	n.b.	665	n.b.	43	3,1	n.b.	< 0,1
D_3/6	90	III aM-Go	6,88	2,4	Su4	25,9	21,1	2,6	49,6	10,9	17,4	14,1	42,4	7,7	0,1	40,0	n.b.	166	n.b.	42	2,2	n.b.	< 0,1
D_4/1	10	aGo-M	6,92	5,8	Su4	23,4	22,5	4,3	50,3	16,4	19,1	9,0	44,4	5,2	0,2	34,9	n.b.	1198	n.b.	68	6,5	n.b.	4,4
D_4/2	20	aGo-M	6,87	4,1	Su4	21,0	24,0	4,2	49,1	14,2	20,3	10,4	45,0	5,7	0,2	33,2	n.b.	1088	n.b.	63	5,6	n.b.	4,0
D_4/3	40	aGo-M	7,02	3,4	Su4	22,4	21,3	3,6	47,3	11,7	19,8	13,4	44,9	7,4	0,2	37,0	n.b.	453	n.b.	44	2,9	n.b.	< 0,1
D_4/4	60	II Go-M	7,11	2,5	Slu	19,9	23,8	4,0	47,6	9,8	16,4	15,6	41,9	10,0	0,2	39,7	n.b.	83	n.b.	43	2,2	n.b.	< 0,1
D_4/5	80	II Go-M	7,14	2,7	Slu	22,4	24,0	2,4	48,8	10,8	17,7	13,9	42,4	8,4	0,1	40,6	n.b.	77	n.b.	47	2,0	n.b.	< 0,1
D_4/6	95	II Go-M	7,18	2,6	Slu	19,1	27,7	3,4	50,1	12,1	16,8	12,7	41,5	8,1	0,2	43,9	n.b.	72	n.b.	43	2,2	n.b.	< 0,1

Tabelle A13 Meßergebnisse der analysierten Profile im Einzugsgebiet der Harzselke (Flußabschnitt E)

Profil	[cm u.	Schicht/	pH	Glühverl	Boden-	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Cd	As	Ag	
Proben-Nr.	GOK]	Horizont	[H ₂ O]	[350°C]	art											[g/kg]	[g/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	
E_1/1	5	aM	6,44	3,7	Su2	22,4	29,2	26,0	77,5	14,5	4,2	1,8	20,5	1,9	1,2	22,4	8,0	2522	2042	142	8,3	n.b.	4,4	
E_1/2	15	Ila aM-fAh	5,82	6,9	Su2	23,4	25,1	24,7	73,2	17,2	5,5	1,9	24,6	2,1	1,1	26,8	8,0	4251	3044	187	31,6	n.b.	9,7	
E_1/3	25	III aGo(-PS-)M	6,18	3,9	Su3	16,3	29,7	26,1	72,1	17,3	6,2	2,0	25,5	2,5	1,6	27,9	10,1	7999	4532	199	32,2	151,3	16,6	
E_1/4	35	III aGo(-PS-)M	6,32	3,1	Su3	21,8	28,2	22,3	72,3	16,4	6,3	2,5	25,2	2,5	1,0	27,7	6,8	3740	3402	136	14,2	n.b.	6,9	
E_1/5	45	IVa aGo-M	6,30	2,5	Su3	13,1	29,6	21,7	64,4	19,1	9,1	3,8	32,0	3,6	1,7	35,5	5,5	3029	956	88	5,4	59,9	3,9	
E_1/6	60	IVb aGo-M	6,29	2,6	Su3	11,4	30,4	27,2	69,0	17,3	7,6	3,0	27,9	3,1	2,4	31,0	4,5	2204	1006	74	4,0	n.b.	3,2	
E_1/7	70	IVc aGo-M	5,98	5,0	Su3	10,0	31,3	27,1	68,4	15,6	8,2	4,0	27,9	3,7	2,7	31,6	2,3	1243	414	82	2,3	56,6	3,3	
Keine Probe	70-90	V IC-Go	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
E_1/8	95	VI aGor	5,89	4,8	Su3	15,9	30,0	26,0	71,9	15,4	7,0	3,0	25,4	2,6	1,6	30,6	1,1	2330	517	101	3,9	65,3	3,2	
E_1/9	105	VI aGor	5,06	4,3	Su3	24,4	27,5	17,5	69,4	15,3	8,2	3,8	27,2	3,4	0,7	36,5	0,8	2392	1475	112	4,5	n.b.	4,5	
E_1/10	110	VII Ghr	5,52	4,5	Su3	10,6	29,3	23,6	63,5	16,0	11,0	5,3	32,3	4,3	2,2	37,9	2,1	2194	1475	85	5,1	46,6	5,1	
E_1/11	120	VII Ghr	5,20	3,5	Su3	11,5	24,8	25,8	62,1	18,3	11,4	4,4	34,1	3,7	2,3	21,9	1,4	1262	629	94	3,8	50,3	3,7	
E_2/1	10	aM	6,45	6,7	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	35,3	n.b.	2659	n.b.	96	5,5	n.b.	2,8	
E_2/2	25	aM	6,28	4,1	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	37,6	n.b.	2907	n.b.	92	10,9	n.b.	6,6	
E_2/3	35	II aM-Go	5,98	2,4	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	33,6	n.b.	1376	n.b.	67	6,5	n.b.	4,0	
E_2/4	50	II aM-Go	5,91	2,2	Su4*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	34,6	n.b.	916	n.b.	49	4,6	n.b.	2,8	
E_3/1	3	aM	6,90	2,8	Su2	34,2	19,6	23,7	77,5	13,7	4,7	2,2	20,6	1,9	0,7	105,0	5,1	1369	923	97	5,8	n.b.	2,6	
E_3/2	10	Ila aM-fAh	5,87	7,5	Su2	23,7	26,2	24,4	74,3	15,5	5,6	2,3	23,4	2,3	1,0	72,0	6,4	2432	1448	161	9,8	103,3	5,3	
E_3/3	20	Ila aGo-M	5,90	4,6	Su2	22,1	27,9	24,8	74,8	15,3	5,4	2,3	23,0	2,2	1,1	72,0	7,3	3057	1874	125	12,9	n.b.	6,0	
E_3/4	30	Ila aGo-M	6,15	4,5	Su2	21,7	27,4	24,6	73,7	15,8	5,8	2,4	23,9	2,4	1,1	62,0	6,6	3526	2056	121	14,2	n.b.	7,1	
E_3/5	40	Ilb aGo-M	6,24	3,8	Su3	6,6	35,4	28,1	70,2	16,1	7,5	3,2	26,8	3,1	4,2	71,0	6,4	3750	2150	114	12,9	108,6	7,0	
E_3/6	50	IIC aGo-M	6,27	3,2	Su3	26,2	21,1	22,4	69,7	17,0	7,3	3,0	27,4	2,8	0,9	61,0	6,7	2225	1657	83	11,6	n.b.	3,9	
E_3/7	60	IIC aGo-M	6,22	2,8	Su3	19,0	24,9	21,3	65,2	17,8	9,3	4,1	31,1	3,6	1,1	60,0	2,7	2833	1133	105	5,2	n.b.	4,8	

Profil Proben-Nr.	[cm u. GOK]	Schicht/ Horizont	pH [H ₂ O]	Glühverl [350°C]	Boden- art	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	fS:gS	Fe [g/kg]	Mn [g/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	As [mg/kg]	Ag [mg/kg]
E_3/8	70	IIc aGo-M	6,21	2,3	Su3	13,6	30,3	22,3	66,3	18,4	8,2	3,6	30,2	3,5	1,6	49,0	2,0	1879	780	76	3,3	43,6	3,0
E_4/1	10	aM-Ah	5,97	7,4	Su3	17,0	24,2	12,9	54,1	24,4	12,9	5,1	42,3	3,5	0,8	40,8	3,5	553	421	72	3,4	n.b.	3,7
E_4/2	30	aM-Go	4,68	4,2	Su3	17,3	27,3	21,4	66,0	18,5	9,9	3,3	31,7	2,3	1,2	38,7	3,1	443	383	56	2,6	n.b.	2,4
E_4/3	50	aM-Go	5,83	3,1	Su3	19,9	30,4	21,4	71,7	15,5	7,5	2,8	25,8	2,6	1,1	43,0	3,1	371	343	56	2,5	n.b.	2,6
E_4/4	70	Ib aM-Go	6,20	2,5	Su3	9,2	34,9	28,0	72,0	17,6	6,5	1,9	26,0	2,0	3,0	43,5	4,6	398	255	81	1,9	n.b.	2,9
E_4/5	90	II aM-Go	5,95	2,9	Su3	14,1	31,2	16,9	62,2	21,5	9,9	3,3	34,7	3,2	1,2	51,2	3,3	471	295	60	2,4	n.b.	2,6

Tabelle A 14 Statistische Populationskenngrößen geochemisch-stratigraphischer Einheiten in fluviatilen Sedimenten im direkten Harzeinzugsgebiet der Bode

Teileinzugsgebiet	Kalte Bode/Warme Bode (Brunnenbach)		Harzbode		
Geochemisch-stratigraphische Schicht	A(WKB)	B(WKB)	A(HB)	B(HB)	C(HB)
Element	Fe				
Anzahl der Proben (n)	35	5	31	2	21
Mittel	41	52	46	40	34
Median	35	48	44	40	36
Standardabweichung	14,4	18,1	8,9	0,6	6,3
Minimum	21	28	35	40	21
Maximum	87	72	77	41	44
1. Quartil	33	43	40	40	31
2. Quartil	42	67	50	41	38
Element	Pb				
Anzahl der Proben (n)	35	5	31	2	21
Mittel	297	1453	123	421	55
Median	288	1558	114	421	50
Standardabweichung	80	470	37	18	23
Minimum	152	721	77	408	32
Maximum	453	1890	228	433	121
1. Quartil	238	1295	99	414	40
2. Quartil	365	1800	132	427	55
Element	Cu				
Anzahl der Proben (n)	35	5	31	2	21
Mittel	98	353	43	206	28
Median	93	258	40	206	26
Standardabweichung	36	209	13	4	9
Minimum	46	143	27	204	16
Maximum	194	651	90	209	57
1. Quartil	75	230	35	205	23
2. Quartil	105	485	50	208	28
Element	Cd				
Anzahl der Proben (n)	35	5	31	2	21
Mittel	2,0	1,5	2,9	4,0	2,0
Median	1,7	1,2	2,8	4,0	2,0
Standardabweichung	1,1	0,9	0,5	0,3	0,7
Minimum	0,7	0,7	2,2	3,8	0,6
Maximum	5,1	3,1	4,1	4,2	3,6
1. Quartil	0,9	1,0	2,5	3,9	1,6
2. Quartil	2,9	1,2	3,3	4,1	2,2
Element	As				
Anzahl der Proben (n)			6	6	
Mittel			18	15	
Median			18	12	
Standardabweichung			4	5	
Minimum			14	10	
Maximum			25	24	
1. Quartil			15	11	
2. Quartil			20	17	
Element	Ag				
Anzahl der Proben (n)	35	5	31	2	21
Mittel	1,8	2,0	2,1	2,2	1,9
Median	1,9	1,9	2,2	2,2	2,0
Standardabweichung	0,7	0,3	0,5	0,1	0,5
Minimum	0,9	1,6	0,7	2,1	1,1
Maximum	3,1	2,4	2,8	2,3	2,9
1. Quartil	1,2	1,8	1,9	2,2	1,5
2. Quartil	2,5	2,1	2,4	2,3	2,2

Tabelle A 15 Statistische Populationskenngrößen geochemisch-stratigraphischer Einheiten in fluviatilen Sedimenten im direkten Harzeinzugsgebiet der Selke (**Flußabschnitt B1 und B2**)

