ISBN 978-3-89646-285-5
ISSN 1861-3942

M
B
A
7

Mittelalterliche Eisengewinnung
im Märkischen Sauerland

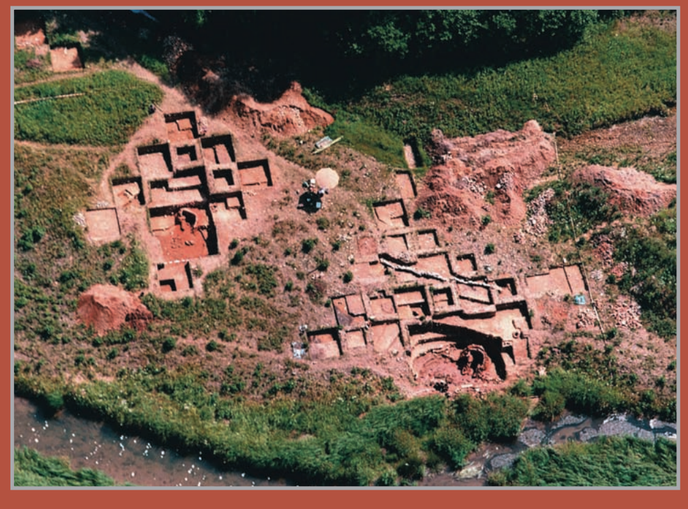
Albrecht Jockenhövel (Hrsg.)

MÜNSTERSCHE BEITRÄGE
ZUR UR- UND FRÜHGESCHICHTLICHEN ARCHÄOLOGIE 7

ALBRECHT JOCKENHÖVEL (HRSG.)

Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland

Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa



Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland

Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa

ABTEILUNG FÜR UR- UND FRÜHGESCHICHTLICHE ARCHÄOLOGIE
DES HISTORISCHEN SEMINARS DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER

IN VERBINDUNG MIT
LWL-ARCHÄOLOGIE FÜR WESTFALEN

MÜNSTERSCHE BEITRÄGE ZUR UR- UND FRÜHGESCHICHTLICHEN ARCHÄOLOGIE

Herausgegeben von
ALBRECHT JOCKENHÖVEL

Band 7

ALBRECHT JOCKENHÖVEL (HRSG.)

Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland

Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa

Mit Beiträgen von

THORSTEN ABDINGHOFF, ZAHRA HEZARKHANI, ALBRECHT JOCKENHÖVEL, INGO KEESMANN (†), HANS LUDWIG KNAU, ANDREAS KRONZ, MICHAEL OVERBECK, GÜNTER ROSENBOHM (†), MANFRED SÖNNECKEN (†) UND CHRISTOPH WILLMS

Verlag Marie Leidorf GmbH · Rahden/Westf.
2013

XII, 420 Seiten mit 346 Abbildungen und 10 Tabellen

Gedruckt mit Unterstützung der

LWL-Archäologie für Westfalen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Jockenhövel, Albrecht (Hrsg.):
Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland ; archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie in Europa ; mit Beiträgen von Thorsten Abdinghoff ... / hrsg. von Albrecht Jockenhövel.
Rahden/Westf.: Leidorf, 2013
(Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie ; Bd. 7)
ISBN 978-3-89646-285-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier

Alle Rechte vorbehalten
© 2013

Verlag Marie Leidorf GmbH
Geschäftsführer: Dr. Bert Wiegel
Stellerloh 65 · D-32369 Rahden/Westf.

Tel: +49/(0)5771/ 9510-74
Fax: +49/(0)5771/ 9510-75
E-Mail: info@vml.de
Internet: http://www.vml.de

ISBN 978-3-89646-285-5
ISSN 1861-3942

Kein Teil des Buches darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, CD-ROM, DVD, Internet oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages Marie Leidorf GmbH reproduziert werden oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Umschlagentwurf: Frank Verse
Titelvignette: Kerspetalsperre mit Fundplatz MSL-Nr. 105 (Luftbild Aerophoto Meinerzhagen)
Redaktion: Albrecht Jockenhövel, Tanja Jentsch und Michael Overbeck
Bildnachbearbeitung und Zeichnungen: Marlene Loevenich, Michael Overbeck und Renate Roling
Satz und Layout: Tanja Jentsch (7Silben, Bottrop)

Druck und Produktion: DSC Bevermann GmbH, Bad Laer

VORWORT

Auf Einladung der Herren Studiendirektoren Dr. Manfred Sönnecken (Lüdenscheid) und Hans Ludwig Knau (Kierspe) besuchte ich am 30. Juni 1992 in der damals wasserlosen Jubachtalsperre (Märkischer Kreis) die Reste eines raugemauerten Floßofens. Er war in seinen Dimensionen sehr beeindruckend, zumal unsere universitäre Arbeitsgruppe „Archäometallurgie" zur gleichen Zeit ca. 60–70 km Luftlinie weiter südlich, dicht an der hessischen und nordrhein-westfälischen Landesgrenze, im Rahmen eines archäometallurgischen Projektes, gefördert von der Volkswagen-Stiftung (Hannover), kleine, fast unscheinbare Rennöfen an den Flüsschen Dietzhölze und Dill ausgrub. Da aus unterschiedlichen Gründen das frühindustrielle Denkmal in der Jubachtalsperre nur notdürftig dokumentiert werden konnte, wurde zwischen uns vereinbart, dass bei der nächsten sich bietenden Gelegenheit ein interdisziplinäres Projekt ins Leben gerufen werden soll und muss, um die noch kaum erforschte Phase des Aufkommens der Hochofentechnologie in Mitteleuropa zu erforschen.

Diese Gelegenheit kam schneller als erwartet! Bereits im Jahre 1992 wurde mit umfangreichen Sanierungsarbeiten an der Kerspetalsperre südwestlich der Stadt Kerspe (Märkischer Kreis) begonnen, in deren Verlauf die gesamte Talsperre trockengelegt wurde. Es tauchte eine im Jahre 1912 versunkene Landschaft in einer Art vegetationslosen „Wüste" auf, in der die alten Standorte von Ortschaften und Wirtschaftsanlagen, darunter zahlreiche Verhüttungsanlagen, Schmiedehämmer, Pulvermühlen und Mühlen deutlich sichtbar wurden. Durch intensive Oberflächenprospektionen konnten die Herren Knau und Sönnecken die Standorte von abgegangenen Hochöfen (Floßöfen) lokalisieren, darunter der sehr „höffige" Platz Nr. 105. Im Kontext „länderübergreifender" Geländeforschungen war bereits früher ein ähnlicher Standort an der oberen Wipper Nr. 90 im zum Rheinland gehörenden Bergischen Land ermittelt worden, so dass zu den von den Herren Knau und Sönnecken bis dahin zahllosen dokumentierten Rennofenstandorten nun eine für Mitteleuropa einmalige Dichte an Standorten von frühen Hochöfen trat. Diese außerordentlich günstige Ausgangslage wurde noch interdisziplinär verstärkt durch die langjährige ehrenamtliche Mitarbeit von Herrn Dr. Dietrich Horstmann (bis zu seiner Pensionierung Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH in Düsseldorf) an diesen Geländeforschungen.

Alle vier Personen waren sich schnell einig, dass nach Auslaufen des Dietzhölzetal-Projektes (DHT-Projekt) zum Jahre 1994 ein Anschlussprojekt zu konzipieren ist, das den bisher kaum erforschten Übergang von der direkten (Rennofenzeit) zur indirekten Eisendarstellung (Beginn der Hochofentechnologie) in einem interdisziplinären Ansatz erforscht. Hierzu fanden sich nach mehreren Vorbesprechungen in dem Projekt „*Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennverhüttung zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n. Chr.)*" (= MSL-Projekt) folgende Personen und Institutionen zusammen: Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (projektfederführend Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel; cand. phil. Thorsten Abdinghoff; stud. phil. Tanja Jentsch, cand. phil. Michael Overbeck); Westfälisches Museum für Archäologie, Amt für Bodendenkmalpflege des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe (Dr. Bendix Trier; Dr. Christoph Willms [als Projektleiter für den archäologischen Teil und Projektkoordination]); Max-Planck-Institut für Eisenforschung Düsseldorf (Dr. Dietrich Horstmann); Institut für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz/Geologie/Mineralogie, Abt. Archäometallurgie (Prof. Dr. Ingo Keesmann); Archäobotanik: Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Prof. Dr. Focke Albers, Dipl.-Biol. Christiane Hoffmann). Eingebunden waren Herr Dr. Manfred Sönnecken (Lüdenscheid) mit seiner reichen Erfahrung und mit zusätzlichen Geländeprospektionen sowie Herr Hans Ludwig Knau (Kierspe), der als Historiker den landesgeschichtlichen Bereich betreute. Für die photografische Dokumentation konnte Herr Rainer Potyka (Kierspe) gewonnen werden.

Das Projekt wurde dankenswerterweise von der VolkswagenStiftung Hannover in ihrem Schwerpunkt „Archäometallurgie" von 1994–2000 gefördert. Für die Förderung sei der Stiftung und ihrem damaligen Fachreferenten Herr Günter Dege außerordentlich herzlich gedankt, insbesondere für die Unterstützung und Ratschläge in manch kritischen Stationen im späteren Projektverlauf und für die notwendig gewordene Verlängerung der Projektlaufzeit um zwei Jahre.

Das Projekt startete, auch auf Grundlage der im Dietzhölzetal gemachten Erfahrungen, mit den sehr ertragreichen Grabungen an den beiden Standorten der frühen Hochöfen an der oberen Wipper (Verhüttungsplatz Nr. 90) und an der Kerspe (Verhüttungsplatz Nr.105) außerordentlich erfolgreich und erhielt im In- und Ausland schnell hohe Akzeptanz und durch Einladungen zu zahlreichen archäometallurgischen Kongressen eine internationale Resonanz, die bis nach Ostasien (BUMA-Konferenzen) reichte, wo der Projektleiter in der Heimat der ältesten Hochöfen, in China berichtete.

Im Projektverlauf sollte zunächst mit der Grabung an der Kerspe (Verhüttungsplatz Nr. 105) im Jahr 1994/1995 begonnen werden. Da aber ein naturgeschütztes Schwarzstorch-Pärchen die verbliebenen Restwasserflächen nutzte, wurde unter Beteiligung zahlreicher Behörden, die von unserer Seite umweltverträglich und ohne Maschineneinsatz geplante Grabung zunächst nicht ge-

nehmigt. Schließlich wurde für 1996 doch noch die Grabungserlaubnis erteilt. Durch großzügige Unterstützung von Herrn Dr. Michael Gechter (Rheinisches Landesamt für Bodendenkmalpflege, Außenstelle Overath) konnten wir das Jahr 1995 noch retten, indem wir an die obere Wipper (Verhüttungsplatz Nr. 90) auswichen und diesen Baustein vorzogen, um dann 1996 an der Kerspe graben zu können. Der Eigentümer, die Stadtwerke Wuppertal gab erfreulicherweise seine Erlaubnis, das hermetisch abgezäunte Wasserschutzgebiet betreten zu können. Hierfür sei Herrn Braches herzlich gedankt ebenso wie den Herren Kollegen Dr. Philipp R. Hömberg und Dr. Hartmut Laumann (Westfälisches Museum für Archäologie, Außenstelle Olpe), die die örtliche Fachaufsicht und Beratung ausübten. Leider verstarben beide Kollegen in kurzem Abstand im Herbst und Winter des Jahres 2001, kurz nach Ende der Projektlaufzeit, und am 8. November 2003 der Begründer der historischen Eisenforschung des Sauerlandes, Herr Dr. Manfred Sönnecken.

In eine besonders kritische Phase geriet das Projekt schon im Herbst 1996, als plötzlich Herr Dr. Dietrich Horstmann am 5. September 1996 verstarb. Er hatte gerade mit der Analysenserie der Grabungen begonnen und seine umfangreichen Proben aus den jahrelangen Geländeprospektionen im Märkischen Sauerland und angrenzenden Bergischen Land weiter aufbereitet. Auch wenn Herr Horstmann in wichtigen Aufsätzen seine Vorstellungen zum Ablauf der Eisendarstellung dieser Region vorab darstellte, konnte auf eine archäologisch verankerte Probenserie nicht verzichtet werden. Nach intensiver Beratung mit Herrn Dege, Herrn Prof. Dr. Peter Neumann (Direktor des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung Düsseldorf) und Herrn Prof. Dr. Keesmann (Mainz) gelang es, das archäometallurgische Teilprojekt in Mainz weiterzuführen. Aus verschiedenen Gründen war es aber nicht möglich, die Analytik in dem ursprünglich vorgesehenen Umfang fortzuführen; sie beschränkte sich notgedrungen auf Analysen zu den vier Grabungsplätzen und eine erste Auswertung der Analysensätze von Herrn Horstmann, bei der dankenswerterweise Frau Dr. Zahra Hezarkhani (Mainz) und Dr. Andreas Kronz (Göttingen) einbezogen waren. Die vorgesehenen Analysen zum Phänomen „Osemund“ konnten nicht mehr vorgenommen werden. Ich danke hier besonders Herrn Kollegen Keesmann für seine großzügige Bereitschaft, sich in dieser für das Projekt schwierigen, bedrohlichen Situation rettend einzubringen.

Mein besonderer Dank gilt wiederum Herrn Dr. Christoph Willms, der nicht nur das Projekt federführend, koordinierend und organisatorisch vor Ort leitete, alle vier Grabungen unter teilweise misslichen klimatischen Bedingungen konzipierte und durchführte sowie inspirierend auf alle Teilnehmer einwirkte. Personell umgesetzt wurden die Grabungen durch die Mitwirkung zahlreicher Studierender aus dem In- und Ausland (Tschechische Republik, Litauen, Polen); ihnen sei allen sehr herzlich gedankt für ihren Einsatz unter teilweise schwierigen Umfeldbedingungen, die jedoch abgemildert wurden durch die Unterbringung (auf Vermittlung von Ortsvorsteher Herrn H. J. Becker zunächst im „Haus der Landjugend“ und später in der gemeindeeigenen Turnhalle in Kierspe-Rönsahl) und durch Gastfreundschaft vieler Privatpersonen (ich erwähne besonders Herrn K. H. Vollmann), die die Forschergruppe öfters bewirteten. In der konkreten Umsetzung vor Ort wurden wir von vielen Privatpersonen durch wichtige Hinweise und von der öffentlichen Hand (Bürgermeister, Ortsvorsteher) sowie von den Volksbanken Kierspe und Halver, die die geophysikalischen Messungen ermöglichten, unterstützt.

Das Potential einer öffentlich wirksamen Umsetzung des Projektes erkannte zuerst der Leiter der Museen auf Burg Altena, Herr Stephan Sensen. Auf seine Veranlassung fertigte Frau Dorothea Geyer (damals Lehrbeauftrage an der Kunstakademie Münster) zwei aussagekräftige Modelle der beiden frühen Hochöfen an der Kerspe und oberen Wipper an, die in der Dauerausstellung präsentiert werden und sich hohen Zuspruchs erfreuen. Sie wurden bereits vor Fertigstellung dieser Publikation von Dritten verwendet. Eine Abformung des Gestells aus Hochofen Nr. 105 (Kerspe) ist in der Dauerausstellung im Museum Wendener Hütte (Kr. Olpe), der denkmalgeschützten alten Hütte der Eisenunternehmerfamilie Remy zu sehen.

Aus unterschiedlichen Gründen, die hier nicht dargelegt werden sollen, verzögerte sich leider die Fertigstellung vorliegender Endpublikation. Ich danke hier noch einmal der VolkswagenStiftung für ihre lange Geduld, aber auch für ihr Verständnis. Daher konnte es auch nicht ausbleiben, dass über die zahlreichen Vorberichte und Vorträge hinaus gehende Ergebnisse des Projektes außerhalb meiner Kompetenz und Verantwortung publiziert wurden.

