

Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte	Band	Seite	Hildesheim 1990
NNU	59	87—109	Verlag August Lax

Archäometallurgische Untersuchungen an Material der Ausgrabung 1984 am „Steinbühl“ bei Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim

Von

Ingo Keesmann und Andreas Heege

Mit 19 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung:

Das archäometallurgische Fundmaterial vom „Steinbühl“ bei Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim, wurde petrographisch untersucht. Es handelt sich um Schlacken und verschlackte technische Keramik. Die Schlacken sind fayalitische Eisenschlacken in typischer Kalottenform. Sie gehören zum Abfall einer eisenverarbeitenden Werkstatt. Vereinzelt tritt fayalitische Kupferreduktionsschlacke auf.

Die technische Keramik führt in den aufgeschmolzenen Bereichen neben metallischem Eisen auch Zinnbronze und Kupfer bzw. Kupferlegierungen mit hohen Gehalten an Arsen bzw. Antimon. Es ist daher zu vermuten, daß neben der Verarbeitung von Eisen und einer schmiedenden Warmformgebung ergänzend auch Buntmetall-Lötungen durchgeführt wurden.

Die Blei-, Arsen- und Antimongehalte der kupferreichen Phasen der Schlacken weisen auf eine Herkunft aus einer polymetallischen Lagerstätte hin, wie sie im weiteren Umkreis des „Steinbühl“ u. a. der Rammelsberg im Nordharz darstellt.

1. Archäologischer Kurzkomentar

„Schlacken“ bzw. schlackenartige Gebilde, die bei der Ausgrabung am „Steinbühl“ 1984 geborgen werden konnten, wurden erstmalig 1986 von WEDEPOHL und SCHNEIDER (1986) archäometallurgisch untersucht. Dabei stand ihnen nur eine kleine, sicher nicht repräsentative Stichprobe zur Verfügung. Es handelte sich um 5 Stücke aus Grube 24 (Kasten B, bis 10 cm unter Flächenplanum), 2 Stücke aus Grube 72 (70—80 cm unter Flächenplanum; zur Lage vgl. *Abb. 1 u. 2*).

Diese Proben sind in der Aufstellung *Tabelle 1*, die sämtliche am „Steinbühl“ geborgenen „Schlacken“ beinhaltet, nicht mehr verzeichnet. Eine Trennung der Gesamtheit in Erz, metallurgische Schlacken im eigentlichen Sinne und verschlackte „technische Keramik“ (s. u.) war für den Archäologen ohne Spezialuntersuchungen nicht möglich und fand deshalb keinen Eingang in die Aufstellung. Über die Probenbezeichnung bzw. die Präparat-Nr. ergibt sich die Konkordanz mit *Tabelle 4*, in der eine Zuordnung nach naturwissenschaftlicher Untersuchung vorgenommen wurde.

Die großen Gruben und Grubenkomplexe am Steinbühl (vgl. *Abb. 2*) verlangten zu Dokumentationszwecken ein aufwendiges Schnittsystem im Schachbrettmuster, das jeweils mehrere Befunde überzog. Die einzelnen Kästen wurden in 10 oder 20 cm Straten abgebaut. Innerhalb der Kästen wurde aus Zeitgründen nicht detaillierter eingemessen. Lage und Benennung der Kästen zeigt *Abb. 1*.

In *Abb. 2* ist das Vorkommen von Schlacken am „Steinbühl“ kartiert. Es zeigt sich, daß die „Schlacken“ aus Gruben unterschiedlicher Funktion stammen (vgl. HEEGE 1987). Bei Grube 55 und 72 handelt es sich um sekundär mit Müll verfüllte Kegelstumpfgruben, die primär zur Lagerung von Getreide verwendet wurden. Die Gruben 20/24, 57, 62 und 69 sind in ihrer primären Funktion nicht zu bestimmen. Sie sind aber ebenfalls sekundär mit Müll verfüllt. Grube 23 ist ein großer, unregelmäßiger

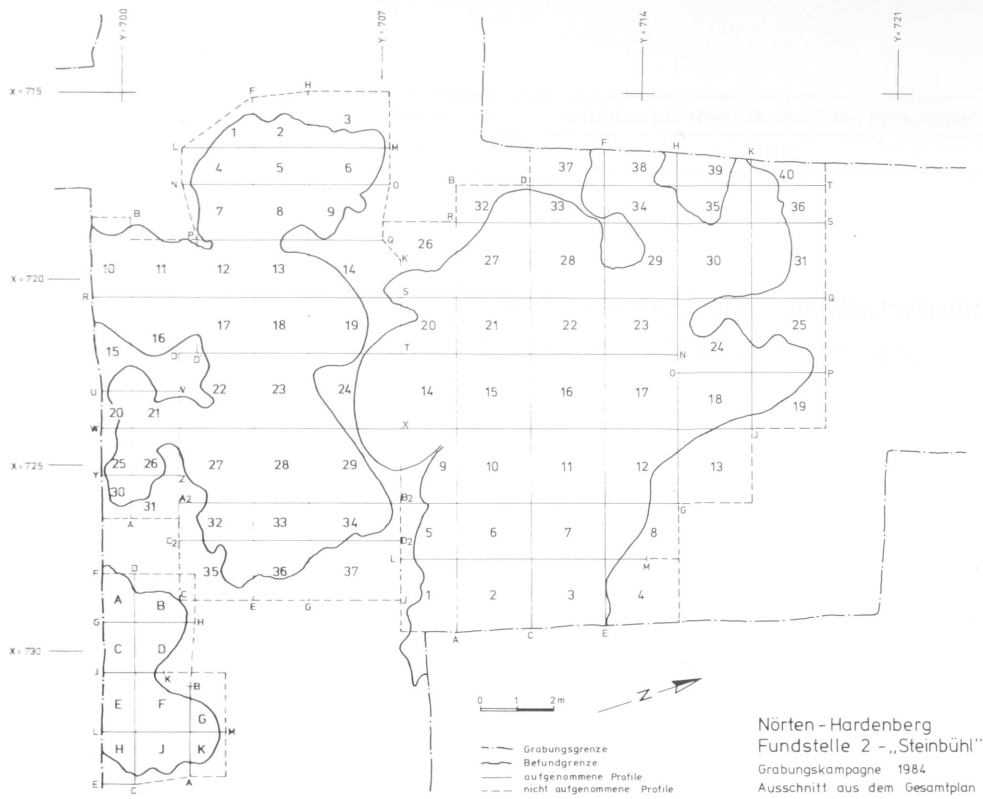


Abb. 1 Nörten-Hardenberg „Steinbühl“, Ldkr. Northeim.
Schnittsystem im Bereich der Befunde 20/24, 41/42/44 und 23/44 mit Bezifferung der Kästen und Profile.

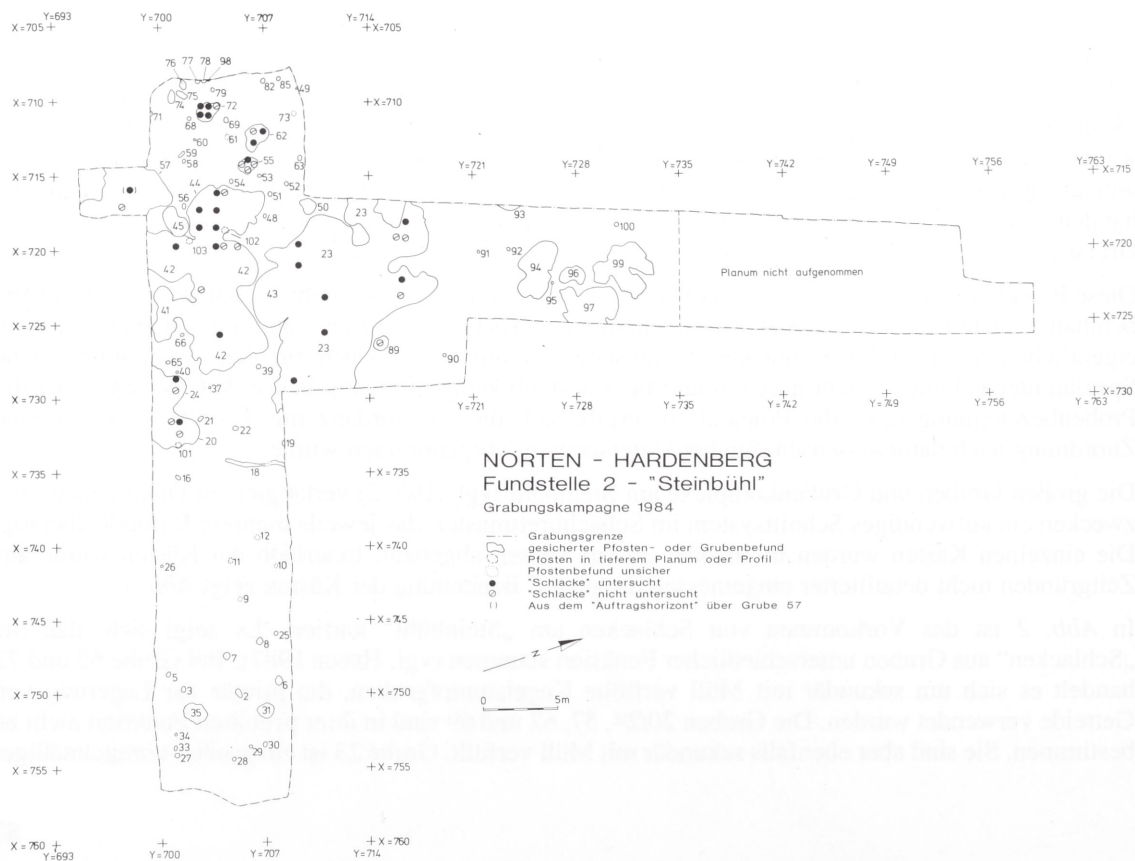


Abb. 2 Nörten-Hardenberg „Steinbühl“, Ldkr. Northeim.
Gesamtplan — Verteilung aller bei der Ausgrabung 1984 geborgenen „Schlacken“ (siehe Tabellen 1 und 4).

Grubenkomplex mit tiefen und flachen Partien. Sie ist vermutlich als Lehmentnahmegrube für Haus- und Ofenbau anzusehen. Bei Befund 44 könnte es sich um die Reste eines Grubenhauses handeln. Über Grube 57 konnte ein eisenzeitlicher Auftragshorizont erkannt werden (KLAMM 1987), aus dem ebenfalls einige Schlacken stammen. Eine besondere Fundkonzentration der Schlacken ist nicht zu beobachten, vielmehr scheinen sie locker verstreut in allen größeren Gruben zu liegen.

Funde irgendwelcher Art, die auf den Standort der metallverarbeitenden Werkstatt schließen lassen könnten, liegen ebensowenig vor, wie etwa Reste einer Schmiedeesse oder anderer pyrotechnischer Anlagen. Vielleicht finden mit dem anzunehmenden intensiven Metallhandwerk auch die zahllosen verbrannten und unverbrannten Gerölle aus Sandstein bzw. Keuperquarzit eine Erklärung, die ebenfalls aus den Gruben geborgen werden konnten (vgl. MEYER 1987).

Eine zeitliche Differenzierung der Grubeninventare ist kaum möglich, auch wenn der Auftragshorizont über Grube 57 und die Verfüllung der Grube 23 möglicherweise etwas jünger und die Grube 42 etwas älter sein sollte. Die keramischen und sonstigen Funde gestatten eine Datierung in den Horizont Latène C (Latène C2?) bis Latène D1 (HEEGE 1987). Absolutchronologisch ist damit ein Zeitraum von ca. 250 v. Chr. bis 60 v. Chr. für die Entstehung der Schlacken anzunehmen (zur absoluten Chronologie vgl. HAFFNER 1979; MIRON 1986).