Flußabschnitt	B1 vor Agezucht		B1 nach Agezucht				B2			
Geochemisch-stratigraphische Schicht	B(1a)	B(B1a)	A(B1b)	B(1b)	C(B1b)	D(B1b)	A(B2)	B(B2)	C(B2)	D(B2)
Element	<i>Fe</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	43,3	48,2	52,4	42,6	54,5	26,8	56,8	108,6	49,7	42,3
Median	42,3	46,3	51,3	42,0	53,7	25,0	56,2	97,2	43,8	43,0
Standardabweichung	5,5	10,1	13,8	10,5	13,9	4,5	16,0	55,4	17,2	6,8
Minimum	32,2	36,3	29,5	25,9	27,2	21,5	34,6	36,1	26,7	33,3
Maximum	51,4	64,4	74,7	62,0	75,4	33,5	122,9	253,7	90,6	51,2
1. Quartil	40,3	41,7	47,4	35,2	47,6	24,3	50,7	62,8	36,7	37,3
2. Quartil	47,6	52,7	58,2	46,6	61,3	30,1	63,6	126,7	58,6	46,6
Element	<i>Mn</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	5,5	2,8	4,0	3,6	5,8	2,2	8,7	19,0	6,7	3,3
Median	2,6	2,7	4,2	2,9	5,1	1,9	8,0	15,8	4,8	2,2
Standardabweichung	5,3	1,2	1,0	2,2	4,0	1,0	2,9	11,6	6,1	2,3
Minimum	0,7	1,1	2,6	0,6	1,2	1,3	4,5	5,2	1,2	1,5
Maximum	13,8	4,5	5,2	8,3	13,2	4,4	16,4	47,9	25,3	7,4
1. Quartil	1,8	2,0	3,4	2,2	2,9	1,7	6,9	11,7	2,6	2,0
2. Quartil	9,4	3,5	4,7	4,3	7,9	2,4	10,1	20,2	6,3	4,0
Element	<i>Pb</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	72	47	282	286	1399	456	2323	8414	2148	2394
Median	68	47	251	292	1023	408	2560	7809	1579	1409
Standardabweichung	8	21	79	101	760	375	1096	4140	1473	1965
Minimum	64	24	179	41	726	103	822	2679	557	845
Maximum	87	77	397	493	2861	1174	5363	23233	5698	5744
1. Quartil	67	26	238	265	861	139	1304	5728	973	1183
2. Quartil	78	66	337	317	1983	576	2974	10364	2559	3238
Element	<i>Zn</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	165	100	254	259	491	252	1021	3788	1389	443
Median	145	94	222	228	447	214	847	3654	885	441
Standardabweichung	36	19	82	76	176	167	729	1840	1682	59
Minimum	131	84	170	162	226	113	494	780	239	370
Maximum	232	145	367	387	757	631	4121	7970	8889	527
1. Quartil	140	93	189	200	363	144	612	2253	679	402
2. Quartil	176	98	320	328	636	264	1017	5244	1275	480
Element	<i>Cu</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	39	35	117	55	100	45	285	318	137	103
Median	37	35	76	42	77	47	256	344	98	88
Standardabweichung	6	5	84	33	74	11	137	93	122	54
Minimum	31	29	49	25	36	32	140	168	42	45
Maximum	50	41	264	149	301	61	705	442	549	201
1. Quartil	35	31	55	38	64	36	185	246	67	76
2. Quartil	42	39	162	48	108	51	361	400	155	114
Element	<i>Cd</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	1,3	1,0	2,9	1,8	3,7	1,3	5,3	17,1	7,8	2,2
Median	1,3	0,9	3,2	1,7	3,5	1,2	4,3	15,2	5,0	1,9
Standardabweichung	0,1	0,1	0,9	0,5	1,7	0,4	3,1	10,9	8,0	0,7
Minimum	1,1	0,9	1,7	1,2	1,6	0,9	2,8	3,2	0,1	1,5
Maximum	1,5	1,2	4,0	3,2	6,6	1,9	16,4	45,9	30,8	3,5
1. Quartil	1,3	0,9	2,2	1,4	2,4	1,1	3,8	8,1	2,5	1,7
2. Quartil	1,4	1,0	3,6	2,0	4,9	1,5	5,2	22,8	9,7	2,6
Element	<i>As</i>									
Anzahl der Proben (n)	1	4	2	3	3	4	9	12	12	2
Mittel	17,1	10,4	39,7	22,9	83,6	25,0	146,9	189,4	68,1	61,3
Median	17,1	10,2	39,7	24,2	70,6	25,3	153,7	180,6	49,6	61,3
Standardabweichung		2,2	22,3	3,0	60,9	10,6	34,5	89,8	47,8	6,6
Minimum	17,1	7,9	23,9	19,4	30,3	13,7	79,9	0,0	16,3	56,6
Maximum	17,1	13,2	55,4	25,0	149,9	35,9	205,8	303,3	195,5	66,0
1. Quartil	17,1	9,4	31,8	21,8	50,5	17,4	136,2	141,9	44,8	59,0
2. Quartil	17,1	11,2	47,5	24,6	110,3	32,9	157,7	269,8	72,1	63,7
Element	<i>Ag</i>									
Anzahl der Proben (n)	11	8	7	14	10	8	30	32	28	6
Mittel	1,0	1,0	2,0	1,9	4,7	2,3	7,3	21,6	5,9	7,2
Median	1,1	0,9	1,9	1,7	4,0	2,3	6,8	20,3	3,9	5,7
Standardabweichung	0,3	0,3	0,6	0,6	1,8	1,2	3,7	9,4	6,4	4,0
Minimum	0,7	0,7	1,5	1,1	2,2	0,9	4,3	7,0	2,1	4,0
Maximum	1,5	1,5	3,2	2,8	7,1	4,1	21,0	44,4	31,6	14,1
1. Quartil	0,8	0,8	1,5	1,5	3,3	1,3	5,4	14,8	3,0	4,3
2. Quartil	1,2	1,0	2,2	2,2	6,5	3,0	7,4	29,8	5,0	9,0

Tabelle A 16 Statistische Populationskenngrößen geochemisch-stratigraphischer Einheiten in fluviatilen Sedimenten im direkten Harzeinzugsgebiet der Selke (Flußabschnitt C,D und E)

Flußabschnitt	C/D				E	
	A(C/D)	B(C/D)	C(C/D)	D(C/D)	A(E)	B(E)
Element	<i>Fe</i>					
Anzahl der Proben (n)	6	9	17	7	23	5
Mittel	78	111	41	42	44	43
Median	76	108	39	41	36	43
Standardabweichung	30,5	57,1	8,9	2,9	21,0	4,7
Minimum	45	36	29	40	22	39
Maximum	114	224	63	47	105	51
1. Quartil	51	76	37	40	31	41
2. Quartil	104	135	40	44	61	44
Element	<i>Mn</i>					
Anzahl der Proben (n)	4	7			23	5
Mittel	17	19			5	4
Median	14	19			6	3
Standardabweichung	8,5	4,2			2,6	0,6
Minimum	11	13			1	3
Maximum	30	25			10	5
1. Quartil	13	16			3	3
2. Quartil	18	22			7	4
Element	<i>Pb</i>					
Anzahl der Proben (n)	6	9	17	7	23	5
Mittel	5074	11342	1509	68	2700	447
Median	4679	10057	1091	72	2432	443
Standardabweichung	1196	5243	1544	12	1450	71
Minimum	3800	6201	166	52	916	371
Maximum	7183	23268	6623	83	7999	553
1. Quartil	4470	7347	899	58	2037	398
2. Quartil	5448	13275	1420	78	3043	471
Element	<i>Zn</i>					
Anzahl der Proben (n)	4	7			23	5
Mittel	4263	5872			1552	339
Median	4120	5479			1448	343
StAb	949	1558			1001	66
Minimum	3264	3264			414	255
Maximum	5549	8968			4532	421
1. Quartil	3857	5103			852	295
2. Quartil	4525	6183			1958	383
Element	<i>Cu</i>					
Anzahl der Proben (n)	6	9	17	7	23	5
Mittel	255	362	76	42	108	65
Median	277	416	63	43	97	60
Standardabweichung	91	142	54	3	37	11
Minimum	112	105	41	37	49	56
Maximum	366	555	240	47	199	81
1. Quartil	209	336	45	41	84	56
2. Quartil	303	423	71	44	123	72
Element	<i>Cd</i>					
Anzahl der Proben (n)	6	9	17	7	23	5
Mittel	25,8	49,1	7,0	2,6	9,5	2,6
Median	24,3	50,8	5,6	2,2	5,8	2,5
Standardabweichung	13,8	30,6	7,2	1,5	8,0	0,6
Minimum	11,3	4,5	2,2	1,7	2,3	1,9
Maximum	44,1	97,6	32,2	6,0	32,2	3,4
1. Quartil	14,0	37,3	3,2	2,1	4,6	2,4
2. Quartil	36,2	66,1	6,5	2,2	12,3	2,6
Element	<i>As</i>					
Anzahl der Proben (n)	2	3			9	
Mittel	123	177			76	
Median	123	197			60	
Standardabweichung	139	50			37	
Minimum	25	120			44	
Maximum	221	214			151	
1. Quartil	74	158			50	
2. Quartil	172	206			103	
Element	<i>Ag</i>					
Anzahl der Proben (n)	6	9	17	7	23	5
Mittel	14	26	5	<0,1	5	3
Median	12	25	4	<0,1	4	3
Standardabweichung	6,3	11,9	5,1	<0,1	3,1	0,5
Minimum	8	12	0	<0,1	3	2
Maximum	25	52	21	<0,1	17	4
1. Quartil	11	16	2	<0,1	3	3
2. Quartil	16	30	5	<0,1	6	3

Tabelle A17 Abflußmengen (Q), abfiltrierbare Stoffe (AFS) und Schwermetalle im Wasser an ausgewählten Pegeln der Bode und Selke im Harz (Gewässergüteberichte Sachsen-Anhalt 1991 - 1996)

	Q [m³/s]	AFS [mg/l]	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
			[µg/l]					
NWG	-	1,0	10	0,20	0,20	0,1 - 0,2	-	-
Kalte Bode bei Königshütte								
Min	0,14	< 1,0	11	0,3	0,3	0,11	20	94
Max	4,96	9,0	364	2,0	3,9	0,30	94	300
Median	0,53*		31	2,0	2,0	0,21	46	163
Mittel	1,02		59	1,3	1,9	0,20	47	166
n(nMax)	-	-	14(16)	5(16)	9(16)	6(16)	16(16)	16(16)
Warme Bode bei Königshütte								
Min	0,14	< 1,0	23	0,2	0,7	0,10	8	30
Max	12,40	7,0	154	3,4	9,2	0,33	39	412
Median	1,10*	-	36	2,0	2,9	0,23	31	190
Mittel	2,48	-	48	1,7	3,9	0,21	29	201
n(nMax)	-	-	11(13)	7(13)	4(13)	5(13)	12(13)	13(13)
Harzbode bei Treseburg								
Min	1,00	2,2	12	2,0	2,2	0,12	23	30
Max	28,30	14,0	69	4,0	3,3	0,30	540	3370
Median	2,0*	-	22	2,6	2,8	0,23	74	141
Mittel	3,80	-	26	2,7	2,8	0,22	91	325
n(nMax)	-	-	19(32)	9(32)	2(32)	4(32)	32(32)	32(32)
Selke bei Silberhütte								
Min	0,11	< 1,0	12	2,0	0,2	0,10	156	160
Max	3,87	63,0	153	16,0	24,6	1,04	2020	1560
Median	0,71*	-	22	3,5	2,4	0,20	400	258
Mittel	1,18	-	57	5,4	5,3	0,30	637	366
n(nMax)	-	-	23(23)	20(23)	17(23)	11(23)	23(23)	23(23)
Selke bei Meisdorf								
Min	0,12	< 1,0	66	6,0	2,0	0,16	57	99
Max	5,30	45,0	80	12,0	10,0	2,80	240	260
Median	0,88*	-	66	7,0	3,2	0,30	64	194
Mittel	1,43	-	71	8,3	5,1	1,09	120	184
n(nMax)	-	-	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)

*Durchschnittswert der einzelnen Jahresmediane

NWG = Nachweisgrenze

n(nMax) = Anzahl der Werte über der Nachweisgrenze (von Gesamtanzahl der Messungen)

Tabelle A 18 Zusammenhang zwischen Abflußmengen (Q) und Schwermetallgehalten im Wasser an ausgewählten Pegeln der Bode und Selke im Harz (Rangkorrelation nach Spearman)

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Q
Bode bei Treseburg						
Cu	-1,0					
Fe	1,0**	0,0				
Mn	1,0**	0,0	0,4*			
Pb	0,0	0,0	1,0	1,0		
Q	0,4	-0,3	0,2	0,2	1,0	
Zn	-0,4	0,0	0,1	0,0	-1,0	0,3
Kalte Bode bei Königshütte						
Cu	0,0					
Fe	0,8	0,9				
Mn	0,6	-0,3	0,2			
Pb	0,0	0,8	0,5	0,3		
Q	0,2	0,0	0,0	0,2	-0,3	
Zn	0,1	-0,3	-0,1	0,3	0,0	0,5
Warme Bode bei Königshütte						
Cu	0,3					
Fe	-0,5	-0,5				
Mn	-0,5	-0,1	0,3			
Pb	0,8	0,6	-0,2	-0,1		
Q	-0,7	-0,6	0,5	0,6	-0,2	
Zn	0,6	0,1	0,1	-0,4	0,8	0,0
Selke bei Silberhütte						
Cu	0,2					
Fe	0,3	0,4				
Mn	0,0	0,3	-0,1			
Pb	-0,1	0,3	0,6**	0,1		
Q	-0,4	0,1	0,2	-0,2	0,6**	
Zn	0,4	0,7**	0,6**	0,1	0,2	0,1

