

Nachrichten aus Niedersachsen Urgeschichte	Band	Seite	Stuttgart 1997
NNU	66(1)	69–82	Konrad Theiss Verlag

Bergbau und Verhüttung im Spiegel von Sedimentprofilen. Untersuchungen am Uferbach, Gde. Badenhausen, Ldkr. Osterode, Harz

Von
Jörg Matschullat, Stefan Cramer, Nimet Agdemir,
Norbert Niehoff und Wilfried Ließmann

Mit 5 Abbildungen und 7 Tabellen

Zusammenfassung:

Zwei Auesediment-Kerne mit einer Länge von 5,6 bzw. 2,3 m aus dem Einzugsgebiet des Uferbachs am westlichen Abhang des Harzes, zeigten zwei Pb-Zn-Cu-Anomalien in Tiefen von 30–130 cm und bei 204 cm, eine Pb-Zn-Anomalie bei 280 cm und eine Pb-Anomalie bei 410 cm – Zeugnis von vier Bergbau- und Verhüttungsphasen im Einzugsgebiet. Die geochemischen (Haupt-, Neben- und Spurenelemente) und mineralogischen Untersuchungen (Mikroskopie und Mikrosonden-Analytik an Matrix und Schlackenpartikeln) erlaubten eine breite Interpretation des Elementverhaltens (z. B. Landnutzung) und der Quelle der verarbeiteten Erze (hydrothermale Lagerstätten im Oberharz). Ein einfaches Rechenmodell, auf ^{14}C -Daten basierend, half, die jeweilige zeitliche Zuordnung der Anomalien zu präzisieren. Die wahrscheinlichste Interpretation verlangt eine Zunahme der Sedimentationsrate mit der Zeit von 1 zu 4 mm a^{-1} und macht mittelalterliche (1140–1345 A.D.), karolingische (825–890 A.D.), römisch-germanische (425–500 A.D.) und vorgeschichtliche (825–625 v. Chr.) Verhüttungstätigkeit wahrscheinlich.

Fragestellung, Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten

Können aus der geowissenschaftlichen Analyse von Bachsedimenten archäologische Zusammenhänge im Einzugsgebiet erschlossen werden, eignen sich also die Sedimentologie und Geochemie als Prospektionsmethoden für die Montanarchäologie? Können dabei ggf. auch verschiedene Phasen bergbaulicher Aktivität (frühgeschichtlich, mittelalter-, neuzeitlich) unterschieden werden? Mit der Beprobung und Untersuchung von Auesedimenten am Uferbach bei Badenhausen, Landkreis Osterode am Harz, sollen diese Fragen geklärt werden. Im Erfolgsfall steht der Archäologie ein Werkzeug zur Verfügung, das der schnellen und kostengünstigen Prospektion sowie der Eingrenzung siedlungs- bzw. nutzungsspezifischer Schwerpunkte dient.

Arbeiten aus jüngster Zeit verändern die Sichtweise der nachbronzezeitlichen Siedlungs- und Nutzungsgeschichte des norddeutschen Mittelgebirgsraumes, insbesondere des Harzes. So weisen KLAPPAUF et al. (1990a) auf der Basis ihrer Untersuchungen bei Düna, nahe Osterode, einen regen Handel mit Erzen aus dem Oberharz und vom Rammelsberg, Goslar, nach, sowie die Verhüttung und Bearbeitung der Metalle schon für die Zeit um Christi Geburt bis etwa 300 n. Chr. Dieses Zeitfenster liegt deutlich vor dem bisher angenommenen Beginn von 965 n. Chr. für den Bergbau am Rammelsberg und noch weiter vor dem vermeintlichen Beginn des Abbaus Oberharzer Lagerstätten ab dem 13. Jhdt. n. Chr. Gestützt werden diese Ergebnisse durch Funde, wie sie bereits von NOWOTHNIG (1962) aus dem Harzraum vorgestellt worden sind. Einen neuen Überblick zum historischen Bergbau im Harz geben BARTELS (1992) und LIESSMANN (1992).

Die bisherigen Arbeiten wurden überwiegend mit archäologischen Arbeitsmethoden sowie chemischen Untersuchungen, z. B. der Verhüttungsschlacken und weiterer Artefakte, durchgeführt (BROCKNER 1989a). Die gezielte Suche nach und die Fundrate z. B. von Hüttenplätzen konnte kürzlich durch die Auswertung bereits vorhandenen Datenmaterials aus der geochemischen Prospektion deutlich erweitert werden (CRAMER 1993). Parallel dazu wurden Ergebnisse aus einem Auesedimentkern der Oker bekannt (NIEHOFF et al 1992. MATSCHULLAT et al. 1992), mit denen vorchristlicher

Bergbau aus dem Nordharz postuliert wurde. Die systematische Untersuchung von Fließgewässersedimenten versprach, neue und relativ hochauflösende Informationen zur Klima- und Sedimentationsgeschichte sowie zu archäologischen Fragen bieten zu können.

Die folgenden Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung detaillierter geowissenschaftlicher (insbesondere mineralogisch-geochemischer) Methoden auch für die Untersuchung fluvialer Ablagerungen. Diese Arbeitsweisen stellen eine geeignete Ergänzung und Erweiterung der bereits genutzten Methoden aus der Paläontologie, Botanik, Palynologie, Zoologie, Bodenkunde, Archäologie und Geochronologie dar.

Methodik und Ergebnisse

Im Einzugsgebiet von Kleinem und Großem Uferbach, sowie Schlackental (Gde. Badenhausen, Lkr. Osterode) liegen die Fundstellen 25, 702 bis 704, 710, 712, 715, 716, 1068 und 1069 des Instituts für Denkmalpflege (Abb. 1). Es sind Schlackenplätze (z. B. Fundpunkte 25, 702, 710 und 711), Hütten-