Vorliegende Dokumentation wurde von den beiden wissenschaftlichen Zeichnerinnen des Seminars Dipl.-Grafikerin Marlene Loevenich und Renate Roling mit großer Umsicht druckfertig umgesetzt. Die Satzvorbereitungen wurden von Tanja Jentsch M. A. (7Silben, Bottrop) vorgenommen. Dankenswerterweise stellte Prof. Dr. Michael M. Rind seitens der LWL-Archäologie für Westfalen (Münster) einen Druckkostenzuschuss zu Verfügung.

Die einzelnen Autoren sind jeweils für die von ihnen verfassten Abschnitte verantwortlich. Wo es möglich war, wurde vom Herausgeber eine Verzahnung, zum Beispiel durch die Einfügung von Seitenverweisen vorgenommen.

Münster, im Frühjahr 2013
Albrecht Jockenhövel

INHALTSVERZEICHNIS

Projektansatz und Projektdurchführung (Albrecht Jockenhövel) 1
Projektansatz 1
Rennfeuerverhüttung in Rennöfen: 8.–13. Jahrhundert 2
Roheisenverhüttung in Floßöfen mit Frischherden („Massenhütten“): 13.–18. Jahrhundert 3
Projektdurchführung 4
Projektbezogene Publikationen 5
A. Archäologie 5
B. Landesgeschichte, historische Eisenforschung, Geländeprospektionen 7
C. Archäometallurgie 8

Physiogeografische Voraussetzungen der frühen Eisengewinnung und Eisenverarbeitung im Märkischen Sauerland (Günter Rosenbohm [†]) 9
Relief und Untergrund 9
Der Untergrund: Rumpf eines paläozoischen Gebirges 12
Klima und Vegetation 16
Märkische Vegetation – einst und jetzt 17
Zur Physiogeografie und Topografie ausgewählter märkischer Rennhütten- und Floßöfen-Standorte 18
Literatur 19

Kierspe-Fernhagen (Märkischer Kreis), Verhüttungsplatz Nr. 11 (Christoph Willms) 21
Prospektion und Grabungstechnik 21
Geophysikalische Prospektion 21
Grabungstechnik 21
Befunde 27
Ofenartige Befunde 1–4 27
Gebäuderest (?) 27
Wassergraben 27
Halde 27
Meiler 30
Funde 30
Schlacke 30
Eisen/eisenhaltige Schlacke 33
Schlackenkalotten und -zapfen 33
Ofenwand 35
Steine 40
Holzkohle 40
Erz 42
Tondüse 42
Keramik 42
Auswertung 43
Abbildungen zu Plana und Profilen 47

Sieb- und Schlämmanalysen zu Verhüttungsplatz Nr. 11 (Michael Overbeck) 57
Bodenprobe 1 57
Bodenprobe 2 60
Bodenprobe 3 61
Zusammenfassung 66

Kierspe-Wienhagen (Märkischer Kreis), Verhüttungsplatz Nr. 72 (Christoph Willms) 67
Archäologische und geophysikalische Prospektion 67
Grabungstechnik 67
Platzstruktur und Fundverteilung 67

Flächen und Profile ... 67
Befunde ... 73
Rennofen ... 73
Grube ... 73
Röstplatz/Pochstelle ... 76
Schlackenhalde ... 76
Gräben ... 76
Funde ... 76
Schlacke ... 76
Schlackenkalotten und -zapfen ... 78
Ofenwand ... 79
Steine ... 79
Holzkohle ... 84
Erz ... 84
Objekte aus Eisen ... 85
Keramik ... 85
Auswertung ... 85

Sieb- und Schlämmanalysen zu Verhüttungsplatz Nr. 72 (Michael Overbeck) ... 91
Bodenprobe 1 ... 91
Bodenprobe 2 ... 94
Bodenprobe 3 ... 95
Zusammenfassung ... 100

Kerspetalsperre (Märkischer Kreis), Verhüttungsplatz Nr. 105 (Michael Overbeck) ... 103
Prospektion und Grabungsmethodik ... 103
Archäologische Prospektion ... 103
Geophysikalische Prospektion ... 110
Grabungstechnik ... 112
Befunde ... 114
Ofen 1 ... 114
Ofenschacht ... 114
Gestell ... 114
Gestübbe ... 114
Abstichgrube ... 114
Drainage ... 117
Fläche für Balggerüst und Antriebswelle ... 118
Flechtwerk ... 118
Beschickungsfläche 1 ... 118
Pfostengrube (Pfosten 1) ... 118
Rohstofflager ... 119
Schlackenhalde (Halde 1) ... 119
14C-Datierung ... 119
Ofen 2 ... 120
Ofenschacht ... 120
Gestell ... 120
Formkanal ... 124
Abstichgrube ... 124
Drainagen ... 124
Beschickungsfläche 2 ... 125
Frischherd ... 125
Steinsetzung ... 125
Fläche für Balggerüst und Antriebswelle ... 126
Obergraben ... 127
Pfostengruben (Pfosten 2–8) ... 128

Radspuren ... 128
Rohstofflager ... 130
Schlackenhalde (Halde 2) ... 131
Weg ... 131
14C-Datierung ... 132
Funde ... 132
Holzkohle ... 132
Erz ... 133
Ofenstein ... 135
Ofenwand ... 136
Schlacke ... 137
Glasige Schlacke ... 139
Stark eisenhaltige Schlacke ... 140
Eiserne Konstruktionsteile ... 142
Eisenstangen ... 142
Eisennagel ... 142
Platzstruktur ... 142
Ofen 1 ... 142
Ofen 2 ... 144
Weitere Hüttenstandorte im Bereich der Kerspetalsperre ... 147
Abbildungen zu Plana und Profilen ... 149

Oberes Wippertal (Oberbergischer Kreis), Verhüttungsplatz Nr. 90 (Thorsten Abdinghoff) ... 185
Prospektion und Grabungmethodik ... 185
Archäologische Prospektion ... 185
Geophysikalische Prospektion ... 185
Grabungstechnik ... 185
Befunde ... 191
Rennofen (Ofen 1) ... 191
Abstich ... 191
Arbeitsflächen ... 192
Holzkohlelager ... 192
Schlackenhalde ... 192
Datierung ... 193
Hochofen (Ofen 2) ... 193
Abstich ... 193
Gräben und Kanäle ... 193
Beschickungsflächen ... 198
Rohstofflager ... 198
Pfostengrube ... 201
Steinlage ... 201
Obergraben und Hohlwege ... 202
Funde ... 202
Erz ... 202
Holzkohle ... 204
Kalk ... 205
Ofenwand ... 205
Ofenstein ... 205
Schlacke ... 211
Stark eisenhaltige Schlacke ... 211
Glasige Schlacke ... 212
Roheisen ... 214
Keramik ... 214
Struktur des Verhüttungsplatzes Nr. 90 und abschließende Beurteilung ... 215
Rennofen (Ofen 1) ... 215
Hochofen (Ofen 2) ... 216

Das Obere Wippertal zwischen Wipperfließ und Holzwipper
als frühe Industrielandschaft ... 219
Abbildungen zu Plana und Profilen ... 221

Archäometallurgische Untersuchungen von Eisenschlacken im Märkischen Sauerland: Die Verhüttungsplätze Nr. 11, 72, 90 und 105 (Ingo Keesmann [†] u. Andreas Kronz) ... 251
Einleitung ... 251
Untersuchungsmethoden ... 251
Ergebnisse ... 251
Verhüttungsplatz Nr. 11, Fernhagen ... 254
Verhüttungsplatz Nr. 72, Wienhagen (MSK-72) ... 254
Verhüttungsplatz Nr. 90, Marienheide (MSK-90) ... 254
Verhüttungsplatz Nr. 105, Kerspetalsperre (MSK-105) ... 256
Interpretation ... 257
Anerkennungen ... 258
Literatur ... 258

Chemische Zusammensetzung von archäometallurgischen Eisenschlacken im Märkischen Sauerland (Ingo Keesmann, Zahra Hezarkhani u. Andreas Kronz) ... 265
Die Horstmann-(MPI-)Daten im Vergleich ... 266
Danksagung ... 266
Literatur ... 267

Zur Verhüttung in Rennöfen (Manfred Sönnecken [†]) ... 279
Bergbau ... 279
Holz ... 279
Wasser ... 279
Grundlagen der Rennverhüttung ... 281
Rennverhüttung im Märkischen Sauerland ... 281
Rennverhüttung im Einzugsgebiet der Hönne ... 284
Rennverhüttung an Kaltenbach und Loope ... 287
Die räumliche Verbreitung der Rennverhüttung ... 289
Die Zeitstellung der Rennverhüttung ... 289
Zur Bedeutung der Rennverhüttung ... 290
Schlacken als Relikte historischer Eisenverhüttung im Märkischen Sauerland ... 290
Literatur ... 293

Zur Verhüttung in Floß- und Hochöfen (Hans Ludwig Knau) ... 295
Roheisenverhüttung ... 295
Zum Ablauf der Roheisenverhüttung ... 299
Bergbau ... 301
Frischen ... 303
Literatur ... 307

Märkischer Osemund (Hans Ludwig Knau) ... 309
Hammerwerke ... 312
Literatur ... 317

Vom Rennofen zum Hochofen – Technologische Innovationen im Zuge der Entwicklung neuartiger Ofentypen und Verhüttungsverfahren in Mitteleuropa (Albrecht Jockenhövel u. Michael Overbeck) ... 319
Einleitung ... 319
Zum Beginn der Wasserkraftnutzung im Hüttenwesen Zentraleuropas ... 319
Frühe Stucköfen und technische Vorläufer ... 321
Frühe Roheisenfunde ... 322
Zur Definition der Termini von „Floßofen“, „Hochofen“ und „Massenhütte“ ... 324

Zum idealtypischen Aufbau eines mittelalterlichen Hochofens ... 325
Frühe Floß- und Hochöfen im archäologischen Befund (13.–15. Jahrhundert) ... 327
Nordeuropa ... 328
Schweden ... 328
Mitteleuropa ... 329
Schweiz ... 329
Westdeutschland ... 332
Frankreich ... 342
Nordwesteuropa ... 342
England ... 343
Vergleichende Zusammenschau ... 347
Topografie der Standorte ... 347
Platzstruktur ... 347
Erhaltungszustand der Öfen ... 348
Grundriss der Öfen ... 348
Baumaterial ... 348
Gestell ... 349
Ofenbrust: offen oder geschlossen? ... 350
Drainagen ... 350
Frischherde vor Ort? ... 350
Datierung ... 350
Entwicklung ... 350
Technische Aspekte der frühen Roheisentechnologie ... 351
Organisatorische Grundlagen ... 351
Technische Aspekte des Roheisenverfahrens ... 351
Frischen als archäologisches und archäometallurgisches Problemfeld ... 352
Entwicklung der Produktionsmengen ... 353
Sozioökonomische Rahmenbedingungen ... 353
Verstädterung und Eisenbedarf ... 353
Kriegswesen und Eisenbedarf ... 355
Zivile und militärische Nutzung von Roh-/Gusseisen ... 355
Zusammenfassung und Ausblick ... 356
Sozioökonomische Rahmenbedingungen ... 356
Europäische Innovationslandschaften ... 356
Indigene Entwicklung? ... 356
Exogene Wurzeln? ... 357
Chinesische Wurzeln? ... 357
Vermittlung nach Westen? ... 358
Exkurs: Historische Hochofenlandschaft am Südrand des Kaspischen Meeres – Fallbeispiel Māzandarān ... 358
Ausbreitung der Roheisentechnologie ... 359
Fazit ... 360

Schrift- und Bildquellen (Thorsten Abdinghoff u. Albrecht Jockenhövel) ... 361
Vorläufer ... 361
Antonio Averlino, genannt Filarete ... 362
Mariano di Jacopo, genannt Taccola ... 362
Nicolas Bourbon ... 364
Vannoccio Biringuccio ... 364
Georgius Agricola ... 365
Hochöfen auf frühen Karten ... 365
Flämische und niederländische Landschaftsmalerei ... 368
Joachim Patinir ... 368
Herri met de Bles ... 369
Lucas und Marten van Valckenborch ... 369
Claes Dirckz van der Heck ... 370

Jan Brueghel (der Ältere) und Remigio Cantagallina ... 371
Zusammenfassung ... 372
Gemäldedarstellungen ... 374

Zusammenfassung (Albrecht Jockenhövel u. Michael Overbeck) ... 389
Zur Lage der Forschungsregion ... 389
Zu den Verhüttungsplätzen ... 389
Zu den Öfen ... 390
Zur Bauart der Floßöfen ... 390
Fundplatz Nr. 105 – Kerspetalsperre (13./14. Jahrhundert) ... 390
Fundplatz Nr. 90 – Wippertal (zweite Hälfte 15. Jahrhundert) ... 390
Zur Platzstruktur ... 391
Zu den Erzen ... 391
Zur Holzkohle ... 391
Zur Ofenwand ... 392
Zu den Schlacken ... 392
Kristalline Schlacken ... 392
Glasig erstarrte Schlacken ... 393
Zum Eisen ... 393
Zur Verhüttungstechnologie der verschiedenen Fundplätze ... 393
Fundplatz Nr. 105 ... 393
Fundplatz Nr. 90 ... 394
Fundplatz Nr. 11 und 72 ... 394
Kalk als Flussmittel? ... 394
Indigene oder exogene Wurzeln der Roheisentechnologie ... 394

Summary ... 397

*Literaturverzeichnis** ... 403

* Außer Beiträge von G. Rosenbohm [s. S. 19], I. Keesmann/A. Kronz [s. S. 258 f.], I. Keesmann/Z. Hezarkhani/A. Kronz [s. S. 267], M. Sönnecken [s. S. 293 f.] und H. L. Knau [s. S. 307 f. und 317 f.].

PROJEKTANSATZ UND PROJEKTDURCHFÜHRUNG

Albrecht Jockenhövel

PROJEKTANSATZ

Im hohen und späten Mittelalter vollzog sich in Zentralmitteleuropa in der Eisendarstellung ein umwälzender Prozess. Seine Ursachen und Wirkung liegen noch vielfach im Dunkeln. Chemisch-physikalisch betrachtet ist es zunächst „nur" die technologische Umstellung von der direkten, „traditionellen" Eisendarstellung mit Hilfe von kleinen Rennöfen zur indirekten, „innovativen" Eisendarstellung in „höheren" Öfen, deren ältere Ausprägungen in der Technikliteratur als Floßöfen bezeichnet werden. Aber schon unter topografischen Gesichtspunkten machte sich in der Landschaftsnutzung und Landschaftsgestaltung dieser plötzliche Technologieschub bereits den Zeitgenossen optisch bemerkbar: Die Standorte der Verhüttungsplätze verlagerten sich von den mittleren und oberen Hangflächen, Quellmulden und Seifen herab in die größeren Bachtäler, die mit Stauteichen, Wassergräben und weitflächigen Hochofenstandorten umgestaltet wurden. Diese Täler wurden zu Keimzellen der bis Anfang unseres Jahrhunderts florierenden „Industriegassen". Verfassungsgeschichtlich wurden hiervon zugleich Grundrechte auf die Verfügbarkeit von Erz, Holz und Wasser berührt. Ökonomisch bedeutete diese Umstellung zunächst Kapital- und Personalinvestitionen im Hinblick auf einen zukünftigen Profit. Hieraus ergaben sich wesentlich Änderungen in den Besitzverhältnissen an den Verhüttungsanlagen und dem sie umgebenden sozialen Gefüge. Der Zug von pyrotechnischen Anlagen auf das Land, die die in immer größerem Umfange zu Holzkohle vermeilerten Wälder fressenden Bergwerke und Verhüttungsanlagen, Glashütten, Kalk- und Pechöfen prägten weite Teile waldreicher Landschaften Mitteleuropas. Sie begründeten schleichend frühe Umweltschäden, die bereits im 15. und 16. Jahrhundert ihren literarischen und bildlichen Niederschlag fanden und erste Waldschutzmaßnahmen auslösten. Für den überregional feststellbaren Aufschwung der gewerblichen Eisengewinnung im 10.–13. Jahrhundert gibt es in Zentraleuropa jedoch nur wenige Urkunden, so dass wir weitgehend auf die Forschungen der Archäologie angewiesen sind, um zeitliche und regionale Fixpunkte zu erhalten.