Tabelle 1

Probenbezeichnung Befund	Dok.-Nr.	Präparat- Nr.	Anzahl Stücke	Gewicht in Gr.	Lage der Schlacke	
0	9	—	1	4,1	Bei der Befundnummer „0“ handelt es sich um Streufunde von der Oberfläche bzw. aus den Grabungskanten. Datierung unsicher.	
0	11	—	1	6,7		
0	14	1308	9	181,0		
0	15	1309	3	41,0		
0	20	1310A, B	1	235		
0	23	1311A, B	8	800		
0	24	—	1	73		
20	21	—	3	16		Kasten F, 0—20 cm unter Flpl.
20	48	1314	1	36		Kasten F, 50—60 cm unter Flpl.
20I	23	—	1	1,2		Kasten I, ca. 50 cm unter Flpl.
24	3	1288	3	23	Flächenplanumsfunde	
24	8	1289A, B	1	846	Kasten B, 0—10 cm unter Flpl.	
24	49	—	1	0,1	Kasten D, unstratifiziert	
23	29	1281	1	44	Kasten 11, 0—20 cm unter Flpl.	
23	72	1282	1	11	Kasten 24, 0—20 cm unter Flpl.	
23	86	1283	5	125	Kasten 27, 0—20 cm unter Flpl.	
23	151	1284	1	33	Kasten 35, 0—20 cm unter Flpl.	
23	222	1285	4+	520	Kasten 2, unstratifiziert	
23	237	—	3	15	Kasten 30, unstratifiziert	
23	240	1286	2	33	Kasten 21, 0—20 cm unter Flpl.	
23	248	—	1	8	Kasten 18, unstratifiziert	
23	255	1287	1	16	Kasten 16, unstratifiziert	
23VII	5	—	2	12	Kasten 30, unstratifiziert	
42	27	—	1	5	Kasten 14, 0—20 cm unter Flpl.	
42	38	—	1	9,5	Kasten 22, 0—20 cm unter Flpl.	
42	60	1290	1	18	Kasten 28, 0—20 cm unter Flpl.	
42	138	1291	3	117	Kasten 11, unstratifiziert	
42	169	1292	2	18,5	Kasten 13, 0—40 cm unter Flpl.	
42III	9	—	2	2,4	Kasten 13, 40—60 cm unter Flpl.	
44	7	1293	3	46	Kasten 8, 0—10 cm unter Flpl.	

44	17	1294	1	37	Kasten 4, 0—10 cm unter Flpl.
44	25	1295	1	32	Kasten 2, 0—10 cm unter Flpl.
44	30	—	3	25	Kasten 2, 10—20 cm unter Flpl.
44	38	1296A, B	6	143	Kasten 5, unstratifiziert
44	41	1297	4	42	Kasten 7, unstratifiziert
55	17	—	1	0,2	10—20 cm unter Flpl.
55	21	—	2	17	20—30 cm unter Flpl.
55	26	—	1	0,9	20—30 cm unter Flpl.
55	90	1298A, B	1	53	0—40 cm unter Flpl.
57	7	1299	5	108	Streifunde
57	8	1300	6	212	Eisenzeitl. Auftragshorizont über Befund 57
57	15	—	6	33	dito.
57	16	1301	1	33	Streifunde
62	8	1302	1	23	0—10 cm unter Flpl.
62	13	1303	1	22	0—10 cm unter Flpl.
62	36	—	1	2,5	0—20 cm unter Flpl.
72	21	1304	2	34	10—20 cm unter Flpl.
72	34	1305	5	56	30—40 cm unter Flpl.
72	144	1306A, B	13	320	Aus Grube unstratifiziert
72	145	1307	3	53	dito.
72	146	—	1	3,4	dito.
89	7	—	3	10	0—20 cm unter Flächenplanum
Summe			136	4556,5	

Flpl. = Flächenplanum, ca. 40—50 cm unter Oberfläche (Abb. 2)

2. Frühere Untersuchungen

WEDEPOHL und SCHNEIDER (1986) bezogen in ihre naturwissenschaftlichen Untersuchungen außer Material vom Fundort Steinbühl zusätzlich auch noch Oberflächenfunde von Harste und Hardeggen sowie eine kleine Probe der Grabung Vogelbeck ein. Die von ihnen bearbeiteten Schlackenstücke hatten überwiegend Kalottenform. Die Autoren deuteten sie als Erstarrungsprodukte von Schlackentropfen, die aus einem (Reduktions-)Ofen ausflossen und ihre spezifische Form durch ihr Eigengewicht bei der Erstarrung auf der Unterlage erhielten, i. e. konvexe Formen auf einer ebenen Fläche. Die untersuchten Schlacken wiesen zwar keine für Lauschlacken typischen Merkmale auf, andererseits konnten auch keine typischen Eigenschaften beobachtet werden, die sog. Schmiedeschlacken charakterisieren. Die untersuchten Schlacken enthielten auch keine größeren Kupfergehalte. Somit stand nach Meinung der Autoren fest, daß es sich um Abfälle einer „*primitiven Verhüttung*“, d. h. (Eisen-)Metallgewinnung handeln müsse, wobei die Einzelbeobachtungen allerdings auf eine „*gute Beherrschung des Hüttenprozesses im Hinblick auf relativ niedrige Schmelztemperaturen*“ deuteten. Es erhob sich nun die Frage nach der Herkunft des verhütteten Eisenerzes.

In der Eisentechnologie der Antike und des Mittelalters sind im Prinzip zwei Schlackentypen zu unterscheiden: Fließschlacken mit den dafür typischen Merkmalen und kalottenförmige Schlacken im Sinne von Ofen- oder Herdrückständen. Die Frage nach der Herkunft von Erz und der chemische Vergleich mit Schlacken ist nur dann sinnvoll, wenn die Schlacken tatsächlich aus einem Verhüttungsprozeß stammen. Bereits der erste Verarbeitungsschritt in der Technologiekette des Eisens verwischt die geochemischen Fingerspuren praktisch bis zur Unkenntlichkeit, die Gehalte z. B. von Mangan, Phosphor und Vanadium, wichtigen Vergleichselementen, verschieben sich signifikant.

Das Erstarrungsverhalten von Fließschlacken ist außerordentlich variabel und naturgemäß von den speziellen Redoxbedingungen und den rheologischen Eigenschaften der erstarrenden silikatischen

Schmelze abhängig. Aus einem Ofen ausfließende Schlacke erstarrt in allen Formen von dünnen Schlackenplatten bis zu sehr spitzen Schlackenkegeln. Die Bildung von Schlackentropfen im Sinne von WEDEPOHL und SCHNEIDER (1986) setzt voraus, daß eine homogene Silikatschmelze vorliegt, diese Schmelze überwiegend in einem einzigen Guß aus dem Ofen heraustritt und dann sofort so hochviskos ist, daß sie nicht zu einer Schlackenplatte ausläuft. Ein technisches Modell, nach dem dieser Vorgang abgelaufen sein könnte, haben die Autoren nicht vorgeschlagen. Hochviskose und somit träge auslaufende Windofenschlacken bauen mehr oder weniger große Schlackenkegel auf, wie sie vielfach in der antiken Eisentechnologie zu beobachten sind. Auch ein derartiger Kegel, der sich aus rinnender Schlacke aufbaut (Abb. 3a), kann durch sein Eigengewicht im halbfesten Zustand abflachen und dadurch oberflächlich abrunden. Reduktionsschlacke, die an Luft ausfließt, oxidiert sehr schnell und bildet eine zähe Oxidhaut um die Schmelze. Solche Fließschlacken sind daher durch einen im Querschnitt kissenartigen Aufbau gekennzeichnet, der durch Erstarrungshäute („Wüsttilinien“, SPERL 1980) um die einzelnen Schlackenwülste markiert ist (Abb. 7). Dieser Aufbau geht auch bei Formveränderungen im halbfesten Zustand nicht verloren. Material der Unterlage wird durch die Oxidationshaut zwar noch plastisch abgebildet, aber praktisch nicht mehr aufgeschmolzen, und kann nicht soweit in die Schlacken(-Unterseite) integriert werden, daß es als Bestandteil der Schlacke gelten kann. Allenfalls wäre noch eine Verwechslung kalottenförmiger Schlacke mit Fließschlacke möglich, die in einer Rinne erstarrte, quer brach und durch Verwitterung gerundet wurde. Dies wäre der Übergang zu einem zweiten Modell, in dem eine Schlacke die Form des Herdes oder Ofenbodens annimmt oder beibehält, in dem sie entstanden ist (Abb. 3b). Eine solche Form setzt nicht voraus, daß die Schlacke in ihrer Gesamtheit völlig homogen war; aber sie kann es gewesen sein.

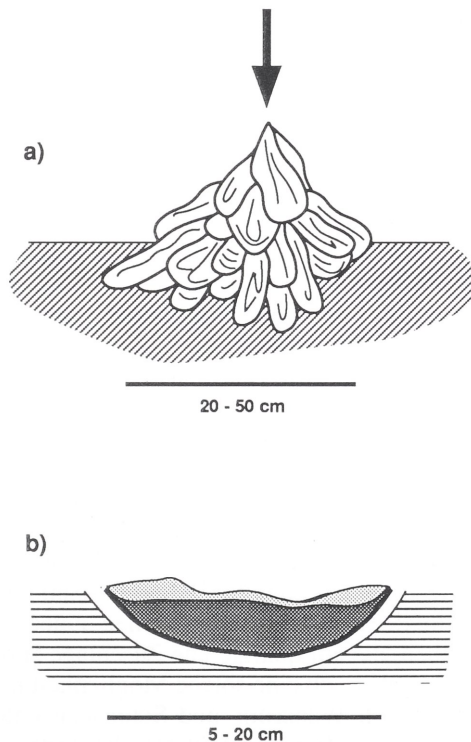


Abb. 3 a) Schematische Darstellung des Aufbaus eines Schlackenkörpers aus fließender, eisenreicher und hochviskoser Schlacke.
 b) Bildung einer kalottenförmigen Schlacke ‚in situ‘ als Rückstand in einem Herd oder Ofenboden.

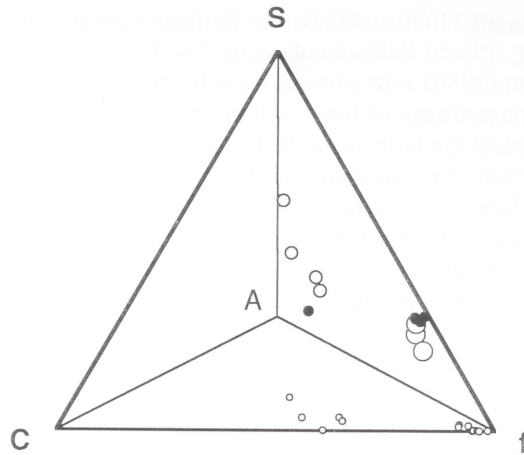


Abb. 4 System $\text{CaO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, erweitert entsprechend Normberechnung nach KEESMANN, BACHMANN & HAUPTMANN (1982) in Gew. %. Räumliche Darstellung im Tetraeder C-A-f-S
 C = $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$. A = Al_2O_3 . f = $\text{FeO}+\text{MnO}+\text{MgO}$. S = $\text{SiO}_2 (+\text{P}_2\text{O}_5)$.
 Punkte: Olivine nach *Tabelle 3*.
 Große Kreise: Pauschalanalysen nach *Tabelle 2*.
 Mittlere Kreise: Mikrosondenanalysen von Restschmelzen nach *Tabelle 2*.
 Kleine Kreise: Projektion aller Raumpunkte auf die Ebene C-A-f.

In jedem Fall gibt das Gefüge einer Schlacke ganz wesentliche Hinweise auf die Bildungsbedingungen der Schmelze und ihre Erstarrungsgeschichte (KEESMANN 1989). Chemische Untersuchungen an archäometallurgischen Schlacken können auf spezielle und für die Interpretation wichtige Gefügemerkmale hinweisen, sind aber keineswegs ausreichend, um den technischen Vorgang als solchen zweifelsfrei zu erschließen. Aus der Interpretation der von WEDEPOHL und SCHNEIDER mitgeteilten chemischen Analysen ergibt sich die Möglichkeit, daß die zu Schlacke erstarrten Schmelzen chemisch nicht homogen waren: Vereinfacht man die chemischen Hauptelementanalysen von Schlacken und Schlackenbestandteilen sinnvoll, dann können sie graphisch miteinander in Beziehung gebracht werden. In *Abb. 4* sind die darstellenden Punkte der in *Tabelle 2* aufgeführten Analysen eingetragen. Die Zusammensetzung der Schlackenkalotten, die sich aus chemischen Pauschalanalysen ergibt, entspricht darin der Zusammensetzung von vielen typischen Rennfeuerschlacken (z. B. gallorömische Eisenschlacken des Morvan, KEESMANN 1989). Die Zusammensetzung der von WEDEPOHL und SCHNEIDER mikroanalytisch bestimmten Fe-Ca-Al-Phasen ergibt sich als Zusammensetzung der Restschmelze nach Abscheidung von viel eisenreichem Olivin. Wenn allerdings, wie WEDEPOHL und SCHNEIDER annehmen, Zusammensetzungen mit $\text{FeO} < 30$ Gew. % und $\text{SiO}_2 > 40$ Gew. % auch in einem Vielkomponentensystem erst oberhalb 1300°C schmelzen, dann kann dies nicht die Zusammensetzung einer Restschmelze aus einem homogenen System sein (Analyse Nr. 4508, Mittelwert aus sechs Analysen), dessen Schmelzbereich zwischen $1150\text{--}1200^\circ\text{C}$ angesetzt wird. In der Tat haben wir bisher keine Hinweise dafür, daß sich in homogenen silikatischen Schmelzen aus Wüstit-Fayalit-normativen Schlacken bei Verfestigung schließlich Klinopyroxen-Quarz-normative Restschmelzen bilden. Wir können demnach in derart SiO_2 -reichen Teilen einer Schlackenkalotte Bereiche mit abnorm hohen SiO_2 -Gehalten sehen, die auf quarzreiche Zuschläge zurückgehen können. Wir werden im folgenden auch zu untersuchen haben, ob eine solche Möglichkeit in den Schlacken vom Steinbühl gegeben ist. Interessant ist in den von WEDEPOHL und SCHNEIDER untersuchten Schlacken auch die Zusammensetzung der Olivine, insbesondere das Auftreten besonders calciumreicher Mischkristalle (Kirschsteinit). In *Tabelle 3* sind diese Olivine zusammengestellt, die in *Abb. 5* mit den Olivinen von Schlackenkalotten aus dem Oppidum von Manching (HILGART u. KEESMANN 1987) verglichen werden. Wie aus *Abb. 5* hervorgeht, nehmen die von WEDEPOHL und SCHNEIDER mitgeteilten Olivinzusammensetzungen sowohl im FeO- wie auch im CaO-Gehalt extreme Werte an. Tatsächlich dürfte es sich,

Tabelle 2

Normberechnung aus Analysen von WEDEPOHL u. SCHNEIDER 1986
nach KEESMANN, BACHMANN u. HAUPTMANN 1982

Chemische Zusammensetzung nach Mikrosondenanalysen (Nr. 4507 - 4510, Mittelwerte) und
Pauschalanalysen (Nr. 4511 - 4513) (Gew.-%).