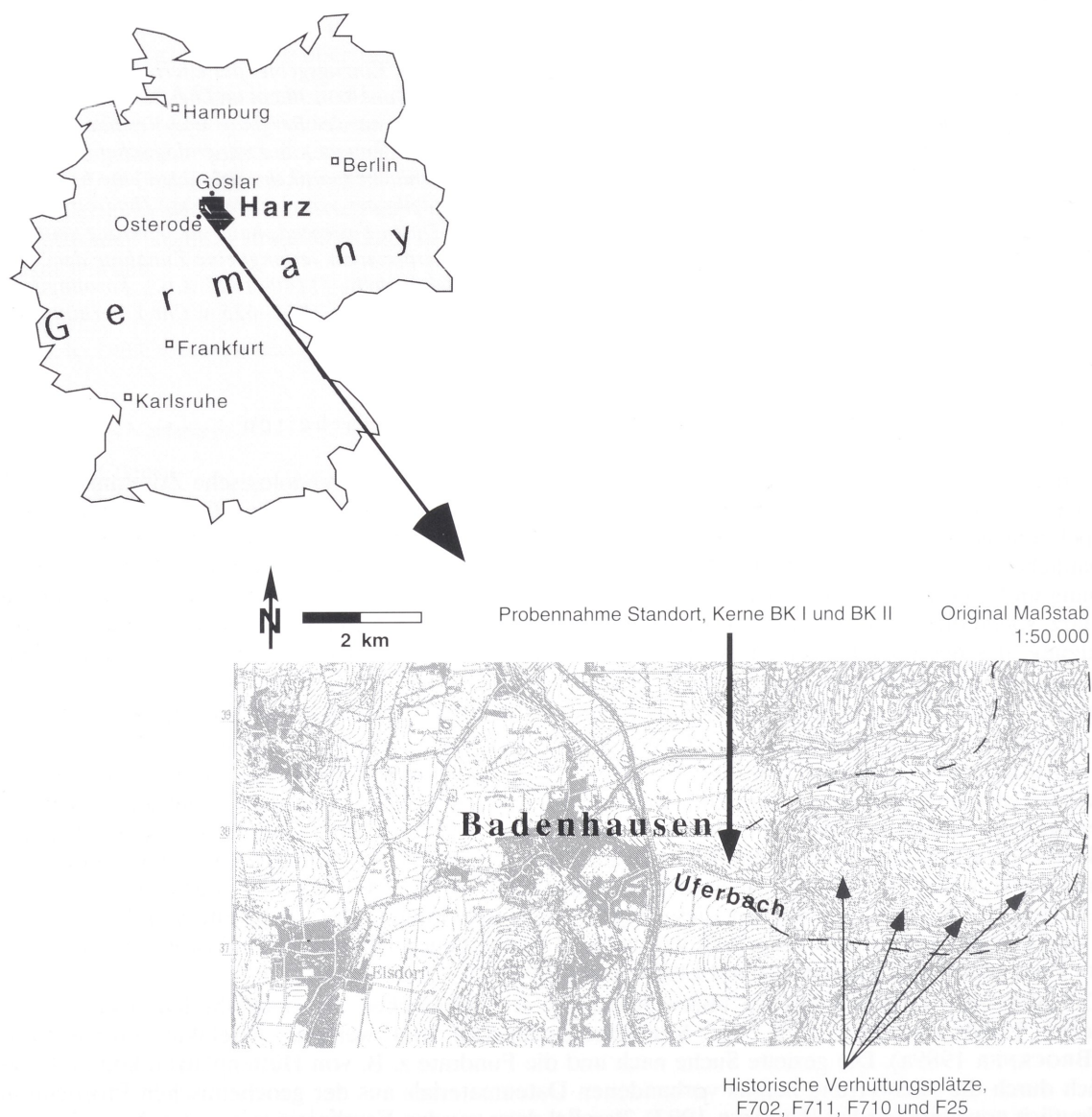


Abb. 1 Lage des Arbeitsgebietes mit Probestellen und Fundorten des Instituts für Denkmalpflege.

und Meilerplätze. Von den angegebenen Fundpunkten wurden Proben für eine Voruntersuchung entnommen. Das Probenmaterial wurden gemahlen und anschließend als Schüttprobe mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie analytisch bearbeitet (s. u. *Tabelle 6*).

Durch Erosion und fluvialen Transport werden Artefakte ebenso wie Erz- und Gesteinsstücke talabwärts transportiert. Bach- und Auensedimente sind daher potentiell geeignete Senken für Produkte aus dem Oberlauf des jeweiligen Gewässers. Während Ergebnisse der Untersuchung aktiver Bachsedimente an anderer Stelle vorgestellt werden (CRAMER 1997, in diesem Band), konzentriert sich der vorliegende Beitrag auf die alten Ablagerungen. Diese subrezentem und fossilen Bachsedimente wurden durch Kernbohrungen erschlossen und anschließend sedimentologisch und geochemisch bearbeitet.

Auesedimentkern BK II des Uferbaches bei Badenhausen, Niedersachsen

Das Transportverhalten von Erz- oder Schlackenpartikeln im fluvialen Milieu läßt eine erste Anreicherung relativ grobklastischen Materials direkt unterhalb einer Bergbau- oder Schlackenhalde im Bachbett erwarten. Sie wird in der Regel durch die archäologische Begehung rasch identifiziert. Eine zweite, feinkörnige Anreicherung ist in der Schwermineral-Fraktion am Übergang der Bachläufe in das Vorland, also am Übergang von Erosion zu Sedimentation, zu erwarten. Auf diese Vermutung hin erfolgte die Auswahl von zwei Bohrlokationen im nördlichen Bereich des unteren Uferbachtals und die Entnahme von zwei Bohrkernen (BK I mit 230 cm Kerngewinn, ca. 205 m ü.NN und BK II mit 560 cm Kerngewinn, ca. 208 m ü. NN) am nördlichen Rand des Uferbaches (früher: „Übere Bach“, Karte Landesvermessung 1746–1784; siehe *Abb. 18* im Bericht von KLAPPAUF und LINKE in diesem Band). Der Kern BK II wurde wegen seiner Länge und der schon makroskopisch erkennbaren Eignung (klare Differenzierung der Sedimente im Kernverlauf; *Tabelle 1*) als Hauptuntersuchungsobjekt ausgewählt.

Sedimentologische Untersuchungen

Nach der Korngrößentrennung (Siebsatz > 630, > 200, > 125, > 63 μm), vor der gröbere Gerölle und Kiese verworfen wurden, ergibt sich eine klare Zweiteilung des Kernes (*Abb. 2*): Im Liegenden (110–560 cm) gibt es einen etwas höheren Feinkornanteil, der bis ca. 510 cm Kerntiefe dominiert. Es folgt nach oben ein \pm homogener Bereich bis in ca. 100 cm Kerntiefe, mit vier bis fünf kleinen Abschnitten, die jeweils mit einer Kornverfeinerung verbunden sind. Zum Teil sind diese Abschnitte mit geochemischen Anomalien korreliert (*Abb. 3–5*). Oberhalb von 100 cm ändert sich die Situation deutlich; der Feinkornanteil steigt stark an, mit einem zwischenzeitlichen Rückgang um 80 und um 55 cm Tiefe (unterhalb der heutigen Nutzungsschicht, deren sehr homogenes Erscheinungsbild in 30 bis 40 cm Tiefe reicht). Etwa der oberste Kernmeter läßt sich mit der mittelalterlichen bis neuzeitlichen Nutzungsgeschichte parallelisieren; ^{14}C -Daten weisen Dendro-Alter von 1140 (100–110 cm) bis 1350 n.Chr. (30–45 cm) aus (*Tabelle 2*). Für die Bestimmungen gebührt ein herzlicher Dank der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. M. A. GEYH, Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

Jede Änderung der Korngrößenzusammensetzung deutet auf Veränderungen des Fließregimes hin. Bei Verringerung der Fließgeschwindigkeit werden tendenziell mehr Feinpartikel abgelagert, während bei einer Beschleunigung des Abflußverhaltens eher gröbere Korngrößen dominieren. Die Veränderungen können einerseits sedimentologisch (Verlegung des Flußbettes) erklärt bzw. auf klimatische und/oder nutzungsbedingte Änderungen im Einzugsgebiet zurückgeführt werden. Weitere mineralogische (Verwitterung, Sedimentation), pollenanalytische (Klima und Zeit) Untersuchungen und absolute Datierungen (Zeit) können helfen, die Funde noch detaillierter auszuwerten.

Geochemische Untersuchungen

Das auf eine Korngröße < 63 μm (Silt- und Tonfraktion) trocken abgesiebte Sediment wurde zu Preßtabletten weiter verarbeitet. Die folgende Analyse wurde mit einem Röntgenfluoreszenz-Spektrometer durchgeführt. Die Qualität wurde durch parallele Messung zertifizierten Referenzmaterials und