Die bisherigen Forschungen in Zentraleuropa, überwiegend von der VolkswagenStiftung Hannover gefördert, haben als erste Ergebnisse zu der Erkenntnis geführt, dass sich die Hochofentechnologie unterschiedlich schnell in den verschiedenen Eisenlandschaften Mitteleuropas verbreitete. Dabei existierte in einigen Regionen durchaus das „alte" direkte Verfahren noch jahrhundertelang neben dem neuen „indirekten" Verfahren, bevor es schließlich vollständig abgelöst wurde. Wie sich dieser gleichermaßen verharrende und sprunghafte Prozess in einem relativ eng begrenzten Gebiet, am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges zwischen Lahn, Dill, Sieg, Rhein und Ruhr darstellt, wurde auf Grundlage zweier archäometallurgischer Projekte erforscht, die von 1990 bis 2000 unter Federführung des (nach alter Bennnung) Seminars für Ur- und Frühgeschichte der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster durchgeführt wurden (*Abb. 1*).

Das erste Projekt, das Dietzhölzetal-Projekt (DHT-Projekt), wurde im Jahre 2005 vorgelegt.[1] Innerhalb dieses Gebietes gehört das Märkische Sauerland während des Spätmittelalters und der Frühen Neuzeit zu den bedeutendsten Eisenlandschaften Deutschlands. Dank der intensiven Forschungen von Manfred Sönnecken (1928–2003)[2] und ab 1986 gemeinsam mit Hans Ludwig Knau[3] wurden im westfälischen Teil des Märkischen Sauerlandes weit über 1500 Eisenverhüttungsstandorte erfasst, womit dieses Gebiet mit seiner Fundstellendichte zum größten, durch Prospektion erschlossenen mittelalterlichen Eisenerzeugungsrevier Europas avancierte. Auch im westlich angrenzenden Bergischen Land konnte durch ausgedehnte Prospektionen ein Anstieg der Eisenverhüttung beobachtet werden,[4] wobei sich im gesamten Gebiet eine Kontinuität von Bergbau und Eisenverhüttung vom hohen Mittelalter bis zum Ende des 19. Jahrhunderts feststellen lässt. Das bisher gewonnene Bild wird durch facharchäologische Forschungen im Bergischen Land ergänzt.[5]

Bis zum Einsatz von Kokshochöfen und zu dem mit ihnen verbundenen wirtschaftlichen Aufschwung des nördlich angrenzenden Ruhrgebiets mit seinen reichen Steinkohlelagerstätten waren die Regionen des Märkischen Sauerlandes und des sich direkt anschließenden Bergischen Landes bedeutende Standorte einer sehr differenzierten Eisengewinnung und -verarbeitung. In ihnen liegen die Wurzeln des Ruhrgebietes. Im Märkischen Sauerland lassen sich auf Grundlage ausgewählter Grabungen, zahlreicher Keramikdatierungen und 14C-Datierungen zwei Abschnitte der Eisenverhüttung fassen:

[1] Jockenhövel/Willms 2005.

[2] Sönnecken 1971; 1972; 1977; 1978; 1982; 1986; zum Wirken Sönneckens vgl. Hostert/Müller 1995.

[3] Knau/Sönnecken 1993a; 1993b; 1993c; 1994a; 1994b; 1994c; Sönnecken/Knau 1994.

[4] Knau/Sönnecken 1986; 1989; 1990.

[5] Janssen 1983; Rech 1991.

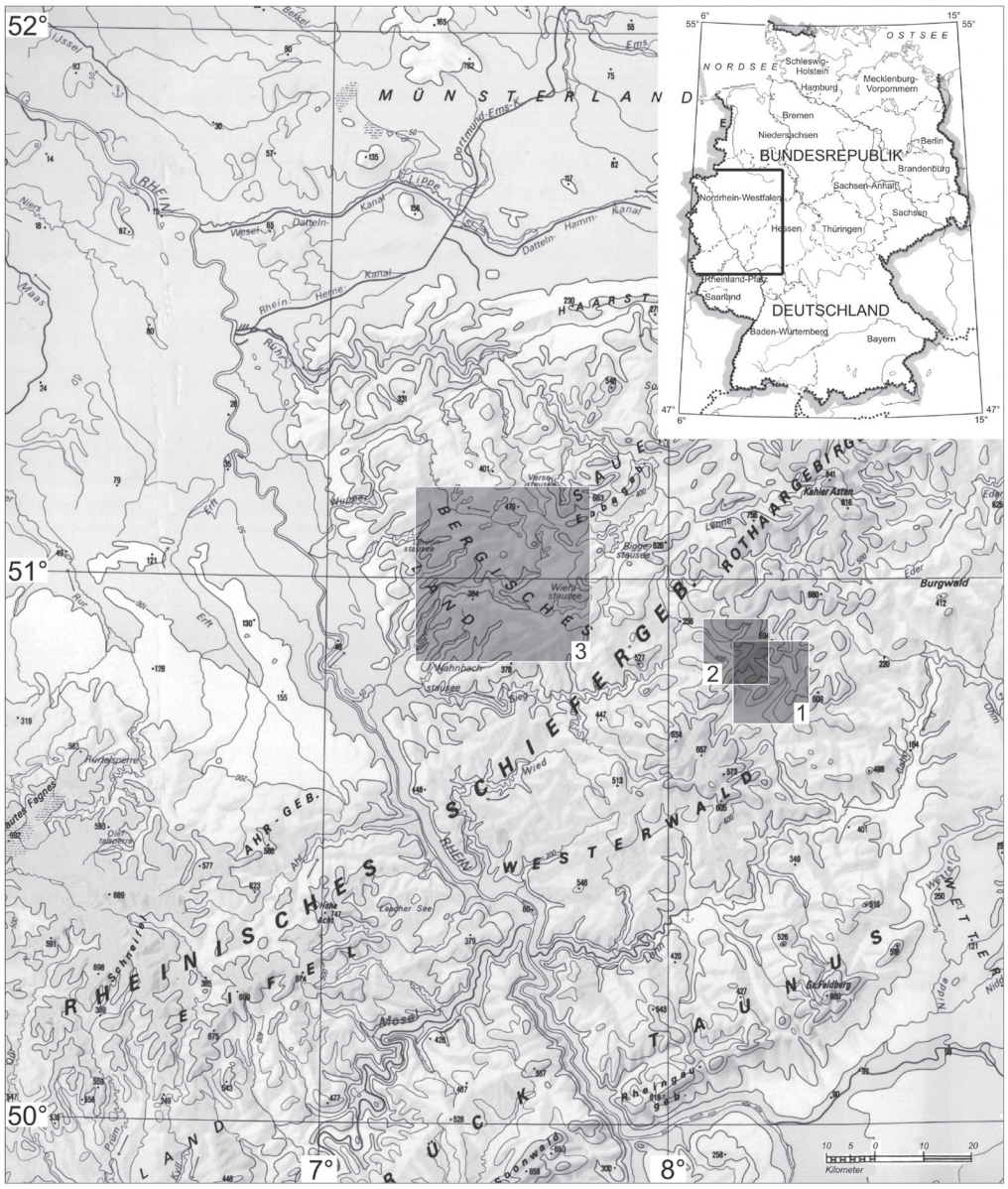


Abb. 1. Forschungsregionen der Abteilung für Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. 1: „Dietzhölzetal-Projekt“ (DHT-Projekt); 2: „Archäologie auf Waldeshöhen. Eisenzeit, Mittelalter und Neuzeit auf der ‚Kalteiche‘ bei Haiger“ (Lahn-Dill-Kreis); 3: „Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennfeuerverhüttung bis zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n. Chr.)“ (MSL-Projekt).

1. Rennfeuerverhüttung in Rennöfen: 8.–13. Jahrhundert
2. Roheisenverhüttung in Floßöfen mit Frischherden (Massenhütten): 13.–18. Jahrhundert

Rennfeuerverhüttung in Rennöfen: 8.–13. Jahrhundert

Bisher ist es trotz aller Vermutungen und Bemühungen nicht gelungen, im Märkischen Sauerland und im angrenzenden Bergischen Land eine vorgeschichtliche Eisenverhüttung aufzufinden. Grabungen in Eggenscheid, am Homert und in Ellinghausen sowie Großendrescheid erbrachten aufgrund von 14C-Bestimmungen und aussagefähigem Keramikmaterial Belege für die späte Merowinger- bzw. frühe Karolingerzeit.[6] Im 11.–13. Jahrhundert kam es zu einer ungewöhnlich großen Ausbreitung und Entfaltung der Eisenerzeugung in über 1300 Rennhütten. Damit wurde das Märkische Sauerland in der Zeit der Salier- und Stauferherrschaft zu einem aktiven Eisen darstellenden Wirtschaftsraum von offenbar überregionaler Bedeutung. Jedoch gibt es hierzu keine schriftlichen

[6] Sönnecken 1971.

Überlieferungen. Man kann aber annehmen, dass Eisenhandel, Zulieferbetriebe für das aufkommende Drahtgewerbe und Eisenbedarfsdeckung für den jeweiligen Landesherrn eine wichtige Rolle gespielt haben. Dies gilt vor allem für den Raum Lüdenscheid/Altena.[7]

Soweit bis jetzt aus Grabungen bekannt ist, wurden im sauerländisch-märkischen Gebiet zwei Typen von Rennöfen verwendet: *flacher Rennherd* als ein Ofen mit eingetieftem Herd, Schlackenabfluss und niedrigem Schacht und *eingemuldeter Schachtofen* als ein Ofen mit Schlackenabstich und höherem Schacht, der sich im Raum Lüdenscheid-Altena konzentriert (s. Beitrag Sönnecken S. 282 *Abb. 3.*).[8]

Roheisenverhüttung in Floßöfen mit Frischherden („Massenhütten"): 13.–18. Jahrhundert

Mit der Einführung wasserradgetriebener Gebläse vollzog sich auch im Märkischen Sauerland ein gewaltiger Umschwung in der Technik des Eisenhüttenwesens, nämlich der Übergang von der Rennverhüttung zur Roheisenverhüttung in Floßöfen mit anschließendem Frischen des nicht schmiedbaren Roheisens zu schmiedbarem Stahl. Dies bedingte eine Standortverlagerung der alten Rennverhüttungsplätze von den Hochflächen, Quellmulden und Siepen in die größeren Bachtäler. Daher waren nur Grundeigentümer, wie Landesherren, niederadelige Grundherren, Kirchen, Klöster und städtische Unternehmer, die Wasser-, Holz- und Erzschürfrechte besaßen bzw. die ihnen verliehen wurden, berechtigt, solche auch als „Massenhütten" bezeichnete Anlagen zu betreiben.

Die durch bloße Vergrößerung des Ofenvolumens aus den Rennöfen abgeleiteten und noch zur Rennfeuerverhüttung zählenden Stuck- oder Stücköfen, wie sie z. B. in der Steiermark und Kärnten bis in das 18/19. Jahrhundert betrieben wurden[9], lassen sich für das Märkische Sauerland nicht nachweisen. Außerdem konnte kürzlich die bisher vertretene Meinung, dass in den Öfen dieser Massenhütten bedarfs- bzw. wechselweise flüssiges Roheisen oder weiches Schmiedeeisen erzeugt wurde, widerlegt und dahingehend berichtigt werden, dass in den Floßöfen ausschließlich Roheisen erschmolzen wurde und es sich bei den dort gefundenen „schweren" Schlacken um Frischschlacken handelt.[10]

Im Untersuchungsgebiet ist im Rahmen der Geländeprospektionen durch Sönnecken und Knau der Nachweis von etwa 100 Massenhütten-Wüstungen in Form von Schlackenhalden gelungen.[11] Allen gemeinsam sind neuzeitliche starke Störungen und Veränderungen, die vor allem durch das Abfahren der Halden für den Straßenbau oder durch Überflutungen im Zuge des Talsperrenbaus verursacht wurden. Diese Störungen erschweren die heutigen Nachforschungen. Besonders große Anhäufungen von über 70 Massenhüttenplätzen gibt es im Gebiet zwischen Kierspe und Meinerzhagen auf märkischer und im Loope- und Kaltenbachtal[12] sowie zwischen Gummersbach und Marienheide auf bergischer Seite des Sauerlandes.[13]

Grabungsbefunde, die jedoch noch wichtige Einzelheiten und bauliche Details der Anlagen offenlassen, z. B. Zustellung der Öfen, Abstichart, Winderzeugung und -führung, lagen vor Beginn unseres Projektes nur von Haus Rhade (Kierspe)[14] und aus der Jubachtalsperre bei Kierspe-Volme vor.[15] Die Bauweise dieser beiden Öfen ist sehr unterschiedlich. Während der Rhader Ofen einen kreisförmigen Querschnitt zeigt (s. S. 334 *Abb. 15*), hat der Ofen in der Jubachtalsperre einen rechteckigen (s. S. 338 *Abb. 23*), der in seinen Abmessungen mit einem in Schweden (Lapphyttan) ergrabenen Ofen übereinstimmt (s. S. 330 *Abb. 6*).

Das nicht schmiedbare Roheisen der Floß- bzw. Hochöfen musste in einem eigenen metallurgischen Arbeitsgang mit entsprechenden Einrichtungen, den Frischherden oder Frischfeuern, zu schmiedbarem Eisen und Stahl weiterverarbeitet werden, d. h. gefrischt werden. Diese Frischherde waren offenbar zunächst den Floßöfen direkt beigeordnet (s. S. 329 A*bb. 5*; S. 336 *Abb. 17*) An der Jubachtalsperre wurden mindestens sechs (s. S. 335), im schwedischen Lapphyttan ca. acht Frischherde festgestellt (s. S. 328). Im Laufe der Zeit entstanden aber eigenständige Frischhütten, an die das Roheisen von Floßofenhütten abgegeben wurde.

Im Märkischen Sauerland wurden durch ein besonderes Frischverfahren Eisen- und Stahlsorten von höchster Qualität erzeugt: der Osemund (Beitrag Knau s. S. 309 ff.). Durch diesen Begriff steht die Grafschaft Mark in enger Beziehung zu Schweden, wo der Osemund seit dem Spätmittelalter eine besondere Rolle spielt und von wo auch wohl die Bezeichnung übernommen wurde. Der weiche kohlenstoffarme, hochwertige Stahl – das Osemundeisen – wurde im Raum um Altena beim Drahtziehen eingesetzt, während der höher gekohlte, minderwertigere Knüppelosemund in den Raum Solingen/Remscheid ausgeführt und für Schneidwaren (Blankwaffen, Messer, Sensen usw.) verwendet wurde.[16]

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich alle Formen der Frischschlacke in äußerem Habitus, Farbe und Gewicht nicht von Rennfeuerschlacken unterscheiden, was in der Vergangenheit immer wieder zu Missdeutungen geführt hat. Eine Unterscheidung dieser Schlacken ist nur durch chemische Analysen und

[7] Sönnecken 1986.
[8] Ders. 1971.
[9] Paulinyi 1974; 2007.
[10] Horstmann 1996.
[11] Knau/Sönnecken 1993a–d; Sönnecken/Knau 1994.
[12] Knau/Sönnecken 1990.
[13] Dies. 1986; 1989.
[14] Sönnecken 1977.
[15] Knau/Sönnecken 1993a.
[16] Knau 1968; 1992.

