

Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte	Band	Seite	Stuttgart 1995
NNU	64(1)	141–147	Konrad Theiss Verlag

Archäometrische Untersuchungen von Erz- und Schlackenfunden der Notgrabung 1981 in Goslar im Bereich des ehemaligen Brüdernklosters

Von

Wolfgang Brockner, Claudia Griebel und Stefanie Koerfer

Mit 2 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung:

Schlacken- und Erzrelikte aus dem Bereich des ehemaligen Brüdernklosters in Goslar, die in das erste Drittel des 13. Jahrhunderts und wahrscheinlich zum Teil noch in das 12. Jh. datieren, wurden analytisch-chemisch, dilatometrisch und mineralogisch-mikroskopisch untersucht. Die Gesamtheit der Befunde führt schlüssig zum sog. Verbleienden Schmelzen, das die Edelmetallanreicherung und -gewinnung aus komplexen edelmetallarmen Rammelsberg-Erzen zum Ziel hatte. Bariumhaltiger Zuschlag, wahrscheinlich Baryt, wurde bewußt eingesetzt, um die Bleiverluste gering zu halten und die Effektivität des Verfahrens zu steigern. Dieser Prozeß erlaubt auch den Einsatz von Bleiglätte (aus dem Treibprozeß) und damit ihr elegantes Recycling. Das Verbleiende Schmelzen, obwohl schon in der Antike gebräuchlich, wird hiermit erstmals für die Harzregion belegt.

Abstract:

Slag fragments and ore remains/roast products from an excavation of the terrain of the former Franciscan monastery („Brüdernkloster“) in Goslar, which date back to the first third of the 13th and probably in part to the 12th century, have been investigated archaeometrically. All the findings point decidedly to a metallurgical process, in which lead or lead compounds were added to extract and collect the noble metals, especially silver and gold, from complex ores of the nearby Rammelsberg deposit (so-called Verbleiendes Schmelzen). Barium containing additional charge (very likely baryte ($BaSO_4$)) has been used intentionally to keep the lead loss as low as possible and to improve the efficiency. Furthermore, this process also allows the use of litharge (PbO), possibly from the cupellation, and its elegant recycling. This special kind of enrichment-smelting, although used in ancient times, will be proven to have been first carried out in the Harz region.

In der Altstadt von Goslar, im Bereich des ehemaligen Brüdernklosters, fand 1981 im Zuge von Baumaßnahmen eine Notgrabung statt, deren Umstände, Funde und Befunde vom Ausgräber beschrieben wurden (KLAPPAUF 1981). Dabei geborgen werden konnten auch Erzrelikte, Schlacken und Holzkohle als montanarchäologisch relevante Funde, sowie Keramikscherben. Die Funde stammen aus Befundzusammenhängen aus der Zeit vor der Klostergründung, die in den späteren 1230er Jahren erfolgt sein muß. Dieser Datierungsansatz wird durch die stratifizierte Keramik bestätigt. Ein Teil der Erz- und Schlackenrelikte könnte, wie die Mehrzahl der Keramikscherben, noch aus dem 12. Jahrhundert stammen.

Mit den Grabungen in Düna, Ldkr. Osterode am Harz (KLAPPAUF 1989) und am ehem. Johanneser Kurhaus bei Clausthal-Zellerfeld im Harzgebirge (KLAPPAUF und LINKE 1989), sowie der schwerpunktmäßigen Förderung der Archäometallurgie durch die Volkswagenstiftung, konnte in den letzten Jahren die doch vernachlässigte Montanarchäologie intensiviert werden und eine verstärkte interdisziplinäre Einbindung der Naturwissenschaften erfolgen (ANDRAE et al. 1989; BROCKNER et al. 1989; HILLEBRECHT 1989; HEIMBRUCH 1990; KLAPPAUF et al. 1990; KOERFER 1990; KLAPPAUF 1991; BROCKNER 1992; BROCKNER et al. 1992; KLAPPAUF et al. 1994; BROCKNER et al. 1993).

In diesem Zusammenhang der verstärkten Erforschung des frühen Bergbaus und der Verhüttung in der Harzregion, sowie der archäologischen Befundauswertung der Goslarer Funde und der archivalischen Bearbeitung des relevanten Umfeldes (BUDDÉ 1992) wurden die archäometallurgischen Funde aus dem Bereich des ehemaligen Brüdernklosters archäometrisch bearbeitet.