Nr.	4507	4508	4509 **)		4510 **)		4511	4512	4513
SiO ₂	36,80	56,50	34,40		33,80		17,80	23,60	22,00
TiO ₂	0,18	0,38	1,80		0,53		0,19	0,19	0,22
Al ₂ O ₃	7,20	11,9	5,50		5,00		2,90	2,70	3,40
FeO *)	36,30	17,30	29,40		40,50		66,59	60,49	65,08
MnO	0,09	0,02	0,21		0,04		0,40	0,04	0,24
MgO	0,16	0,00	0,08		0,02		0,44	0,35	0,90
CaO	12,70	6,60	17,50		16,20		2,80	1,10	2,10
Na ₂ O	0,80	1,70	1,50		2,10		0,28	0,19	0,26
K ₂ O	4,70	5,60	1,10		1,70		1,50	1,10	1,80
P ₂ O ₅	1,00	0,00	8,50	0,00	1,50	0,00	0,70	1,20	1,20
Summe	99,93	100,00	99,99	91,49	101,39	99,89	93,60	90,96	97,20

*) FeO = Gesamteisen

***) Der Anteil von P₂O₅ bzw. Wasser ist nach den Originalanalysen unbestimmt. Die Normberechnung erfolgte daher in den Grenzen P₂O₅+H₂O = 100% P₂O₅ bzw. 0% P₂O₅.
Bei den Pauschalanalysen wurden Wasser und CO₂ ebenfalls nicht in die Berechnung einbezogen

Normminerale (KEESMANN, BACHMANN, HAUPTMANN 1982) auf der Basis Oxidationsgrad = 0 (Berechnung in Vol.-%).

Wüstit	-	-	-	-	-	-	27,2	6,1	15,7
Fayalit	40,0	10,3	21,8	21,5	50,7	48,7	53,7	80,0	66,0
Ca-Olivin	8,0	-	-	-	20,3	26,3	2,4	-	-
Heterosit	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-
Hedenbergit	-	18,3	22,5	21,7	-	-	-	-	-
Äkermanit	11,9	-	-	28,5	-	-	-	-	-
Gehlenit	2,6	-	-	6,7	-	-	3,0	-	2,1
Na-Melilith	3,9	-	-	8,5	7,9	1,9	-	-	-
Kalifeldspat	-	37,9	6,1	-	-	-	-	-	-
Albit	-	16,0	16,0	-	-	-	-	-	-
Anorthit	-	9,2	6,0	-	-	-	-	-	-
Nephelin	-	-	-	-	2,8	10,0	2,6	1,5	1,9
Leucit	30,7	-	2,0	8,6	11,9	11,4	-	-	-
Kalsilit	-	-	-	-	-	-	8,2	6,0	9,0
Na-Metasilikat	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-
Quarz	-	7,7	-	-	-	-	-	-	-
Apatit	2,7	-	21,8	-	4,6	-	2,6	3,0	3,8
Hercynit	-	-	-	-	-	-	-	2,2	0,9
Ulvit	0,3	0,7	3,6	4,4	1,3	1,2	0,4	0,4	0,6

Tabelle 3

Olivinzusammensetzung aus Mikrosondenanalysen (Mittelwerte)
von WEDEPOHL u. SCHNEIDER 1986 (Gew.-%)

Nr.	4501	4502	4503	4504	4505	4506
SiO ₂	29,40	29,50	29,80	28,70	28,70	30,80
FeO	65,40	64,80	68,50	66,70	68,20	40,70
MnO	0,18	0,61	0,07	0,62	0,10	0,10
MgO	1,30	2,00	0,41	1,10	0,43	1,10
CaO	3,50	3,20	0,89	2,70	2,40	26,40

Olivin-Komponenten (Mol-%)

Fe ₂ SiO ₄	90,37	88,61	97,24	91,70	94,52	53,15
Mn ₂ SiO ₄	0,30	0,88	0,10	0,89	0,10	0,09
Mg ₂ SiO ₄	3,18	4,91	1,02	2,67	1,10	2,54
Ca ₂ SiO ₄	6,16	5,60	1,63	4,74	4,28	44,23

wenn man die Standardabweichungen der Zusammensetzungen in diesem Sinne interpretiert, wie in den Reduktions-Schmiedeschlacken aus dem Oppidum Manching auch bei den von WEDEPOHL und SCHNEIDER untersuchten Olivinen um Glieder von Entwicklungsreihen zonierter Olivine handeln, in denen der CaO-Gehalt vom Kern nach außen zunimmt. Die Olivine von Manching lassen die Ausbildung einer Mischungslücke in einem intermediären Bereich zwischen Fayalit und Kirschsteinit auch tatsächlich erkennen (HAUPTMANN, KEESMANN u. SCHULZ-DOBRICK 1984). Würde man die Zusammensetzung des Kirschsteinits in der Schlacke von Harste als Ergebnis einer Entmischung aus einem eisenreicheren Olivin deuten, dann läge — nach bisheriger Erkenntnis — die Entmischungstemperatur weit unterhalb des Existenzbereiches silikatischer Schmelze. Die Entmischung von Olivinen in völlig verfestigten Schlacken wurde u. W. bisher noch nicht beobachtet. Somit kommt für diese Stelle calciumreiches Ausgangsmaterial in Betracht, das sich in der Schlackenschmelze nicht homogen

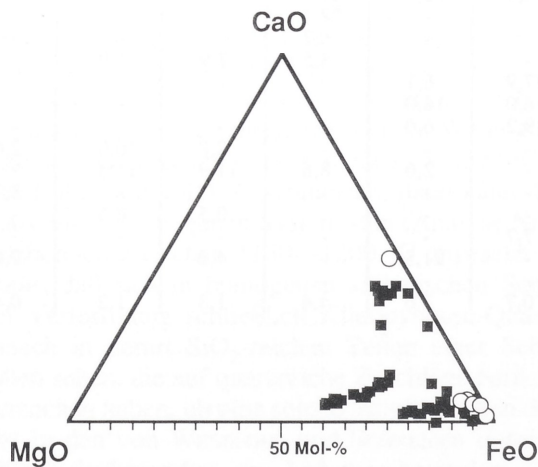


Abb. 5 Olivine als Projektion auf das System CaO-MgO-FeO.
Kreise: Olivine nach *Tabelle 3*.
Quadrate: Olivine aus Reduktions-Schmiedeschlacken von Manching.

verteilte. Die von WEDEPOHL und SCHNEIDER mitgeteilten chemischen Analysen geben damit deutliche Hinweise auf Heterogenität und die mögliche Beteiligung von SiO_2 - bzw. CaO-reichen Zuschlagstoffen in den kalottenförmigen Schlacken.

Die Abbildung der Schlackenkalotte vom Steinbühl in Aufsicht und Querschnitt (WEDEPOHL u. SCHNEIDER 1986) weist sehr viel Ähnlichkeit mit der Form (und dem Gefüge) der Schlacken z. B. von Niedererlbach auf (KEESMANN 1985). Die Vermutung erscheint daher berechtigt, es handle sich um einen identischen Schlackentyp mit vergleichbarer Genese. Am Beispiel Niedererlbach wurde der Typus der Reduktions-Schmiedeschlacke definiert, einem Produkt aus der Verarbeitung von metallischem Eisen. Nach den Untersuchungen von WESTPHALEN (1989) an Schlacken von Haithabu besteht auch aus archäologischer Sicht kaum mehr ein Zweifel, daß die kalottenförmigen Eisenschlacken Abfälle einer Verarbeitungsstufe sind.

So gesehen sind Schlackenkalotten der Eisentechnologie-Kette Zeugnis einer sehr hoch entwickelten Technik. Sie erreichte den Süden Europas spätestens im 8. Jh. v. Chr. (vgl. Untersuchungen zur Eisentechnologie in den phönizischen Faktoreien von Toscanos und dem Morro de Mezquitilla, GOLSCHANI 1987; HELLERMANN 1987). Es sei an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen, daß auch im Schmiedeherd die Gewinnung von Metall aus Erz durchaus möglich ist. In diesem Fall handelt es sich tatsächlich um ein primitives Metallgewinnungsverfahren. Bestimmte noch rezent u. a. in West- und Zentralafrika (CELIS 1989) angewandte Verfahren können so verstanden werden, daß Schmiede, die die Reduktion von Erz im Rennfeuer nicht beherrschten, geringe Mengen von schmiedbarem Metall in einem modifizierten Schmiedeherd erzeugen.

3. Untersuchung von Schlacken der Ausgrabung 1984 am „Steinbühl“

Der Arbeit von WEDEPOHL und SCHNEIDER verdanken wir die ersten naturwissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse zur spätlatènezeitlichen Metallurgie im Raum Nörten-Hardenberg. Sie warfen damit zugleich sehr viele Fragen auf. Es erschien daher reizvoll, die Untersuchungen wieder aufzunehmen, als sich die Möglichkeit bot, das gesamte archäometallurgische Fundmaterial der Ausgrabung 1984 (HEEGE 1987) durchzusehen und einen größeren Teil zu bearbeiten.¹

3.1 Untersuchungsmethoden

Ziel der Untersuchung war es, einen Überblick über die Technologie vom Steinbühl zu gewinnen. Für die naturwissenschaftliche Untersuchung standen 52 Proben mit insgesamt 136 Einzelstücken im Gesamtgewicht von ca. 4,5 kg zur Verfügung (vgl. *Tabelle 1*). Es sind Reste pyrometallurgischer Aktivitäten aus der Verfüllung von Abfall- und Vorratgruben. Die Verteilung des gesamten archäometallurgischen Fundmaterials im Bereich der Ausgrabungsfläche zeigt *Abb. 2*. Für die Herstellung von polierten Dünnschliffen wurden makroskopisch repräsentativ erscheinende Stücke ausgewählt, die nach Größe und mechanischer Festigkeit geeignet erschienen. Aus 32 ausgewählten Proben wurden insgesamt 38 Präparate hergestellt. Die Untersuchung erfolgte polarisationsmikroskopisch im Durchlicht und im Auflicht. Einzelne, besonders interessant erscheinende Präparate wurden zusätzlich im Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) analysiert. Bei der Untersuchung konnte auf umfangreiches Vergleichsmaterial aus der Eisen- und Buntmetallurgie zurückgegriffen werden.

¹ An dieser Stelle danken wir Herrn Prof. Dr. G. Jacob-Friesen (Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Göttingen) sehr herzlich dafür, daß er die finanzielle Unterstützung der Untersuchung durch den Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kunst bereitwillig vermittelte. Die Untersuchungen wurden mit der Förderung der Arbeitsgruppe Archäometallurgie an der Universität Mainz durch die Volkswagen-Stiftung sehr erleichtert.