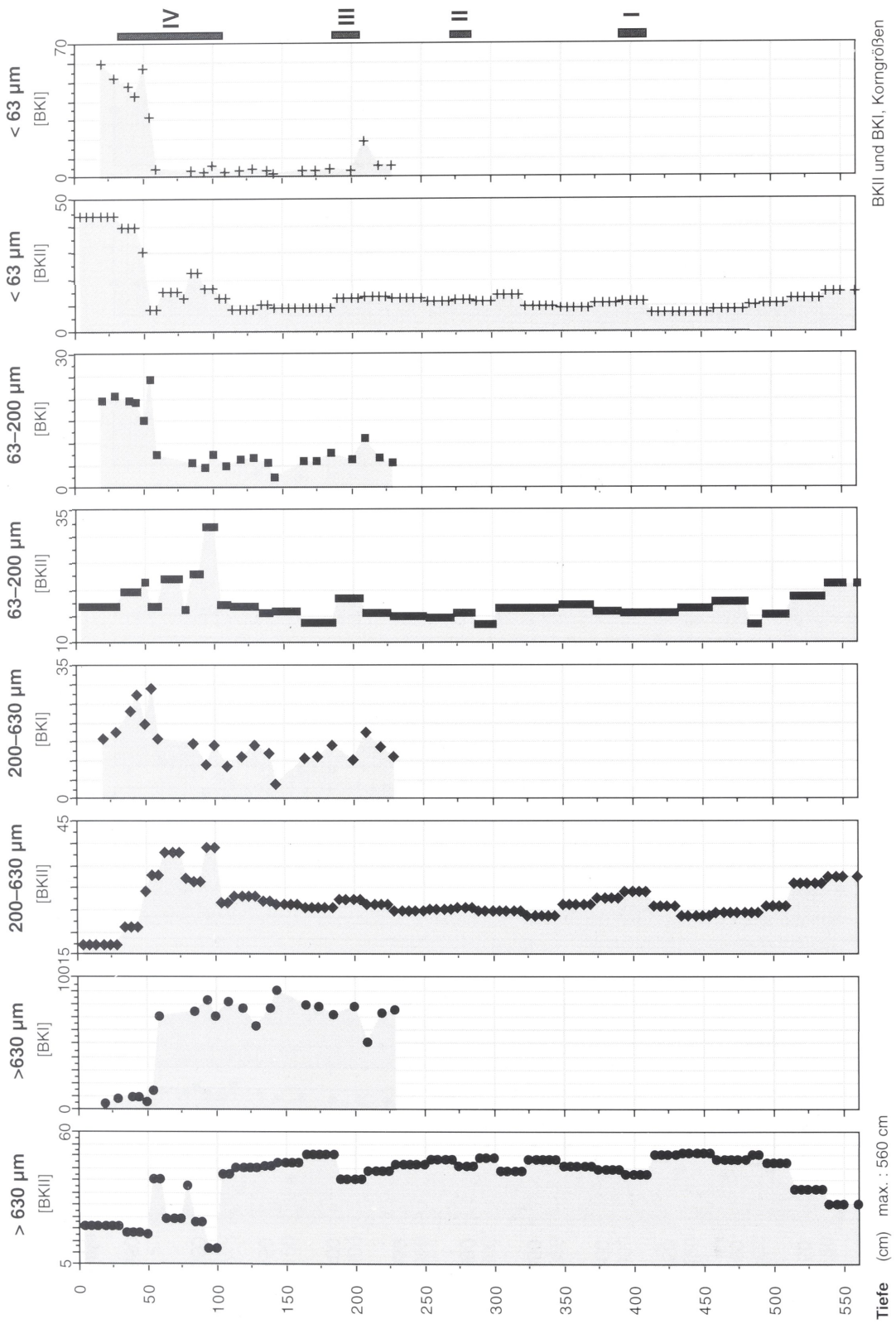
Tabelle 1 Kernbeschreibung.

Tiefe [cm]	Beschreibung
000 - 030 cm:	durchwurzelter Bereich, Ackerland, dunkel, humos; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Biotitreste, Muskovit, eisenhaltige und glasige Schlacken, Holzkohlereste, Turmalin, Zirkon und weitere opake Minerale
030 - 044 cm:	Bleichhorizont, vereinzelte Holzkohlerelikte; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Biotitreste, Muskovit, eisenhaltige und glasige Schlacken, Holzkohlereste, selten Turmalin, Zirkon und weitere opake Minerale
044 - 049 cm:	tote Feinwurzeln, Sediment
049 - 053 cm:	Kiesbrocken, stark verwittert; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Chlorit und Biotitreste, eisenhaltige und glasige Schlacken, selten Holzkohlereste, Turmalin, Zirkon und weitere opake Minerale
053 - 058 cm:	Oxidationshorizont; s.o.
058 - 060 cm:	Kiese und scharfkantige Gerölle
060 - 075 cm:	dunkle, graue Sedimente mit Holzkohle
075 - 079 cm:	gut gerundetes Geröll
079 - 082 cm:	siltig toniges Sediment mit Holzkohle, laminiert
082 - 086 cm:	sandige Schüttung mit Holzkohle
086 - 090 cm:	feinsiltig, tonig
090 - 100 cm:	Wechselfolge von tonig-siltigem Material mit sandigen Zwischenlagen im mm-Bereich, eingeregelt Holzkohle; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Biotitreste, viele eisenhaltige und glasige Schlacken und Holzkohlereste, Zirkon und weitere opake Minerale
100 - 110 cm:	sandig-kiesig, braun, Fe-Ausfällungen, Holzkohle; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Biotitreste, viele eisenhaltige und glasige Schlacken und Holzkohlereste, Zirkon und weitere opake Minerale
110 - 118 cm:	Steinlage, Grauwacke, ohne feines Sediment
118 - 126 cm:	grober Kies, sandiges Zwischenmittel, rötl. Geröll (?)
126 - 138 cm:	dto., graubraunes Bindemittel
138 - 142 cm:	dto., rotbraunes Bindemittel
142 - 161 cm:	dto., graubraun
161 - 184 cm:	dto., braunes Bindemittel
184 - 204 cm:	Grobkies mit sandigem, braun-grauem Bindemittel, Pflanzenreste; Tonschiefer- und Grauwacken-Bruchstücke, Quarz, Feldspäte, Biotitreste, wenig eisenhaltige und glasige Schlacken und selten Holzkohlereste, Zirkon und weitere opake Minerale
204 - 271 cm:	Schotter bis 10 cm ø, Grobkies, braunes Bindemittel; Tonschiefer- und Grauwacken-Gerölle, Quarz, Feldspäte, Chlorit, Biotit, Zirkon und weitere opake Minerale
271 - 285 cm:	sandig-siltig, mit Kiesanteilen (fein Kies); Tonschiefer- und Grauwacken-Gerölle, Quarz, Feldspäte (Plagioklas und Kalifeldspat), Chlorit, wenig Schlacke und Holzkohle, Zirkon und weitere opake Minerale
285 - 298 cm:	dto.
298 - 371 cm:	Tonschiefer-Gerölle, Kies, sandig-kiesig ; Grundwasser ab hier
371 - 381 cm:	dunkelbraun, schluffig
381 - 401 cm:	mittelbraun, schluffig, Grundwasser; Tonschiefer- und Grauwacken-Gerölle, Quarz, Feldspäte, Chlorit, Biotitreste, wenig Schlacke und Holzkohlereste (bis 410 cm), Zirkon und weitere opake Minerale
401 - 403 cm:	dunkel, tonig-siltige Lage
403 - 408 cm:	sandig, hellbraun, naß
408 - 480 cm:	grobkiesig mit zahlreichen Geröllen; Tonschiefer- und Grauwacken-Gerölle, Quarz, Feldspäte, Chlorit, Biotitreste, Zirkon und weitere opake Minerale
480 - 491 cm:	kiesig, graubraun
491 - 510 cm:	kiesig, graubraun, Grundwasser
510 - 525 cm:	graubraun zu braun, grobkiesig
525 - 537 cm:	mittelbraun, grobkiesig
537 - 560 cm:	schluffig-tonig, z.T. fein geschichtet mit grobem Kies und Sandlagen; Tonschiefer- und Grauwacken-Gerölle, Quarz, Feldspäte, Chlorit, Biotit, Zirkon u. opake Min.

Die pH-Werte liegen ohne Ausnahme im Bereich zwischen 6,4 und 7,3. Das Redoxpotential im oxischen Bereich beträgt 340 - 470 mV.

Tabelle 2 Datierung von drei Holzkohleproben im Sedimentkern BK II.

Probe Nr.	Tiefe [cm]	¹⁴ C-Alter	kalibrierte Dendro-Alter n.Chr.
18 927	30-49	645 ± 150	1257-1432
18928	75-82	725 ± 135	1214-1398
18929	100-110	905 ± 150	1001-1281



BKII und BKI, Korngrößen

Tiefe (cm) max.: 560 cm

Abb. 2 Korngrößenverteilung in den Kernen BK I und II.