Generelle Fundbeschreibung

Die stark verwitterten und/oder möglicherweise gerösteten Erzrelikte entstammen zweifelsfrei der Rammsberglagerstätte, noch gut erkenntlich am typischen, fein verwachsenen und geschichteten Aufbau. Die stückigen Schlacken, ohne Sekundärminerale, sind im frischen Bruch dunkelgrau, makroskopisch homogen und teils glasig. Ihr spezifisches Gewicht beträgt $3,48 \text{ g/cm}^3$ (Rohdichte).

Probenvorbereitung und Untersuchungsmethoden

Zunächst wurden die zu untersuchenden Erzrelikte- und Schlackenproben mechanisch gesäubert, sodann mit Hilfe einer Diamantsäge von verfälschenden Krustenbereichen befreit, unter fließendem Wasser gewaschen, 15 Minuten im Ultraschallbad gereinigt, mit deionisiertem Wasser gespült und bei 105°C getrocknet. Anschließend wurden geeignete Probenstücke mit einem Schlagmörser grob zerkleinert und mit einer Scheibenschwingmühle pulverfein gemahlen. Für die dilatometrische Ermittlung der Mindestprozeßtemperatur wurden Schlackeprobenkörper mit rechteckigem Querschnitt und den Maßen von etwa $0,7 \times 0,7 \times 4,0 \text{ cm}$ zurechtgesägt und wie beschrieben gereinigt und getrocknet. Die mineralogisch-mikroskopische Untersuchung erfolgte an polierten Dünnschliffen aus denselben Schlackenstücken.

Zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der pulverförmigen Proben wurde die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA; Inst. für Mineralogie und Mineral. Rohstoffe der TU Clausthal) eingesetzt, wobei alle relevanten Elemente schwerer als Fluor erfaßt wurden. Methodisches zu dieser Standardmethode im Bereich der analytischen Chemie findet sich in der einschlägigen Literatur (z. B. HAHN-WEINHEIMER 1984; NAUMER et al. 1990). Die thermoanalytische (dilatometrische) Untersuchung der Schlackenprobenkörper wurde mit einem Eigenbaugerät mit mechanischer Wegaufnahme, computerisierter Temperaturführung und Datenerfassung, sowie der Verwendung von Standards durchgeführt. Zur Ergänzung der mineralogisch-mikroskopischen Untersuchungen wurden Raster-Elektronen-Mikroskop (REM)-Aufnahmen (Inst. für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal) gefertigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der RFA-Untersuchungen eines Erzreliktes und dreier Schlackenproben sind in der üblichen Oxidschreibweise in *Tabelle 1* zusammengefaßt, wobei nur die relevanten Elemente mit Gehalten über 100 ppm berücksichtigt wurden. Die mineralogisch-mikroskopisch ermittelten Bestandteile der Schlacken sind in *Tabelle 2* aufgelistet. Das Schliffbild (*Abb. 1*) zeigt einen charakteristischen Bereich mit Hyalophan-Nadeln in einer fayalitischen Grundmasse (Hyalophan: $((\text{K},\text{Ba})[\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8])$; Fayalit: Fe_2SiO_4). Hyalophan wurde ebenfalls röntgenographisch identifiziert (ASTM-Kartei 19–20). Die Zusammensetzung von Hyalophan, einem Mischkristall aus Celsian, $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, und Orthoklas, wurde mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop ermittelt. Das Dilatogramm einer Schlackenprobe ist in *Abbildung 2* dargestellt.

Zur Enträtselung der Art der frühen metallurgischen Aktivitäten im Bereich des ehem. Brüdernklosters müssen primär die Schlackenfunde herangezogen werden. Die bemerkenswerten Bleigehalte neben den auffallend niedrigen Kupfergehalten der Schlacken indizieren die Herkunft dieser Verhüttungsreste aus der Blei-(Edelmetall)-Gewinnung. Die Messingherstellung im geschlossenen Tiegel mit bleihaltigen Galmeiprodukten, die ebenfalls glasartige und stark bleihaltige Schlacken liefert, kann aufgrund der niedrigen Zink- und Kupfergehalte und des mikroskopischen Befundes als Schlackenlieferant ausgeschlossen werden (BROCKNER 1992; REHREN et al. 1993).