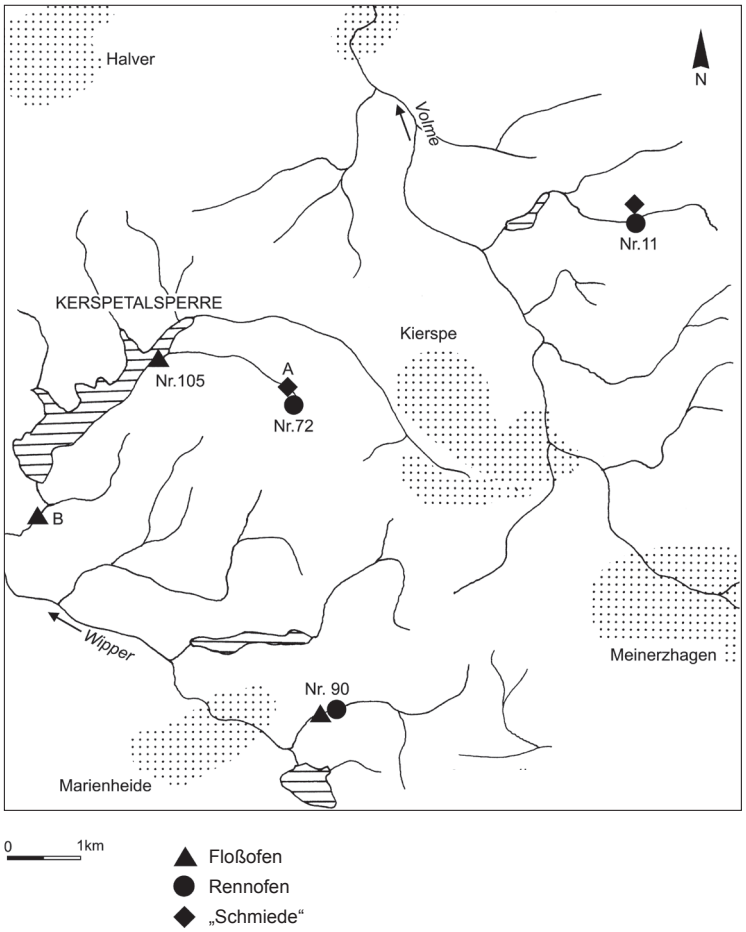


Abb. 2. Lage der aufeinander bezogenen Rennofen- und Floßofenstandplätze (s. auch S. 68 Abb. 1; S. 201 Abb. 21).

Gefügeuntersuchungen möglich, wobei das Auftreten bestimmter Gefügebestandteile, ihre Anordnung und Kombination in binären und ternären Eutektika zur Deutung heranzuziehen sind.[17]

PROJEKTDURCHFÜHRUNG

Bei dieser Ausgangslage kam es im Jahr 1993 zur Konzipierung des Forschungsprojekts „Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennfeuerverhüttung bis zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n. Chr.)“, unter dem Kürzel „MSL-Projekt“ in die Forschung eingeführt. Es wurde durch die Freilegung einer Hochofenruine (Floßofen) während einer Notgrabung im Jahre 1992 in der für Sanierungsarbeiten abgelassenen Jubachtalsperre durch Sönnecken und Knau ausgelöst[18] (s. S. 335 ff.).

Zentrales Ziel des Projekts war die Durchführung von vier systematischen archäologischen und analytischen Untersuchung an ausgewählten Standorten von Rennöfen (Verhüttungsplätze Nr. 11, 72) und frühen Hochöfen (Verhüttungsplätze Nr. 90, 105), um den bisher weitgehend verborgenen Technologie- und Strukturwandel exemplarisch in dieser Region zu erhellen und die spärliche hoch- und spätmittelalterliche Quellenbasis über die wenigen schriftlichen und bildlichen Dokumente des 12.–15. Jahrhunderts hinaus zu erweitern. Mit der exemplarischen Auswahl der Grabungsplätze wurde versucht, möglichst jeweils einen Rennofenplatz einem nahe gelegenen Hochofenstandort zuzuordnen, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Erzbasis, im Energieträger Holz und in der Verfahrenstechnik sowie die Bauweise der Öfen und die Struktur der Verhüttungsplätze in einer zeitlichen Abfolge untersuchen zu können. So bezieht sich der Rennofenstandort am Fernhagen (Nr. 11 [s. S. 21 ff.]) auf den Hochofen an der Jubach (Nr. 36 [s. S. 335 ff.]), und der Rennofenstandort am Wienhagen (Nr. 72 [s. S. 67 f.]) auf den Hochofen an der oberen Wipper (Nr. 90 [s. S. 185 ff.]) (*Abb. 2*).

[17] Horstmann 2003; 1996; Horstmann/Knau/Sönnecken 1996.

[18] Knau/Sönnecken 1993a.

Im archäometallurgischen Teilprojekt standen die lokale Rennfeuerverhüttung mit ihrer Erzeugung von Eisen mit (im Allgemeinen) wenig Kohlenstoff im festen Zustand sowie die lokalen Floßöfen (Massenhütten) mit dem Übergang zum flüssigen, hochkohlenstoffhaltigen Roheisen und das lokale Frischen, hier besonders der Osemund, im Mittelpunkt. Aus der archäologisch gesicherten Verfahrenskette sollten *in situ* gewonnene Proben geborgen und analysiert werden. Daneben war vorgesehen, die umfangreiche Probensammlung aus den älteren Geländeprospektionen aufzubereiten und zu analysieren.

Verfassungs-, wirtschafts- und sozialgeschichtliche Fragestellungen ergaben sich aus einer ab dem 16. Jahrhundert günstigen Urkundenüberlieferung sowie aus den archäologischen Befunden, die Rückschlüsse auf sich wandelnde Betriebsformen der Eisengewinnungsstätten auch für den Zeitraum des 14.–15. Jahrhunderts zulassen, z. B. die Frage nach dem Beginn der räumlichen Trennung des Frischvorganges von der Roheisenerzeugung oder nach dem Gründungszeitpunkt der ersten eigenständigen Hammerwerke dieser Region.[19]

An dem MSL-Projekt waren folgende Partner maßgeblich beteiligt:

Archäologie: Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (federführend: Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel; Koordination, örtliche Leitung und Durchführung der archäologischen Maßnahmen: Dr. Christoph Willms) in Zusammenarbeit mit: Westfälisches Museum für Archäologie und Amt für Bodendenkmalpflege des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe, Münster (Direktor Dr. Bendix Trier).

Archäometallurgie: Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf (Dr. Dietrich Horstmann, † 5. September 1996); danach Institut für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz (Prof. Dr. Ingo Keesmann [† 8. November 2003], Dr. Zahra Hezarkhani).

Archäobotanik: Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Prof. Dr. Focke Albers, Dipl.-Biol. Christiane Hoffmann).

Landesgeschichte: Studiendirektor Hans Ludwig Knau (Kierspe) in Zusammenarbeit mit Studiendirektor i. R. Dr. Manfred Sönnecken (Lüdenscheid, † 8. November 2003).

Während die archäologischen Grabungen planmäßig, wenn auch mit zeitlicher Umstellung der Einzelgrabungen, durchgeführt wurden, konnten die archäometallurgischen Untersuchungen wegen des Todes von Dr. Dietrich Horstmann am 5. September 1996 leider nicht mehr in dem ursprünglich vorgesehen Umfang umgesetzt werden. Allein die notwendig gewordene räumliche und personelle Verlagerung dieses zentralen Teilprojektes von Düsseldorf nach Mainz brachte eine erhebliche Zeitverzögerung mit sich. Die Untersuchungen mussten sich nun notgedrungen auf die Analysen zu den Grabungen an den vier Plätzen und auf eine erste Zusammenschau von Analysen aus der Sammlung von Dietrich Horstmann beschränken (s. S. 251 ff.; 265 ff.). Weitere Auswertungen sind in der Zukunft möglich, insbesondere zum Problemkreis Frischverfahren und Osemund. Die Vorstellungen Horstmanns sind bereits in einige Publikationen eingegangen und wurden auch hier einbezogen.

PROJEKTBEZOGENE PUBLIKATIONEN

Auf zahlreichen Vorträgen und interdisziplinären Fachkongressen wurde das Forschungsprojekt mit ersten verlässlichen Ergebnissen vorgestellt und erste Vorberichte vorgelegt. Aus dem Projekt erwuchsen zwei Magisterhausarbeiten an der Universität Münster (Thorsten Abdinghoff [Verhüttungsplatz Nr. 90: s. S. 185 ff.], Michael Overbeck [Verhüttungsplatz Nr. 105: s. S. 103 ff.]). Folgende Teilpublikationen wurden aus den einzelnen Projektbereichen vorgelegt (geordnet nach Erscheinungsjahr):

A. Archäologie

1. Willms 1993
Chr. Willms, Archäologie ohne Ausgrabung. Ein Beitrag zu den Möglichkeiten und Grenzen von Prospektionsmethoden. Der Märker 42, 1993, 177–181.

2. Willms 1994
Chr. Willms, Untersuchungen auf einer frühen „Massenhütte“ im oberen Wippertal. Archäologie im Rheinland 1994, 132–139.

3. Willms 1994
Chr. Willms, Vorbereitung einer Grabung im Kerspetal. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 447–455.

4. Willms 2003
Chr. Willms, Vorbereitung und Durchführung einer Grabung auf einer frühen Floßofenhütte im oberen Wippertal. In: Th. Engel et al., Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5.November 1994 in

[19] Knau/Beier/Sönnecken 2001.

Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003), 213–218.

5. Jockenhövel 1995
A. Jockenhövel, Der Weg zum Hochofen – die Zeit der spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Massenhütten. In: B. Pinsker (Hrsg.), Eisenland – zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden, 29. Januar–23. Juli 1995 (Wiesbaden 1995) 83–98.

6. LWL 1995
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.), Neujahrsgruß (Münster 1995) 16, 80.

7. LWL 1996
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.), Neujahrsgruß (Münster 1996) 102–103.

8. Willms/Jockenhövel 1996
Chr.Willms/A. Jockenhövel, Eisen und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennfeuerverhüttung bis zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n.Chr.). In: G. Magnusson (ed.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 2. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 62 (Stockholm 1996) 177–184.

9. Willms 1996
Chr. Willms, Archäologische Untersuchungen zur frühen Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. In: Geschichtsausschuss des Vereins der Deutschen Eisenhüttenleute (Hrsg.), Eisen und Stahl erobern die Ruhr. Technikgeschichtliche Vortragsveranstaltung des Geschichtsausschusses des VDEh. Fachausschussbericht 9.012 (Düsseldorf 1996) 29–43.

10. Willms 1997
Chr. Willms, Erkenntnisse zur frühen Hochofentechnologie. Archäologie in Deutschland 1997, Heft 3, 50.

11. Willms 1997
Chr. Willms, Archäologische Erforschung von zwei frühen Hochöfen in der Kerspetalsperre. Der Märker 46, 1997, 11–15.

12. Jockenhövel 1997
A. Jockenhövel, The beginning of blast furnace-technology in Central Europe. Historical Metallurgy Society News 37, 1997, 4–5.

13. Jockenhövel/Willms 1997
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace-technology in Central Europe. In: P. Crew/S. Crew (eds.), Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts of the international conference at Plas Tan y Bwlch 19–25 Sept. 1997. Plas Tan y Bwlch Occasional Papers 3 (Plas Tan y Bwlch 1997) 56–58 (Prepublication).

14. Jockenhövel/Willms 1997
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace-technology in Central Europe. In: G. De. Boe/F. Verhaeghe (eds.), Material culture in medieval Europe. Konf. „Medieval Europe“ Brügge (Brügge 1997) 17–19.

15. Jockenhövel/Willms 1998
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Neue mittelalterliche Hochöfen im Märkischen Sauerland. Der Anschnitt 50, 1998, 131–133.

16. Jockenhövel/Willms/Abdinghoff/Overbeck 1998
A. Jockenhövel/Chr. Willms/Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace-technology in Central Europe. In: Extended abstracts. The fourth international conference on the beginning on the use of metals and alloys (BUMA), Shimane, Japan, May 25–27, 1998 (BUMA IV) (Shimane 1998) 65–69.

17. Abdinghoff/Overbeck 1998
Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Die Hüttenstandorte Kerspetalsperre (Märkisches Sauerland) und Oberes Wippertal (Bergisches Land) – Ein Beitrag zur Archäologie früher Hochöfen in Mitteleuropa. Archaeologia Austriaca 82/83, 1998/1999, 536–541.

18. Abdinghoff/Overbeck 2000
Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Archaeological investigations on early blast furnaces in Central Europe. In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzoni (Hrsg.), Il ferro nelle Alpi. Giacimenti, miniere e metallurgia dall´antichità al XVI secolo; Iron in the Alps. Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century. International conference Bienno 2.–4. October 1998 (Bienno 2000) 128–132.

19. Jockenhövel 2000
A. Jockenhövel, Eisenverhüttung im Märkischen Sauerland. In: Archäologie in Deutschland, Heft 3, 2000, 28–29.

20. Jockenhövel/Willms 2002
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Tradition and innovation: New investigations on the end of the bloomeries and the beginning of high furnaces in Central Europe during the High and Late Middle Ages. In: Proceedings of the fifth international conference on the beginnings of the use of metals and alloys (BUMA V). Messages from the history of metals to the future metal age. April 21–24, 2002, Gyeongju, Korea (2002) 93–105.

21. Jockenhövel/Willms 2004
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Tradizione e innovazione: nuove ricerche sulla fine dei bassi fuochi e l'uso dei primi forni da ghisa in Centro Europa fra Alto e Basso Medievo. In: W. Nicomedi (ed.), The civilisation of iron from prehistory to the third millenium. Published on the occasion of the 50th anniversary of the Riva Group (Milano 2004) 197–207.

22. Jockenhövel/Willms 2004
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Tradition and innovation: Early blast furnaces in Central Europe between the early and late middle ages. In: W. Nicomedi (ed.), The civilisation of iron from prehistory to the third millenium. Published on the occasion of the 50th anniversary of the Riva Group (Milano 2004) 197–207 (engl. Fassung mit identischer Seitenzählug).

23. Jockenhövel/Overbeck 2008
A. Jockenhövel/M. Overbeck, Mediaeval iron landscapes, traditions and innovations – The genesis of early modern cultural landscapes between the rivers Meuse and Weser. In: Chr. Bartels/C. Küpper-Eichas (eds.), Cultural heritage and landscapes in Europe – Landschaften: Kulturelles Erbe in Europa. Proceedings of the international conference, Bochum, June 8–10, 2007. Veröffentl. Deutsches Bergbau-Museum Bochum 161 (Bochum 2008) 453–466.

B. Landesgeschichte, historische Eisenforschung, Geländeprospektionen

24. Knau/Sönnecken 1993
H. L. Knau/M. Sönnecken, Spätmittelalterliche Eisenverhüttung in Kierspe. Archäologie in Deutschland , Heft 1993, 51–52.

25. Knau/Sönnecken 1993
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Kerspetalsperre (Märkischer Kreis). Ein Talabschnitt jahrhundertealter Tradition insbesondere in der Eisenerzeugung und Verarbeitung. Der Märker 42, 1993, 11–18.

26. Knau/Sönnecken 1993
H. L. Knau/M. Sönnecken, Fund einer spätmittelalterlichen Massenhütte in der Jubachtalsperre, Stadt Kierspe, Märkischer Kreis. Ergebnisse einer Notgrabung. Der Märker 42, 1993, 223–226.

27. Knau/Sönnecken 2003
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Eisenverhüttung im märkischen Sauerland. Vom Rennfeuer zur Massenhütte. In: Th. Engel et al., Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5.November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 219–230.

28. Knau/Potyka 1994
H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994).

29. Knau/Sönnecken 1994
H. L. Knau/M. Sönnecken, Vom Rennfeuer zum Hammerwerk. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 249–318.

30. Sönnecken 1994
M. Sönnecken, Grabungsberichte zur Rennfeuerverhüttung. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 391–405.