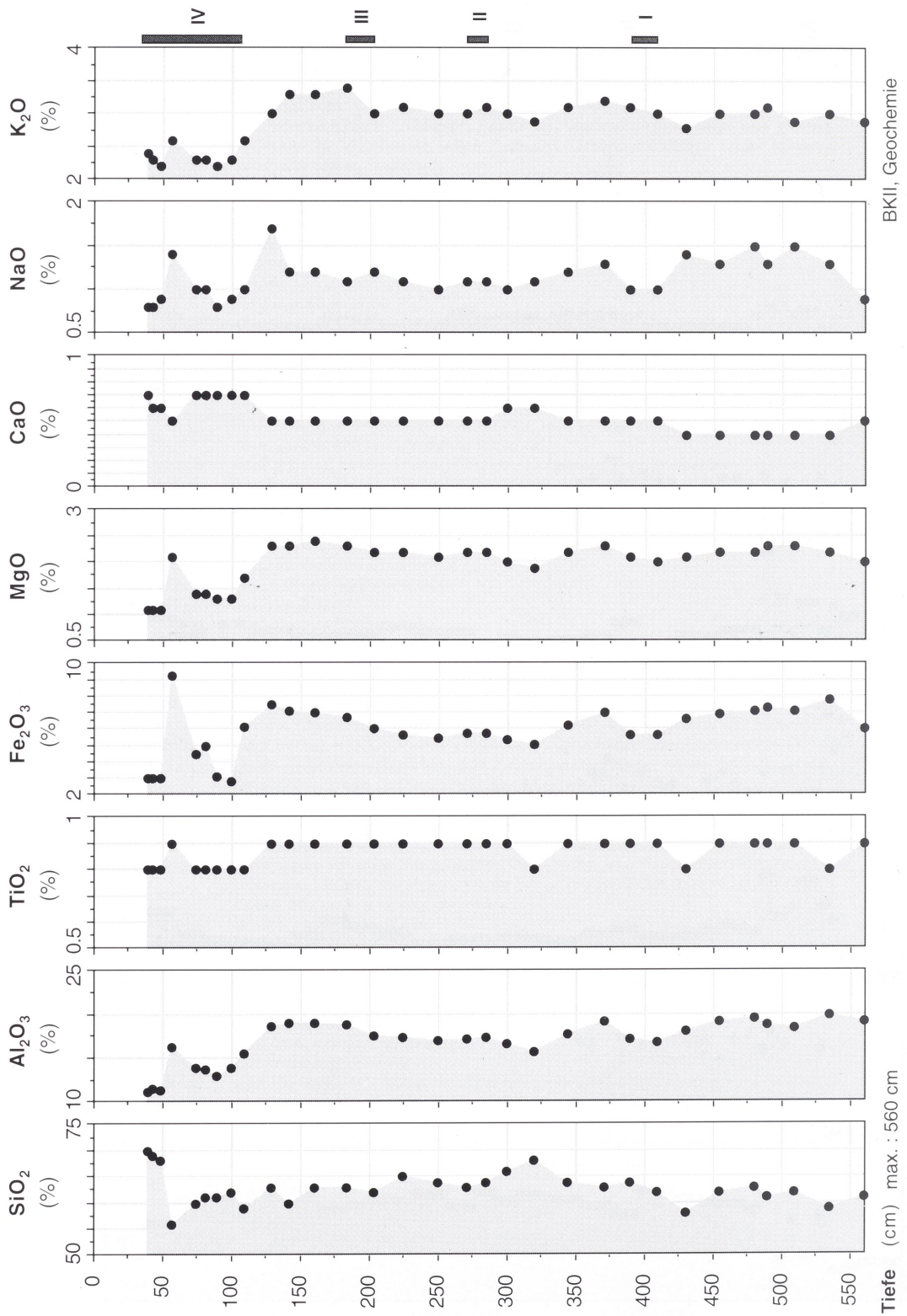
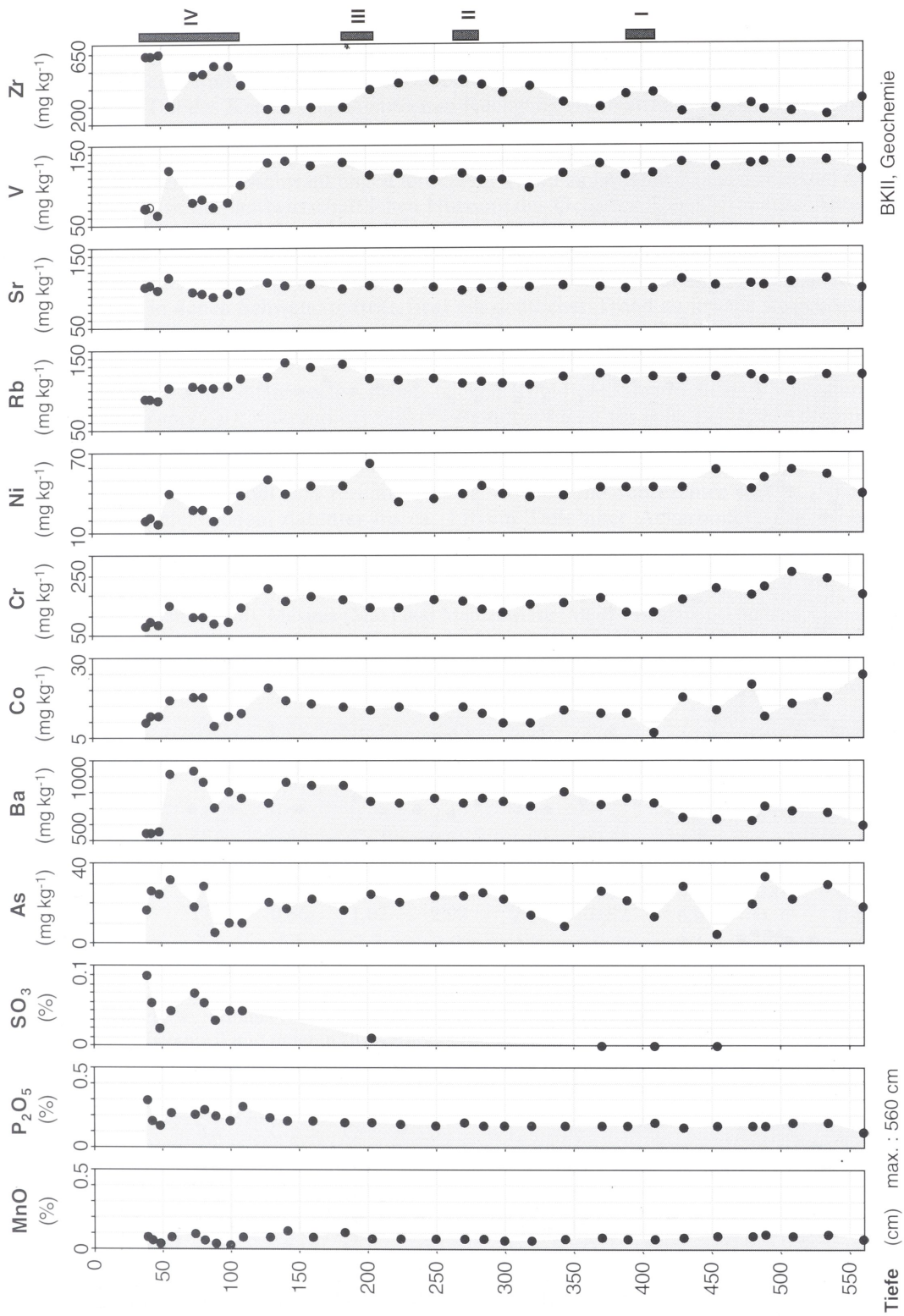


Abb. 3 Verhalten der Hauptkomponenten im Kern BK II.



BKII, Geochemie

Abb. 4 Verhalten von Neben- und Spurenkomponenten im Kern BK II.