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Erzrelikt- und Schlackenfunden der Notgrabung Brüdernkloster/Goslar 1981 in der üblichen Oxidschreibweise (Angaben Gew.-%, ab As₂O₃ in ppm). Fundnummern (FNr.) nach KLAPPAUF 1981.

FNr.	Erz		Schlacken	
	GS 81-2/109	GS 81-2/102	GS 81-2/108	GS 81-2/109
SiO ₂	1,6	29,9	30,3	33,2
FeO	39,7	29,0	27,6	28,4
PbO	0,26	3,9	2,8	7,2
CuO	13,4	0,26	0,26	0,28
ZnO	2,0	1,4	2,5	0,84
Al ₂ O ₃	0,30	7,7	6,9	5,7
CaO	0,10	5,5	5,3	4,5
MgO	0,01	1,1	1,0	0,95
BaO	0,19	12,7	14,8	11,3
K ₂ O	0,11	2,9	2,7	2,2
Na ₂ O	<10 ppm	0,19	0,02	0,11
MnO	0,04	0,29	0,36	0,21
CoO	0,17	0,01	0,01	0,01
TiO ₂	0,01	0,29	0,24	0,21
P ₂ O ₅	0,15	0,81	0,78	0,81
S	36,9	0,18	0,4	0,07
As ₂ O ₃	2600	280	140	900
Sb ₂ O ₃	240	590	580	1800
Bi ₂ O ₃	190	98	22	120
SrO	—	830	830	750
SnO ₂	240	130	120	200

Ni, Ag und Au nicht nachweisbar (<10 ppm), C nicht bestimmt.

Tabelle 2: Mineralogisch-mikroskopischer Befund der Schlackenproben vom Bereich des ehemaligen Brüdernklosters. (Intersertal bedeutet gegenseitiges Abstützen in der Glasmatrix. Gradierung ist eine Änderung des Kristallisationsgrades. Bei einer Spinifex-Textur bilden sich Kristalle von einem Ursprungspunkt (MACKENZIE et al. 1989)).

FNr.	Mineralbestand, Beimengungen	Gefüge, Textur
81-2/102	Glas, Fayalit, Hyalophan, Eisenoxide	Intersertales Gefüge, keine Orientierung oder Gradierung
81-2/108	Glas, Hyalophan, dendritische Eisenoxide, weißes Metall (Bleilegierung?)	Porphyrisches Gefüge, Spinifex-Textur
81-2/109	Glas, Fayalit, Hyalophan, Eisenoxide	Intersertales Gefüge, Spinifex-Textur

Für die Blei-(Silber)-Erzeugung in der Harzregion ist bisher das einstufige Röst-Reaktionsverfahren nachgewiesen (HEIMBRUCH et al. 1989), wobei ein Teil des (edelmetallhaltigen) Bleiglanzes (PbS) zur Bleiglätte (PbO) oxidiert wird und letztere mit noch vorhandenem Bleiglanz zu flüssigem Blei (Pb) reagiert, zudem entweicht noch gasförmiges Schwefeldioxid (SO₂). Die Edelmetalle befinden sich im Blei (Werkblei) und können daraus mit Hilfe des Treibprozesses (BACHMANN 1993) gewonnen werden. Die Prozeßtemperatur des Röst-Reaktionsprozesses beträgt etwa 900–1000 °C und das heterogene „Schlackenmaterial“ besteht aus den verbliebenen zusammengesinterten Erzbegleitmineralen bzw. ihren Relikten.



Abb. 1 Schliffbild der Schlacke GS 81-2/102. Verzweigte Hyalophan-Nadeln in einer fayalitischen, teilweise kristallisierten Grundmasse. Die opaken Bereiche konnten als Eisenoxide identifiziert werden (120x, Nicols II).