Tabelle 4

Liste der untersuchten Proben vom Fundpunkt Steinbühl, Grabung 1984

Probe *) Nr.	Präparat Nr.	Befund	Technologische Zuordnung
0-14	1308	Porenreiches (Eisen-)Erz	Erz
0-15	1309	Kalottenrand, lagig, überwiegend hell	Eisenverarbeitung
0-20	1310A 1310B	Rand einer sehr blasenreichen Schlackenkalotte. Blasenreiche dunkle Schlacke.	Eisenverarbeitung
0-23	1311A 1311B	Rand einer dichten Kalottenschlacke, lagig. Dichte Schlacke mit subparallelen Opakeinlagerungen.	Eisenverarbeitung
20-48	1314	Rotbraune -> graue -> helle Keramik, randlich schmelzend.	Tonige technische Keramik, Eisen-Kupfer-Mischtechnologie (?)
23-29	1281	Heterogene blasige Schlacke	Eisen-Kupfer-Mischtechnologie
23-72	1282	Rötlichbraune -> helle Keramik	Tonige technische Keramik
23-86	1283	Sehr helle, blasig verschlackende Keramik	Technische Keramik
23-151	1284	Dunkle, blasenreiche Schlackenkalotte	Eisenverarbeitung
23-222	1285	Heterogene, grobblasige Kalottenschlacke	Eisenverarbeitung, mit Kupfer
23-240	1286	Wulstig verschlackte blasenreiche Keramik	Technische Keramik, Eisen-Kupfer-Mischtechnologie (?)
23-255	1287	Dunkle Schlacke auf heller Keramik(?)	Ofenwand (?), Eisen-Kupfer-Mischtechnologie
24-3	1288	Gestein, hell gefrittet und randlich stark verschlackt	Ofenwand (?)
24-8	1289A 1289B	Lagig heterogene, dichte Kalotten-Schlacke, mit Zuschlag Dichte (Kalotten-)Schlacke mit Zuschlag	Eisenverarbeitung
42-60	1290	Braune -> graue -> helle Keramik, randlich verschlackt	Tonige technische Keramik
42-138	1291	Rand einer Schlackenkalotte, lagig	Eisenverarbeitung
42-169	1292	Verschlackte Keramik	Technische Keramik
44-7	1293	Rand einer Schlackenkalotte, lagig, mit Zuschlag	Eisenverarbeitung
44-17	1294	Heterogene, stark verschlackte Keramik	Technische Keramik
44-25	1295	Heterogene, zonenweise lagige Schlacke mit Zuschlag	Eisen-Kupfer-Mischtechnologie (?)
44-38	1296A 1296B	dunkle Schlacke, lagig, mit groben Blasen Blasenreiche heterogene Schlacke mit viel Zuschlag	Kupfer-Technologie (Reduktionsschlacke ?)
44-41	1297	Rotbraun-dunkelgraue Keramik, randlich verschlackt	Tonige technische Keramik
55-90	1298A 1298B	helle blasenreiche Keramik, feinporig dunkelgraue Keramik, -> hell gefrittet, randlich schmelzend	(Tonige) technische Keramik
57-7	1299	Heterogene, lagige Schlacke mit hohem Anteil an Zuschlag	(Eisentechnologie ?)
57-8	1300	Dunkle Schlacke, lagig, blasenreich	Kupfer-Reduktionsschlacke
57-16	1301	Schmelzende Keramik mit Schlackeninfiltrat	(Tonige) technische Keramik
62-8	1302	Verschlackte Keramik mit dunklem Überzug	Technische Keramik, Kupfer-Eisen(?) -Mischtechnologie
62-13	1303	Sehr heterogene, grobblasig schmelzende Keramik, mit Schlackeninfiltrat	Technische Grobkeramik, Bronze-Technologie
72-21	1304	Blasenreich schmelzende Keramik	Technische Keramik, Eisentechnologie (?)
72-34	1305	Blasenreiche, wulstig zähe Schlacke (mit Holzkohle oder Knochenrest)	Kupfer-Eisen-Mischtechnologie
72-144	1306A 1306B	Blasenreiche heterogen schmelzende Keramik, mit Schlackeninfiltrat Heterogenes Keramikmaterial (mit Gestein ?), blasig aufschmelzend.	Technische Keramik, Eisen-Kupfer(Bronze-?) - Mischtechnologie
72-145	1307	Rotbraune -> graue -> helle Keramik.	Technische Keramik, (Eisentechnologie ?)

*) Die erste Zahl der Proben-Nummer ist die Nummer des archäologischen Befundes (siehe Grabungsplan Abb.2). Die zweite Zahl ist eine interne Zählung der Grabungsdokumentation des einzelnen Befundes, unter sich die genauen Angaben zur stratigraphischen Position der Schlacken finden lassen. Bei den Proben-Nummern mit der Anfangsziffer "0-" handelt es sich um Streu- oder Lesefunde der Ausgrabung, bei denen eine jüngere Zeitstellung als "jüngere vorrömische Eisenzeit" nicht ausgeschlossen werden kann.

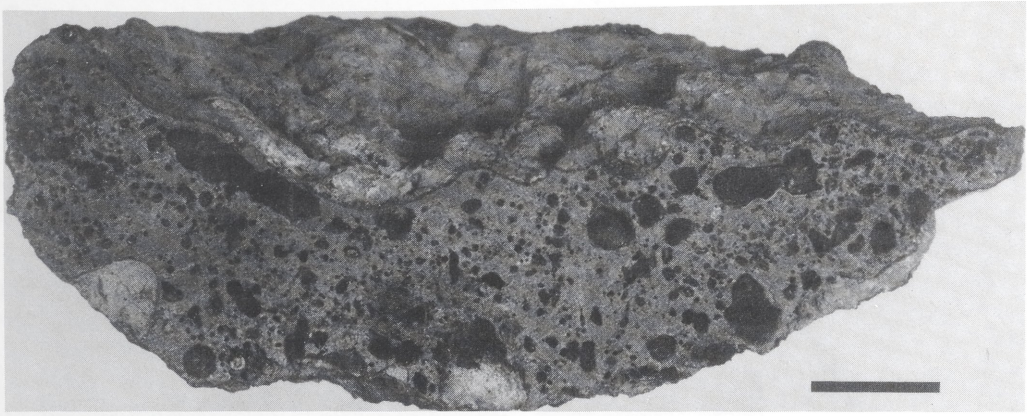


Abb. 6 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 0—20. Blasenreiche Schlackenkalotte mit konvexer Unterseite und konkav eingezogener, buckeliger
 Oberfläche.
 Maßstab = 1 cm.

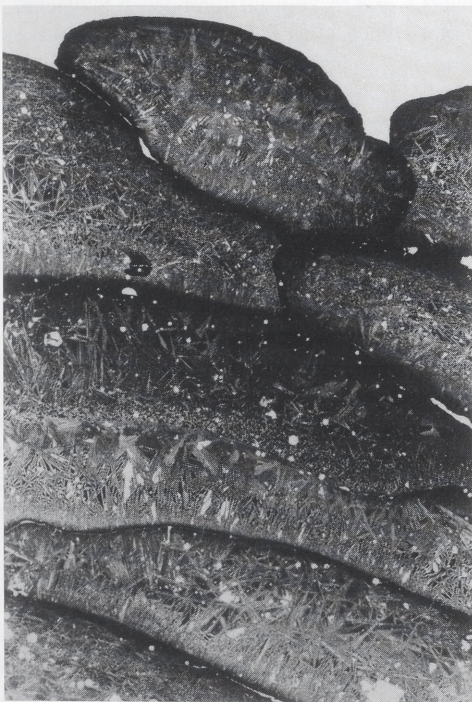


Abb. 7 Eisenreduktionsschlacke Kerzenheim
 (Nord-Pfalz, vermutlich römerzeitlich).
 Fayalitische Fließschlacke im Querschnitt.
 Polierter Dünnschliff im Durchlicht, 1 Polarisator.
 Maßstab = 1 cm.



Abb. 8 Nörten-Hardenberg,
 Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 24—8, Präparat Nr. 1289 A.
 Fayalitreiche dichte Schlacke mit lagenweiser
 Anhäufung von Eisenoxiden (dunkel).
 Polierter Dünnschliff, Durchlicht, 1 Polarisator.
 Maßstab = 1 cm.

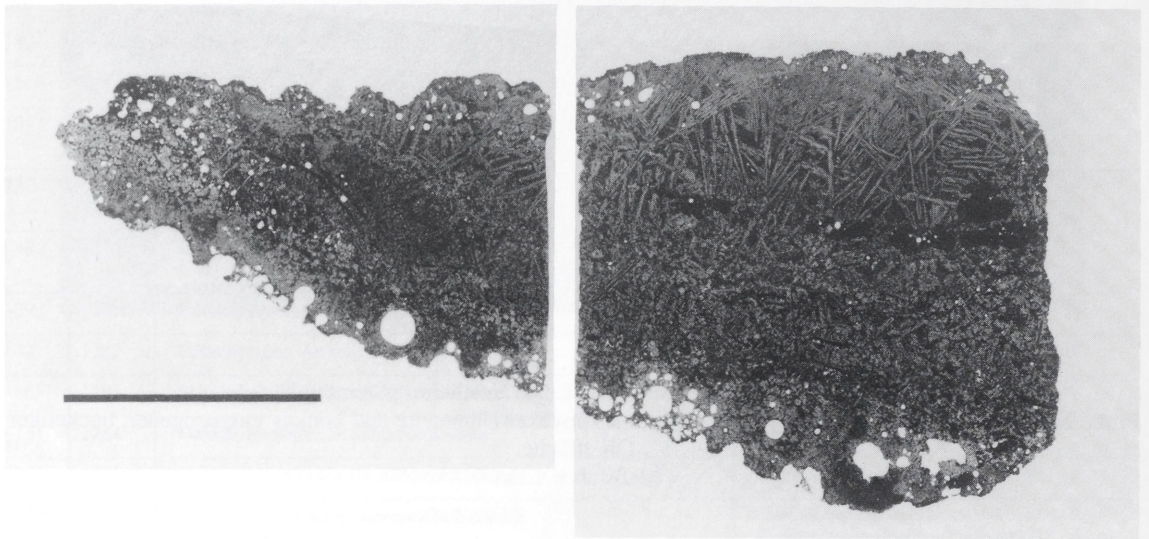


Abb. 9 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 0—23, Präparate 1311A und 1311B. Rand einer dichten, makroskopisch homogenen Schlacke.
 Im Durchlicht ist deutlich eine Zonierung zu erkennen. Polierter Dünnschliff, Durchlicht, 1 Polarisator.
 Maßstab = 100 μm .

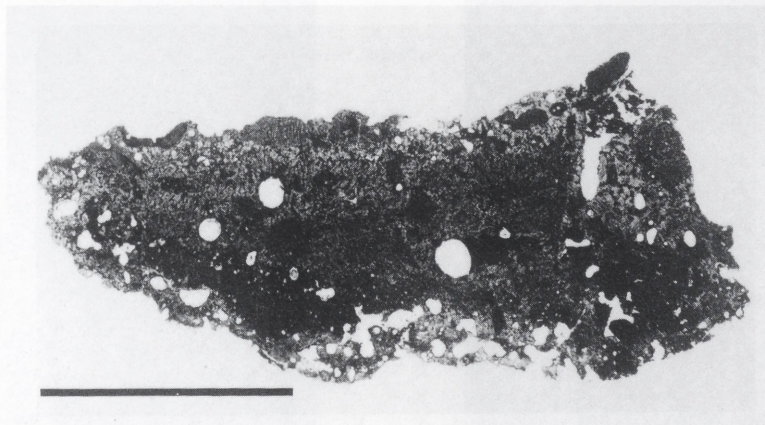


Abb. 10 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 41—138, Präparat Nr. 1291. Rand einer sehr heterogenen Schlackenkalotte.
 Polierter Dünnschliff, Durchlicht, 1 Polarisator.
 Maßstab = 100 μm .

3.2 Ergebnisse

Die Herkunft der untersuchten Proben aus den verschiedenen Ausgrabungsbereichen, zugehörige optische Präparate, Befund und technologische Zuordnung sind in *Tabelle 4* aufgelistet. Aus dieser Aufstellung ergibt sich, daß das bearbeitete Material mehrere unterschiedliche Stoffgruppen umfaßt:

1. Schlacken im eigentlichen Sinne, vorzugsweise Schlackenkalotten oder Bruchstücke von Schlackenkalotten. Die Untersuchung ergab, daß es sich um Abfälle von zwei unterschiedlichen Technologien handelt: Eisen und Buntmetall (Kupfer).
2. Keramisches Material. Es handelt sich um thermisch beanspruchtes Material unterschiedlicher Qualität:
 - a) Feinkörnige, tonreiche Keramik.
 - b) Keramisches Material mit hohem Quarzanteil, meist deutlich grobkörniger als die tonreiche Keramik.

Beide Stoffgruppen werden hier als sog. Technische Keramik bezeichnet. Die Übergänge zu Schlacke sind im eigentlichen Sinne des Wortes fließend. Eine Abgrenzung gegen Zuschlagstoffe bei der Schlackenbildung ist nicht immer möglich.