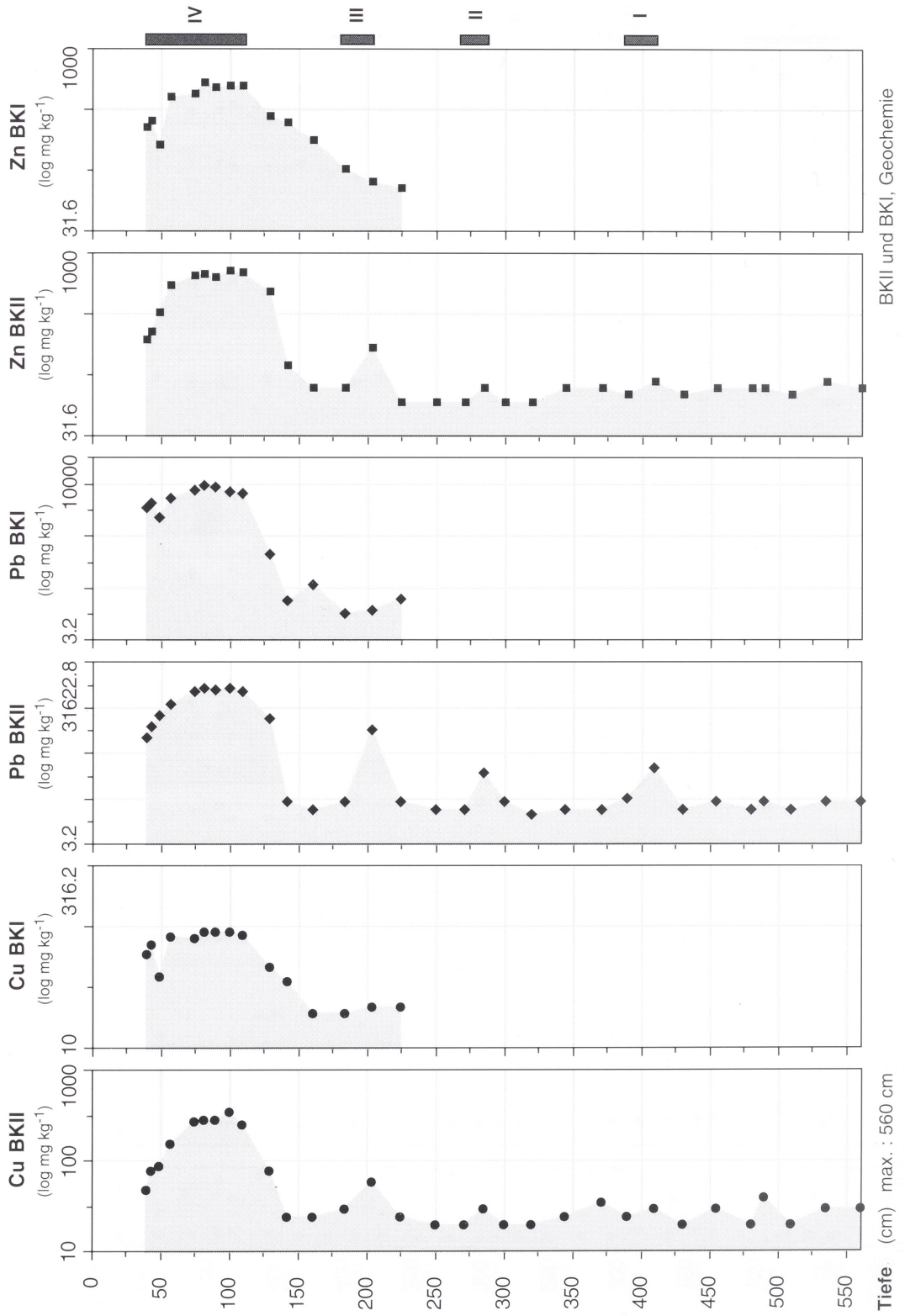


Abb. 5 Das Verhalten von Kupfer, Blei und Zink in den Kernen BK I und II.

durch zufällig gewählte Doppelproben (90–100 und 100–110 cm) sowie Vergleiche mit den Ergebnissen einer Voruntersuchung (Schmelztabletten) gesichert.

Die Daten (Tabelle 3 u. 4; Abb. 3–5) zeigen deutliche Trends. Die Haupt- und Nebenkomponten weisen auf ein unterschiedliches Verhalten zwischen einem älteren Kernbereich unterhalb von 110 cm und den darüber befindlichen jüngeren Sedimenten hin. Mit Ausnahme der Probe 49–58 cm gibt es in dem jüngeren Teil des Kernes einen deutlichen Rückgang von Natrium, Kalium und von Magnesium. Der Calcium-Anteil steigt ebenso wie die Phosphor-Konzentration. Nach einem homogenen Konzentrationsverlauf des Phosphors von der Basis bis in ca. 130 cm Tiefe, kommt es im oberen Kernbereich zu starken Konzentrationsschwankungen mit einem Trend zu höheren Konzentrationen (Abb. 4), vermutlich eine Folge der landwirtschaftlichen Nutzung des Gebietes. Der Kieselsäure-Anteil (SiO_2) der Sedimente steigt, während die Aluminium-, Titan- und Eisenkonzentrationen sinken (Abb. 3). Die Mangengehalte ändern sich nicht mit der Tiefe, wobei starke Schwankungen oberhalb von 130 cm Kerntiefe deutlich ausgeprägt sind. Schwefel war in den meisten Proben nicht nachzuweisen. In den Einzelproben, in denen Schwefel auftritt, liegt ein deutlicher Trend zu jeweils steigenden Konzentrationen vor (Abb. 4), der mit dem lokalen Vorkommen von feinstkristallinem Pyrit sowie Eisenerzen im Einzugsgebiet zu erklären ist (makro- und mikroskopisch nachgewiesen).

Die sekundären Pflanzennährstoffe Chrom, Nickel, Rubidium, Strontium und Vanadium sind ebenfalls verarmt (Tabelle 4), während der nicht bestimmbar Rest (in etwa gleichzusetzen mit dem relativen Anteil organischer bzw. humoser Substanz) deutlich ansteigt. Bei näherer Betrachtung der Daten in der Abb. 4 läßt sich durch die Probe 49–58 cm der obere Kernbereich nochmals in zwei Bereiche gliedern. Oberhalb befindet sich rezenter (bis ca. 40 cm) und subrezenter (bis ca. 50 cm) landwirtschaftlich genutzter Boden, darunter bis ca. 110 cm Tiefe alter Ackerboden. Die Probe 49–58 cm zeigt durchgängig Anomalien gegenüber dem Liegenden und Hangenden des Profils und verdeutlicht

Tabelle 3 Minima (Min), Maxima (Max) und Medianwerte (Med) von Haupt- und Nebenkomponten jeweils im oberen (o) und unteren (u) Kernbereich bzw. im Gesamtkern (t) sowie die Quotienten (Quot) aus den Medianwerten der unteren zu den oberen Kernbereichen.

Die Probe 49–58 cm ist aus der Datenbasis entfernt worden. Alle Konzentrationen in Massenanteilen in [%].

	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5	SO_3
Min u	57,8	15,7	0,82	0,86	2,83	1,93	0,39	5,1	0,06	0,10	0,001
Max u	67,6	20,0	0,91	1,69	3,36	2,39	0,59	7,8	0,12	0,19	0,006
Min o	59,1	11,2	0,77	0,78	2,17	1,07	0,58	2,8	0,03	0,14	0,022
Max o	69,6	15,5	0,82	1,01	2,56	1,69	0,73	6,1	0,10	0,30	0,076
Med u	62,8	18,3	0,88	1,16	3,02	2,20	0,50	6,4	0,08	0,14	0,003
Med o	61,6	13,4	0,78	0,88	2,30	1,30	0,69	3,1	0,06	0,20	0,044
Med t	62,5	17,3	0,86	1,07	2,97	2,13	0,52	6,0	0,07	0,16	0,039
Quot.	1,0	1,4	1,1	1,3	1,3	1,7	0,7	2,1	1,3	0,7	0,07

Tabelle 4 Minima (Min), Maxima (Max) und Medianwerte (Med) von Spurenelementen jeweils im oberen (o) und unteren (u) Kernbereich bzw. im Gesamtkern (t) sowie die Quotienten (Quot) aus den Medianwerten der unteren zu den oberen Kernbereichen.