* ** = Signifikanzniveau 95% bzw. 99%

Tabelle A 19 Gelöste Schwermetalle im Wasser der Harzselke und ausgewählter Nebenbäche im Mai 1992 und Juni 1994

Standort	Lage		Q		Zn		Cu		Pb		Cd		Mn		Fe	
	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92	06/94	05/92
	[Fließ-km]		[m³/s]		[µg/l]											
vor Güntersberge	-	65,3	-	0,03	-	18	-	< 2,0	-	< 1,0	-	0,36	-	100	-	222
<i>Katzsohlbach</i>	-	62,7	-	0,05	-	29	-	< 2,0	-	< 1,0	-	< 0,1	-	281	-	327
<i>Limbach</i>	-	61,8	-	0,02	-	25	-	2,0	-	< 1,0	-	1,4	-	529	-	579
nach Güntersberge	-	60,7	-	0,14	-	24	-	2,0	-	< 1,0	-	< 0,1	-	135	-	300
<i>Steinfurthbach bzw. Elbingstal</i>	-	59,1	-	0,01	-	28	-	2,0	-	6,3	-	0,22	-	149	-	247
vor Wiesenbach*	57,3	57,3	0,41	0,20	< 10	19	< 3,0	2,0	< 2,0	3,6	< 0,2	0,63	150	185	180	428
<i>Wiesenbach</i>	57,0	-	0,01	-	99	-	18,0	-	< 2,0	-	0,52	-	3300	-	1300	-
nach Wiesenbach*	56,6	56,6	0,42	0,19	21	88	5,0	22,0	< 2,0	5,1	< 0,2	0,3	730	625	370	613
<i>Graben am Fürst-Victor-Schacht</i>	56,0	-	??	-	11	-	10,0	-	18	-	< 0,2	-	47	-	330	-
<i>Rödelbach*</i>	55,8	55,8	0,08	0,03	< 10	35	< 3,0	2,0	13	19	< 0,2	0,35	330	277	400	605
nach Straßberg	54,8	-	0,59	-	24	-	5,1	-	21	-	< 0,2	-	810	-	650	-
<i>Glasebach*</i>	54,6	54,6	0,04	0,02	< 10	40	11,0	9,0	9,4	27,5	< 0,2	< 0,1	180	102	96	457
nach Glasebach	-	53,5	-	0,28	-	143	-	27,0	-	4	-	0,52	-	1420	-	246
<i>Uhlenbach*</i>	52,0	52,0	0,21	0,05	17	38	3,6	9,0	< 2,0	1,8	< 0,2	< 0,1	410	176	460	1170
vor Silberhütte	53,5	51,7	0,81	0,43	24	116	7,3	16,0	11	1,9	< 0,2	0,34	740	1010	610	256
<i>Pulverbach</i>	-	50,6	-	0,01	-	55	-	2,0	-	1,8	-	< 1,0	-	168	-	374
vor Alexisbad	48,7	50,1	1,10	0,35	46	75	4,6	12,0	4,8	1,9	0,32	0,27	860	423	330	130
<i>Friedenstalbach</i>	-	46,9	-	0,02	-	46	-	4,0	-	6,1	-	0,41	-	128	-	978
<i>Alexisbad - Mägdesprung</i>	-	44,5	-	0,42	-	54	-	10,0	-	4,7	-	0,31	-	423	-	206
<i>Mägdesprung</i>	-	43,3	-	0,43	-	48	-	12,0	-	4,5	-	0,24	-	76	-	198
Selkemühle - Meisdorf	-	38,5	-	0,46	-	51	-	12,0	-	4,6	-	0,46	-	101	-	201
<i>Selkemühle</i>	-	38,2	-	0,59	-	154	-	42,0	-	42	-	2,4	-	413	-	1170
<i>Meisdorf - Pegel</i>	-	29,5	-	0,43	-	66	-	12,0	-	3,2	-	2,8	-	64	-	194
Nachweisgrenze	-	-	-	-	10,0	?	2,0	2,0	2,0	1,0	0,2	0,1	?	?	?	?

Daten: Staatliches Amt für Umweltschutz (StAU) Magdeburg (Heindorf 1993, Anonymus 1994)

Nebenbäche/Stollen *kursiv*; * in beiden Bereisungen übereinstimmende Meßpunkte

Tabelle A 20 Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen an ausgewählten Lösungsstollen im Einzugsgebiet der Harzselke

Stollen-Name	Temperatur			pH-Wert			Leitfähigkeit			Redoxpotential			Sulfat			Nitrat		
	T/1	T/2	T*	pH/1	pH/2	pH*	Lf/1	Lf/2	Lf*	RP/1	RP/2	RP*	SO ₄ /1	SO ₄ /2	SO ₄ /3*	NO ₃ /1	NO ₃ /2	NO ₃ /3*
	[°C]						[µS/cm]			[mV]			[mg/l]					
<i>Wiesenbach - Min-, Max- (Mittel-)wert (n= 6)**</i>	8,0 - 20,1			8,1- 8,5 (8,2)			1690 - 1930 (1828)			n.b.			948 - 1130 (1003)			< 0,5 - 1,2		
Gemeinde-Stollen	7,8	8,4	-	6,67	7,14	-	182	171	-	506	434	-	54	51	-	495	225	-
Heiligenberg-Stollen	7,5	7,9	-	6,48	6,40	-	397	385	-	480	392	-	87	93	-	337	185	-
Zur Eisernen Zeche	7,0	7,2	-	7,12	7,20	-	293	285	-	335	442	-	53	47	-	338	214	-
Schwefel-Stollen	8,3	9,1	7,5*	5,90	5,70	3,4*	633	599	814*	324	368	n.b.	225	247	271*	733	244	< 0,1*
Katharinen-Stollen	8,7	9,1	7,8*	6,00	6,21	6,7*	865	814	881*	266	355	n.b.	190	222	167*	425	360	< 0,1*
Herzog-Alexis-Stollen	5,7	9,9	-	7,15	7,34	-	760	716	-	328	335	-	157	169	-	417	395	-
	Pb/1	Pb/2	Pb*	Cu/1	Cu/2	Cu*	Fe/1	Fe/2	Fe*	Mn/1	Mn/2	Mn*	Zn/1	Zn/2	Zn*	Cd/1	Cd/2	Cd*
	[µg/l]																	
<i>Wiesenbach Min-, Max- (Mittel-)wert (n= 6)**</i>	< 2,0			14 - 35 (20)			644 - 2500 (1437)			3900 - 13000 (7538)			59 - 150 (102)			0,32 - 1,00 (0,56)		
Gemeinde-Stollen	50	110	-	5	21	-	740	300	-	610	650	-	30	<10	-	<10	10	-
Heiligenberg-Stollen	90	80	-	12	10	-	620	340	-	1250	1550	-	40	<10	-	10	<10	-
Zur Eisernen Zeche	120	180	-	12	5	-	1380	2310	-	590	1350	-	20	<10	-	<10	<10	-
Schwefel-Stollen	140	80	<10*	416	507	500*	19340	19310	1800*	2790	2790	4600*	1400	1920	2100*	<10	10	70*
Katharinen-Stollen	120	210	10*	8	3	50*	3590	4100	5500*	5470	5500	8400*	1300	6330	5200*	20	20	40*
Herzog-Alexis-Stollen	60	130	-	3	8	-	500	230	-	430	310	-	100	1020	-	10	<10	-

/1 = Februar 1997, /2 = August 1997, * = BST Mansfeld August 1992, ** = Gewässergütebericht Sachsen-Anhalt 1994

Tabelle A 21 Gerinnesedimente der Harzselke: Lage und Bezeichnung der Probestandorte, Korngrößenanteile, pH-Werte, Schwermetallgehalte (Fe, Mn, Pb, Zn) in Subfraktionen und Anreicherungsfaktoren

Sk = Skelett-Fraktion (> 2000 µm)
 S = Sand-Fraktion (> 63 - 2000 µm)
 TU = Ton und Schluff-Fraktion (< 63 µm)

Proben-Nr.	Fließ-km	Standort	TU	S	pH	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	
			[Gew.-%]	H ₂ O	Eisen [g/kg]					Mangan [g/kg]					Blei [mg/kg]					Zink [mg/kg]						
S1	56,2	Fabrik "Fluor"	27,3	72,7	5,95	44,2	46,1	45,6	0,97	1,01	10,0	2,4	4,5	2,23	0,54	642	492	533	1,21	0,92	624	272	368	1,70	0,74	
S2	57,0	vor Straßberg (BHf)	12,3	87,7	7,36	45,4	45,7	45,7	0,99	1,00	2,7	4,4	4,2	0,64	1,05	760	352	403	1,89	0,88	333	380	374	0,89	1,02	
S3	54,9	vor Glasebach	34,9	65,1	7,00	50,0	42,6	45,2	1,11	0,94	7,5	5,2	6,0	1,25	0,87	1069	676	813	1,31	0,83	624	425	494	1,26	0,86	
S4	54,3	nach Glasebach	19,3	80,7	7,19	49,8	53,7	52,9	0,94	1,01	12,3	7,7	8,6	1,43	0,90	1388	995	1071	1,30	0,93	732	635	654	1,12	0,97	
S5	52,7	vor Birnbaumbach	32,5	67,5	7,16	53,3	61,1	58,6	0,91	1,04	15,2	9,9	11,6	1,31	0,85	1550	1704	1654	0,94	1,03	1068	1220	1171	0,91	1,04	
S6	52,1	vor Pulvermühle	23,0	77,0	6,94	60,6	66,3	65,0	0,93	1,02	16,4	10,2	11,6	1,41	0,88	1947	1647	1716	1,13	0,96	1402	1445	1435	0,98	1,01	
S7	48,9	vor Alexisbad	57,8	42,2	6,55	53,7	59,7	56,2	0,95	1,06	5,0	9,4	6,9	0,73	1,37	2144	1430	1842	1,16	0,78	2358	1029	1797	1,31	0,57	
S8	47,9	vor Schwefel-St.	44,0	56,0	6,78	58,8	107,1	85,9	0,68	1,25	11,9	17,4	15,0	0,79	1,16	3409	2398	2843	1,20	0,84	2881	3796	3393	0,85	1,12	
S9	47,8	Schwefel-St.	13,8	86,2	6,29	137,8	68,4	78,0	1,77	0,88	4,7	8,5	8,0	0,59	1,07	1717	1196	1268	1,35	0,94	2284	1500	1609	1,42	0,93	
S10	47,7	nach Schwefel-St.	26,2	73,8	6,65	59,7	93,0	84,3	0,71	1,10	10,4	13,8	12,9	0,81	1,07	3255	1966	2303	1,41	0,85	2960	2391	2540	1,17	0,94	
S11	46,3	vor Katharinen-St.	44,3	55,7	6,94	56,1	63,7	60,3	0,93	1,06	15,8	11,6	13,5	1,17	0,86	2185	2802	2528	0,86	1,11	2499	2463	2479	1,01	0,99	
Proben vor und nach dem Teich zwischen Katharinen-Stollen und Selke																										
S12a	46,1	vor Teich	22,5	77,5	6,69	55,8	53,1	53,7	1,04	0,99	12,6	10,4	10,9	1,16	0,95	2566	1899	2049	1,25	0,93	8106	4677	5449	1,49	0,86	
S12b	46,1	Bakterienschlamm	100	0,0	6,65	220,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	12,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	440	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	33108	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
S12c	46,1	nach Teich	34,7	65,3	6,55	56,1	58,0	57,3	0,98	1,01	22,4	23,6	23,2	0,97	1,02	3161	2682	2848	1,11	0,94	9336	7936	8422	1,11	0,94	
S13	46,0	nach Katharinen-St.	10,7	89,3	6,92	75,2	123,5	118,4	0,64	1,04	15,4	18,5	18,2	0,85	1,02	2264	4546	4303	0,53	1,06	4142	3337	3422	1,21	0,97	
S14	43,9	vor Mägdesprung	52,1	47,9	7,10	25,2	73,3	48,2	0,52	1,52	5,4	13,2	9,1	0,59	1,44	2457	2737	2591	0,95	1,06	1148	3112	2089	0,55	1,49	
S15	42,9	nach Mägdesprung	53,8	46,2	6,62	48,0	70,5	58,4	0,82	1,21	4,6	9,4	6,8	0,67	1,38	1945	2328	2122	0,92	1,10	3127	3039	3086	1,01	0,98	
S16	40,9	nach Schiebecksb.	21,4	78,6	6,80	58,7	91,6	84,6	0,69	1,08	7,9	1,4	2,8	2,83	0,50	4373	2680	3043	1,44	0,88	3995	2755	3021	1,32	0,91	
S17	38,4	vor Selkemühle	38,0	62,0	6,57	48,9	69,3	61,5	0,79	1,13	4,9	0,9	2,4	2,02	0,37	3081	1910	2355	1,31	0,81	2403	2038	2177	1,10	0,94	
S18	28,6	vor Meisdorf	82,9	17,1	6,56	17,7	19,4	18,0	0,98	1,08	0,6	0,8	0,6	0,95	1,26	37	47	39	0,95	1,23	107	129	111	0,97	1,16	
S19	0,3	vor Bodemündung	88,6	11,4	7,26	26,8	17,9	25,8	1,04	0,69	0,7	0,8	0,7	0,98	1,12	273	239	270	1,01	0,89	474	938	527	0,90	1,78	