31. Sönnecken/Knau 1994
M. Sönnecken/H. L. Knau, Grabungsberichte der Massenhütten im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 407–446.

32. Knau/Sönnecken 1994
H. L. Knau/M. Sönnecken, Katalog der Rennfeuerhütten im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 459–466.

33. Knau/Sönnecken 1994
H. L. Knau/M. Sönnecken, Katalog der wassergetriebenen Werke im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 467–500.

34. Knau 1995
H. L. Knau, Renn- und Roheisenverhüttung – Osemundfrischen. Zur Geschichte der Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. In: G. Magnusson (ed.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 165–171.

35. Knau/Sönnecken 1996
H. L. Knau/M. Sönnecken, Neue Funde zur Industriearchäologie von Schloß Neuhof bei Lüdenscheid. Ein Beitrag zur Eisengeschichte des oberen Elspetales und zur Bedeutung der v. Neuhoff-Ley. Der Märker 45, 1996, 201–203.

36. Knau/Sönnecken 1997
H. L. Knau/M. Sönnecken, Nobility and enterprise in iron manufacture in the late middle ages. In: P. Crew/

S. Crew (eds.), Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts of the international conference at Plas Tan y Bwlch 19–25 Sept. 1997. Plas Tan y Bwlch occasional papers 3 (Plas Tan y Bwlch 1997) 54–55 (Prepublication).

37. Knau/Sönnecken 1998
H. L. Knau/M. Sönnecken, Herscheid und der frühe Osemund. Eisenerzeugung und -verarbeitung im späten Mittelalter. In: G. Gierke (Red.), Herscheid. Beiträge zur Heimat- und Landeskunde (Altena 1998) 53–64.

38. Knau 1998
H. L. Knau, Altena als Gewerbesiedlung im späten Mittelalter. Der Märker 47, 1998, 47–58.

39. Knau/Beier/Sönnecken 2001
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Iron works and water power – The development of mechanical hammer works in the 'Südergebirge', Germany. In: Archaeometallurgy in the Central Europe III. Internat. conference Herl'any 11.–14.9.2000. Acta Metallurgica Slovaca 7, 2001 (special issue) (Košice 2001) 127–143.

C. Archäometallurgie

40. Ganzelewski/Rehren 1994
M. Ganzelewski/Th. Rehren, Das Frischen von Roheisen am Beispiel des spätmittelalterlichen Fundplatzes von Kierspe im Märkischen Kreis. Metalla 1, 1994, 3–5.

41. Horstmann 2003
D. Horstmann, Eisenverhüttung an Loope und Kaltenbach. Ein Vorbericht. In: Th. Engel et al., Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 231–240.

42. Rehren/Ganzelewski 1995
Th. Rehren/M. Ganzelewski, Early blast furnace and finery slags from the Jubach, Germany. In: G. Magnusson (ed.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 172–179.

43. Horstmann 1996
D. Horstmann, Eisenverhüttung im Märkischen Sauerland. In: Geschichtsausschuss des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.), Eisen und Stahl erobern die Ruhr. Technikgeschichtliche Vortragsveranstaltung des Geschichtsausschusses des VDEh. Fachausschussbericht 9.012 (Düsseldorf 1996) 21–28.

44. Horstmann/Knau/Sönnecken 1996
D. Horstmann/H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Roheisenerzeugung im oberen Volmetal. Ethnogr.-Archäol. Zeitschrift 37, 1996, 309–324.

45. Keesmann/Kronz 2003
I. Keesmann/A. Kronz, Schlacken verschiedener Stufen der Eisentechnologie. In: L. Chr. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and medieval direct iron smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and society. Proceedings of the Sandbjerg conference 16th to 20th September 1999. Acta Jutlandica 76/2. Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 153–162. 291–297.

46. Knau/Beier/Sönnecken 2003
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Altena in Westphalia. From bloomery to osemund – difficulties in distinguishing slags. In: L. Chr. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and medieval direct iron smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and society. Proceedings of the Sandbjerg conference 16th to 20th September 1999. Acta Jutlandica 76/2. Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 177–182.

Abschlussbemerkung: Das Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Münster (heute: Abteilung für Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie des Historischen Seminars) führte im Rahmen seines Schwerpunktes zur historischen Eisenforschung Zentraleuropas drei weitere Projekte durch, die die obige Thematik ergänzen und erweitern:

Jockenhövel/Willms 2005
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Das Dietzhölzetal-Projekt. Archäometallurgische Untersuchungen zur Geschichte und Struktur der mittelalterlichen Eisengewinnung im Lahn-Dill-Gebiet (Hessen). Münstersche Beitr. Ur- und Frühgeschichtl. Archäologie 1 (Rahden/Westf. 2005).

Verse 2008
F. Verse, Archäologie auf Waldeshöhen. Eisenzeit, Mittelalter und Neuzeit auf der „Kalteiche" bei Haiger, Lahn-Dill-Kreis. Münstersche Beitr. Ur- und Frühgeschichtl. Archäologie 4 (Rahden/Westf. 2008).

Overbeck 2011
M. Overbeck, Zu den Wurzeln der Eisenindustrie in Luxemburg. Der hoch- bis spätmittelalterliche Verhüttungsplatz aus dem Genoeserbusch bei Peppange (Luxemburg). Münstersche Beitr. Ur- und Frühgeschichtl. Archäologie 5 (Rahden/Westf. 2011).

PHYSIOGEOGRAFISCHE VORAUSSETZUNGEN DER FRÜHEN EISENGEWINNUNG UND EISENVERARBEITUNG IM MÄRKISCHEN SAUERLAND

Günter Rosenbohm (†)

Das Sauerland, dessen Name wohl von der niederdeutschen Bezeichnung „Suerland“ für Süderland, dem Südland von Westfalen, herzuleiten ist, vielleicht aber auch von „sauer“ in Verbindung mit „feucht, frisch, sumpfig, quellenreich“, bildet den nordöstlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges. Es liegt etwa zwischen der Ruhr und der Möhne im Norden – genauer: der dortigen Grenze zwischen den paläozoischen und mesozoischen Schichten – und der obersten Sieg und der obersten Lahn im Süden, dem Bergischen Land westlich der westfälisch-rheinischen Grenze im Westen und dem Hessischen Bergland östlich der westfälisch-hessischen Grenze im Osten. Innerhalb dieses Naturraums bildet das Märkische Sauerland seine nordwestliche Teilregion (*Abb. 1*). Es reicht im Norden bis an die Ruhr, im Süden bis zur historischen märkisch-kurkölnischen Grenze, der heutigen Südgrenze des Märkischen Kreises, im Westen bis zur westfälisch-rheinischen Grenze und im Osten bis zur Ostgrenze des heutigen Märkischen Kreises. Es hat seinen Namen von der ehemaligen Grafschaft Mark, die sich im Mittelalter entwickelte, 1614 in brandenburgischen Besitz überging und nach den napoleonischen Kriegen im Jahr 1815 Teil der preußischen Provinz Westfalen wurde. In Hamm erinnern noch heute Haus Mark und der benachbarte Ortsteil Mark an den ehemaligen Stammsitz der Grafen von der Mark.

Die Stellung des Märkischen Sauerlandes als mittelalterliches Zentrum der Eisenverarbeitung ist eine Folge des spezifischen Untergrundes, seines Reliefs, seines Klimas, seines Wasserreichtums und seiner Vegetation (*Abb. 2*).

RELIEF UND UNTERGRUND

Das Relief ist die Basis für das Erschließen von Bodenschätzen wie z. B. Eisenerzlagerstätten (*Abb. 3*). Überblickt man es im Märkischen Sauerland von manchen der zahlreichen Höhen, so erkennt man eine gewisse Weiträumigkeit mit welligen Hochflächen und flachen Mulden, sanft ansteigenden Bergrücken und mehr oder weniger breit ausgeräumten Talungen. Die relativen Höhenunterschiede scheinen oft nur gering zu sein. Doch dieser Eindruck ändert sich, sobald man die Höhen verlässt. Vom Rande der zum Teil kantig begrenzten Hochflächen blickt man stellenweise in tiefe Kerbtäler. Hier wird dem Betrachter angesichts mancher Quellmulden und der deutlichen Wirkung der rückschreitenden Erosion die Vergänglichkeit der Hochflächen bewusst. Viele Gewässer haben die ehemals einheitlichen, fast ebenen Flächen aus früheren Zeitabschnitten der Erdgeschichte im Laufe der Zeiten durchschnitten und bis heute zum Teil weithin aufgelöst. Besonders an den Flanken tiefer Täler sind die ebenen Hochflächenreste verschwunden und heute kuppige Berge an ihrer Stelle vorhanden.

Vielerorts gehen die Hochflächen in flache Quellmulden über, die auch als Ursprungsmulden bezeichnet werden, weil hier zahlreiche Bäche entspringen. Das Wasser verlässt diese Dellen oft in tiefen Rinnen und verstärkt talwärts seine Erosionstätigkeit. Aus kleinen Rinnsalen mit fast senkrechten Wänden werden rauschende Bäche in steilhangigen Kerbtälern. Sie vereinigen sich zu stärkeren Wasserläufen und Flüssen, die im Mittellauf durch Sohlentäler fließen. In diesen Flussabschnitten sind oft Mäanderbildungen zu beobachten. Und letztlich können die Unterläufe der größeren Flüsse noch von einem weiteren Formenelement begleitet werden: von Talterrassen eiszeitlichen Ursprungs.

Das Bild einer Mittelgebirgslandschaft gewinnt man vor allem in den Tälern. Hier werden die relativen Höhendifferenzen auffällig sichtbar. Sie sind am Nordrand des Märkischen Oberlandes und im Lennetal am größten und betragen beispielsweise im Raum Veserde-Hohenlimburg 300 Meter. Zwischen dem Balver Wald (546 m) und dem drei Kilometer östlich entfernten Hönnetal bei Sanssouci (217 m) ist der Höhenunterschied mit rund 330 Metern sogar noch größer. Und dieser wird nochmals übertroffen im Raum Plettenberg, wo der Abfall ins Lennetal von der Hohen Molmert (575 m) und dem Heiligenstuhl (584 m) auf weniger als zwei Kilometer Entfernung mehr als 350 Meter beträgt. Hier treten im Märkischen Sauerland auf engem Raum die größten relativen Höhenunterschiede auf. Aber auch in den unteren, zum Teil auch in den mittleren Talabschnitten der Ennepe, Volme, Nahmer, Rahmede, Verse, Schwarzen Ahe, Else und Öster ist die relative Höhendifferenz größer als 150 Meter.

Im südlichen Teil des Märkischen Sauerlandes haben die Berge teilweise eine Höhe von mehr als 500 Metern. Weithin verfolgbar ist der die Umgebung vor allem nach Süden stark überragende Höhenrücken des Ebbegebirges. Seine Kammlinie verläuft zwischen Meinerzhagen und Plettenberg von Westsüdwest nach Ostnordost und überschreitet an verschiedenen Stellen die 600 m-Höhenlinie. Die Nordhelle (663,3 m ü. NN) ist die höchste Erhebung im Märkischen Sauerland.

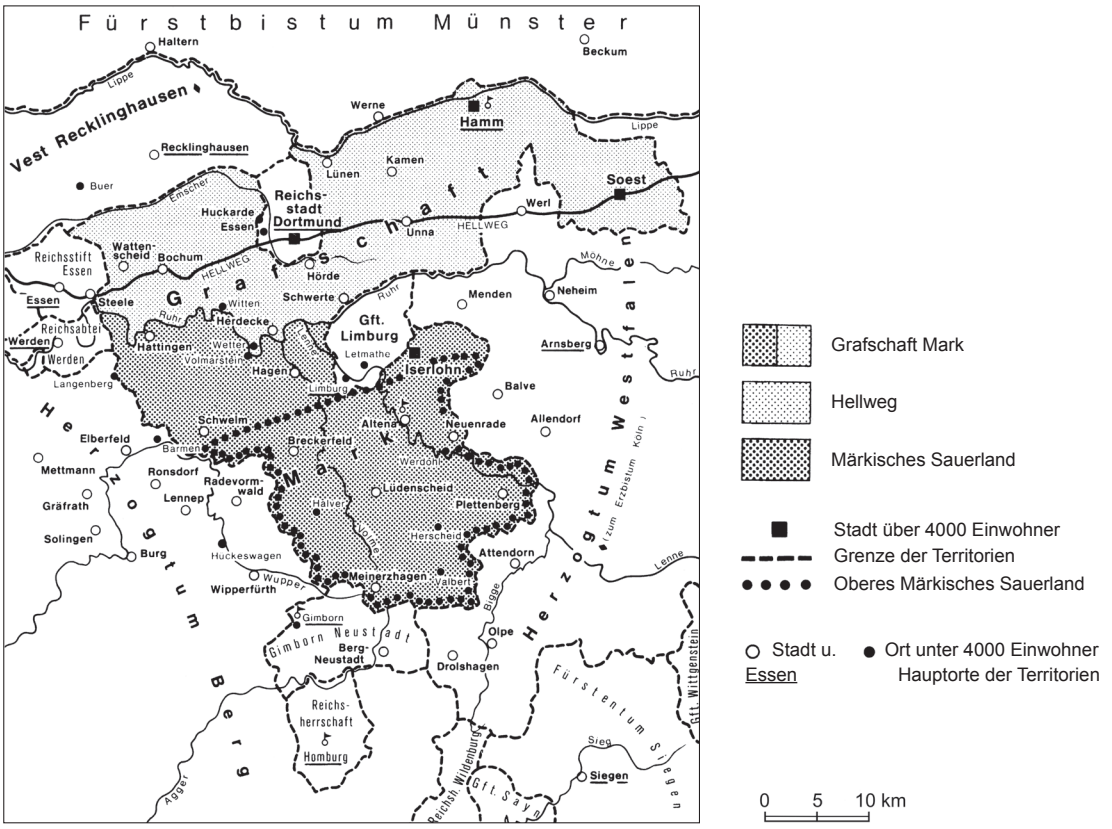
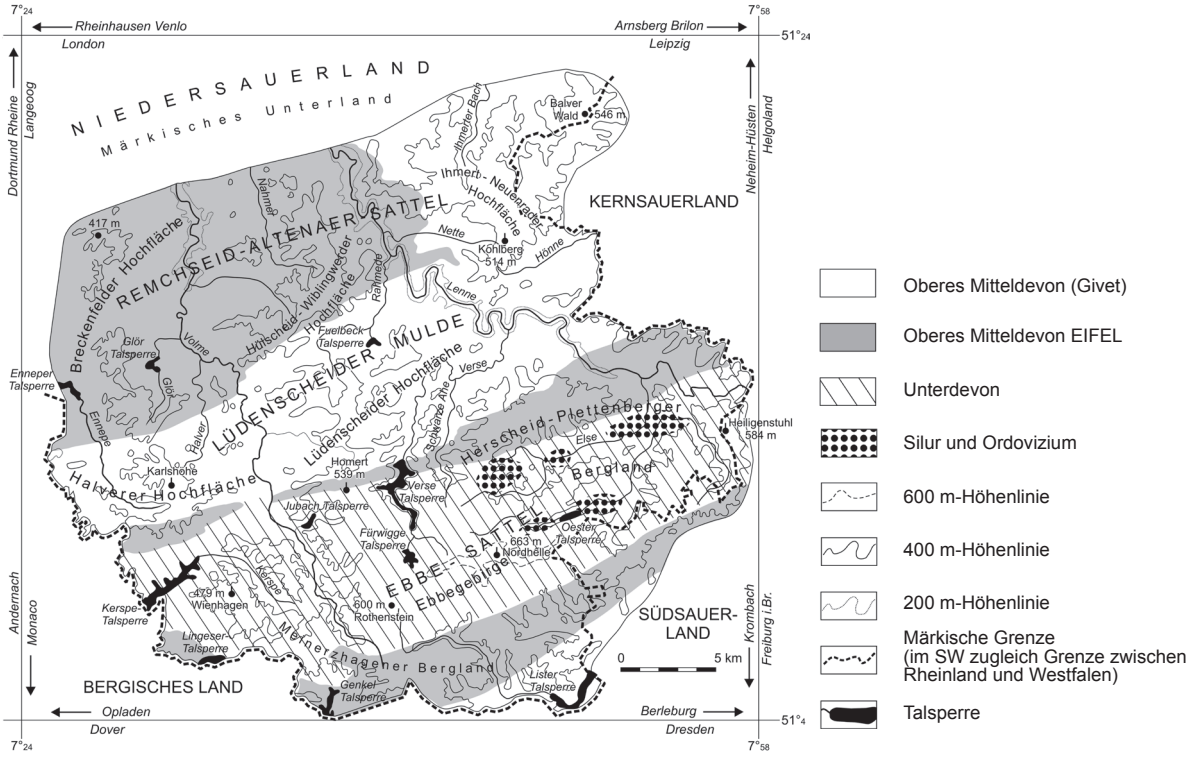