Die Probe 49–58 cm ist aus der Datenbasis entfernt worden. Alle Konzentrationen in [mg/kg].

	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Zn	Zr
Min u	5	600	7	110	20	30	14	110	100	100	60	260
Max u	34	870	25	210	80	60	2000	140	110	130	490	460
Min o	6	550	9	80	50	20	760	90	90	70	200	430
Max o	29	940	18	120	350	40	9200	120	100	100	730	600
Med u	23	740	15	140	30	45	26	120	100	120	80	320
Med o	18	740	12	90	270	25	7600	105	100	80	650	540
Med t	22	740	14	130	30	40	34	115	100	120	80	380
Quot.	1,3	1,0	1,3	1,6	0,1	1,8	0,003	1,1	1,0	1,5	0,1	0,6

damit die Trennung zwischen dem jüngeren und älteren Bereich des oberen Kernprofils (bis 110 cm). Die sich hieraus ergebenden Probleme lassen sich vermutlich bei der zukünftigen Bearbeitung klären.

Die Konzentrationen der Elemente Barium, Rubidium und Strontium ändern sich im Kernprofil nur wenig. Eine Abreicherung des Arsens scheint zwar statistisch signifikant, die Nähe der Resultate an der Bestimmungsgrenze stellt dies jedoch zugleich wieder in Frage. Die Verarmung der Elemente Cobalt, Chrom, Nickel und Vanadium läßt sich mit der Pflanzenaufnahme erklären (*Tabelle 4*).

Die Elemente Kupfer, Blei, Zink und Zirkon zeigen dagegen hohe Anreicherungen im oberen Kernprofil. Die minimalen Konzentrationen z. B. von Blei (14 mg/kg) im unteren Kernbereich stellen einen realistischen Wert für die natürliche Grundbelastung in diesem Gebiet dar. Auch der Medianwert des unteren Kernbereiches (26 mg/kg) ist ein typischer Wert für nicht anthropogen beeinflusste Sedimente im Harz. Deutlich darüber liegende Konzentrationen weisen jedoch entweder auf Vererzungen oder auf anthropogene Belastungen, z. B. durch bergbauliche Aktivitäten, Verhüttung usw. hin. So ist die signifikante Anomalie im Bereich von ca. 40–130 cm nur durch anthropogene Einflüsse erklärbar. Im unteren Kernbereich gibt es drei weitere Anomalien in Tiefen von 204, 280 und 410 cm. In allen Fällen wurde eine starke Anreicherung von Blei, Kupfer und Zink nachgewiesen, von denen die von Kupfer und Zink nur in der Probe von 184 bis 204 cm statistisch signifikant ist (*Abb. 5*). Auch diese Anomalien lassen sich nur mit anthropogenem Einfluß auf das Sediment erklären.

Alle vier Buntmetallanreicherungen im Kern stimmen mit einer jeweiligen Zunahme der feinen Sedimente überein (*Abb. 2*) und zeigen – im Gegensatz zu den anderen Proben – jeweils Anreicherungen von Schlackenresten. Plausibel sind entsprechende Aktivitäten im Einzugsgebiet, die durch Abholzung (Köhlerei) zu Bodenerosion und damit einer zeitweise erhöhten Sedimentfracht im Bach geführt haben und zugleich durch Hüttenprozesse und Haldenmaterial freigesetzte Elemente aus den verarbeiteten Erzen in die Sedimente eintrugen.

Die gefundenen Schlackenreste treten in allen Proben aus 0–110 cm mit besonderer Anhäufung in 90–110 cm Tiefe sowie in 184–204, 271–285 und 390–410 cm Tiefe auf (*Tabelle 1*). Diese Positionen entsprechen zugleich den maximalen Anreicherungen der Buntmetalle Kupfer, Zink und Blei (*Abb. 5*). Bei mikroskopischer Betrachtung lassen sich zwei Schlackentypen differenzieren, eine eisenhaltige und eine glasige Schlacke. Mikrosondenanalysen zeigen die interne Struktur der Proben: Die eisenhaltige Schlacke besteht vorwiegend aus Silikatglas, Eisen-Aluminium-Spinell (Hercynit) und Korund, während die glasige Schlacke vor allem aus Blei-Silikatglas und Wüstit (FeO) besteht. Als Nebengemengteile lassen sich in beiden Typen Einschlüsse metallischen Bleis sowie metallisches Kupfer, z. T. mit Holzkohle verwachsen und Limonit (Bleihaltiges Eisenhydroxid) aushalten (*Tabelle 5*).

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den geochemischen Daten der Schlackenfunde von der Voruntersuchung (*Tabelle 6*) ist mit Einschränkungen möglich, da in einem Fall die gesamte Probe aus mehreren Schlackenstücken gemahlen und analytisch bearbeitet wurde, während für die Mikrosondenanalytik nur Teilbereiche einzelner Schlackenstücke untersucht wurden. Dennoch zeigen Vergleiche der Aluminium-Calcium-Verhältnisse und der Silicium-Aluminium-Verhältnisse eine sehr enge Übereinstimmung der glasigen Schlacken vom Fundpunkt F25 mit den glasigen Schlacken vom Typ II (Bleisilikatglas) aus dem erbohrten Sedimentmaterial. Ebenso gibt es eine gewisse Ähnlichkeit über diese Elementverhältnisse zwischen den plattigen Schlacken des Fundpunktes F702 und den eisenhaltigen Schlacken vom Typ II aus dem Bohrkern.

Rückschlüsse auf die Herkunft der verarbeiteten Erze sind bisher mit Ausnahme der Probe F 25 noch nicht möglich. SIEBURG (1929) bezeichnet erhöhte Barium- und Zinkkonzentrationen in Verbindung mit hohen Kieselsäure- und Eisengehalten als kennzeichnend für Schlacken aus Verhüttungsprozessen des frühmittelalterlichen Bergbaus am Rammelsberg. Derartiges Material wurde im Okergebiet nahe der Königspfalz Werla gefunden. Der hohe Eisengehalt der Schlacke läßt sich dadurch erklären, daß aus den anfangs noch an oder nahe an der Tagesoberfläche lagernden Erzen das Eisen im Unterschied zu den anderen Metallen nur wenig durch Verwitterungsprozesse abgereichert werden konnte. Dem Erz wurde Kieselsäure zugeschlagen, um die Schmelzbarkeit der Schlacke zu erhöhen, eine mögliche Ursache der hohen Kieselsäuregehalte (HOFFMANN, mündl. in SIEBURG 1929). Die Schlackenprobe F 25, die im Vergleich mit den anderen Proben durch hohe Barium- und Zink- und auch durch eine hohe Eisenkonzentration gekennzeichnet ist, könnte somit aus einer frühen Abbauphase der Rammelsberger Lagerstätte stammen.

Tabelle 5 Haupt- (H) und Nebengemengeteile (N) der Schlackentypen aus dem Kern BK II; alle Konzentrationen in Massenanteilen in [%]; n.n. = nicht nachweisbar.