Tabelle A 22 (Fortsetzung von Tabelle A 21): Gerinnesedimente der Selke/Harz: Lage und Bezeichnung der Probestandorte, Schwermetallgehalte (Cd, Cu, As, Ag) in Subfraktionen und Anreicherungsfaktoren

Sk = Skelett-Fraktion (> 2000 µm)
 S = Sand-Fraktion (> 63 - 2000 µm)
 TU = Ton und Schluff-Fraktion (< 63 µm)

Proben- Nr.	Fließ- km	Standort	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
			Cadmium					Kupfer					Arsen					Silber				
S1	56,2	Fabrik "Fluor"	3,9	2,3	2,7	1,42	0,84	220	51	97	2,26	0,53	102	159	144	0,71	1,11	3,6	1,7	2,3	1,60	0,77
S2	57,0	vor Straßberg (BHf)	3,0	2,8	2,8	1,07	0,99	60	105	100	0,60	1,06	42	54	53	0,80	1,03	4,3	1,9	2,2	1,99	0,86
S3	54,9	vor Glasebach	4,3	3,1	3,5	1,23	0,88	276	185	216	1,27	0,85	93	57	70	1,34	0,82	4,6	2,0	2,9	1,56	0,70
S4	54,3	nach Glasebach	5,3	3,5	3,9	1,36	0,91	351	229	253	1,39	0,91	129	89	97	1,33	0,92	4,4	3,5	3,6	1,21	0,95
S5	52,7	vor Birnbaumbach	5,9	6,7	6,4	0,91	1,04	300	272	281	1,07	0,97	163	125	137	1,18	0,91	6,4	5,0	5,5	1,17	0,92
S6	52,1	vor Pulvermühle	8,7	7,1	7,4	1,17	0,95	379	268	293	1,29	0,91	156	126	133	1,18	0,95	7,9	6,2	6,6	1,20	0,94
S7	48,9	vor Alexisbad	11,9	5,0	9,0	1,32	0,56	299	268	286	1,05	0,94	104	110	106	0,98	1,03	8,8	4,1	6,8	1,29	0,60
S8	47,9	vor Schwefel-St.	17,8	18,8	18,3	0,97	1,03	294	239	263	1,12	0,91	180	163	171	1,06	0,96	14,2	8,5	11,0	1,29	0,77
S9	47,8	Schwefel-St.	9,4	7,0	7,3	1,29	0,95	2139	395	636	3,36	0,62	3324	395	800	4,15	0,49	9,3	21,6	19,9	0,47	1,09
S10	47,7	nach Schwefel-St.	16,8	11,6	12,9	1,30	0,89	1119	358	557	2,01	0,64	193	205	202	0,96	1,01	11,6	4,8	6,6	1,75	0,73
S11	46,3	vor Katharinen-St.	13,9	16,5	15,4	0,90	1,08	268	295	283	0,95	1,04	208	167	185	1,12	0,90	9,1	7,6	8,3	1,10	0,92
Proben vor und nach dem Teich zwischen Katharinen-Stollen und Selke																						
S12a	46,1	vor Teich	27,9	17,7	20,0	1,40	0,88	260	165	187	1,40	0,88	147	129	133	1,10	0,97	8,7	4,4	5,3	1,62	0,82
S12b	46,1	Bakterienschlamm	179,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	53	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	484	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
S12c	46,1	nach Teich	45,9	40,3	42,2	1,09	0,95	305	219	249	1,23	0,88	179	121	141	1,26	0,86	13,2	6,1	8,6	1,54	0,71
S13	46,0	nach Katharinen-St.	23,0	15,5	16,3	1,42	0,95	489	297	317	1,54	0,94	183	129	135	1,36	0,96	14,8	8,6	9,3	1,60	0,93
S14	43,9	vor Mägdesprung	13,4	15,9	14,6	0,91	1,09	297	275	286	1,04	0,96	173	169	171	1,01	0,99	8,4	7,4	7,9	1,06	0,93
S15	42,9	nach Mägdesprung	15,7	14,1	15,0	1,05	0,94	253	201	229	1,11	0,88	122	189	153	0,80	1,23	9,9	5,5	7,9	1,26	0,70
S16	40,9	nach Schiebecksb.	24,1	12,4	14,9	1,62	0,83	343	184	218	1,57	0,84	164	122	131	1,25	0,93	6,5	6,5	6,5	1,00	1,00
S17	38,4	vor Selkemühle	15,2	9,7	11,8	1,29	0,82	346	173	238	1,45	0,72	120	92	103	1,17	0,90	11,3	5,6	7,8	1,45	0,72
S18	28,6	vor Meisdorf	1,0	1,1	1,0	0,99	1,06	13	22	15	0,90	1,50	3,7	3,5	3,7	1,01	0,96	2,1	1,2	1,9	1,08	0,60
S19	0,3	vor Bodemündung	4,1	4,8	4,2	0,98	1,15	158	247	168	0,94	1,46	17	5,0	15	1,09	0,32	2,0	3,3	2,1	0,93	1,54

Tabelle A 23 Korrelationsmatrix für Schwermetallgehalte in Gerinnesedimenten der Harzselke (Rangkorrelation nach Spearman)

	Ag_TU	Ag_S	As_TU	As_S	Cd_TU	Cd_S	Cu_TU	Cu_S	Fe_TU	Fe_S	Mn_TU	Mn_S	Pb_TU	Pb_S	Zn_TU
Ag_S	0,74**														
As_TU	0,56**	0,69**													
As_S	0,58**	0,67**	0,51*												
Cd_TU	0,64**	0,65**	0,75**	0,47*											
Cd_S	0,78**	0,75**	0,77**	0,60**	0,91**										
Cu_TU	0,61**	0,61**	0,4	0,31	0,27	0,29									
Cu_S	0,47*	0,66**	0,56*	0,54*	0,25	0,36	0,64**								
Fe_TU	0,50*	0,69**	0,57**	0,46*	0,64**	0,49*	0,53*	0,59**							
Fe_S	0,78**	0,81**	0,78**	0,63**	0,67**	0,64**	0,63**	0,54*	0,59**						
Mn_TU	0,35	0,42	0,70**	0,33	0,51*	0,54*	0,36	0,34	0,61**	0,30					
Mn_S	0,74**	0,60**	0,83**	0,59**	0,65**	0,76**	0,4	0,58**	0,57**	0,56**	0,71**				
Pb_TU	0,80**	0,66**	0,61**	0,43	0,70**	0,83**	0,58**	0,27	0,40	0,76**	0,37	0,59**			
Pb_S	0,78**	0,79**	0,89**	0,60**	0,84**	0,89**	0,42	0,45*	0,48*	0,79**	0,56**	0,74**	0,81**		
Zn_TU	0,64**	0,63**	0,69**	0,52*	0,98**	0,86**	0,27	0,25	0,67**	0,65**	0,54*	0,65**	0,64**	0,81**	
Zn_S	0,79**	0,74**	0,76**	0,57**	0,94**	0,98**	0,34	0,33	0,49*	0,66**	0,49*	0,74**	0,83**	0,87**	0,90**

Xx_TU = Konzentration des Elementes Xx in der Feinfraktion (< 63 µm)

Xx_S = Konzentration des Elementes Xx in der Grobfraktion (63 - 2000 µm)

* ** = Signifikanzniveau 95% bzw. 99%

Tabelle A 24 ¹⁴C-Datierungen (Institut für Bodenkunde Univ. Hamburg)

Labor-Nr.	Probenart	Lokalität	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰ PDB}^*$	¹⁴ C-Alter**	cal AD/BC (2 σ)***
HAM-3467	Holzkohle	rechtes Selkeufer (linker Uferarm) kurz vor Mündung der Agezucht zwischen (a)M-Horizont aus humosem Su4 und G(j)o-Horizont aus Sl4 in ca. 70 cm Tiefe	-24,1	1330 +/- 45	638-788 cal AD
HAM-3468	Holzkohle	Profil E_1 (Selke) kurz vor Meisdort aus Gr-Horizont in ca. 95 cm Tiefe	-24,0	670 +/- 60	1259-1408 cal AD
HAM-3469	Holzkohle	Profil BB_1 (Brunnenbach) aus Gr-Horizont (basaler Sand über Kies) in ca. 120 cm Tiefe	-23,9	880 +/- 70	1030-1275 cal AD
HAM-3470	Holzkohle	Profil B1_3 (Selke) aus VIa G(h)r-Horizont (135-150 cm)	-25,1	1710 +/- 100	590 cal AD
HAM-3471	Holzkohle	Profil B2_5a (Selke) aus oberem III aM-Go-Horizont zwischen 80 und 100 cm Tiefe	-23,9	980 +/- 70	894-914 cal AD
HAM-3472	Holzkohle	Profil E_4 (Selke) aus Go-Horizont an der Profilbasis in ca. 70 cm Tiefe	-23,6	940 +/- 70	957-1225 cal AD
HAM-3522	Holzkohle	Profil WB_4 (Warme Bode) aus Gr-Horizont in ca. 90 cm Tiefe	-24,7	780 +/- 60	986-1248 cal AD
HAM-3523	Holzkohle	Profil WB_3 (Warme Bode) aus G(h)r-Horizont (95-120 cm)	-25,8	1970 +/- 230	1060-1078 cal AD
HAM-3524	Holzkohle	Profil WB_1 (Warme Bode) aus Gr-Horizont aus Sand über basalem Kies in ca. 90 cm Tiefe	-24,2	1245 +/- 45	1124-1134 cal AD
HAM-3525	Holzkohle	Profil B1_4 (Selke) aus IIIa Gjo-Horizont (120-140 cm)	-24,1	830 +/- 180	1160-1306 cal AD
HAM-3526	Holzkohle	Profil HB1_3a (Harzbode) aus IIIb Go-Horizont (90-115 cm)	-25,0	3250 +/- 220	1356-1384 cal AD
HAM-3527	Holz	Profil BB_1 (Brunnenbach) aus Gr-Horizont (basaler Sand über Kies) in ca. 120 cm Tiefe	-22,2	730 +/- 60	510-440 cal BC
HAM-3528	Holz	Profil B1_3 (Selke) aus VIb Gr-Horizont (150-160 cm)	-25,5	2950 +/- 70	cal BC-600 cal AD
HAM-3529	Holz	Warme Bode flussabwärts der Silberfuchsfarm aus Sand unter aM-Horizont in ca. 70 cm Tiefe	-22,9	680 +/- 60	1214-1324 cal AD
HAM-3530	Baumrinde	Profil HB1_3a (Harzbode) aus basalem Kies in ca. 140 cm Tiefe	-26,0	1920 +/- 70	1332-1396 cal AD
HAM-3531	Holz, Pflanzenreste	Profil B2_1 (Selke) aus IVc Ghr-Horizont (170-210 cm)	-28,6	2020 +/- 100	1382-1346 cal BC
HAM-3532	Holz(krume)	Profil B2_5a (Selke) aus basalem Kies in ca. 180 cm Tiefe	-26,2	3450 +/- 160	1318-984 cal BC
HAM-3533	Holz	Profil B2_5a (Selke) aus Vb Gr-Horizont (160-180 cm)	-25,7	1840 +/- 60	964-934 cal BC