3. Erz.
4. Metall. Im untersuchten Material befand sich eine durch dicke, brotlaibartig aufreißende Rostschichten gekennzeichnete Probe. Im Anschnitt zeigte sich, daß es sich um eine gewölbte runde Scheibe aus dickem Eisenblech handelt. Das Metall ist unter der Rostschicht noch weitgehend erhalten. Eine Untersuchung steht noch aus. Sie soll erst nach einer Form- und Oberflächenuntersuchung durchgeführt werden. Die meisten untersuchten Fundstücke enthalten zumindest kleine Mengen von Metall, oft in ganzen Wolken feinsten Metalltröpfchen. Auffällig sind dagegen bereits makroskopisch erkennbare Einschlüsse von Metall. Einige Schlacken und verschlackte Keramikstücke enthalten sowohl metallisches Eisen als auch Kupfer oder Kupferlegierungen.

3.2.1 Schlacken im eigentlichen Sinne

3.2.1.1 Eisentechnologie

Sucht man in dem Fundmaterial nach metallurgischen Schlacken, die als für die Technologie typisch gelten könnten, so sind es die Schlacken in Kalottenform (*Abb. 6*). Aufbau und Zusammensetzung variieren allerdings in weiten Grenzen. Am häufigsten treten Schlackenkalotten auf, die aus einer opakreichen, dichten Fayalitschlacke aufgebaut sind (*Abb. 8 u. 10*). Kennzeichnend ist die unterschiedliche Ausbildung des Olivins in den einzelnen Lagen (*Abb. 9*). Der Lagenbau wird sehr häufig noch durch opake Einlagerungen hervorgehoben, die aus gerundeten Wüstit-Kumulaten bestehen (*Abb. 11*). Daneben treten Einlagerungen von heterogenen Oxidplättchen (Wüstit \pm Magnetit), die aber nicht oder nicht mehr den Charakter alter Schlackenoberflächen haben (*Abb. 9*). Sie lösen sich weitgehend in der Schlackenschmelze auf. Einheitlich zusammengesetzte Schlacken zeigen in ihrem konvexen Außenrand eine dünne Schicht von einschmelzendem, quarzreichem Material, mit dem die Schlacke reagierte. Dieser Reaktionszone ist gegen den Schlackenkörper durch eine deutliche Blasenzone etwas abgesetzt (*Abb. 9*).

Davon abweichend ist das Gefüge der Proben 0—15/1309 und 0—20/1310. Bei 0—20/1310 handelt es sich um eine sehr blasenreiche Fayalitschlacke mit heterogen verteiltem Wüstit. Die Form, die sich aus der offenbar sehr zähen, schaumigen Silikatschmelze bildete, ist noch mit der einer Kalotte zu vergleichen. Ein ähnlich heterogenes und blasenreiches Gefüge bei guter Kalottenform weist Probe 41—138 auf (*Abb. 10*). Fundstück 0—15/1309 ist bei gut ausgeprägter Form gegenüber den anderen untersuchten Proben viel fayalitärmer und praktisch wüstitfrei. Sie besteht zu einem hohen Anteil aus glasig verschlacktem, hellen Material und reliktsch erhaltenem Quarz. Auch diese Schlackenkalotte ist durch einen lagigen Bau gekennzeichnet. Der Anteil an dunklen Bestandteilen, in diesem Falle

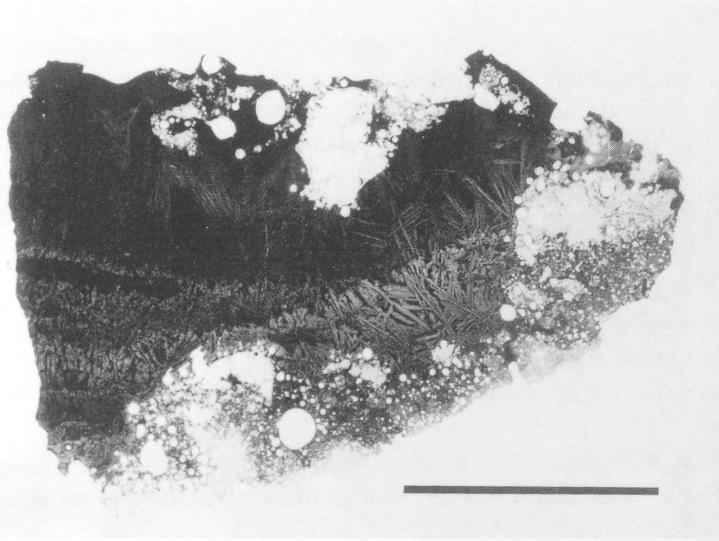


Abb. 11 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.

Probe Nr. 44—7, Präparat Nr. 1293. Rand einer dichten, fayalitreichen Schlackenkalotte mit sehr gut ausgeprägter Zonierung und Resten von hellen, eisenoxidarmen Zuschlägen. Polierter Dünnschliff, Durchlicht, 1 Polarisator. Maßstab = 1 cm.

vorwiegend dunklem Glas, nimmt zur Kalottenmitte und in Richtung der planen bis konkaven Fläche zu.

Das Gefüge des Fundstückes 0—15/1309 kann als Endstadium einer Entwicklung aufgefaßt werden, die sich in der heterogenen Zusammensetzung der meisten übrigen Schlackenkalotten abzeichnet. Es handelt sich dabei um lagige, olivinreiche Schlacken, die auf der planen Fläche (manchmal nur zu beziehen auf die Textur in der Schlacke) einen z. T. flächendeckenden Überzug von groben Zuschlagsteilchen enthalten. Dieser Überzug zieht sich über den Rand der Schlackenkalotte bis auf die konvexe Seite herum. Es sind quarzreiche Zuschläge, die stark gefrittet sind und sich in der Olivinschlacke aufzulösen beginnen (*Abb. 11*).

Probe Nr. 24—8 zeigt eine charakteristische Abweichung von der üblichen Kalottenform: Es handelt sich um einen praktisch zylindrischen Körper mit ebenem Boden. Im untersten Bereich dringt von diesem Körper aus seitlich in die parallele Schichtung der keramischen Arbeitsform Schlacke ein, die makroskopische Merkmale von Fließschlacke aufweist. Im obersten Teil bildet eine aus dem gerundeten Umriß ausbrechende Schlackenzunge eine Art Überlauf (*Abb. 12*). Wollte man der Idee von WEDEPOHL und SCHNEIDER folgen, dann würde es sich hier um den Ausguß einer zylindrischen Schlackenpfanne mit Reduktionsschlacke aus einem darüberliegenden Ofen handeln. Dem widerspricht jedoch die Tatsache, daß die Schlacke von einer dicken Schicht aufschmelzender Zuschläge überdeckt ist.

Das andere Extrem kalottenförmiger Schlacken von Nörten-Hardenberg ist die Ausbildung einer Kruste, die zwar die typische Kalottenform des Bodens eines kugelschaligen Herdes hat, aber kaum 1 cm dick ist. Auf dieser Kruste wölben sich glasig überschmolzene, grobe Zuschläge (Probe Nr. 72—144) und bilden eine wulstig zähe, blasenreiche Schlacke.

Die petrographischen Beobachtungen, die für eine genetische Aussage besonders wichtig sind, beziehen sich auf den Olivin, die Oxide und das Metall, darüber hinaus auf die Zusammensetzung der Restschmelze bzw. auch der Erstsichelze, die sich eutektisch aus Zuschlag bildet. In den glasreichen Zonen um aufschmelzende Quarzkörner des Zuschlages sind sehr schöne Flüssig/flüssig-Entmischungen zu beobachten (*Abb. 18 u. 19*). Aus ihnen wird deutlich, daß es sich dabei um nur lokal auftretende

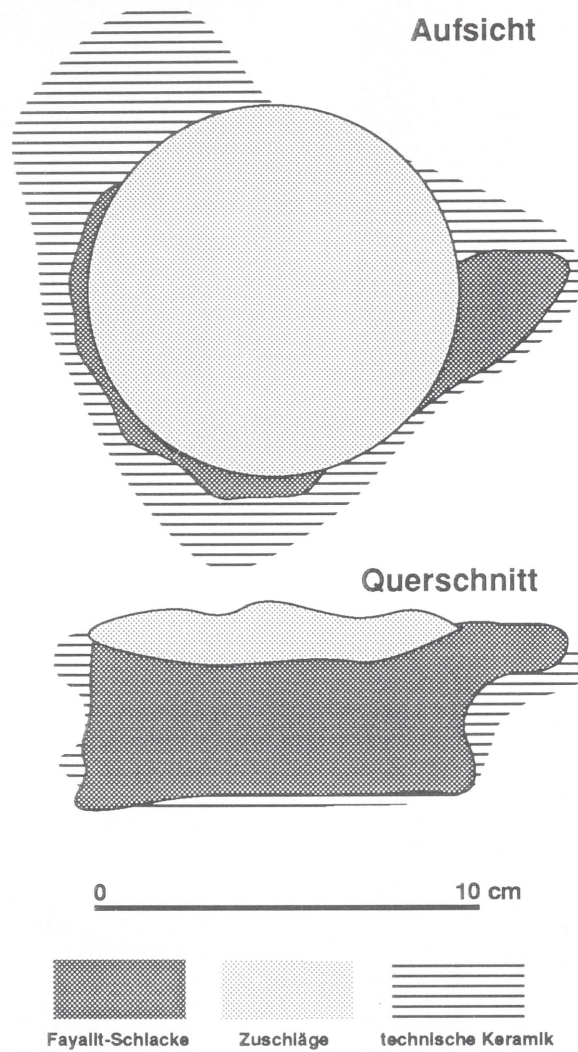


Abb. 12 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Aufbau des Schlackenkuchens Probe Nr. 24—8, schematisch.

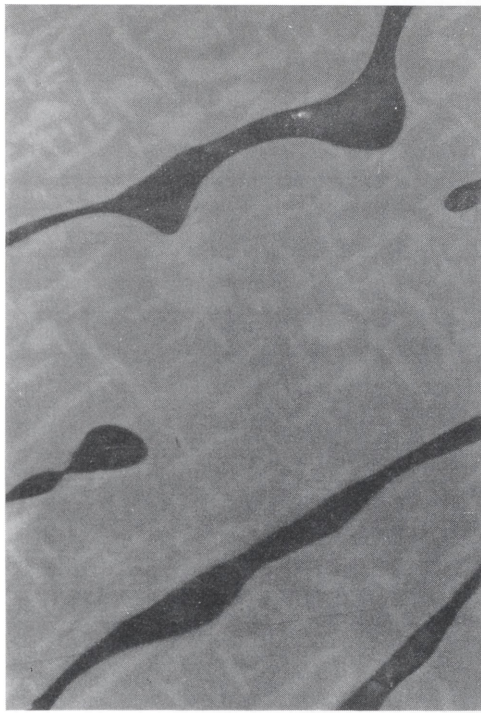


Abb. 13 Nörten-Hardenberg,
Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.

Probe Nr. 23—151, Präparat Nr. 1284.

Dendritischer Wüstit (grau) mit orientierten, hellen
Einlagerungen (Entmischungsspindeln).

Polierter Dünnschliff, Auflicht in Öl, 1 Polarisator.

Maßstab = 100 μm .



Abb. 14 Nörten-Hardenberg,
Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.

Probe Nr. 24—8, Präparat Nr. 1289 A.

Wüstitkumulat mit Iscorit (Leisten zwischen den
etwas helleren Wüstitribsen, mit Magnetit-Einschlüs-
sen) neben Fayalitleisten (dunkelgrau). Polierter
Dünnschliff, Auflicht in Luft, ohne Polarisator.

Maßstab = 100 μm .

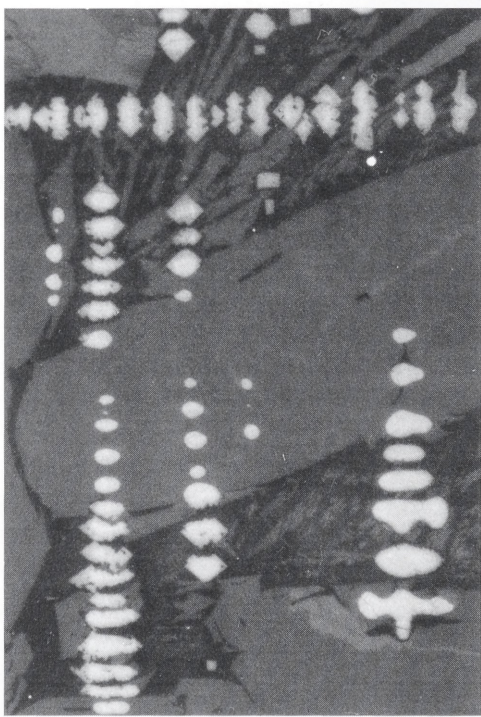


Abb. 15 Nörten-Hardenberg,
Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.