H	Eisenhaltige Schlacke (I)			glasige Schlacke (II)	
	Silikatglas	Fe-Al-Spinell	Korund	Bleisilikatglas	Wüstit
SiO ₂	55,1	0,14	0,09	29,1	0,22
Al ₂ O ₃	20,82	37,27	99,85	4,26	3,99
FeO	9,27	57,79	0,72	6,94	84,54
CaO	4,19	0,04	0,02	7,76	0,05
BaO	0,24	n.n	n.n	3,13	0,01
PbO	0,01	0,02	0,01	38,05	0,04
Summe	89,6	90,3	100,7	89,2	88,9

N	Einschluß in I und II		Kupfer/Holzkohle- Verwachsung	Limoneit mit Gelstruktur
	Metallisches Blei	Metallisches Kupfer		Bleihaltiges Eisenhydroxid
SiO ₂	n.n	n.n		1,27
Al ₂ O ₃	n.n	n.n		6,1
FeO	0,95	0,59		62,67
CaO	n.n.	n.n.		0,39
BaO	0,03	n.n		n.n
CuO	n.n	92,22		n.n
PbO	99,63	0,08		10,83
Summe	100,61	92,89		81,24

Diskussion

Betrachtet man den Verlauf der Konzentrationskurven von Kupfer, Blei und Zink im Tiefenprofil (*Abb. 5*) so fällt auf, daß die Gehalte dieser Elemente oberhalb der ältesten drei Anomalien jeweils wieder auf ihr ursprüngliches Konzentrationsniveau zurückfallen. Oberhalb der jüngeren (obersten), dem mittelalterlichen Bergbau zuzuordnenden Anomalie gehen die Konzentrationen zwar stark zurück, verharren aber bis an die Tagesoberfläche auf einem erhöhten Niveau. In den Kernzonen 1 bis 3 ergibt sich für die Konzentrationen der Elemente Kupfer, Blei und Zink die Reihenfolge Pb < Cu < Zn. Dies entspricht den durchschnittlichen Verhältnissen sowohl in der Erdkruste als auch im geochemischen Hintergrund des von Harzer Erzen beeinflussten Okergebiets (NIEHOFF et al. 1992). Eine Ausnahme bildet die oberhalb der jüngsten Anomalie gelegene bis zur Tagesoberfläche reichende Zone 4 (0–30 cm). Hier tritt für die drei genannten Elemente die Konzentrationsreihe Cu < Zn < Pb auf. Diese Befunde lassen in ihrer Gesamtheit mehrere Rückschlüsse im Hinblick auf die anthropogenen Einflüsse auf den Sedimentchemismus zu:

- Die im Uferbachtal in den ältesten drei Bergbau- bzw. Verhüttungsphasen (Phase I bis III, *Abb. 5*) abgelagerten Schlackenmengen gehen vermutlich auf insgesamt geringe Mengen an Verhüttungsresten zurück. Die Schlackenreste beeinflussen ausschließlich die eng abgrenzbaren Bereiche der Anomalien und nicht deren liegende und hangende Sedimentpartien in deren chemischer Zusammensetzung. Auch die Konzentrationen des relativ mobilen Elements Zink bleiben konstant. Im Gegensatz zu diesem Befund war in dem schon früh durch recht große Mengen an Bergbau- und Verhüttungsresiduen gekennzeichneten Okereinzugsgebiet nach fast allen der ausgegliederten Bergbauphasen eine Zunahme vor allem der Zinkkonzentration in den hangenden Sedimenten nachzuweisen (MATSCHULLAT et al. 1992).
- Die dem mittelalterlichen Bergbau (Phase IV, *Abb. 5*) zugeordneten Schlackenmengen müssen, wie zu erwarten, wesentlich größer gewesen sein. Sie beeinflussen die Schwermetallkonzentrationen in den hangenden Schichten so stark, daß die oben genannte, den natürlichen Verhältnissen entsprechende, Konzentrationsreihenfolge verändert wird. Ob im jüngsten Bereich (0 bis 30 cm) Ein-

flüsse ferntransportierter Luftschadstoffe eine Rolle spielen (Andreae 1994), oder ob die weitergehende Dispersion alter Schlackenreste das hohe Niveau erklärt, kann mit den bisherigen Arbeiten nicht beantwortet werden.

Modellierung der zeitlichen Eingrenzung der Anomalien

Von der relativ sicher datierten obersten geochemischen Anomalie ausgehend, soll versucht werden, mittels einer Modellrechnung Hypothesen für eine vorläufige zeitliche Eingrenzung der tiefer gelegenen Bergbau- bzw. Verhüttungsphasen herzuleiten. Die obersten 30 cm des Bohrkernes gehen dabei in die Berechnungen nicht ein. Es werden drei Datierungsmodelle aufbauend auf drei unterschiedlich eingeschätzten Raten der durchschnittlichen jährlichen Sedimentbildung im Uferbachtal durchgerechnet (Tabelle 7). Alle Modelle setzen eine gleichmäßige Sedimentation ohne erosive Schichtlücken voraus.

Die oberste Anomalie in 30–110 cm Tiefe (Phase IV, Abb. 5) konnte mittels der ^{14}C -Datierung auf ein Alter zwischen 1140 n. Chr. (± 140 Jahre) und 1345 n. Chr. (± 80 Jahre) – dendrologisch korrigierte Daten – eingegrenzt werden. Der daraus berechnete Zeitraum von ca. 200 Jahren ergibt eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 4 mm/a. Wird diese auch für die tieferen Zonen des Sedimentkerns zugrunde gelegt, ergeben sich die in der Tabelle 7 aufgelisteten Zeitfenster (Variante 1) für die Bergbauphasen I bis III. Bei einer angenommenen quadratischen Abnahme der Sedimentationsintensität zum Liegenden (Variante 2), wurde mit folgenden Werten gerechnet: Phase IV: 4 mm/a, Phasen 3 und III: 2 mm/a, Phasen 2 und II: 1 mm/a sowie Phasen 1 und I: 0,5 mm/a. Als Variante 3

Tabelle 6 Chemische Kurzcharakteristik der Schlackenfunde im Tal des Kleinen Uferbaches.

Konzentration [%]	F 25 glasige S.	F 702 plattige S.	F 710 schaumige S.	F 711 Pochsand
SiO ₂	30,7	23,5	65,5	71,8
Al ₂ O ₃	5,8	6,4	3,3	9,2
CaO	10,1	2,4	5,3	0,28
Fe	21	39	7	3
As	0,006	0,0003	0,013	0,02
Ba	0,39	0,18	0,42	0,12
Cu	0,3	0,5	0,03	0,03
Pb	4,5	0,7	9	9
Zn	7	3	0,1	0,02
Pb/Zn	0,7	0,2	80	460

Tabelle 7 Modellrechnung zur zeitlichen Einordnung der geochemischen Anomalien im Bohrkern.

Sedimentationsphasen	Phase IV	Phase 3	Phase III	Phase 2	Phase II	Phase 1	Phase I
Sedimentationsrate konstant	4 mm/a	4 mm/a		4 mm/a		4 mm/a	
Variante 1	1140 - 1345 n.Chr.	955 - 1140 n.Chr.	905 - 955 n.Chr.	745 - 905 n.Chr.	705 - 745 n.Chr.	445 - 705 n.Chr.	395 - 445 n.Chr.
Sedimentsrate progr. fallend	4 mm/a	2 mm/a		1 mm/a		0,5 mm/a	
Variante 2	1140 - 1345 n.Chr.	765 - 1140 n. Chr.	665 - 765 n.Chr.	15 - 665 n.Chr.	135 v.Chr. - 15 n.Chr.	2235 - 135 v.Chr.	2635 - 2235 v.Chr.
Sedimentationsrate linear fallend	4 mm/a	3 mm/a		2 mm/a		1 mm/a	
Variante 3	1140 - 1345 n.Chr.	890 - 1140 n. Chr.	825 - 890 n. Chr.	500 - 825 n. Chr.	425 - 500 n.Chr.	625 v.Chr. - 425 n.Chr.	825 - 625 v.Chr.
mögliche Zuordnung zu Harzer Bergbauphasen	mittelalterlicher Bergbau		karolingischer Bergbau		röm.-kaiserzeitl. Bergbau		frühgeschichtlicher Bergbau

wurde von einer mit zunehmendem Alter der Sedimente linear abnehmenden Sedimentationsrate von zunächst 3 mm/a (Phasen 3 und III), dann von 2 mm/a (Phasen 2 und II), und schließlich von 1 mm/a (Phasen 1 und I) ausgegangen.