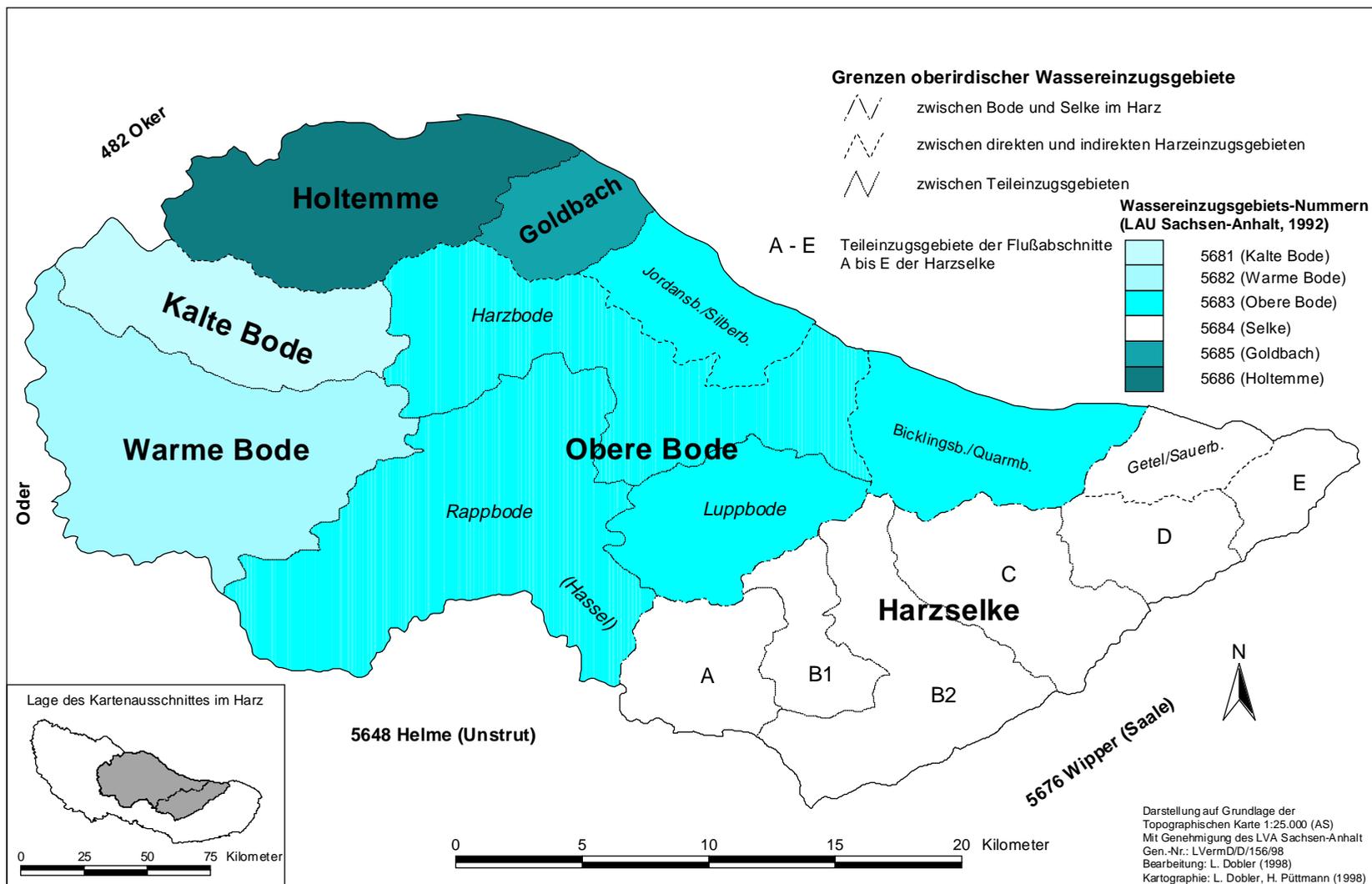
*Standardkorrektur auf Isotopenfraktionierung durch Vergleich des ¹³C/¹²C-Verhältnisses in der Probe zum Standardmaß (PDB, kreidezeitlicher Belemnit, South Carolina)

**unkalibriertes ¹⁴C-Alter in Jahren vor 1950 AD (= Before Present, gerundet) und Standardabweichung der Messung

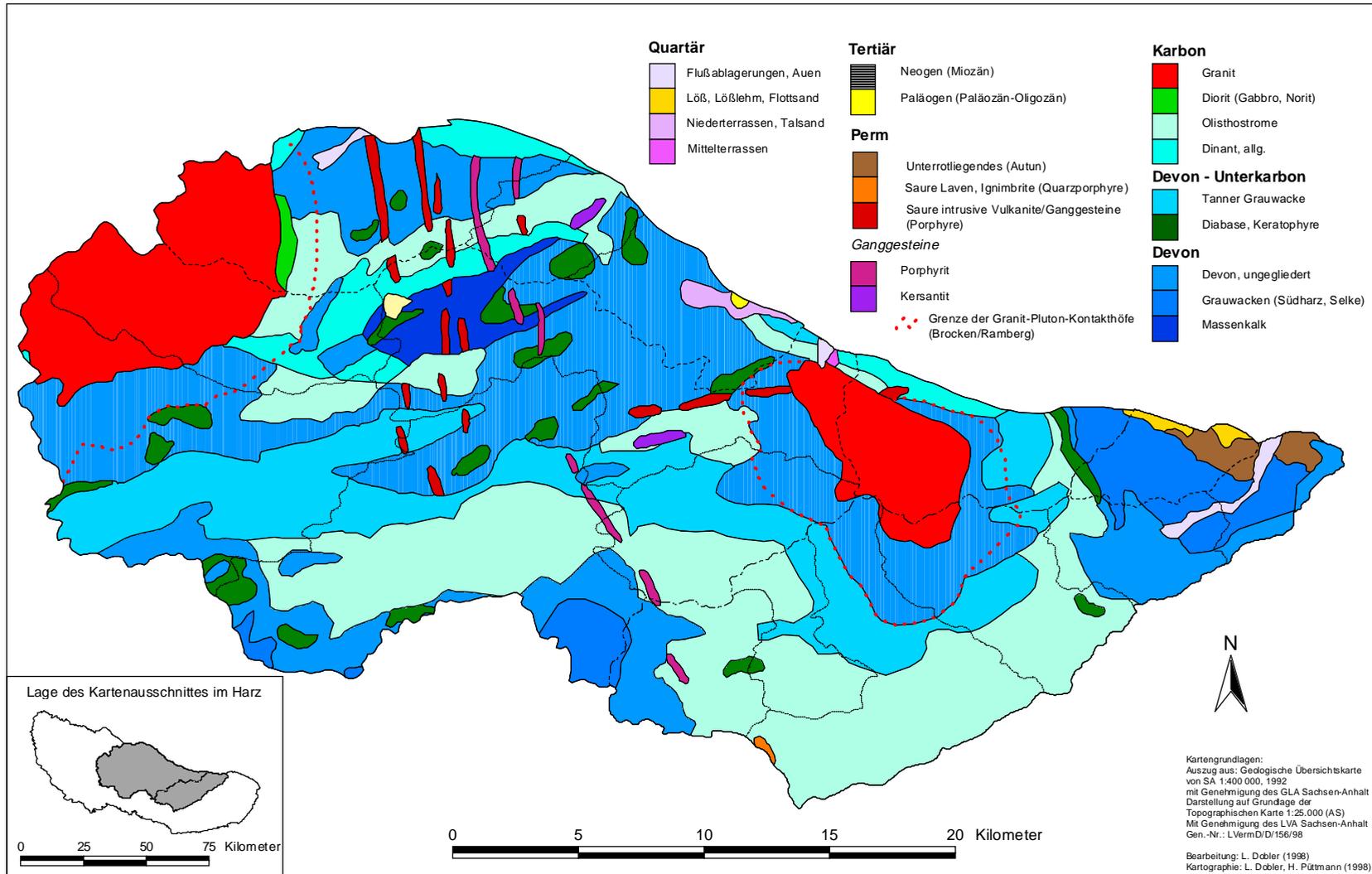
*** (dendro-)kalibriertes bzw. kalendarisches (cal) Alter nach Stuiver, M. & Reimer, P.J.(1993, Radiocarbon, Bd. 35, Heft 1) in Jahren vor [Before Christ] bzw. nach [Anno Domini] Christi Geburt, (2 σ -Schwankungsbereich der Messung)

Karten

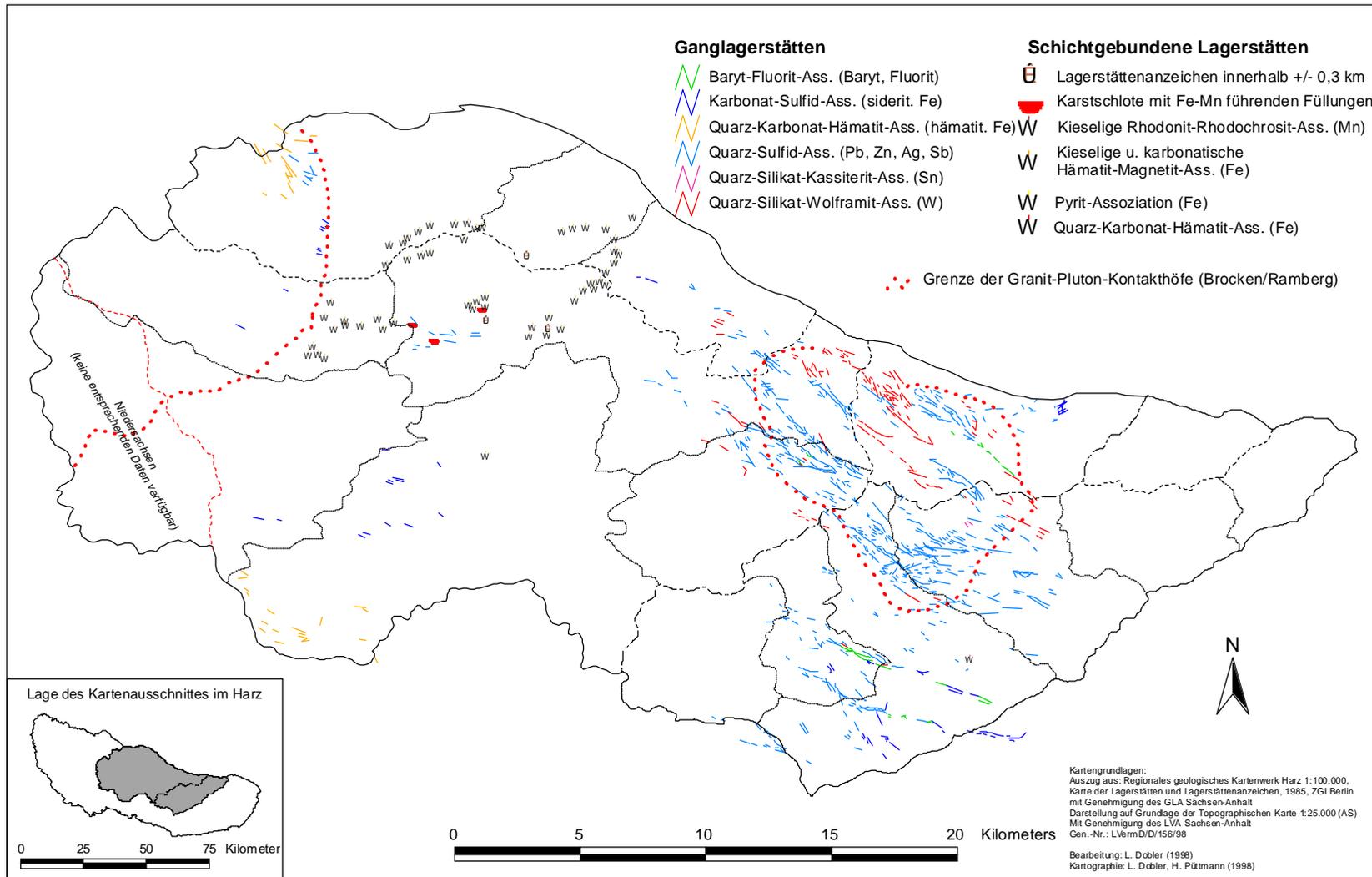
Oberirdische Wassereinzugsgebiete von Bode und Selke im Harz