Probe Nr. 23—222, Präparat Nr. 1285.

Einheitlich orientierter Dendrit aus Magnetit (hell)
mit hercynitreichem Saum neben Fayalit und dunkler
Restschmelze. Metallisches Kupfer (weiß).

Polierter Dünnschliff, Auflicht in Luft, 1 Polarisator.

Maßstab = 100 μm .

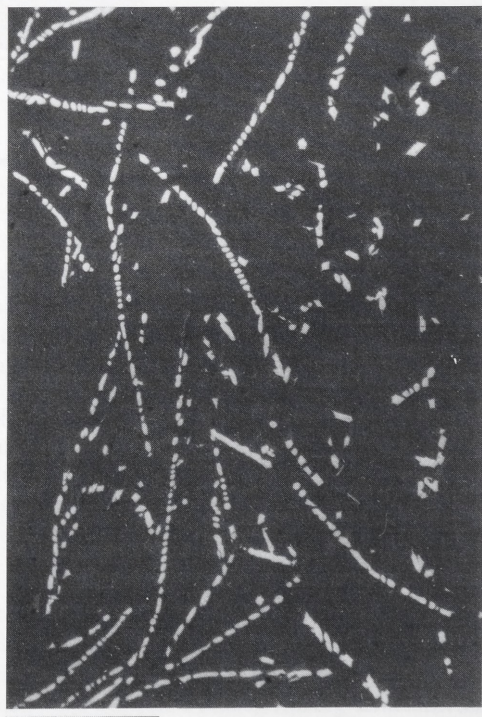


Abb. 16 Nörten-Hardenberg,
Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.

Probe Nr. 42—169, Präparat Nr. 1292.

Hämatitdendriten (helle ‚Schnüre‘) in Glas. Polierter
Dünnschliff, Auflicht in Luft, ohne Polarisator.

Maßstab = 100 μm .

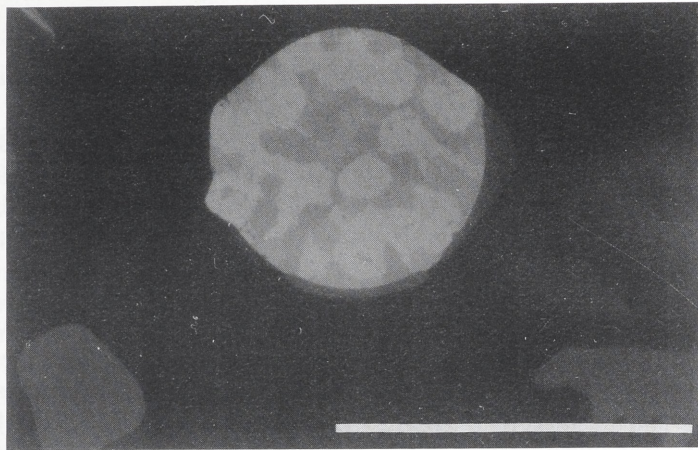


Abb. 17 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 44—38, Präparat Nr. 1296A. Kupferreicher, kotektischer Einschluß aus Phasen im System Cu-As-Sb
 (hell) in Fayalit neben Wüstit (dunkelgrau). Polierter Dünnschliff, Auflicht in Öl, 1 Polarisator.
 Maßstab = 100 μm .

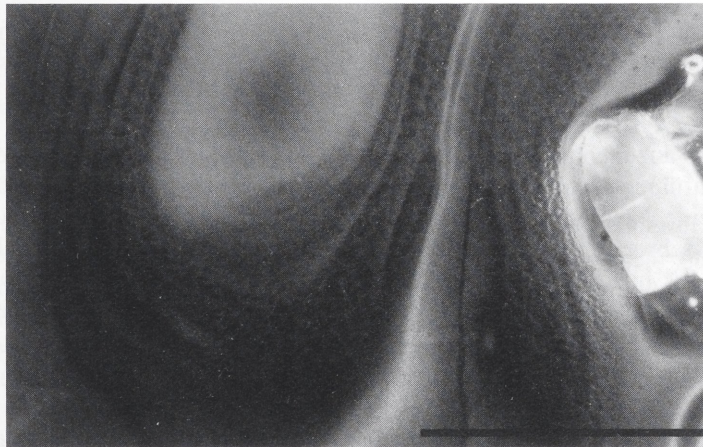


Abb. 18 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 23—240, Präparat Nr. 1286. Schlieriges Glas mit Entmischungströpfchen um Quarz (weiß), der sich in
 der Schmelze auflöst. Polierter Dünnschliff, Auflicht-Dunkelfeld in Luft, ohne Polarisator.
 Maßstab = 100 μm .

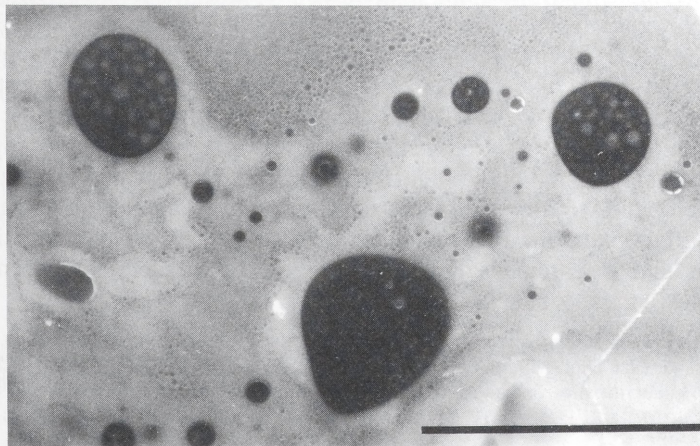


Abb. 19 Nörten-Hardenberg, Ldkr. Northeim. „Steinbühl“.
 Probe Nr. 24—8, Präparat Nr. 1289A. Tröpfchenförmige Flüssig/flüssig-Entmischung in SiO_2 -reicher Schmelze.
 Polierter Dünnschliff, Auflicht-Dunkelfeld in Luft, ohne Polarisator.
 Maßstab = 100 μm .

und besonders SiO₂-reiche Schmelzen handelt. Eine Homogenisierung der Schmelze vom Rand aus über größere Bereiche des Schlackenkörpers erfolgte nicht.

Der Olivin ist fayalitisch (überwiegend Fe₂SiO₄), aber meist deutlich zonar. Gelegentlich können Entmischungsränder um Olivin beobachtet werden. Dies entspricht der üblichen Entwicklung von Fayalit in Schlackenkalotten oder generell in vergleichsweise CaO-reichen Schlacken. Sie führt zu calciumreicheren Zusammensetzungen des Olivins, die aber weit vor Kirschsteinit (CaFeSiO₄) an einer Mischungslücke abbricht (HAUPTMANN, KEESMANN u. SCHULZ-DOBRICK 1984; HELLERMANN 1987). Wüstit (Fe_{1-x}O) ist das häufigste Eisenoxid und kristallisiert aus der Schlacke als mehr oder weniger grobe Dendriten. Feinste Dendriten in der Restschmelze sind wohl bereits als Magnetit anzusehen. Wüstitdendriten und Wüstit in sich auflösenden Kumulaten und Oxidhäutchen sind sehr häufig inhomogen. In ihnen entmischt sich Magnetit (Abb. 13). In einem fortgeschrittenen Entmischungsstadium bilden sich dabei im Wüstit orientierte Spindeln mit einem deutlich heller reflektierenden Saum. Die Magnetitbildung greift zuweilen auch von außen in die Dendritenäste von Wüstit ein. In der Folge bildet sich darüber idiomorpher Magnetit (Fe₃O₄), der im Kontakt mit der Restschmelze der Schlacke zu hercynitreichem Spinell (Fe₃O₄ — FeAl₂O₄-Mischkristalle) weiterwächst (Abb. 15). Ein Zwischenstadium dieses Oxidationsprozesses ist in SiO₂-armer Umgebung die Bildung von Iscorit (Fe₅Fe₂SiO₁₀) neben Wüstit und Magnetit (Abb. 14). Auch die Verwachsung Wüstit-Hercynit ist zu beobachten und markiert gegenüber der Magnetitbildung geringere Oxidation unter den Existenzbedingungen der Schmelze.

Charakteristisch ist das Auftreten von metallischem Eisen in den untersuchten Schlackenkalotten. Der Anteil von metallischem Eisen ist zwar mengenmäßig sehr klein, dafür tritt das Eisen aber sehr häufig, oft in ganzen Schwärmen kleinster Kügelchen, in glasreichen Partien auf. Auch Bereiche mit einem hohen Anteil von Kaliumaluminiumsilikat (Leucit) sind oft besonders reich an kleinen Eisenteilchen. Es ist anzunehmen, daß der höhere Kaliumgehalt dieser Bereiche auf die Asche der Holzkohle zurückzuführen ist, die in die Schmelze übernommen wurde. Das metallische Eisen ist in diesen Bereichen eine Neubildung durch Reduktion in der Schlackenschmelze. Außer in Glas ist metallisches Eisen sehr gut in vielen Wüstit-Dendritenästen und in größeren Fayalitkristallen als Einschluß erhalten. Es handelt sich hierbei um reliktsches Eisen, das durch die Reaktionsprodukte Fayalit und Wüstit vor weiterer Oxidation in der Schmelze geschützt wurde. Daneben findet sich an vielen Stellen der Schlacken Rost aus umgewandeltem Eisen.

3.2.1.2 Kupfertechnologie

Während WEDEPOHL und SCHNEIDER mit dem Ergebnis ihrer Untersuchungen noch davon ausgehen konnten, daß die Schlacken vom Steinbühl keinen Zusammenhang mit Kupfertechnologie haben, fanden sich in dem hier bearbeiteten Material der Grabung von 1984 mehrere Schlackenstücke, die eindeutig in einem Zusammenhang mit einer Technologie auf Basis Kupfer stehen. Der Kupfergehalt der Proben ist bereits makroskopisch an den Malachitanflügen zu erkennen. Die Fundstücke 44—38/1296 und 57—8/1300 wurden eingehender untersucht. Die Probe aus der Verfüllung des Grubenhauses 44 (HEEGE 1987) ist im Durchlichtpräparat makroskopisch den Schlacken der Eisentechnologie sehr ähnlich. Dies betrifft die Struktur, die Farbe und das Gefüge der homogenen Schlackenbereiche. Auch in den durch Verwachsung mit aufschmelzendem Zuschlag heterogenen Bereichen besteht große Ähnlichkeit. Es handelt sich um eine Fayalitschlacke mit Wüstit. Der Wüstit zeigt deutliche Entmischungstendenz. Die Schlacke enthält vergleichsweise viel glasige bzw. feinstkristalline Anteile. In diesen Bereichen der Restschmelze zwischen sperrigen Olivinkristallen finden sich zahlreiche Tröpfchen von Kupfer bzw. einer Kupferlegierung. Das Kupfer ist im Auflicht etwas zu hell rosa-gelblich. Auffällig sind Verwachsungen mit weißen und blauweißen Phasen, die nur wenig schwächer reflektieren. Im REM konnte festgestellt werden, daß in feinsten Verwachsungen kupferreiches Eisen und eisenreiches Kupfer vorliegen.² Besonders überraschend war aber, daß

² Frau Dipl.-Min. S. Baur war bei den Untersuchungen am Rasterelektronen-Mikroskop behilflich. Ihr gilt unser herzlicher Dank. Ebenso danken wir Frau Dipl.-Min. S. Greiff für ihre fleißige Mitarbeit bei der mikroskopischen Untersuchung, sowie Herrn Dipl.-Min. P. Maier für die röntgendiffraktometrische Analyse einer Erzprobe und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

daneben auch Kupfer mit höheren Arsengehalten auftritt. Gelegentlich können Verwachsungen beobachtet werden, die als kotektisches Gemenge von Kupfer (Cu-As-Legierung) mit Domeykit (Cu_3As) und — wie in *Abb. 17* — mit einer weiteren, bisher ebenfalls noch nicht eindeutig bestimmten Phase zu deuten sind.