Abb. 1. Die Grafschaft Mark um 1791. „Anmerkung“ auf der von F.C. Müller, Prediger in Schwelm, gezeichneten und 1791 von P. F. Weddigen herausgegebenen Karte der Grafschaft Mark nach der Aufzählung ihrer vier „Landräthlichen Kreise“ Hamm, Hörde, Altena und Wetter: „Übrigens wird der nordwärts der Ruhr befindliche, größtenteils ebene und sehr fruchtbare Theil der Grafschaft Mark, der Hellweg, der südliche, durchaus gebürgige hingegen, das Sauerland genennet.“


7°24
7°58
Rheinhausen Venlo
London
Arnsberg Brilon
Leipzig
51°24
51°4
Dortmund Rheine
Langeoog
Neheim-Hüsten
Helgoland
Andernach
Monaco
Krombach
Freiburg i.Br.
Opladen
Dover
Berleburg
Dresden
NIEDERSAUERLAND
Märkisches Unterland
KERNSAUERLAND
SÜDSAUERLAND
BERGISCHES LAND
REMSCHEID-ALTENAER SATTEL
LÜDENSCHEIDER MULDE
EBBE-SATTEL
Hellerhöhen
Ebbegebirge
Hülscheid-Wiblingwerder Hochfläche
Lüdenscheider Hochfläche
Ihmert-Neuenrader Hochfläche
Halveraner Hochfläche
Breckenfelder Hochfläche
Hönne-Bergland
Hönne-Mulde
Hönne-Hochfläche
Hönne-Rücken
Hönne-Senke
Hönne-Talsperre
Hönne-Stausee
Hönne-Talsperre
Hönne-Talsperre
Hönne-Talsperre

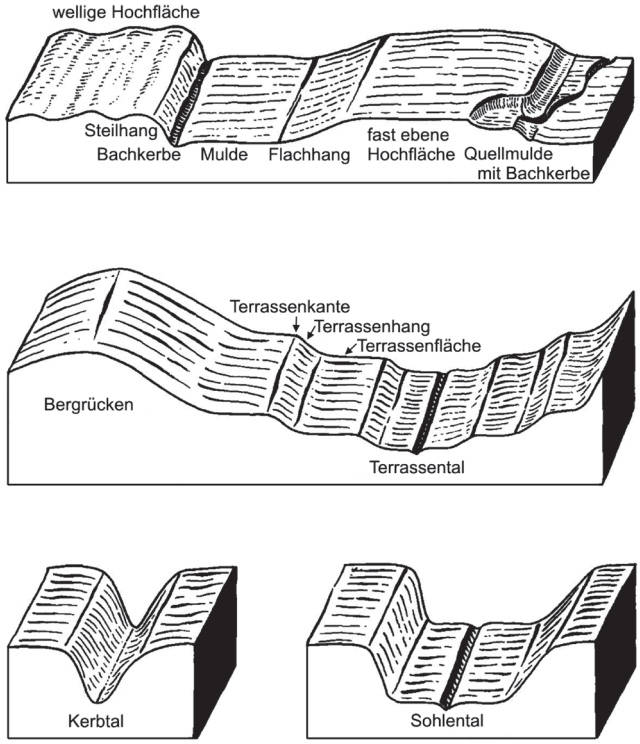


Abb. 3. Höhen- und Talformen im Oberen Märkischen Sauerland.

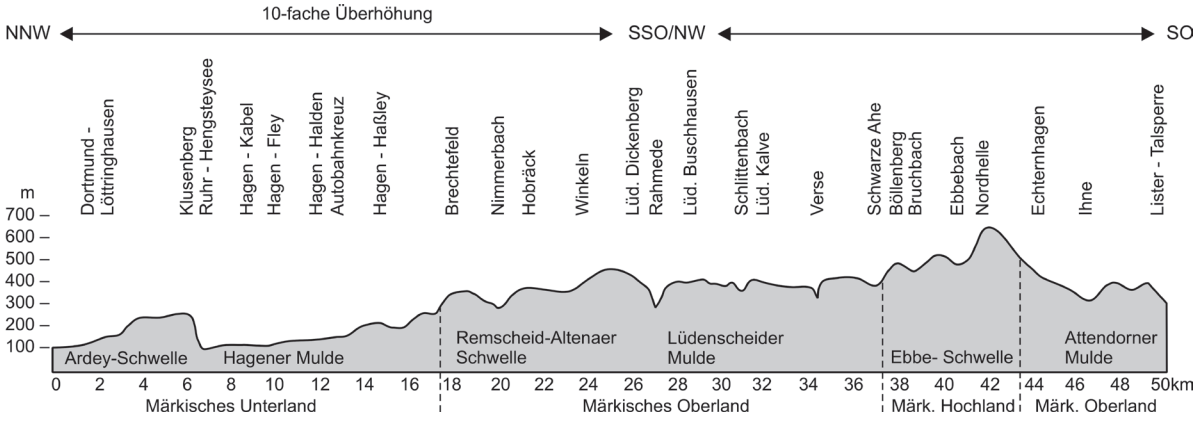


Abb. 4. Profil von der Ardey-Schwelle bis zur Attendorner Mulde.

Die Oberflächengestalt soll mit Hilfe eines Profils verdeutlicht werden.[1]

Dieses Querprofil durch das Märkische Sauerland zeigt eine Dreiteilung (*Abb. 4*). Über einen tieferen Bereich im Norden erhebt sich ein höherer im Süden, der wiederum von einer Hochregion im Raum des Ebbegebirges überragt wird. Als Trennungslinien dieser Höhenregionen kann man die 300 m- und 500 m-Isohypsen nehmen und den zugeordneten Räumen die Benennungen Märkisches Unterland (unter 300 m), Märkisches Oberland (zwischen 300 m und 500 m) und Märkisches Hochland (über 500 m) geben. Märkisches Oberland und Märkisches Hochland bilden zusammen das Obere Märkische Sauerland. Das Profil verdeutlicht zugleich die morphologische Schwellen- und Muldenstruktur des Raumes.

[1] Dieses ist vom Klusenberg (251 m) im Ardeygebirge nach Südsüdosten bis zum SOS-Kinderdorf „Sauerland“ in Lüdenscheid-Dickenberg gelegt worden. An dieser Stelle knickt es um in Richtung Südosten, quert die Verse knapp einen Kilometer unterhalb des Staudamms der Versetalsperre und verläuft über die Nordhelle (663 m) bis zur Biggetalsperre.

Der Untergrund: Rumpf eines paläozoischen Gebirges

Der Untergrund des Märkischen Sauerlandes bildet die primäre Voraussetzung der Eisengewinnung in diesem Raum (*Abb. 5*). Er besteht überwiegend aus Gesteinen mit Erzadern oder Erzgängen, die geologisch dem Paläozoikum – Karbon bis Ordovizium – zuzuordnen sind und damit einer Zeitspanne, die 280 bis 500 Millionen Jahre zurückliegt. Die ältesten Gesteine des Sauerlandes und zugleich Westfalens und des ganzen rechtsrheinischen Schiefergebirges liegen als Herscheider Schichten aufgeschlossen zwischen Herscheid und Plettenberg. Dazu gehören im Liegenden die Plettenberger Bänderschiefer und darüber zwei blauschwarze Tonschieferhorizonte mit einer dazwischen befindlichen graublauen Grauwackenzone. Diese Gesteine haben ordovizisches Alter.

Das folgende untere und mittlere Silur ist im Märkischen Sauerland nicht vorhanden. Eine Schichtlücke reicht bis zu den mergeligen, gelbbraunen Köbbinghauser Schichten, die dem oberen Silur zugeordnet wurden.

Mit den Hüinghauser Schichten beginnt die mächtige Serie devonischer Stufen, die im gesamten Märkischen Oberland verbreitet sind.

Neben den erwähnten ordovizischen und silurischen Sedimenten sind es in erster Linie unterdevonische Ablagerungen, die die Ebbeschwelle aufbauen. Sie bestehen überwiegend aus Tonschiefern und Grauwacken und enthalten Keratophyre, paläozoische Ergussgesteine, als Zeugen eines untermeerischen Vulkanismus.

Die harten, witterungsbeständigen Grauwackensandsteine und Quarzkonglomerate dieser unterdevonischen Schichten (Gedinne-Stufe) bilden im Bereich der südlichen Schwelle des Märkischen Sauerlandes markante Höhen: Markeshagen (430 m) und Wienhagen (479 m) im Gebiet von Kierspe; Homert (539 m), Griesing (505 m), Gaßmert (534 m) und Nümmert (584 m) beiderseits der Versetalsperre; Rothenstein (600 m), Nordhelle (663 m) und Heiligenstuhl (584 m) im Ebbegebirge.

Zeitlich folgen Sedimente des Mitteldevons. Beobachtet man die Feingliederung dieser paläozoischen Abteilung in unteres (Eifel-Stufe) und oberes (Givet-Stufe) Mitteldevon, so stellt man wiederum einen Zusammenhang zwischen der Stratigrafie und dem Relief fest. Schichten des unteren Mitteldevons bauen weitgehend die Remscheid-Altenaer-Schwelle, insbesondere ihre Kernregion im Gebiet von Altena, Nachrodt-Wiblingwerde, Schalksmühle und Breckerfeld auf. Auch sie bestehen überwiegend aus Tonschiefern und Grauwacken, die von zahlreichen Gängen dunkelgrüner bis schwarzer Diabase, paläozoischer vulkanischer Ergussgesteine, durchsetzt sind. Sedimente dieser Eifel-Stufe treten außerdem als maximal drei bis vier Kilometer breiter Streifen in der Umrahmung des Ordovizium-Silur-Unterdevon-Blocks der Ebbeschwelle auf und zwar etwa beiderseits der Linie Anschlag, Bollwerk, Spielwigge, Sirrin, Selscheid, Ohle, Rönkhausen, Hülschotten, Windhausen, Wilkenberg, Genkel-Talsperre.

Der übrige Raum des Märkischen Oberlandes wird von den Schichten des oberen Mitteldevons (unteres Givet) eingenommen. Ihre Sedimente sind weit verbreitet in der Lüdenscheider Mulde von Hückeswagen über Halver, Lüdenscheid, Werdohl bis Neuenrade und im Ostteil der Remscheid-Altenaer-Schwelle zwischen Dahle, Evingsen, Ihmert, Grüne und dem Balver Wald. Auch am Nordrand dieser Schwelle treten sie teils in schmaler Streifenform, teils bruchstückhaft zwischen Schwelm, Hagen-Delstern und Grüne auf. Südlich der Ebbeschwelle erfüllen sie große Teile der Attendorner Mulde. Ihre schiefrigen Gesteine sind überwiegend sandstein-, teils aber auch kalkreich. Sie leiten über zum Massenkalk, der gleichfalls noch zum oberen Mitteldevon (oberes Givet) gehört und sich am Nordrand der Remscheid-Altenaer-Schwelle von Hagen-Emst über Hohenlimburg, Letmathe, Sundwig bis Deilinghofen erstreckt und von hier bogenförmig über Klusenstein, Eisborn, Beckum, Balve um den Balver Wald herum verbreitet ist. Auch westlich von Schwelm und im Inneren der Attendorner Mulde ist Massenkalk vorhanden.

Im Norden endet das Devon mit einem schmalen Streifen oberdevonischer Sedimente westlich von Gevelsberg sowie zwischen Hagen und Hemer.

Karbonische Schichten schließen sich an. Sie beginnen mit geringer Mächtigkeit mit dem unteren Karbon, vor allem mit Ton- und Kieselschiefern, die von Grauwacken- und Konglomeratbänken durchsetzt sind.

Die oberdevonischen und unterkarbonischen Sedimente liegen bereits außerhalb unseres Untersuchungsgebietes. Doch sie tragen dazu bei, die geologische Struktur und Entwicklung unseres Raumes zu verdeutlichen.

Verallgemeinert kann man feststellen, dass im Süden des Oberen Märkischen Sauerlandes die Ebbeschwelle mit ordovizischen, silurischen und unterdevonischen Sedimenten verhältnismäßig alt ist, im Norden die Remscheid-Altenaer Schwelle westlich von Altena mit Ablagerungen des unteren Mitteldevons (Eifelstufe) jünger ist, und dass die Lüdenscheider Mulde und der Nordostteil der Remscheid-Altenaer Schwelle die jüngsten Sedimentgesteine (oberes Mitteldevon, Givetstufe) aufweisen (*Abb. 6*).

Dieser stratigrafischen Gliederung, die man auch der Tabelle „Erdgeschichtliche Ordnung im Oberen Märkischen Sauerland“ entnehmen kann (*Abb. 7*), entspricht eine tektonische: Alle Gesteinsschichten vom Ordovizium bis zum Karbon sind gefaltet. Das Einfallen oder die räumliche Lagerung dieser Schichten macht große tektonische Sattel- und Muldensysteme (Anti- und Synklinorien) deutlich. Diese sind auch als morphologische Schwellen und Mulden zu erkennen.

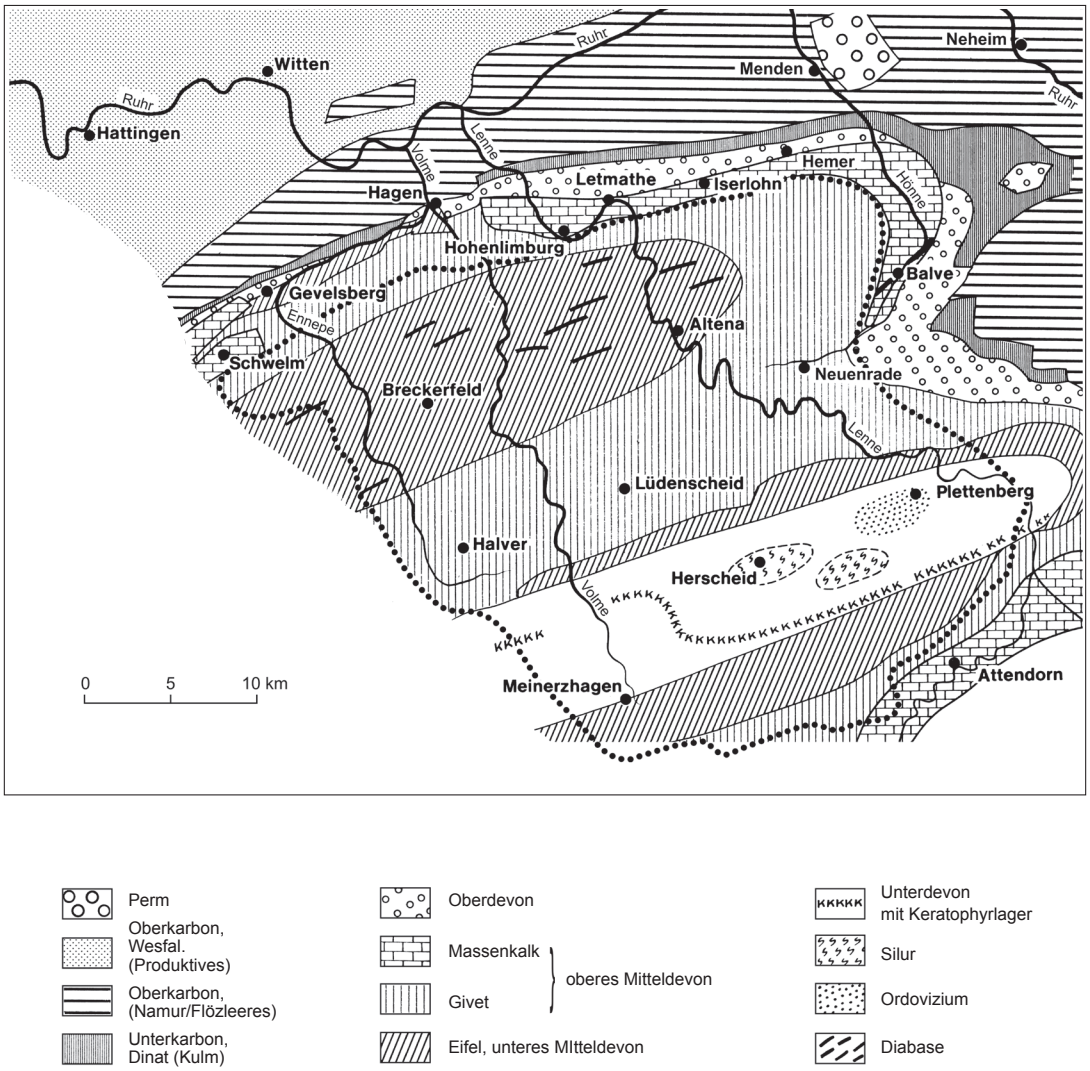


Abb. 5. Geologischer Überblick über das Obere Märkische Sauerland.