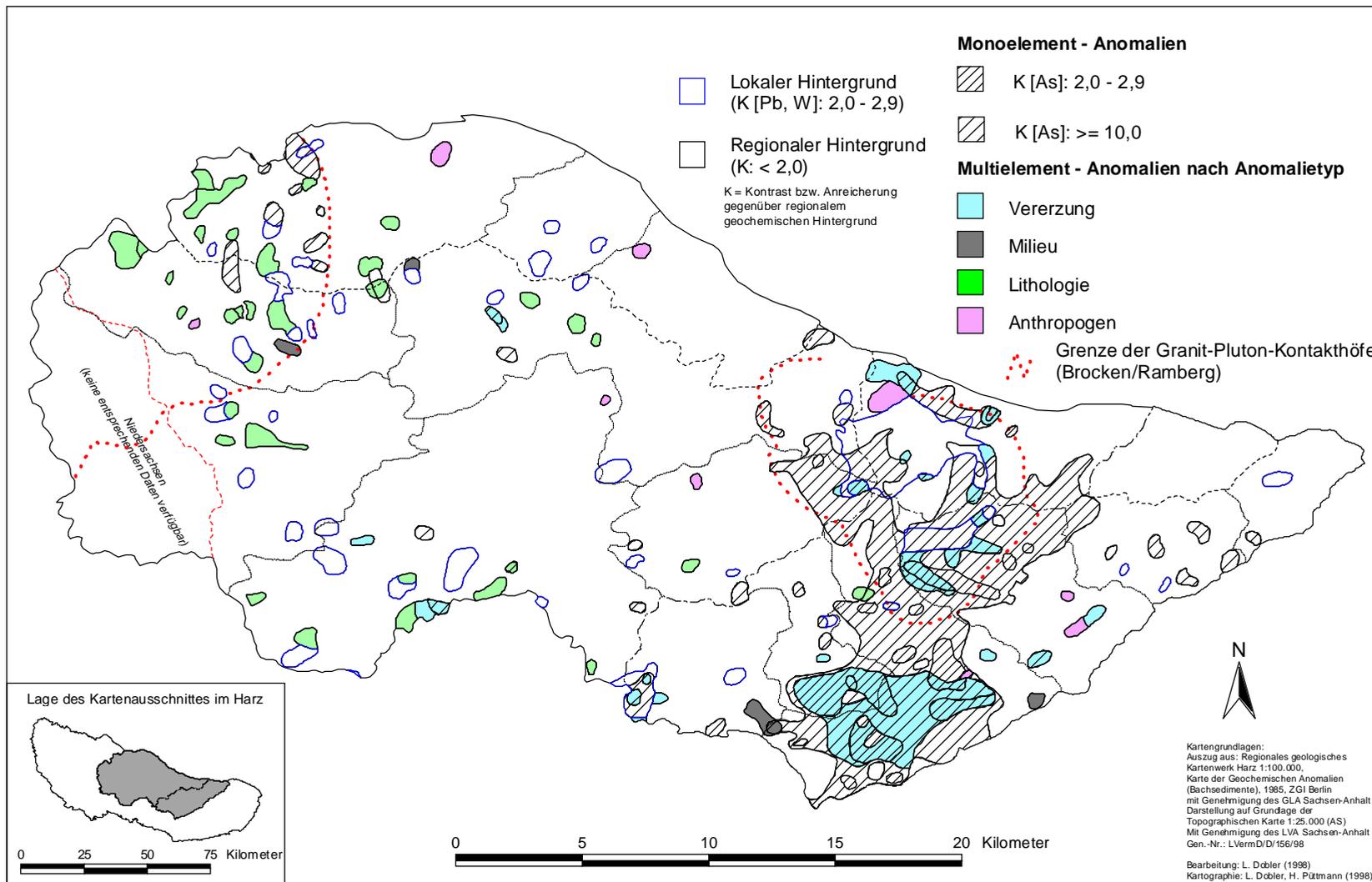
Geologie in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz



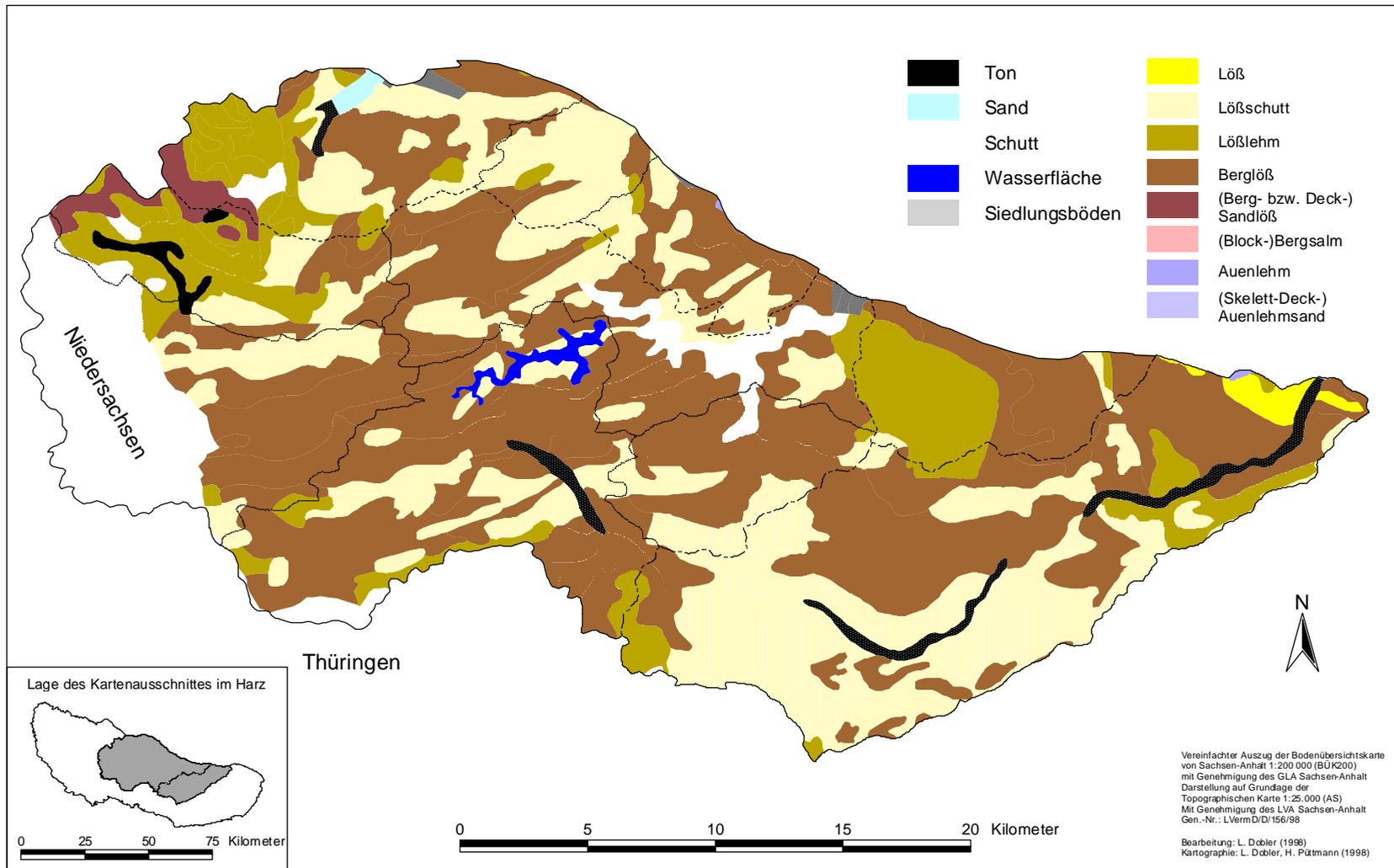
Lagerstätten(-anzeichen) in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz



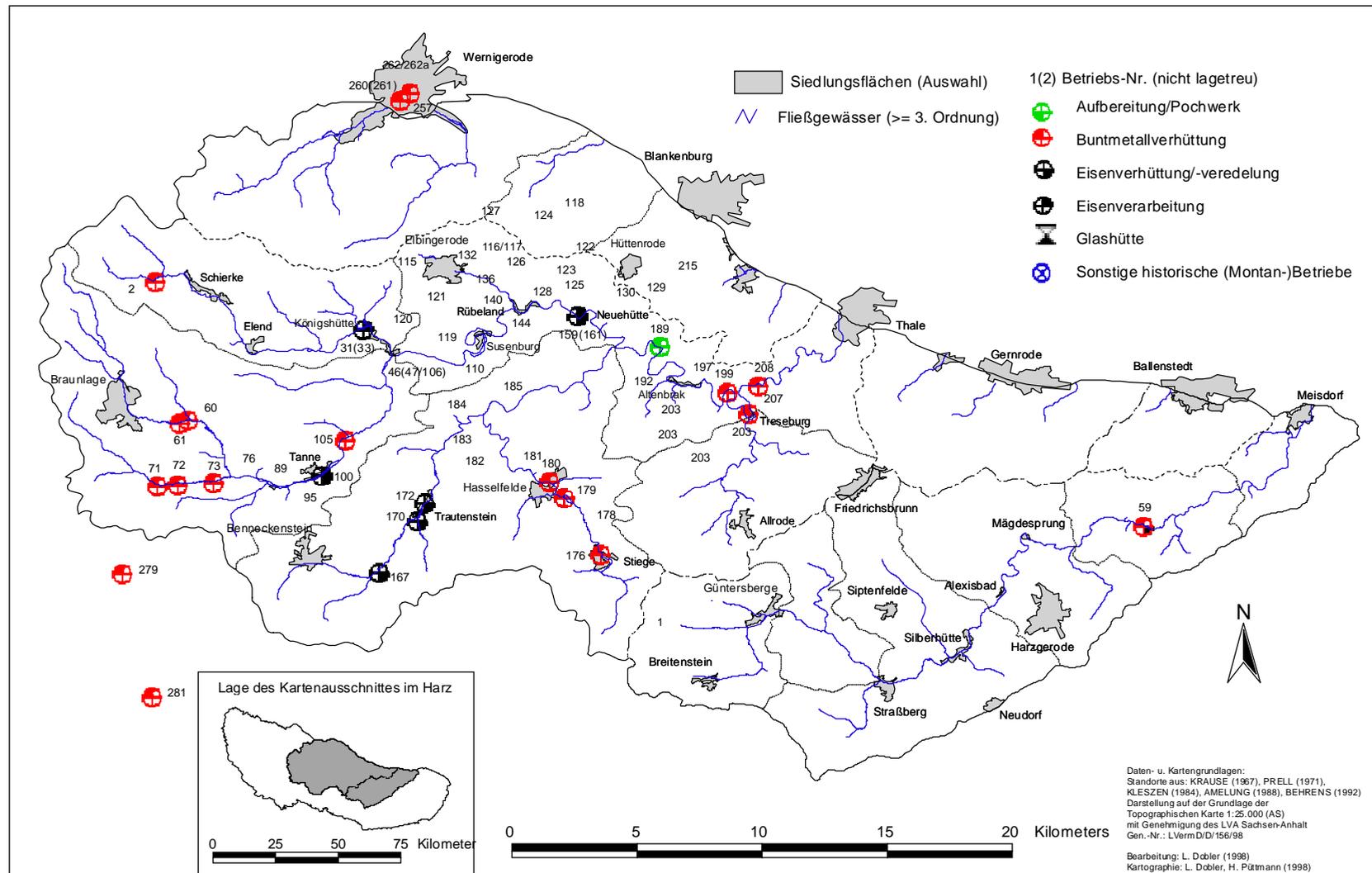
Geochemische Anomalien in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz



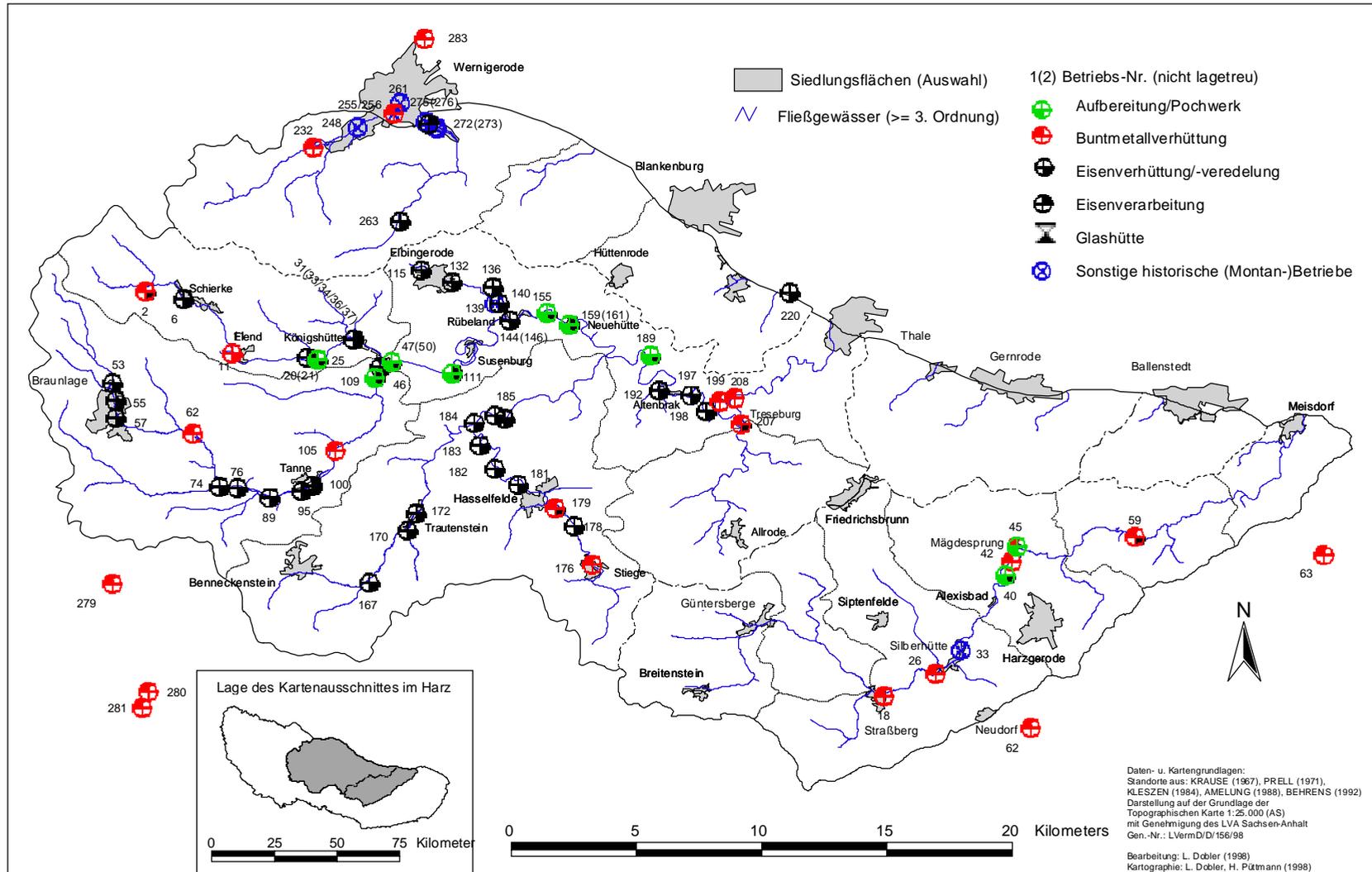
Bodensubstrate in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz (Sachsen-Anhalt)



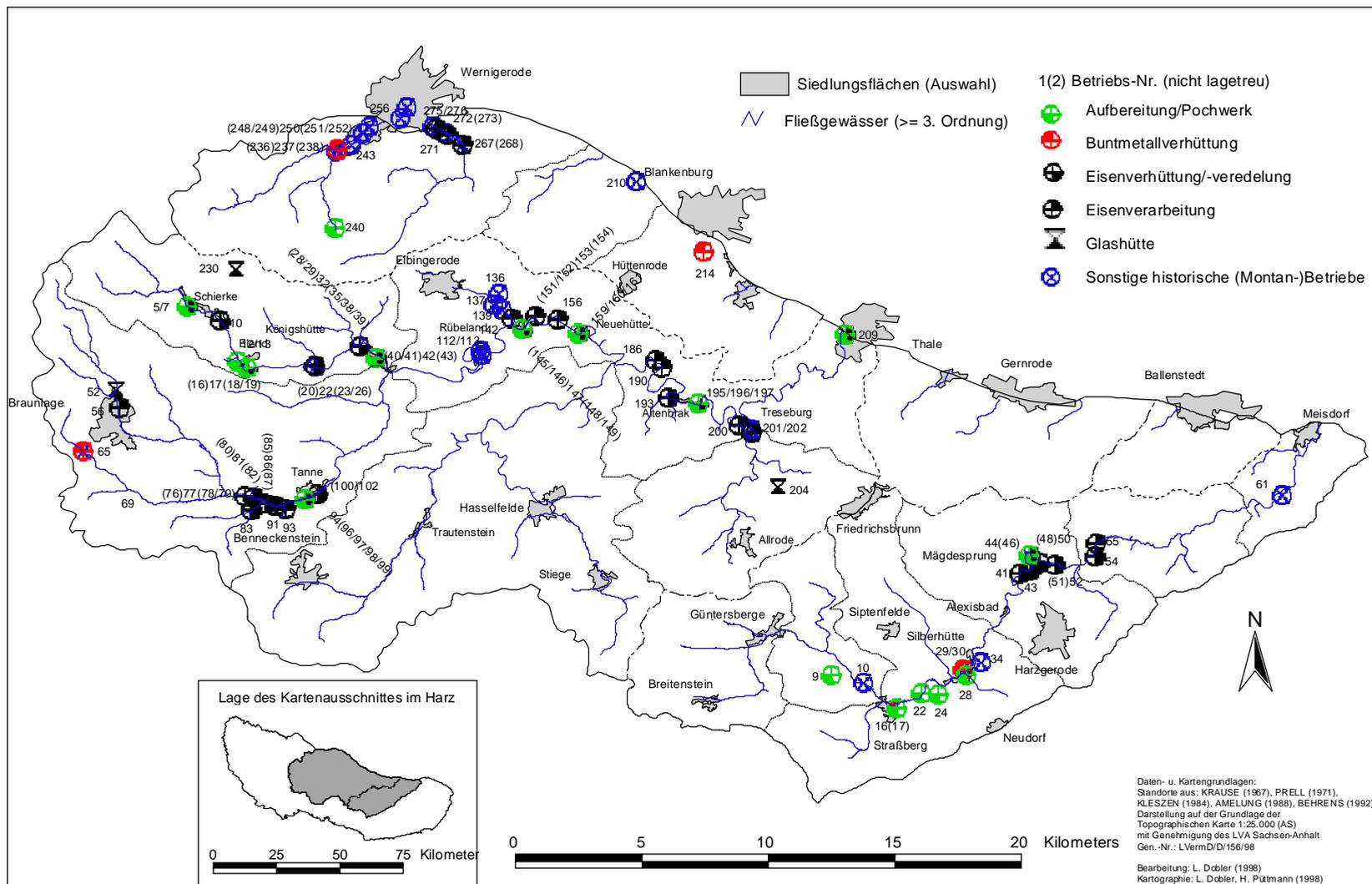
Historische Montanwirtschaft in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz (vor 1450 AD)



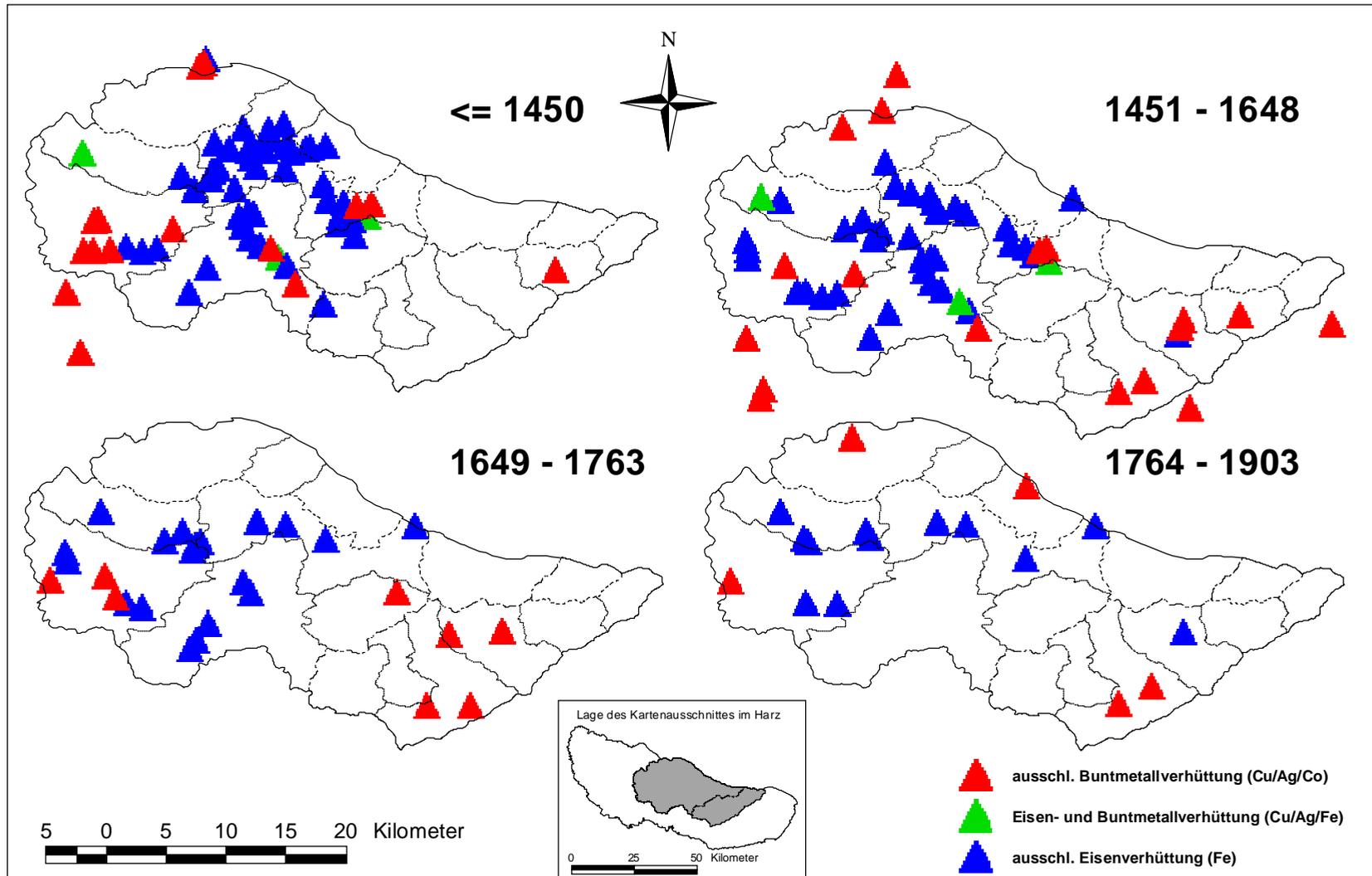
Historische Montanwirtschaft in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz (1451 - 1648 AD)