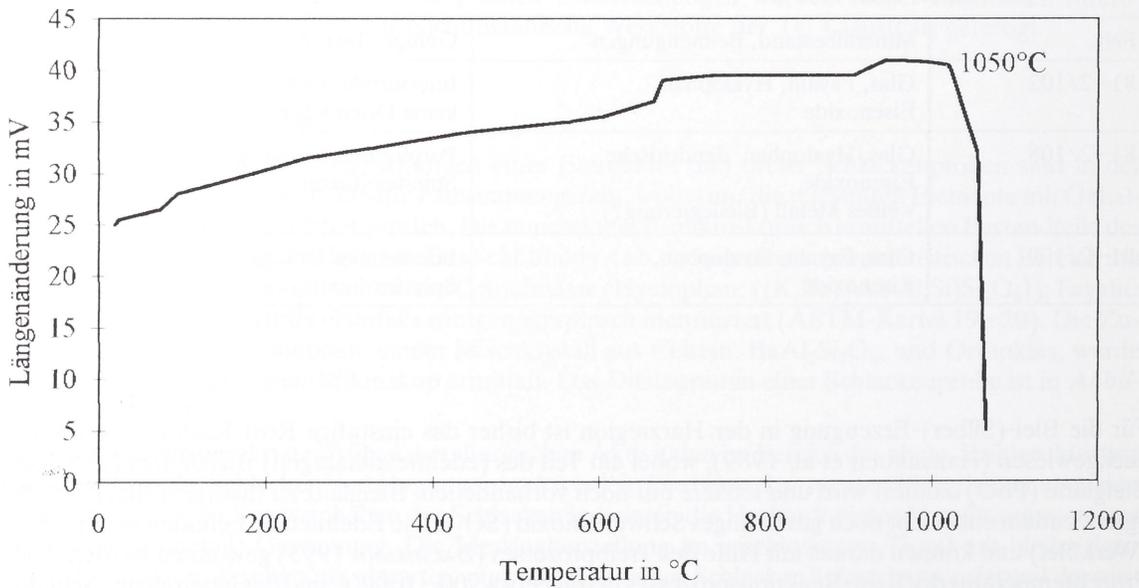
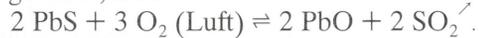
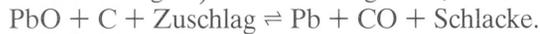


Abb. 2 Dilatogramm der Schlacke FNr. GS 81-2/108. Mindestprozeßtemperatur etwa 1050°C.

Die Schlacken der Notgrabung „Brüdernkloster“ deuten damit auf eine Blei-(Edelmetall)-Gewinnung nach dem „moderneren“ zweistufigen Röst-Reduktionsverfahren. Hierbei wird im ersten Schritt das sulfidische Bleierz oxidiert, d. h. geröstet, nach



Das Röstprodukt wird im zweiten Verfahrensschritt mit schlackebildenden Zuschlägen und Holzkohle als Reduktionsmittel zu (edelmetallhaltigem) Werkblei umgesetzt, schematisch nach



Die Prozeßtemperatur liegt um etwa 1100 °C und die gebildeten Schlacken sind meist glasig und bleireich.

Auch die dilatometrisch ermittelte Mindestprozeßtemperatur der Goslarer Schlackenprobe (*Abb. 2*) von etwa 1050 °C ist mit dem Röst-Reduktionsverfahren in Einklang zu bringen, wenn, wie allgemein akzeptiert, berücksichtigt wird, daß die reale Prozeßtemperatur deutlich höher, etwa 1100–1200 °C, ist (HAUPTMANN et al. 1988). Insgesamt erscheint jedoch die erhaltene Mindestprozeßtemperatur für das Röst-Reduktionsverfahren recht hoch.

Sehr auffällig ist weiterhin der hohe Bariumgehalt der Goslarer Schlacken. Solche Schlacken sind selten und sehr ähnliche Schlacken kennen wir bisher aus der Harzregion nur vom Kanstein bei Langelsheim. Vom Zuschlag im Röst-Reduktionsverfahren herrühren können neben dem Barium auch noch Silizium (SiO₂), Aluminium (Al₂O₃), Kalzium (CaO), Titan (TiO₂), Strontium (SrO) als Barytbegleiter und möglicherweise Antimon (Sb₂O₃). Aus der Holzkohleasche kommen bestimmt gewichtige Anteile an Kalium (K₂O), Phosphat (P₂O₅), Magnesium (MgO), Mangan (MnO), sowie CaO-, Al₂O₃- und SiO₂-Gehalte. Diese qualitative Bilanz stimmt auffallend gut überein mit der Verwendung von sog. Kniest der Rammelsberglagerstätte, einem grauen, feingeschichteten, kieselsäurereichen und metallarmen Gestein mit geringmächtigen Vererzungen (MOHR 1978; SPERLING 1990), entstanden aus hydrothermal umgewandeltem Unteren Wissenbacher Schiefer, mit Quarz-, Karbonat- und Baryttrümer als Begleiter. Selbst die Anwesenheit (oder auch das Fehlen) von Elementspuren (z. B. Sb₂O₃, Bi₂O₃, TiO₂ und SrO) harmoniert bestens mit den im Kniest gefundenen Mineralen (SPERLING 1990). In diesen Zusammenhang fügt sich auch das möglicherweise aus dem Kniestbereich stammende analysierte Erzrelikt (*Tabelle 1*) gut ein, das jedoch offensichtlich zur Blei-Gewinnung nach dem Röst-Reduktionsverfahren ungeeignet war und ist.