Die Probe aus der Befund 44 benachbarten Abfallgrube 57 (HEEGE 1987) unterscheidet sich deutlich von allen anderen bisher angesprochenen Schlacken. Es handelt sich um eine sehr dunkle, aus einzelnen, mehrere mm dicken Lagen aufgebaute Schlacke. Die einzelnen Lagen sind durch größere Bereiche mit abgeflachten Blasen Hohlräumen voneinander getrennt. Nach dem Phasenbestand handelt es sich um eine sehr wüstitreiche Fayalitschlacke. Der Wüstit ist sehr stark entmischt und bereits deutlich dreiphasig. Teilweise lassen sich Reste von sich auflösenden Oxidkrusten in der Schlacke beobachten. Lokal tritt bereits der für beginnende Oxidation unter Schmelzbedingungen charakteristische Iscorit (SiO_2 -armes Fe[II]-Fe[III] -Silikat, s. o.) auf. Die Schlacke enthält in allen Einzellagen zahlreiche kleine (heterogene) Kupfertropfen. Die REM-Mikroanalyse ergab Kupfer mit wechselnden Fe-Gehalten. Arsen oder Antimon konnten nicht nachgewiesen werden. Nach der Häufigkeit der Kupfertröpfchen in der Schlacke müßte es sich um eine Kupferreduktionsschlacke handeln.

3.2.2 Verschlackte technische Keramik und Zuschlag

Mit Ausnahme der Streu- und Lese funde (Probe Nr. 0—9 bis 0—23) enthalten alle anderen Fundgruppen größere Mengen an verschlackter Keramik und überschmolzenen, keramikähnlichen Proben. Sie sind thermisch teilweise sehr stark beansprucht und bereits sehr blasenreich. Es lassen sich zwei Gruppen unterscheiden:

1. aufschmelzende tonreiche (Grob-)Keramik;
2. glasreiche helle Produkte mit viel reliktschem Quarz.

Bei mehreren untersuchten Proben kann es sich um ein und dasselbe Material mit unterschiedlichem Grad der Aufschmelzung handeln. Alle Proben dieser Fundgattung werden hier als „technische Keramik“ bezeichnet. Es mag sich dabei um Ofen- bzw. Herdauskleidungen gehandelt haben. Formteile im eigentlichen Sinne konnten in dem untersuchten Material nicht nachgewiesen werden. Daneben treten zuweilen Proben auf, die weitgehend aufgeschmolzene Gesteinsstückchen (?) enthalten, so daß auch Ofenwand im eigentlichen Sinne in Frage kommt. Für tonreiche Keramik ist eine Farbzonierung kennzeichnend. Von außen (kälter, stärker oxidierend) nach innen (höhere thermische Beanspruchung und stärker reduzierende Bedingungen) ist eine Abfolge von rötlich braun über grau nach farblos mit in dieser Richtung zunehmendem Anteil an reliktschem Quarz und hellem Glas zu beobachten. Weitere Aufschmelzung ergibt Übergänge zu fayalitischer pyrometallurgischer Schlacke. Wie um den Zuschlag der Schlackenkalotten herum beobachtet, bilden sich auch in der quarzreichen technischen Keramik sehr häufig SiO_2 -reiche Schmelzen, die sich beim Abkühlen entmischen und glasartig erstarren. Stark gefrittete und schließlich aufschmelzende helle Bereiche enthalten größere oder kleinere Einschübe einer dunklen Glasphase, die in größeren Bereichen zu fayalitischer „Normalschlacke“ kristallisiert. Diese dunkleren Einschübe aus dem Reservoir der eigentlichen metallurgischen Schmelze enthalten charakteristische Einschlüsse. Skelettförmige oder dendritische Einschlüsse von Magnetit oder gar Hämatit (Fe_2O_3) in Glas belegen, daß die Schmelze an dieser Stelle stärker oxidierenden Bedingungen ausgesetzt war. Oft finden sich aber auch metallische Einschlüsse. Dabei handelt es sich sowohl um feinstverteiltes metallisches Eisen als auch um metallisches Kupfer bzw. Kupferlegierung. Bei einiger Aufmerksamkeit entdeckt man unter dem Mikroskop, daß die meisten metallführenden Schlacken und die verschlackte technische Keramik vom Steinbühl metallisches Eisen und Kupfer in ein und derselben Probe enthalten.

3.2.3 Metall

Wenn in den Schlacken noch Metall erhalten ist, dann ist es zuweilen bereits im Sägeschnitt der Probe makroskopisch zu erkennen. Außer in einem Werkstück (geschmiedet, Streufund) wurde Eisen in den untersuchten Proben allerdings nur einmal als größeres Korn gefunden — zusammen mit metallischem

Kupfer (72—144/1306) oder einer kupferreichen Legierung: das Kupfer ist im Auflicht etwas zu gelb und außerdem von einem farblosen Korrosionssaum umgeben. Es könnte sich um Zinnbronze handeln, die eben unter Bildung von Cassiterit (SnO_2) zu oxidieren beginnt. In der Probe 62—13/1303 ist dieser Prozeß der Oxidation von Zinnbronze zu Kupfer und Zinndioxid bereits soweit abgeschlossen, daß nun auch das Kupfer zu Cuprit (Cu_2O) oxidiert. Neben den Prismen von Cassiterit bildet sich in der Schlacke auch bereits Delafossit (CuFeO_2) und Magnetit. Delafossit ist ein typisches Produkt des oxidierenden Schmelzens von Kupfer in Gegenwart einer eisenoxidreichen Silikatschmelze. Einzelne Kupferkörner derselben Probe enthalten bläulichweiße Einlagerungen, die neben sehr wenig Blei hohe Antimongehalte führen!

In allen Fällen, in denen metallisches Kupfer nachgewiesen wurde, handelt es sich um Metall, das sich entweder aus der Schmelze gebildet hat oder in der Schmelze stabil war. Sekundär in Hohlräumen ausgeschiedenes Kupfer, das in eisenreichen Schlacken immer wieder zu beobachten ist (KEESMANN, GOLSCHANI u. NIEMEYER 1983; HELLERMANN 1987), tritt in den hier untersuchten Proben vom Steinbühl nicht auf. Ebenso wenig konnten in den Schlacken vom Steinbühl Stahl oder die für Eisen-Kohlenstoff-Legierungen charakteristischen Gefügerelikte von Stahl in Rost gefunden werden.

3.2.4 Erz

Das untersuchte Fundmaterial enthielt nur unter den Streu- und Lesefunden ein einzelnes Stück eines eisenreichen Erzes (0—14/1308). Es handelt sich um magnetitreiches Erz mit Hämatit und Ilmenit neben geringen silikatischen Beimengungen. Die Herkunft des Erzes ist nicht bekannt. Es gibt im Fundmaterial keine Hinweise auf Kupfererze.

4. Deutung des Befundes

Grundsätzlich besteht die Schwierigkeit darin, in einem Abfallhaufen die richtigen metallurgischen Abfälle zu finden und dann auch noch richtig zu deuten. Versucht man die Beobachtungen an dem archäometallurgischen Fundmaterial vom Steinbühl in einen technologisch sinnvollen Zusammenhang zu bringen, dann muß zunächst geklärt werden, ob es sich um einen oder mehrere Prozesse der Metallgewinnung oder — abweichend von WEDEPOHL und SCHNEIDER — um Metallverarbeitung handelt.

Unter den Streu- und Lesefunden dominieren wie in dem von WEDEPOHL und SCHNEIDER untersuchten Material die kalottenförmigen Schlacken. Vergleichbare Stücke liegen jedoch auch aus Befund 23, 24, 42 und 44 (23—151/1284; 24—8/1289, A, B; 42—138/1291; 44—7/1293) in stratigraphisch gesichertem Zusammenhang vor. Es handelt sich dabei um einen Schlackentyp, der praktisch unbeeinflusst von größeren technologischen Entwicklungen in Europa als Durchläufertyp spätestens vom 8. Jh. v. Chr. bis subrezent auftritt. Charakteristische Merkmale sind neben der Form und dem inneren Aufbau nicht zuletzt auch die Menge und der Fundzusammenhang. Die geringe Masse der Einzelstücke und ihre Heterogenität haben immer wieder Anlaß zur Vermutung gegeben, es handle sich um Rückstände einer primitiven Metallgewinnung, die parallel zu einer zeitgleichen und hochentwickelten Produktion betrieben wurde (vgl. FORRIERES, PETIT u. SCHAUB 1987). In der Eisentechnologie vom Typus des Rennprozesses ist aber nicht die Herstellung eines Metalles der bestimmende Schritt. Die Eisentechnologie steht und fällt mit der Fähigkeit, aus dem nur bedingt verwendbaren Rohmetall, das im Rennofen gewonnen wird, geeignete Werkstoffe herzustellen und gezielt einzusetzen. Damit kommt der Arbeit des Schmiedes eine besondere Bedeutung zu. Diese Arbeit umfaßt nicht nur die Warmformgebung, die am „Steinbühl“ ausreichend belegt ist (vgl. HEEGE 1987, Abb. 6, 6. 7) sondern zunächst einmal die Herstellung eines geeigneten Werkstoffes aus Rohmetall oder Altmetall. Es wurde wiederholt eingehend ausgeführt, daß eisenreiche Schlackenkalotten als Reste dieser Schmiedeaktivitäten (KEESMANN 1985; HELLERMANN 1987; HILGART 1987) zu interpretieren sind. Hierzu gehören wahrscheinlich auch die — meistens etwas größeren — Schlackenkalotten, die gelegentlich im Bereich größerer Verhüttungszentren auftreten. Nicht nur

Form, Größe, Zusammensetzung und Gefüge der untersuchten Fundstücke vom Steinbühl sind charakteristisch, sondern auch die Variationsbreite aller dieser Eigenschaften an ein und demselben Fundpunkt. Unabhängig von der zeitlichen Zuordnung besteht kaum ein Zweifel, daß auch diese Schlackenkalotten Abfälle aus einem Herd darstellen, in dem unter wechselnden Bedingungen in einem mehr oder weniger oft unterbrochenen Prozeß Metall verarbeitet wurde. Dieses Verarbeitungsverfahren läuft unter wechselnden und in der Tendenz stärker oxidierenden Bedingungen ab, als das Verfahren zur Eisengewinnung. Selbst relativ einheitlich zusammengesetzte Schlackenkalotten scheinen nicht aus einer völlig homogenen Schmelze entstanden zu sein. Das Gefüge der meisten Kalotten läßt sich am besten aus der Verfestigung einer zähen oder gar halbfesten Schmelze erklären. Damit fehlen alle Voraussetzungen für die Bildung auch nur einer kleinen Luppe durch selbständige Trennung von Metall aus der Schmelze. Die Übereinstimmung der chemischen Pauschalzusammensetzung, die WEDEPOHL und SCHNEIDER mitteilten, mit der normalen Zusammensetzung von Schlacken, die bei der Eisengewinnung im Rennprozeß anfallen, ist nicht erstaunlich. Es handelt sich um annähernd eutektisch zusammengesetzte Schmelzen. Ihre Bildung kann im offenen Schmiedeherd unmittelbar beobachtet und durch Zugabe von Sand (SiO_2) oder Hammerschlag ($\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) beeinflusst werden. Möglicherweise enthielt bereits der Sand genügend Kalk, um Phosphor und Schwefel in einem leicht oxidierend geführten Prozeß zu binden. Karbonatreste wurden in den hier untersuchten Schlacken nicht gefunden. Die Zusammensetzung des Olivins belegt aber lokal höhere CaO-Gehalte in der Schlacke. Sie können z. B. auch aus einer basischen Herdauskleidung stammen, die teilweise aufschmilzt. Die Schwierigkeiten der Interpretation scheinen in einem anderen Bereich zu liegen.

Für die Bildung der Schlacken Kuchen können Temperaturen im Bereich von 1000 bis 1100 °C völlig ausreichend gewesen sein. Dem widerspricht zunächst die Beobachtung von Flüssig/flüssig-Entmischungen in Schmelzen um Quarzkörner, die aus dem Zuschlag oder der technischen Keramik stammen. Im System $\text{CaO-FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ setzen Schmelzen, die sich entmischen, Temperaturen > 1600 °C voraus. Erweitert man das Schmelzesystem um zusätzliche Komponenten, die aus der Asche von Holzkohle zu erwarten sind, insbesondere K_2O und P_2O_5 , dann kann man bereits mit deutlich niedrigeren Entmischungstemperaturen rechnen. Tatsächlich werden Flüssig/flüssig-Entmischungen auch in dem Temperaturbereich beobachtet, in dem fayalitischer Olivin kristallisiert, d. h. bei Temperaturen < 1200 °C. Auch die Entwicklung von Hämatit-Dendriten in Glas (*Abb. 16*) weist auf Erstarrungstemperaturen < 1200 °C hin (OSBORN u. MUAN 1960). In einem offenen Herd, d. h. einer Feuerstelle, die immer wieder direkt zugänglich sein muß, funktioniert das Prinzip des Windofens mit natürlichem Zug nicht. Zur Erzeugung der notwendigen Arbeitstemperaturen ist folglich ein Gebläse eine notwendige Voraussetzung. Üblicherweise finden sich Bruchstücke von Düsen aus keramischem Material zusammen mit Schlackenkalotten. Aus dem Fundmaterial vom Steinbühl sind bisher keine Düsen bekannt. Teile der hier untersuchten technischen Keramik könnten hierzu gehören. Aus den beobachteten Formen ist aber kein Endstück eines Gebläses abzuleiten.