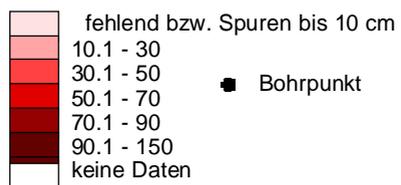
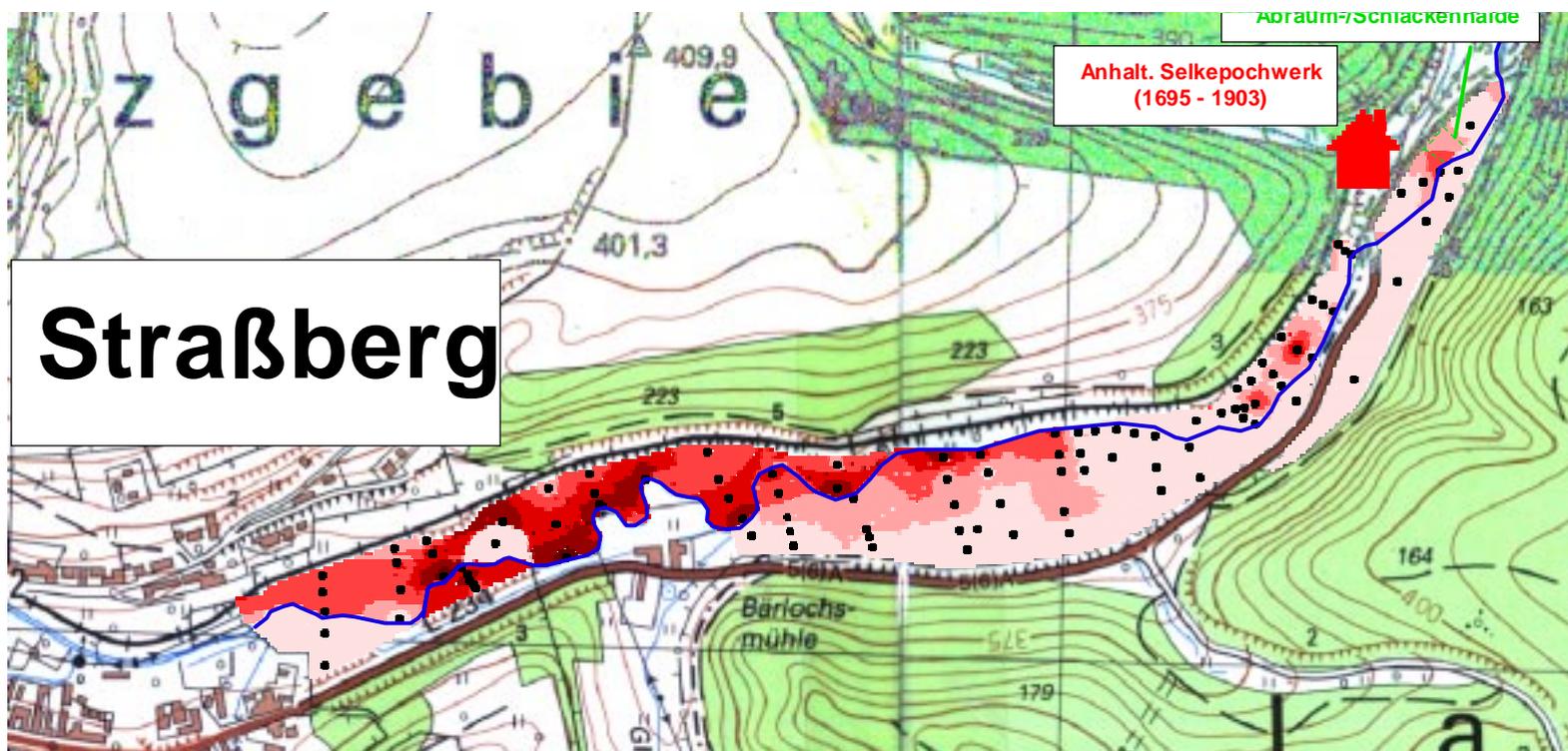


Historische Montanwirtschaft in Teileinzugsgebieten von Bode und Selke im Harz (1764 - 1903 AD)



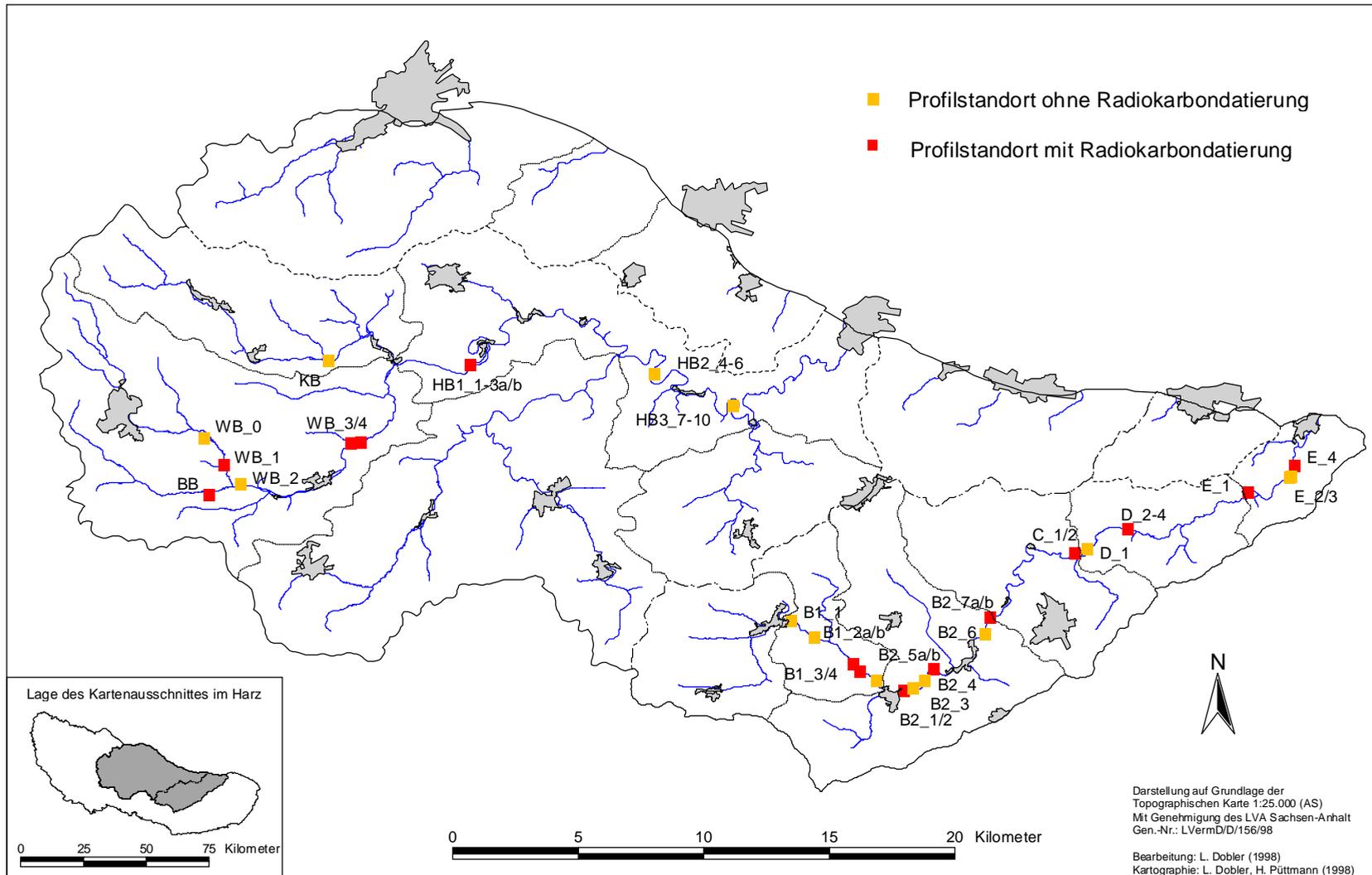
Verhüttungsbetriebe im Einzugsgebiet von Bode und Selke im Harz



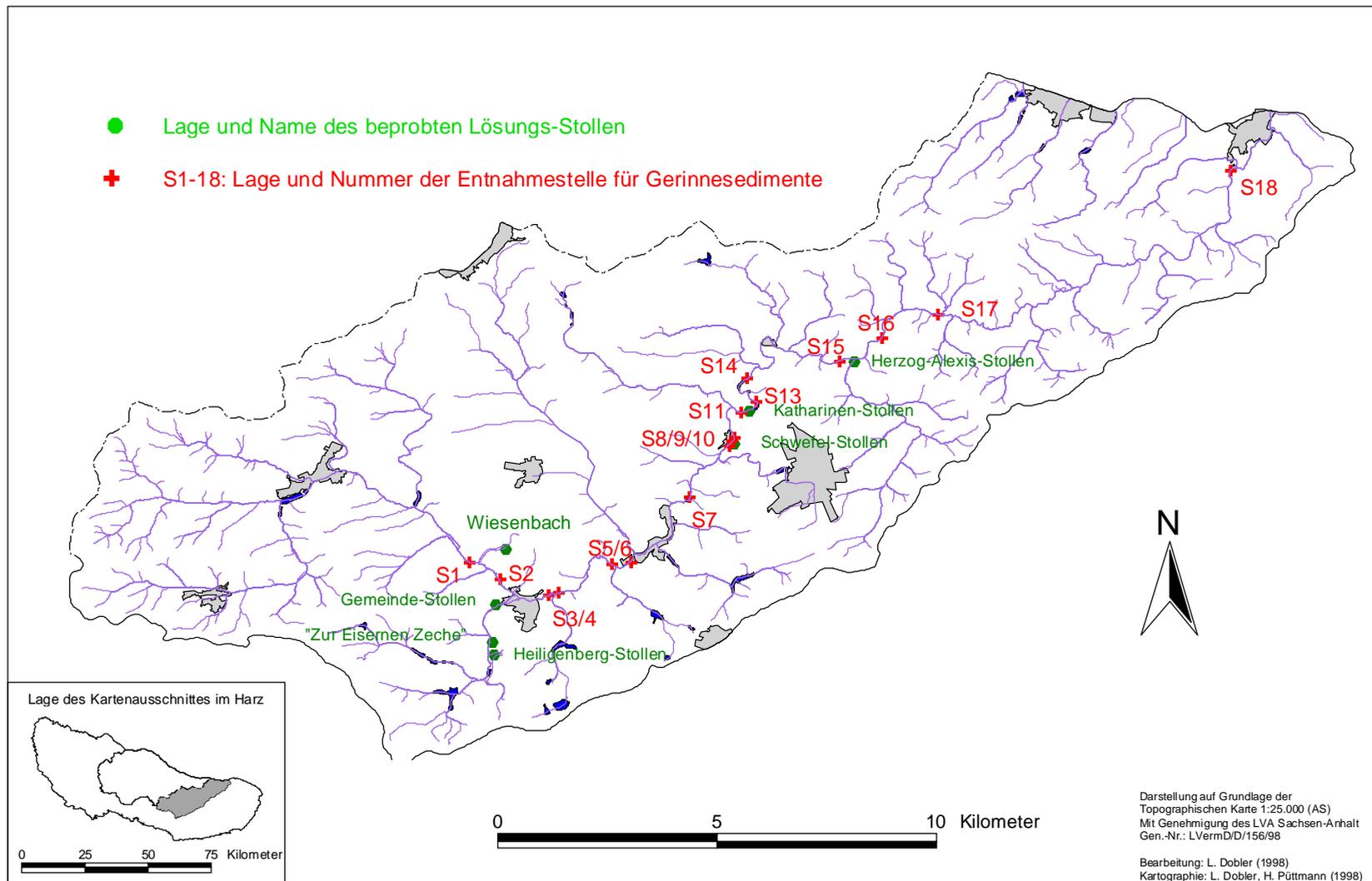


Karte 8 Lageplan der beprobten Profile

Lageplan der beprobten Profile



Lage der Probenentnahmestellen für Gerinnesedimente und Lösungswässer



Tabellarischer Lebenslauf

Name:	Lorenz Dobler
Anschrift:	Gütchenstraße 20b 06108 Halle/S. Tel.: 0345/3881905
Geburtsdatum/-ort:	10.09.1963 in 93149 Nittenau, Bayern
Nationalität:	deutsch
Familienstand:	ledig
09.1970 - 09.74	Volksschule in Nittenau
09.1974 - 06.1983	Regentalgymnasium in Nittenau
07.1983 - 09.1984	Grundwehrdienst in Murnau und Landsberg/Lech
10.1984 - 10.1985	Mitarbeit im elterlichen Betrieb (Schlosserei) Praktikum als Bergbaubeflissener bei der Bergbau AG Niederrhein Mitarbeiter bei der Bohr- u. Sprenggesellschaft Röhl KG, Augsburg
11.1985 - 06.1994	Studium im Fach Geographie (Diplom) an der Universität Regensburg und Innsbruck, Nebenfächer: Geologie, Botanik Thema der Diplomarbeit: <i>„Unterschiede tonmineralogischer und bodenchemischer Parameter zwischen Stammablauf- und Zwischen-stammbereich in Löß-Parabraunerden südlich von Regensburg“</i>
07.1994 - 09.1994	Studentische Hilfskraft, Landesamt für Denkmalpflege, Regensburg
10.1994 - 11.1994	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geographie der Universität Regensburg
12.1994 - 11.1996	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geographie Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
12.1996 - 03.1997	Arbeitslosigkeit
04.1997 - 03. 1998	Graduierten-Stipendium der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
04.1998 - 10.1998	Arbeitslosigkeit
Seit Nov. 1998	Tätigkeit als Selbständiger auf dem Gebiet der geobasierten Datenerhebung und -auswertung.

Erklärung

Ich erkläre, die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht zu haben.

Weiterhin erkläre ich, diese wissenschaftliche Arbeit an keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben und daß ich mich nicht bereits früher um einen Doktorgrad beworben habe.

Halle/S., 19.10.1998