Geht man davon aus, daß die gefundenen Erzrelikte (oder auch Röstprodukte) mit den Schlacken zusammengehören und Glieder eines metallurgischen Prozesses waren, läßt sich auch noch eine weitere plausible Prozeß-Erklärung über den auffallend hohen Bariumgehalt der Schlacken und deren mineralogisch-mikroskopischen Aufbau geben. Der hohe Bariumgehalt der Schlacken macht nur Sinn, um den Bleiverlust in einem Prozeß, via Bleisilikatbildung, möglichst gering zu halten (BACHMANN 1993), indem das dem Blei chemisch ähnliche Barium dessen Stelle in den chemischen Gleichgewichtsreaktionen einnimmt. Konkret heißt dieses, daß Blei als Edelmetallsammler eingesetzt wird. Diese, als „*Verbleiendes Schmelzen*“ bezeichnete Edelmetallanreicherung, ist besonders gut geeignet oder sogar erforderlich um sulfidische, polymetallische und edelmetallarme Erze oder Röstprodukte zu verhütten (BACHMANN 1993).

Die mineralogisch-mikroskopischen Ergebnisse (*Tabelle 2; Abb. 1*) zeigen als Besonderheit Hyalophan als Hauptbestandteil der auskristallisierten Bestandteile. Schlacken mit auffallend ähnlichem Gefüge werden von antiken Verhüttungsstätten in Südspanien beschrieben (CRADDOCK 1985; KEESMANN 1993). Obwohl noch nicht alle Einzelheiten der antiken Silber-Blei-Anreicherungstechnologie(n) geklärt sind, ist es sicher, daß auch silberarme, komplexe Kupfererze von den Phöniziern und Römern ausgebeutet wurden. Dieses „*Verbleiende Schmelzen*“ verbindet damit die Blei-Silber-Technologie mit der Kupfer-Technologie (KEESMANN 1993) und sie kann als früher Vorläufer des Saiger- (oder Seiger-) Prozesses angesehen werden (BACHMANN 1993).

Eine Wertung der vorgestellten Ergebnisse führt nun schlüssig zu einem *Verbleienden Schmelzen* im Bereich des ehem. Brüdernklosters, das aus komplexen, schwer verhüttbaren und edelmetallarmen Rammelsbergerzen, auch Kupfererzen, eine Edelmetallanreicherung und -gewinnung zum Ziel hatte. Die Bariumkomponente, wahrscheinlich Baryt, wurde bewußt zugeschlagen. Als Bleikomponente konnte alternativ Bleiglanz (PbS), Bleimetall oder Bleiglätte (PbO) verwendet werden. Letztere kann so elegant zurückgewonnen worden sein (Recycling). Der hohe Silikatanteil kann vom Kniest (Zuschlag) herrühren, ggf. mußte sonst ein SiO₂-reicher Zuschlag erfolgen. Der hohe Eisengehalt der Schlacken er-

klärt sich aus dem pyritischen Erzanteil (FeS_2), und Zinkblende ist zumindest teilweise als Zinkoxid verflüchtigt worden. Die Anteile aus der Holzkohleasche (siehe oben) finden sich in der Schlacke wieder. Der niedrige Arsengehalt (As_2O_3) der Schlacken läßt auf einen Einsatz von geröstetem Erz schließen.

Die technologische Ausführung des durchgeführten Verbleienden Schmelzens ist im einzelnen noch nicht geklärt (BACHMANN 1993; KEESMANN 1993). Nach unserer Meinung lassen auch die archäologischen Funde und Befunde (KLAPPAUF 1981) keine fundierten Aussagen zum technologischen Ablauf dieses Verhüttungsvorganges zu. Die diesbezüglich geäußerte Meinung, noch auf Basis des Röst-Reduktionsprozesses (LAUB 1985), ist rein spekulativ.