Im Hinblick auf eine Zuordnung der hypothetischen zeitlichen Einordnung zu bereits an anderen Lokationen im Harz abgeleiteten Bergbauphasen erscheint den Autoren die Berechnungsvariante 3 am realistischsten zu sein: So entspricht das Zeitfenster der Phase III etwa der karolingischen Zeit. Nach Angaben von KLAPPAUF et al. (1990b) weisen Ergebnisse der Ausgrabungen bei Düna auf eine Intensivierung des Harzbergbaus und der Verhüttungsaktivitäten am südlichen Harzrand in der karolingischen Zeit hin. Der Zeitraum für die nächst ältere Bergbauphase (II) läßt sich zwanglos mit der für die römische Kaiserzeit (3./4. Jh. n. Chr.) am Südharzrand beschriebenen Verhüttung Rammelsberger Erze (BROCKNER 1989b) in Verbindung bringen. Ein frühgeschichtlicher Bergbau bzw. eine frühgeschichtliche Verhüttung von Buntmetallerzen schließlich ergibt sich aus der Modellrechnung für die Phase I. Auf die für den Bereich des Nordharzes diesbezüglich existierenden Hypothesen wurde bereits in der Einleitung hingewiesen.

Die Annahme einer durchgehend hohen Sedimentationsrate (4 mm/a), die aus einer intensiven Bergbauphase extrapoliert wurde, ist unrealistisch, da sich die Sedimentationsbedingungen unter dem wechselnden Einfluß unterschiedlich starker anthropogener Aktivitäten erfahrungsgemäß ändern. Die ebenfalls berechnete Variante einer progressiv abnehmenden Sedimentationsrate liefert sehr wahrscheinlich ein viel zu hohes Alter der ältesten Bergbauphase. Dieses würde mit maximal ca. 2600 Jahren v. Chr. bis in das Neolithikum zurückreichen.

Ausblick

Bereits im jetzigen Stadium der Untersuchungen kann gezeigt werden, daß das angewendete Instrumentarium der analytischen Geochemie und der Mineralogie die Möglichkeit bietet, in sich differenzierte Anomalien in Aue-sedimenten aufzufinden, quantitativ zu bestimmen und eine Vielzahl von Informationen zu liefern (z. B. zu Ablagerungsbedingungen), die für die Interpretation der Umweltgeschichte eines lokalen Raumes notwendig sind. Ebenso wird bergbauliche Aktivität bzw. die Verhüttung von Erzen über einen weiten Zeitraum für das Einzugsgebiet des Uferbaches nachgewiesen.

Während von den vier im Tiefenprofil des Bohrkernes BK II vorgefundenen geochemischen Anomalien die oberste aufgrund von Radiocarbonatierungen an Holzkohleresten mit einer hoch- bis spätmittelalterlichen Bergbau- und Verhüttungsperiode korreliert werden konnte, haben die den Stoffanomalien im unteren Kernteil zugeordneten Bergbauphasen bisher noch den Charakter von Arbeitshypothesen. Diese erhalten jedoch durch Vergleich mit den seit über 1000 Jahren bergbaulich beeinflussten und z.T. aufgrund pollenanalytischer Datierungen stratigraphisch eingeordneten Auesedimenten im Okergebiet (DRESCHHOFF 1974, NIEHOFF et al. 1992) bereits jetzt erhebliches Gewicht.

Überprüfen und weiter einengen lassen sich die obigen Hypothesen zum Wechselspiel von Sedimentationsdynamik, chemischer Zusammensetzung und anthropogenen Einflüssen zunächst durch weitere absolute Altersbestimmungen von Holzkohleresten, die im gesamten Kernmaterial auftreten (*Tabelle 1 u. 2*). Damit könnte der oben aufgeworfenen Frage genauer nachgegangen werden, welche Zeiträume einerseits vom gesamten Kern und andererseits von den Sequenzen zwischen den vorgefundenen geochemischen Anomalien repräsentiert werden. In weiteren Arbeiten sollen die Schlackenreste differenziert und nach Möglichkeit die zugrunde liegenden Verhüttungsprozesse geklärt werden. Zusätzliche pollenanalytische Untersuchungen wären wegen der vor allem im aquatischen Sedimentationsmilieu auftretenden Probleme bei der Radiocarbon-Datierung (GEYH 1991) auch im Hinblick auf einen Methodenvergleich wünschenswert.

Trotz der noch bestehenden Unsicherheiten möchten die Autoren die bisherigen Angaben als Anregung verstanden wissen, den Themenkreis „Harzbergbau – Kulturgeschichte – Umweltgeschichte“ weiter zu bearbeiten und die Möglichkeiten des Einsatzes geowissenschaftlicher Methoden im Rahmen eines interdisziplinären Ansatzes auszuloten. In jedem Fall kann den montanarchäologischen Arbeiten im Harz hier ein weiterer Mosaikstein hinzugefügt werden.

Literatur:

- ANDREAE, H. 1994: Deposition anorganischer Komponenten. In: J. Matschullat, H. Heinrichs, J. Schneider, B. Ulrich (Hrsg.), Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität – Ergebnisse interdisziplinärer Forschung im Harz. Berlin, Heidelberg, New York 1994, 107–112.
- BARTELS, C. 1992: Vom frühneuzeitlichen Montangewerbe bis zur Bergbauindustrie. Erzbergbau im Oberharz (1635–1866). Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 54. Bochum 1992.
- BROCKNER, W. 1989a: Kulturgeschichte aus dem Labor: Archäometrische Studien an Grabungsfunden aus der Harzregion. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 1989, 69–73.
- BROCKNER, W. 1989b: Archäometrische Untersuchungen an Fundmaterial aus Grabungen des Instituts für Denkmalpflege Hannover. Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 58, 1989, 185–191.
- CRAMER, S. 1993: Montanarchäologische Prospektion und Umweltschutz im Westharz. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 13, 1993, 69–73.
- DRESCHHOFF, GE. 1974: Geologische Untersuchungen in den Holozänablagerungen des mittleren Okergebiets. Dissertation TU Braunschweig. Braunschweig 1974.
- GEYH, M. 1991: Die ¹⁴C-Methode – Altersbestimmung mit Problemen. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 11, 1991, 135–138.
- KLAPPAUF, L., LINKE, F.-A., BROCKNER, W., HEIMBRUCH, G., KOERFER, S. 1990a: Early mining and smelting in the Harz region. Archaeometry 90, 1990, 7–86.
- KLAPPAUF, L., LINKE, F.-A., BROCKNER, W. 1990b: Interdisziplinäre Untersuchungen zur Montanarchäologie im westlichen Harz. Zeitschrift für Archäologie 24, 1990, 207–242.
- LIESSMANN, W. 1992: Historischer Bergbau im Harz – Ein Kurzführer. Schriften des Mineralogischen Museums der Universität Hamburg 1. Köln 1992.
- MATSCHULLAT, J., NIEHOFF, N., PÖRTGE, K.-H. 1992: Bergbau- und Zivilisationsgeschichte am Beispiel eines Auelehmpfils der Oker, Niedersachsen. Neue Bergbautechnik 22 (8), 1992, 322–326.
- MATSCHULLAT, J., ELLMINGER, F., AGDEMIR, N., CRAMER, S., LIESSMANN, W., NIEHOFF, N. 1997: Overbank sediment profiles – evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. Applied Geochemistry 12(1), 1997, 105–114.
- NIEHOFF, N., MATSCHULLAT, J., PÖRTGE, K.-H. 1992: Bronzezeitlicher Bergbau im Harz? Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 12, 1992, 12–14.
- NOWOTHNIG, W. 1962: Spuren urzeitlichen Bergbaues im Oberharz? Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 31, 1962, 173–176.
- STIEBURG 1929: Pfalz Werla und der Bergbau im Rammelsberge. Braunschweigisches Magazin 35, 1929, 24–28.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Geol. Nimet Agdemir
Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe
Fachgebiet Lagerstättenforschung der Technischen Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2A
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Dr. Stefan Cramer
Nonnenweg 18
D-38640 Goslar

Dr. Wilfried Ließmann
Institut für Mineralogie der Universität Hamburg
Bundesstr. 50
D-20146 Hamburg

Dr. Jörg Matschullat
Institut für Umweltchemie der Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 236
D-69020 Heidelberg

Dipl.-Geogr. Norbert Niehoff
Geographisches Institut der Universität Göttingen
Goldschmidtstr. 5
D-37077 Göttingen