So folgt dem Ebbe-Antiklinorium im Süden des Märkischen Sauerlandes nach Norden das Lüdenscheider Synklinorium, diesem das Remscheid-Altena-Arnsberger Antiklinorium und diesem dann nach Norden das Hagener Synklinorium und das nordwärts anschließende, weniger umfangreiche Ardey-Antiklinorium.

Das heutige Relief ist das Ergebnis einer langen Entwicklung. Während des Ordoviziums, Silurs und Devons war unser Raum fast ununterbrochen Meeresboden. Gegen Ende des Ordoviziums könnte er zum ersten Mal gefaltet worden sein. Das Fehlen von Sedimenten aus der Übergangszeit vom Ordovizium zum Silur bis zum oberen Silur kann darauf hindeuten und anzeigen, dass Teile der heutigen Ebbeschwelle während dieser Zeit erstmals Festland wurden. Man vermutet, dass diese Entwicklung in Verbindung mit der takonischen Phase (vor rund 435 Mio. Jahren) der kaledonischen Gebirgsbildung stand.[2]

Die Köbbinghauser Schichten zeigen an, dass gegen Ende des Silurs die Region der heutigen Ebbeschwelle wieder, vielleicht nur unvollständig, unter dem Meeresspiegel lag. Während dieser Zeit entstand im Norden infolge der kaledonischen Hauptfaltung der Old-Red-Kontinent, dessen Südküste zu Beginn des Devons im jetzigen nördlichen Münsterland lag. Südlich der Main-Nahe-Linie war damals die umfangreiche Alemannisch-Böhmische Insel vorhanden.

Dazwischen entwickelte sich in unserem Raum ein Senkungstrog, eine Geosynklinale, in die die Flüsse und Ströme des Roten Kontinents und der Alemannischen

[2] Ziegler 1970.

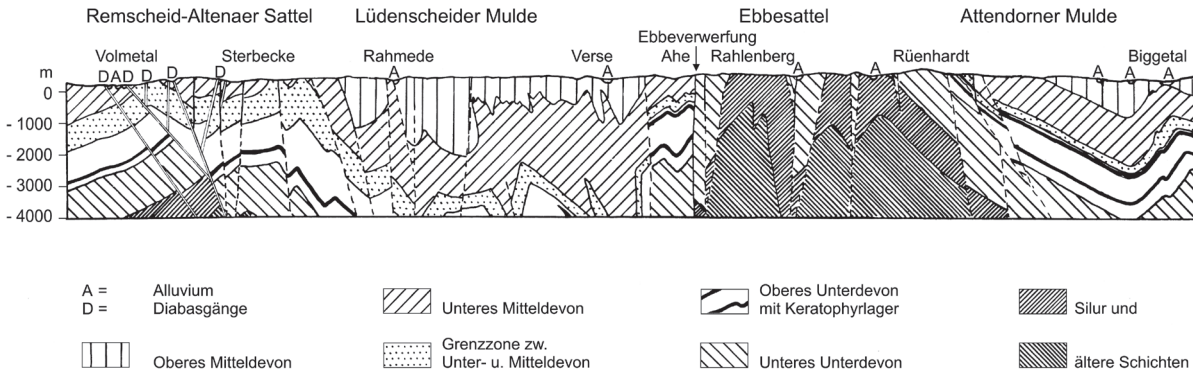


Abb. 6. Geologisches Profil zwischen dem unteren Ennepetal und dem mittleren Biggetal.

Insel sandiges, toniges und konglomeratisches Material hineinschwemmten. Da sich der Meeresboden über viele Millionen Jahre hinweg senkte, setzten sich am Boden mächtige Sedimentschichten ab, die allmählich in immer größere Tiefen gerieten und dabei mit wachsendem Druck und steigenden Temperaturen zu Gesteinen verfestigt wurden. An günstigen Stellen wuchsen unter Klimabedingungen wie heute in der Südsee zeitweise Korallenriffe. Anderswo kam es gelegentlich zu einem untermeerischen Vulkanismus. Ab Ende des Devons wurde der Senkungstrog aufgefaltet. Es entwickelte sich in mehreren Etappen das alpenartige Variszische Gebirge, das über das Rheinische Schiefergebirge, den Schwarzwald und die Vogesen im Südwesten bis nach Zentralfrankreich reichte und im Osten über Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge und Sudeten bis zur Mährischen Pforte.

Die Auffaltung setzte in der genannten Zone im Süden ein. Im Norden blieb eine flache Geosynklinale mit sinkender Tendenz zunächst erhalten. Hier entwickelten sich Moore und Sumpfwälder, die immer wieder von dem Abtragungsschutt des Gebirges überdeckt wurden. Sie bildeten die heutigen Steinkohlenflöze. Doch gegen Ende des Karbons wurde auch diese Saumtiefe ausgefaltet und als nördliche Gebirgszone dem bereits vorhandenen Gebirge im Süden angeschweißt.

Bei dieser Geosynklinal- und anschließenden Faltengebirgsbildung entstanden gewaltige Drücke. Diese führten dazu, dass die gefalteten Schichten zerbrachen und an vielen Stellen von zum Teil tief reichenden Spalten und Klüften durchsetzt wurden, in die dann mehr oder weniger zäh- oder leichtflüssige Eisenerzschmelzen, aber auch andere aus dem Erdinneren, dem flüssigen äußeren Erdkern, eindringen und sich verfestigen konnten.

Mit der Herauspressung der gefalteten Schichten aus der Geosynklinalen setzte der Angriff der exogenen Kräfte – der Verwitterung, der Erosion – auf das sich bildende Gebirge ein. Verhältnismäßig schnell – in geologischen Zeitabschnitten gesehen – wurde es wieder abgetragen und wie man sagt: eingerumpft. Bereits am Ende des Perms – rund 60 Millionen Jahre nach dem Ende des Karbons – soll eine flachwellige Fastebene den Rumpf des Variszischen Gebirges bedeckt haben. Nach einer wechselvollen Entwicklung während des Mesozoikums war auch zu Beginn des Tertiärs eine solche Rumpffläche vorhanden. Es setzte eine langsame Hebung des alten gekappten Gebirgsrumpfes ein. Vor allem durch das Einschneiden der Bäche und Flüsse in dieses sich hebende Rumpfgebirge konnten dann die heutigen Oberflächenformen entstehen. Dabei wirkte während der Eiszeiten die periglaziale Solifluktion – das Bodenfließen einer Auftauschicht auf gefrorenem Untergrund im Bereich vor den Gletscherrändern – besonders bei der Gestaltung der Ursprungsmulden und asymmetrischen Täler mit.

Auf die Eiszeiten des Pleistozäns sind außerdem fast alle Terrassen an den Flanken der Täler, vor allem der Lenne und Volme, zurückzuführen. Sie sind dadurch entstanden, dass sich jeweils die jüngere Talsohle in die bereits vorhandene ältere eingetieft hat. Dabei hat, in Verbindung mit Senkungen der Erosionsbasen und/oder Hebungen der Quellräume, die durch die Eis- und Zwischeneiszeiten bedingte wechselnde Wasserführung der Flüsse und die davon abhängige unterschiedliche Erosionskraft eine wichtige Rolle gespielt.

Viele der Erzlagerstätten, die man heute an der Erdoberfläche oder darunter findet, wurden in Verbindung mit der Kappung des Gebirgsrumpfes und der anschließenden Hebung dieses Rumpfes angeschnitten oder freigelegt; viele wurden zudem während der gebirgsverändernden Prozesse durch endogene und exogene Kräfte umgelagert, erodiert und andernorts in nun neuen, meist weniger erzhaltigen Lagerstätten wieder abgesetzt, wie beispielsweise in den devonischen Schichten des Märkischen Sauerlandes.

Eine Folge der wechselvollen geologischen Geschichte ist die heutige Verbreitung der verschiedenen Gesteine mitsamt ihrer Erz-Inhalte.

Formation/ Abteilung	*Stufe Jahre vor heute*	*Schichten*	*Gesteine/Horizonte*
Quartär/ Holozän	Ablagerungen in den Fluss- u. Bachtälern		Schluff, tonig, z.T. sandig
	12 000 J.		
Quartär/ Pleistozän	Weichsel-Eiszeit	Hang- u. Hochflächenlehm, Hangschutt	Schluff, tonig, sandig, mit eckigem Gesteinsschutt
	70 000 J.		
	Ältere Kalk- und Warmzonen	Mittel- u. Haupt terassenreste beiderseits von Lenne u. Volme	Kies, sandig, schluffig, steinig; z.T. unter Löss und Lösslehm
	3 Mio. J.		
Schichtlücke: Oberes Märkisches Sauerland Festland und vielleicht nur während der Oberkreidezeit, als es noch wesentlich tiefer lag, im Norden vom Meer überflutet			
	320 Mio. J.		
Unterkarbonische und Oberdevonische Schichten bis hin zum Massenkalk begrenzen das vom Mitteldevon geprägte Oberland im Nordosten u. Norden			
	370 Mio. J.		
Devon/ Mitteldevon	Givet	Obere Honseler Schichten	Tonstein, schluffig, geschiefert, grün bis grau mit Kalksteinlinsen
		Untere Honseler Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, grün bis grau, rot; Sandstein, tonig, schluffig, grau, mit Kalksteinlinsen
		Finnentroper Schichten	Sandstein, schluffig-tonig, grün bis grau; Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert, grün und grau
	Eifel	Brandenberg-Schichten	Sandstein, schluffig-tonig, grün bis grau, rot; Schluff- und Tonstein, geschiefert, grün u. rot
		Selsenscheider Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert; grün bis grau, untergeordnet Sandstein
		Unnenberg-Sandstein u. Ohler Schiefer	Sandstein, schluffig-tonig, grau; Tonstein, sandig, geschiefert, grau
		Mühlenberg-Schichten	Sandstein, schluffig-tonig, grün bis grau; Schluff- und Tonstein, geschiefert, grün bis grau
		Hobräcker Schichten	Tonstein, sandig, schluffig, z.T. kalkig und flascrig, geschiefert, grün bis grau blaugrau; Sand- u. Schluffstein, grün u. rot, Klalksteinlinsen
		Hohenhöfer Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert, grün bis grau, Schluff- u. Sandstein, grau bis grün, rot

Formation/ Abteilung	*Stufe Jahre vor heute*	*Schichten*	*Gesteine/Horizonte*
	380 Mio. J.		
Devon/ Unterdevon	Ems	Cultrijugatus-Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert, grün bis grau; Sandstein, z.T. kalkig; Keratophyrtuff u. Kalksteinlinsen
		Remscheider Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert, grün bis grau; Sandstein, grau. z.T. Quarzkeratopyhr
		Sieseler Schichten	Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert, grau u. schwarz; Sandstein, Quarzit u. Quarzkeratophyr
	Siegen	Paseler Schichten	Sandstein, schluffig-tonig, grau; Tonstein, sandig-schluffig, geschiefert; Konglomerate
	Gedinne	Bunte Ebbe-Schichten	Tonsteine, geschiefert, rot, grün, gelb, grau; Sand- u. Schluffsteine mit Rippelmarken, hellgrau, örtlich Konglomerate; Quarzkeratophyr u. Quarzkeratophyrtuff
		Bredeneck-Schichten	Sandsteine, z.T. dickbankig, feinsandig- quazitisch u. schluffig; Tonsteine, geschiefert, sandig-schluffig; Qarzkeratophyr u. Quarzkeratophyrtuff
		Hünighauser Schichten	Tonsteine, geschiefert, sandig-schluffig, kalkhaltig, grau, ockerfarbig verwitternd, kieselige Geoden; ockrige Kalke (oberer Horizont)
	395 Mio. J.		
Vermutliche Schichtlücke			
Silur (oberstes)	Pridolium	Köbbinghauser Schichten	Ockrige Kalke (unterer Horizont), Tonsteine, geschiefert, splittig, schwachsandig, grau, gelbbraun verwitternd
	410 Mio. J.		
Schichtlücke:	Dieser Raum des Obereren Märkischen Sauerlandes war während dieser Zeit möglicherweise Festland		
	440 Mio. J.		
Ordovizium	Caradoc	Herscheider Schichten	Oberer Tonschieferhorizont: Tonsteine, geschiefert, blauschwarz mit sandigen Bändern
	Llandeilo		Grauwackenschieferhorizont: Sandstein, sandig, feinsandig, Quarzkörner, Glimmer
	Llanvirn		Unterer Tonschieferhorizont: Tonsetine, geschiefert, ockergelb, braun; oben: blauschwarz
			Plettenberger Bänderschiefer: Tonsteine, geschiefert, grau-blau, gebändert mit dünnen Sandbändern u Quarzadern
	500 Mio. J.		

Abb. 7. Erdgeschichtliche Ordnung im Oberen Märkischen Sauerland.

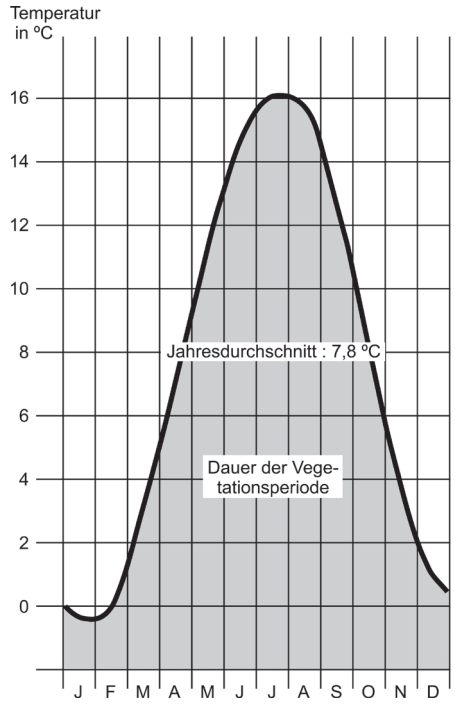


Abb. 8. Jahresgang der Temperatur in Lüdenscheid.