Sollte sich dieses Verbleiende Schmelzen als Technologiesprung bzw. -transfer für die angegebene Zeit und für die Harzregion verfestigen, muß verstärkt nach den Ursachen bzw. dem Ursprung gefragt und geforscht werden. Das dann „neue“ und damals bestimmt revolutionäre Verfahren mit den Zisterziensern in Verbindung zu bringen, erscheint dann nicht allzu abwegig.

Erze und Erzrelikte waren auch fraglos interessante Ausgangsstoffe für eine alchemistische Gewinnung von kosmetischen und medizinischen Präparaten, Mineralen, Farben, u. a. m. Für diesen bestimmt nicht unwichtigen Bereich fehlen jedoch (noch) entsprechende Funde und Befunde.

Danksagung

Wir danken Frau N. Florescu für die Hilfe bei der Probenvorbereitung, Prof. Dr. A. G. Herrmann für die Ermöglichung und Dr. B. Knipping und K. Herrmann für die Hilfe und Durchführung der RFA-Messungen, Dr. L. Klappauf für die Überlassung der Proben sowie für seine stete Hilfs- und Diskussionsbereitschaft, T. Budde M.A., für die kooperative Zusammenarbeit und nicht zuletzt der Volkswagen-Stiftung für die finanzielle Unterstützung.

LITERATUR:

- ANDRAE, CHR. / WILLERDING, U., 1989: *Zur Entwicklung der Landnutzung bei Düna*. – Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 1989, 74–79.
- BACHMANN, H. G., 1993: *Zur frühen Blei- und Silbergewinnung in Europa*. – Montanarchäologie in Europa (Hrsg. H. Steuer und U. Zimmermann). Thorbecke, Sigmaringen 1993, 29–36.
- BROCKNER, W./KOLB, H. E./KLAPPAUF, L., 1989: *Archäometrie Harzer Hüttenprodukte und Lagerstätten*. – Der Anschnitt, Beiheft 7. Bochum 1989, 163–169.
- BROCKNER, W., 1992: *Frühe Buntmetallgewinnung in der Harzregion*. – Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 12, 1992, 151–153.
- BROCKNER, W., 1992: *Vor- und frühgeschichtliche Metallgewinnung und Metallverarbeitung in der Harzregion*. – Mitteilungsblatt der Technischen Universität Clausthal 74, 1992, 21–24.
- BROCKNER, W./KOERFER, S./HEIMBRUCH, G./BORCHARDT, G./SLOWIK, J., 1992: *Archäometrische Untersuchungen an Eisen- und Kupferschlacken der Harzregion: Analytik, Mineralbestand und Mößbauerspektren*. – Berliner Beiträge zur Archäometrie 11, 1992, 47–65.
- BROCKNER, W./KLAPPAUF, L., 1993: *Spätantike Metallgewinnung und -verarbeitung im Harzraum*. – Montanarchäologie in Europa (Hrsg. H. Steuer und U. Zimmermann). Thorbecke, Sigmaringen 1993, 177–182.
- BUDDE, T., 1992: *Die Notuntersuchungen im Bereich des Brüderklosters in Goslar*. – Magisterarbeit, Universität Bamberg 1992.
- CRADDOCK, P. T./FREESTONE, I. C./GALE, N. H./MEEKS, N. D./ROTHENBERG, B./TITE, M. S., 1985: *The investigation of a small heap of silver smelting debris from Rio Tinto, Huelva, Spain*. – Furnaces and Smelting Technology. Hrsg. P.T. Craddock and M.J. Hughes, British Museum Occasional Paper, No. 48. London, 1985, 199–217.