Mit den Schlackenkalotten von Steinbühl ist die Technologie dieses Fundpunktes sehr gut mit der anderer Fundpunkte mit Schlacken des gleichen Typs vergleichbar. In zwei Punkten sind jedoch Abweichungen vom ‚normalen‘ Befund festzustellen: Es sind dies der relativ große Anteil von verschlackter technischer Keramik und der polymetallurgische Aspekt. Möglicherweise führen beide Beobachtungen in dieselbe Richtung.

Die Häufung von Schlackenkalotten im Fundmaterial der Oberfläche oder oberflächennaher Schichten kann mit unterschiedlicher Zeitstellung und unterschiedlichem Schwerpunkt der Aktivitäten zusammenhängen, oder mit einer Selektion bei der Beobachtung und der Verwitterung. Aus der relativen Fundhäufigkeit im Material der Verfüllungen scheint hervorzugehen, daß der Schwerpunkt der Aktivitäten in der Werkstatt nicht die Arbeit mit Roheisen oder Alteisen war. Es handelte sich offenbar um ein Verfahren, in dem mehr angeschmolzene „Keramik“ entstand als es bei Herstellung oder Modifizierung des Werkstoffes Stahl in einer Schmiedewerkstatt üblich war.

Nach bisheriger Beobachtung treten im Fundmaterial von metallverarbeitenden Werkstätten zwar immer wieder einmal speziell zubereitetes Eisenerz (Alesia, MANGIN 1981) oder kleine Mengen von Rennfeuerschlacke auf. Reduktionsschlacke der Kupfergewinnung (57—8/1300) dagegen ist in einem solchen Fundzusammenhang nicht üblich. Schlackenkalotten verschiedener Fundpunkte enthalten

— im Gegensatz zu Reduktionsschlacken — immer wieder auch kleine Anteile von metallischem Kupfer, das bereits in der Schmelze vorhanden war. In einem Falle wurde auch die Elementkombination Fe-Cu-As in einem metallischen Einschluß nachgewiesen (GOLSCHANI 1987). Auch oxidierende Bronze kommt gelegentlich vor (HILGART 1987). Die Verarbeitung von Eisen und von Buntmetallen in ein und demselben Werkstattbezirk ist ebenfalls nicht ungewöhnlich (MANGIN 1981; NEBELSICK u. KOHNKE 1985). Für technische Keramik, die zusammen mit Schlackenkalotten gefunden wird und in ihren Schlackenüberzügen hohe Kupfergehalte aufweist (phönizische Faktoreien Toscanos und Morro de Mezquitilla), konnte bisher noch keine Erklärung gefunden werden. Gelegentlich enthalten diese Überzüge auf Keramik auch etwas Blei. Im Fundmaterial vom Steinbühl ist nun der Anteil an aufschmelzender Keramik, der Kupfer enthält, besonders hoch. Das gemeinsame Auftreten von metallischem Eisen und Kupfer bzw. (oxidiertes) Zinnbronze in diesen Fundstücken bringt beide Technologien in einen unmittelbaren Zusammenhang. Es fällt aber auf, daß das Kupfer bzw. die Kupferlegierungen vom Steinbühl in ihrer Zusammensetzung sehr unterschiedlich sind und auch in Abfällen mit sehr unterschiedlichem Gefüge auftreten. Wenn man nicht sehr spezielle legierende Verfahren bei der Werkstoffherstellung voraussetzt, dann kann man noch davon ausgehen, daß geringe Mengen von Kupfer und Bronze mit Alteisen in die Schmelze gekommen sein können. Andernfalls weisen sie auf eine polymetallurgische Aktivität in derselben Werkstatt oder Siedlung hin. Die lokal hohen Antimongehalte in Kupfer können noch mit der Bronzetechnologie unmittelbar zusammenhängen. Kupfer-Arsenphasen wie Domeykit in kotektischer Verwachsung mit Kupfer (44—38/1296, s. o.) belegt aber noch eine davon unabhängige Quelle für Kupfer und Legierungsbestandteile. Wenn alle wesentlichen Elemente dieser Kette als zeitgleich betrachtet werden können, dann sind sie möglicherweise einem speziellen Verfahren der Eisentechnologie zuzuordnen: einer Verbindungstechnik unter Verwendung von Buntmetall-Lot. Dabei können Flußmittel unter Verwendung geeigneter zusammengesetzter keramischer Packungen eine Rolle gespielt haben. Wir dürfen die Technik des Lötens eiserner Objekte in der Latène-Zeit als bekannt voraussetzen (BAATZ 1987). Sollte die Interpretation des Befundes vom Steinbühl in dieser Richtung zutreffen, dann wäre dies zugleich ein Schlüssel für weniger ergiebige Beobachtungen an Material von anderen eisenverarbeitenden Werkstätten.

Offen bleibt die Frage nach der Herkunft des Materials. Das beobachtete Stück Eisenerz (Lesefund) ist nach dem Ergebnis der Untersuchung an den Eisenschlacken wohl kaum als Ausgangsmaterial für eine Eisengewinnung auf dem Steinbühl zu werten. Erz dieser Zusammensetzung kann aber als Hilfsmittel in der Schmiede verwendet worden sein. Aus den bisherigen Beobachtungen kann auch nicht geschlossen werden, daß die aufgefundene kupferreiche Fließschlacke (Probe Nr. 57—8/1300) ein Produkt ist, das auf dem Steinbühl erzeugt wurde. Andererseits sollte man erwarten, daß auch Kupferschlacke nicht allzuweit transportiert wird, es sei denn als unverzichtbares Hilfsmittel bei der Durchführung anderer Verfahren. Die Zusammensetzung der kupferreichen Phasen in den untersuchten Schlacken und verschlackten Keramikstücken weist mit ihren Gehalten an Blei, Arsen und Antimon auf polymetallische Lagerstätten. Im weiteren Umkreis vom Steinbühl kommt hierbei der Bereich von Andreasberg bis zum Rammelsberg im Harz in Betracht. Dies würde eine mit der Produktion auf dem Steinbühl gleichzeitige oder ältere Verhüttung der komplexen Erze vom Rammelsberg (in der Nähe der Lagerstätte) voraussetzen.

LITERATUR:

BAATZ, D., 1987: „Spitzen“ aus Eisenblech von der Heuneburg. — Archäologisches Korrespondenzblatt 17, 1987, 93—95.

CELIS, G. R., 1989: *La métallurgie traditionnelle au Burundi au Rwanda et au Buha. Essai de synthèse.* — Anthropos 84, 1989, 25—46.

FORRIERES, C., PETIT, J. P., u. SCHAUB, J., 1987: *Étude de la métallurgie du fer du vicus Gallo-*

Romain de Bliesbruck. — Notes et Monographies techniques 22, 5—125. Paris 1987.

GOLSCHANI, F., 1987: *Mineralogische und chemische Untersuchungen der metallurgischen Schlacken aus Toscanos Provinz Malaga (Süd Spanien) und Alesia (Frankreich).* — Dissertation Fachbereich Geowissenschaften, Universität Mainz 1987.

HAFFNER, A., 1979: *Zur absoluten Chronologie der Mittellatènezeit.* — Archäologisches Korrespondenzblatt 9, 1979, 405—409.

- HAUPTMANN, A., KEESMANN, I., u. SCHULZ-DOB-
RICK, B., 1984: *Die Kristallisation von Fe-
reichem Olivin in archäometallurgischen
Schlacken.* — Fortschritte der Mineralogie 62,
Beih. 1, 1984, 84—86.
- HEEGE, A., 1987: *Die Siedlung der vorrömischen
Eisenzeit am „Steinbühl“ bei Nörten-Harden-
berg, Ldkr. Northeim — Archäologische Unter-
suchungen.* — Nachrichten aus Niedersachsens
Urgeschichte 56, 1987, 59—116.
- HELLERMANN, B., 1987: *Mineralogische und
chemische Untersuchungen an archäometal-
lurgischen Schlacken aus der phönizischen Sied-
lung Morro de Mezquitilla/Provinz Malaga,
Südspanien.* — Diplomarbeit, Institut für Geo-
wissenschaften, Universität Mainz. 1987.
- HILGART, T., u. KEESMANN, I., 1987: *Chemische
und mineralogische Untersuchungen an Eisen-
schlacken von Manching.* — Fortschritte der
Mineralogie 65, Beiheft 1, 1987, 73.
- KEESMANN, I., 1985: *Chemische und mineralogi-
sche Untersuchung von Eisenschlacken aus der
hallstattzeitlichen Siedlung von Niedererlbach.*
— Archäologisches Korrespondenzblatt 15,
1985, 351—357.
- KEESMANN, I., 1989: *Chemische und mineralogi-
sche Detailuntersuchungen zur Interpretation
eisenreicher Schlacken.* — Archaeometallurgy
of Iron 1967—1987. Symposium Liblice 1987.
Prag 1989, 17—34.
- KEESMANN, I., BACHMANN, H. G., u. HAUPTMANN,
A., 1982: *Norm-Berechnungsverfahren für ei-
senreiche Schlacken.* — Fortschritte der Minera-
logie 60, Beiheft 1, 1982, 110—111.
- KEESMANN, I., GOLSCHANI, F., u. NIEMEYER, H. G.,
1983: *Schlackenfunde von Toscanos.* — Madri-
der Mitteilungen 24, 1983, 65—75.
- KEESMANN, I., u. HELLERMANN, B., im Druck:
*Mineralogische und chemische Untersuchungen an
Schlacken vom Morro de Mezquitilla.* —
Madrider Mitteilungen, im Druck.
- KEESMANN, I., u. HILGART, T., in Druckvorberei-
tung: *Chemische und mineralogische Untersu-
chung der Schlacken von Manching.* — Ausgra-
bungen in Manching, in Druckvorbereitung.
- KLAMM, M., 1987: *Die eisenzeitliche Siedlung
am „Steinbühl“ bei Nörten-Hardenberg, Ldkr.
Northeim — Bodenkundliche Untersuchungen.*
— Nachrichten aus Niedersachsens Urge-
schichte 56, 1987, 121—127.
- MANGIN, M., 1981: *Un Quartier de Commer-
cants et d'Artisans d'Alesia. Contribution à
l'histoire de l'habitat urbain en Gaule.* —
Bibliothèque PRO ALESIA VIII. Publications
de l'Université de Dijon No. LX. Dijon 1981.
- MEYER, R. H., 1987: *Die eisenzeitliche Siedlung
am „Steinbühl“ bei Nörten-Hardenberg, Ldkr.
Northeim — Vorbericht zu den geologischen
Untersuchungen.* — Nachrichten aus Nieder-
sachsens Urgeschichte 56, 1987, 117—120.
- MIRON, A., 1986: *Untersuchungen zur Mittel-
und Spätlatènezeit im Saar-Mosel-Raum.* —
Trierer Zeitschrift 49, 1986, 7—198.
- NEBELSICK, L. D., u. KOHNKE, H. G., 1985: *Eine
hallstattzeitliche Siedlung mit Giesserei- und
Schmiedeabfall von Niedererlbach (Niederbay-
ern).* — Archäologisches Korrespondenzblatt
15, 1985, 339—350.
- OSBORN, E. F., u. MUAN, A., 1960: *Phase
Equilibrium Diagrams of Oxid Systems.* — E.
M. Levin, C. R. Robbins & H. F. McMurdie,
Phase Diagrams for Ceramists. American Cera-
mic Society. Columbus/Ohio 1964, 60, Fig. 82.
- SPEL, G., 1980: *Über die Typologie urzeitli-
cher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher
Eisenhüttenschlacken.* — Studien zur Industrie-
Archäologie VII. Österreichische Akademie der
Wissenschaften. Wien 1980.
- WEDEPOHL, K. H., u. SCHNEIDER, A., 1986: *Die
Untersuchung jungeneolithischer Schlacken
von Eisenproduktion aus der Umgebung von
Nörten-Hardenberg bei Göttingen.* — Die
Kunde NF 37, 1986, 173—190.
- WESTPHALEN, P., 1989: *Die Eisenschlacken von
Haithabu. Ein Beitrag zur Geschichte des
Schmiedehandwerks in Nordeuropa.* — Berichte
über die Ausgrabungen von Haithabu 26. Neu-
münster 1989.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Ingo Keesmann
Universität Mainz
Institut für Geowissenschaften
Arbeitsgruppe Archäometallurgie
Saarstraße 21, Postfach 3980
D-6500 Mainz

Andreas Heege M. A.
Troppauer Straße 12
D-2900 Oldenburg