- HAHN-WEINHEIMER, P., 1984: *Grundlagen und praktische Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse*. – Braunschweig 1984.
- HAUPTMANN, A./PERNICKA, E./WAGNER, G. A., 1988: *Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos*. – Hrsg. G. A. Wagner und G. Weisgerber. Deutsches Bergbau-Museum Bochum 1988, 88–112.
- HEIMBRUCH, G./KOERFER, S./BROCKNER, W., 1989: *Archäometrische Untersuchungen an Erz-, Schlacken-, Metall- und Bleiglättebefunden der Grabung Johanneser Kurhaus 1987*. – Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 1989, 103–110.
- HEIMBRUCH, G., 1990: *Archäometrie an Verhüttungsrelikten der Harzregion*. – Dissertation, TU Clausthal 1990.
- HILLEBRECHT, M.-L., 1989: *Energiegewinnung auf Kosten der Umwelt*. – Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 1989, 80–85.
- KEESMANN, I., 1993: *Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer- und Silberverhüttung in Südwestspanien*. – Montanarchäologie in Europa (Hrsg. H. Steuer und U. Zimmermann). Thorbecke, Sigmaringen 1993, 105–122.
- KLAPPAUF, L., 1981: *Vorbericht zu der Notgrabung 1981 im Bereich des ehem. Brüdernklosters zu Goslar*. – Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 50, 1981, 217–226.
- KLAPPAUF, L., 1989: *Auswirkungen der Grabungen im frühmittelalterlichen Herrensitz Düna bei Osterode auf die Montanforschung im Harz*. – Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte 58, 1989, 171–184.
- KLAPPAUF, L., 1991: *Zur Bedeutung des Harzes und seiner Rohstoffe in der Reichsgeschichte*. – Die Salier. Siedlungen und Landesausbau zur Salierzeit, Teil. 1. In den nördlichen Landschaften des Reiches. Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Bd. 27. Hrsg. v. H. W. Böhme. Sigmaringen 1991, 211–232.
- KLAPPAUF, L./LINKE, F.-A., 1989: *Der Fall Johanneser Kurhaus bei Clausthal-Zellerfeld. Grabungsbefunde des mittelalterlichen Verhüttungsplatzes der Blei- und Silbergewinnung*. – Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 1989, 86–92.
- KLAPPAUF, L./LINKE, F.-A./BROCKNER, W., 1990: *Interdisziplinäre Untersuchungen zur Montanarchäologie im westlichen Harz*. – Zeitschrift für Archäologie 24, 1990, 207–242.
- KLAPPAUF, L./LINKE, F.-A./BROCKNER, W./HILLEBRECHT, M.-L./KUPRAT, B./WILLERDING, U., 1994: *Schätze des Harzes. Archäologische Untersuchungen zum Bergbau- und Hüttenwesen des 3. bis 13. Jahrhunderts nach Christus*. – Begleithefte zur Ausstellung der Abteilung Urgeschichte des Niedersächsischen Landesmuseums, Heft 4. Hrsg. v. G. Wegner; Red. K. v. Kurzynski. – Oldenburg 1994.
- KOERFER, S., 1990: *Mineralogie und Petrographie von Verhüttungsrelikten aus dem Harzer Raum*. – Dissertation, TU Clausthal 1990.
- LAUB, G., 1985: *Ungewöhnlicher Bodenfund vom Kloster*. – Goslarer Bergkalender 1985, 75–78.
- MACKENZIE, W. S./DONALDSON, C. H./GUILFORD, C., 1989: *Atlas der magmatischen Gesteine in Dünnschliffen*. – Stuttgart 1989.
- MOHR, K., 1978: *Geologie und Minerallagerstätten des Harzes*. – Stuttgart 1978.
- NAUMER, H./HELLER, W., 1990: *Untersuchungsmethoden in der Chemie*. – Stuttgart, New York 1990.
- REHREN, T./LIETZ, E./HAUPTMANN, A./DEUTMANN, K. D., 1993: *Schlacken und Tiegel aus dem Adlerturm in Dortmund: Zeugen einer mittelalterlichen Messingproduktion*. – Montanarchäologie in Europa (Hrsg. H. Steuer und U. Zimmermann). Thorbecke, Sigmaringen 1993, 303–314.
- SPEHLING, H./WALCHER, E., 1990: *Die Blei-Zink-Erzlagerstätte Rammelsberg (ausgenommen Neues Lager)*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe D, Heft 91. Stuttgart 1990.

Abbildungsnachweise:
alle von den Verfassern.

Anschrift der Verfasser:
Prof. Dr. Wolfgang Brockner,
Dipl.-Chem. Claudia Griebel,
Dipl.-Geol. Dr. Stefanie Koerfer
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
der Technischen Universität Clausthal
Paul-Ernst-Straße 4
D-38670 Clausthal-Zellerfeld