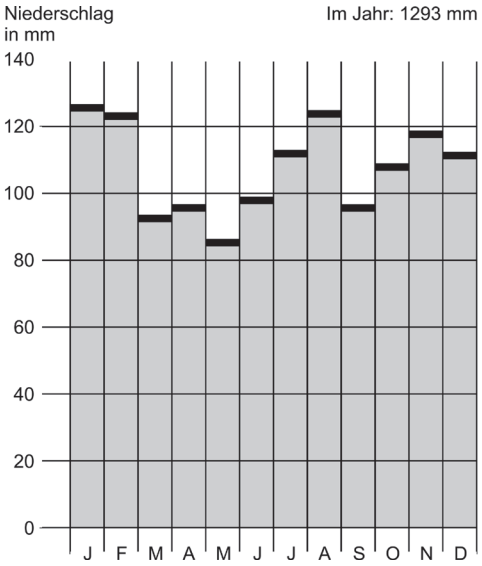


Abb. 9. Jahresgang des Niederschlags in Lüdenscheid.

KLIMA UND VEGETATION

Auch das Klima hat das Eisengewerbe im Märkischen Sauerland günstig beeinflusst. Wesentliche Elemente des hier vorhandenen ozeanisch geprägten Höhenklimas sind seine großen Niederschlagsmengen, seine sommerliche Frische und seine winterliche Milde mit gemäßigten Temperaturen (*Abb. 8; 9*). Einige Mittelwerte der zentral gelegenen Klimahauptstation sollen das verdeutlichen.[3] In der mittleren Häufigkeit der Windrichtungen machen Südwestwinde (21,2 %), Westwinde (18,8 %) und Südwinde (16,3 %) fast drei Fünftel aller Richtungen aus. Kalmen (Windstillen: 5,6 %) und Nordwestwinde (5,7 %) haben die geringsten Prozentsätze.[4] Während der mittelalterlichen Eisengewinnung wurden diese natürlichen Winde durch künstliche – mit Hilfe von Blasebälgen – verstärkt. Die Jahresschwankung zwischen dem kältesten und wärmsten Monat (Januar und Juli) beträgt 16,5° C. Die mittlere Jahrestemperatur von Lüdenscheid liegt bei 7,8° C. Insgesamt 90,2 Frosttage, an denen die Temperatur wenigstens einmal innerhalb von 24 Stunden unter 0° C sinkt; 27,6 Eistage, an denen auch die Höchsttemperatur unter 0° C liegt und 21 Sommertage mit einem Maximum über 25° C sind in Lüdenscheid zu erwarten.[5]

Westlich und nördlich vom Oberen Märkischen Sauerland werden in Mitteleuropa Höhen über 400 m nicht wieder erreicht. Wie ein Bollwerk erhebt sich das Obere Märkische Sauerland aus den benachbarten Tiefländern. Zudem ist sein Relief nach Westen und Norden geneigt. So kommt es zu einem Aufgleit- und Staueffekt der Regen bringenden westlichen bis nördlichen Winde, der durch das Ebbegebirge deutlich verstärkt wird. Neben dem Hohen Venn und dem Rothaargebirge fallen hier und im benachbarten Bergischen Land die höchsten Niederschläge Nordrhein-Westfalens. In Deutschland werden gleichgroße Niederschlagsmengen nur von wenigen Mittelgebirgsstationen und höhere lediglich im Harz, Schwarzwald, Böhmerwald und in den Alpen gemessen.[6] Südwestlich der Linie Breckerfeld – Lüdenscheid – Herscheid sind die Regenmengen stellenweise noch etwas größer, nordöstlich davon schwanken sie zwischen 900 und 1100 mm/Jahr. Diese Niederschlagsmengen und die davon abhängige relativ gute, ganzjährige Wasserführung der Bäche und Flüsse waren wesentliche Voraussetzungen zur Nutzung der Wasserkraft durch das frühere Eisengewerbe.

[3] Die Klimahauptstation befindet sich im Zeppelin-Gymnasium in Lüdenscheid und wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts jahrzehntelang von Studiendirektor Friedrich-Wilhelm Giedinghagen geleitet.

[4] Die Monats- und Jahresmittel der Lufttemperaturen in Grad Celsius sind: Jan. -0,4; Feb. -0,1; März 3,6; April 7,2; Mai 11,5; Juni 14,7; Juli 16,1; Aug. 15,7; Sept. 13,0; Okt. 8,2; Nov. 3,9; Dez. 0,8; Jahr 7,8.

[5] Zum Vergleich seien die entsprechenden Werte für die Zentren der beiden benachbarten Tieflandbuchten aufgeführt. So gibt es in Köln im Mittel nur 44,3 Frosttage und 9,2 Eistage, aber 29,6 Sommertage; in Münster 74,7 Frosttage, 14,4 Eistage und 30,3 Sommertage.

[6] Die mittleren Niederschlagsmengen in Millimetern für Lüdenscheid sind: Höhe 450 m ü. NN: Jan. 128, Feb. 124, März 93, April 98, Mai 85, Juni 99, Juli 112, Aug. 123, Sept. 95, Okt. 107, Nov. 118, Dez. 111, Niederschlagsmenge ges./Jahr 1293.

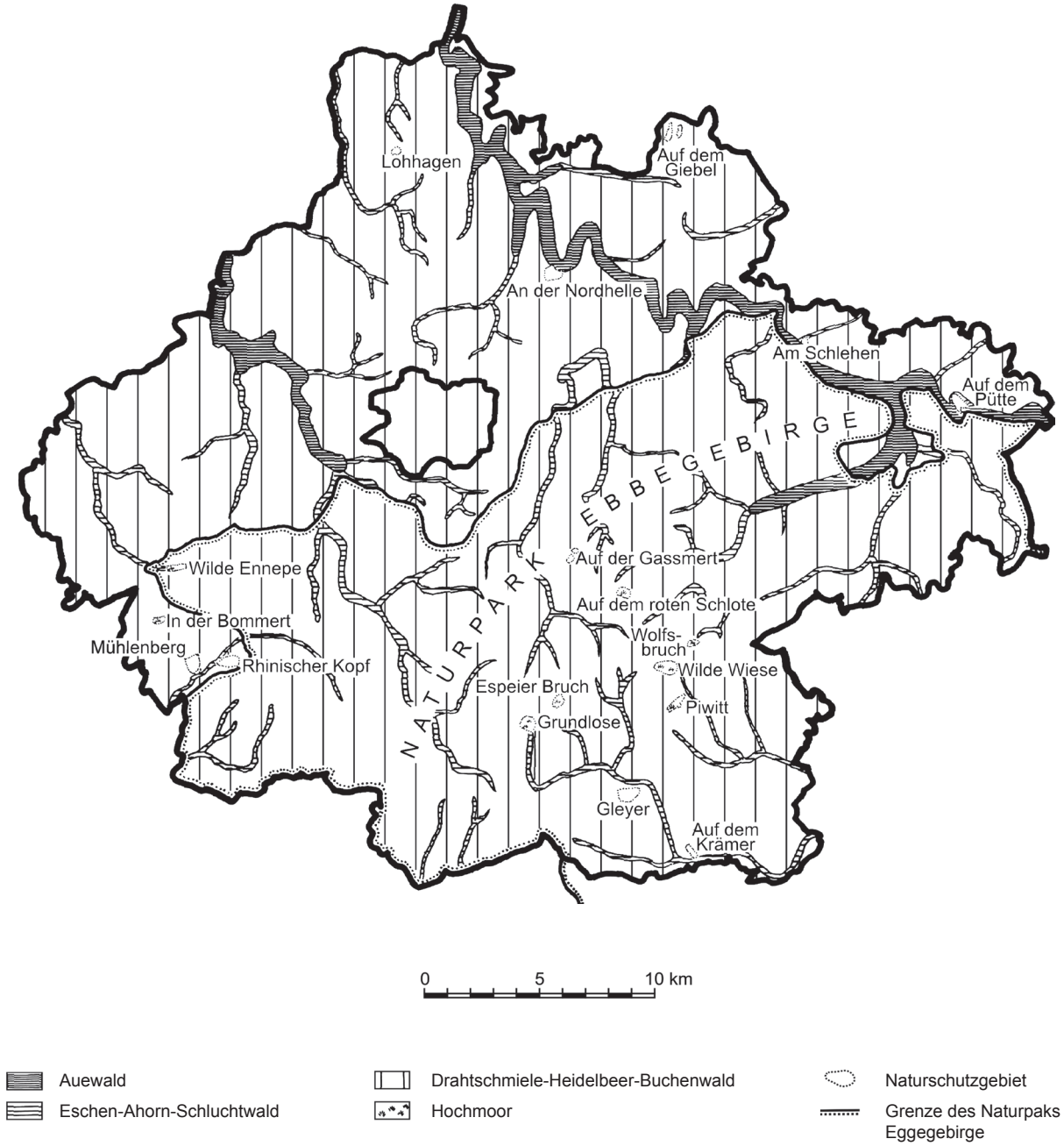


Abb. 10. Natürliche Pflanzendecke in Lüdenscheid und im früheren Landkreis Altena.

Märkische Vegetation – einst und jetzt

Die Karte der natürlichen Pflanzendecke im früheren Landkreis Altena einschließlich des Stadtkreises Lüdenscheid gibt zugleich die Vegetationsverhältnisse wieder, die wir heute im Oberen Märkischen Sauerland antreffen würden, wenn der Mensch nie umgestaltend in das Landschaftsbild eingegriffen hätte (*Abb. 10*). Man findet auf ihr außerhalb der Täler vorwiegend den Drahtschmiele-Heidelbeer-Buchenwald, dessen Baumschicht außer den Rotbuchen recht oft die Traubeneiche enthält, die zum Bergischen Land hin stellenweise sogar vorherrschen kann. Auf nährstoffreichen Böden findet man in der Krautschicht an Stelle von Drahtschmiele und Heidelbeere: Farn und Waldschwingel.

Die Lenne und die Mittel- und Unterläufe von Volme und Else werden vom Auewald mit Eichen, Schwarzpappeln und Weiden begleitet. An den Oberläufen von Else und Volme sowie im Bereich der übrigen tief eingeschnittenen und meist engen Täler zieht sich der Eschen-Ahorn-Schluchtwald bergaufwärts. So etwa sah das Waldgefüge im Oberen Märkischen Sauerland vor rund 1000 Jahren aus. Kleinere Moore wie Wolfsbruch, Wilde Wiese, Grundlose oder das Kamm-

moor auf dem Kamm des Ebbegebirges gab es zu dieser Zeit vor allem an den Hängen und stellenweise auf den Hochflächen des Ebbegebirges.

Von dieser ursprünglichen Vegetation sind heute, zum Teil in verschiedenen Naturschutzgebieten, nur noch geringe Reste vorhanden. Der verstärkte Eingriff des Menschen in die Naturlandschaft ab etwa 1000 n. Chr. hat das Waldbild im Oberen Märkischen Sauerland stark verändert. Mit Neugründungen von Siedlungen in der großen Rodungsperiode, die im 7./8. Jahrhundert begann und verstärkt vom 10.–13. Jahrhundert andauerte, der Erweiterung vorhandener Hof- und Wirtschaftsflächen und -gebäude und der Anlage von Eisenerzgruben, -hütten und -schmieden und der wachsenden Bevölkerung verschwand immer mehr Wald. Von Jahrhundert zu Jahrhundert stieg der Bedarf an Bau- und Brandholz, Kohl- und Aschenholz. So konnte es auf die Dauer nicht ausbleiben, dass der Wald zerstört wurde. Dazu vernichtete die gesteigerte Waldweide (sog. Hude) den Jungwuchs und verhinderte eine natürliche Verjüngung. Verheerend wirkte stellenweise der Ziegenfraß. Es wurde erforderlich, dass die Markgenossenschaften „Holzordnungen“ erließen, die dem Schutz und der Pflege des Waldes dienen und Zerstörungen wieder beseitigen sollten. Die „*Ordnung up Herscheider Marcken*“ vom 23.10.1585 (sog. Budde) lässt das für unseren Raum erkennen. Ihr kann man auch entnehmen, dass damals der Wald in erster Linie aus Buchen-Hochwäldern, gemischten Buchen-Eichen-Hochwäldern und in geringem Umfang aus Eichen-Hochwäldern bestand. In der Folgezeit erreichte mit der Auflösung der Markgenossenschaften und der Teilung der Marken – Herscheider Mark 1756–1819 – gegen Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts die Waldvernichtung ihren Höhepunkt. So heißt es z. B. 1791 in einer „*Anweisung zu einer besseren Holzkultur in der Grafschaft Mark*“: „*Es gibt sehr viele Berge, welche traurig aussehen, nichts als Heede, Wacholder und Heidelbeer-Strauch, wo dann auch kein anderer Nutzen daraus gezogen wird,*[...]“. In großem Umfang entwickelten sich Eichen-Birken-Niederwälder und Heideflächen, an deren Stelle einige Jahrzehnte später die ersten Fichtenforste traten. Wegen ihrer Schnellwüchsigkeit und ihres hohen Nutzungswertes vom Weihnachtsbaum und der Bohnenstange bis zum Gruben- und Möbelholz wurde die bis dahin kaum verbreitete Fichte in steigendem Maße angepflanzt, so dass sie heute im Oberen Märkischen Sauerland etwa die Hälfte aller Wälder einnimmt.

ZUR PHYSIOGEOGRAFIE UND TOPOGRAFIE AUSGEWÄHLTER MÄRKISCHER RENNHÜTTEN- UND FLOSSÖFEN-STANDORTE

Die physiogeografischen Voraussetzungen für die frühere Eisengewinnung und Eisenverarbeitung im Märkischen Sauerland waren ausgesprochen günstig, wenn nicht zeitweise optimal. Eisenerze sind im devonischen Untergrund vielerorts zu finden: östlich der Nordhelle (663,3 m) im Kammbereich des Ebbegebirges z. B. Siderit oder Eisenspat ($FeCO_3$), Hämatit oder Roteisenstein (Fe_2O_3) und Martit, ein durch thermische Einwirkung zu Hämatit umgewandelter Magnetit (Fe_3O_4).[7]

Wälder mit Bäumen, deren Holz in Meilern zu Holzkohle verglüht werden konnte, waren weit verbreitet und über Jahrhunderte für die Köhlerei zeitlich ununterbrochen nutzbar. Doch kam es dabei in Verbindung mit der sich seit dem Mittelalter stärker entwickelnden Eisenverhüttung und Eisenverarbeitung zur Umwandlung von Rotbuchen-Hochwäldern in Buchen-Niederwälder und Eichen-Birken-Niederwälder sowie Wacholder-Bergheiden, deren Reste Anfang des dritten Jahrtausends nach Christus noch zu sehen sind.

Wasser, als eines der Lebensmittel der hier im Märkischen Sauerland bäuerlich und in der Eisengewinnung und Eisenverarbeitung tätigen Menschen und als Betriebsmittel in den Hütten und Hammerwerken mit ihren Blasebälgen und Schmieden, war reichlich vorhanden. Besonders die Südwestregion des Oberen Märkischen Sauerlandes war sehr niederschlagsreich. Hier fielen zwischen dem Griesing (511,5 m ü. NN), der Kerspetalsperre und Meinerzhagen noch etwa 5–10 % höhere Niederschlagsmengen als im ziemlich zentral gelegenen – schon stark beregneten – Lüdenscheid.

Auch das Relief trug mit seinen vielerlei Formen und unterschiedlichen Höhenlagen zur Ordnung der Hüttenstandorte bei. Es beeinflusste – im wahrsten Sinne dieses Wortes – gleichfalls die topografische Lage dieser Standorte und in Verbindung damit natürlich auch die der Siedlungen seiner Bewohner. Dies ist noch heute festzustellen. So liegen die alten bäuerlichen Siedlungen – Einzelhöfe oder kleinere Gruppensiedlungen/Weiler – überwiegend in den relativ trockenen Bereichen der Ursprungsmulden; meist in Quell- oder Grundwassernähe oberhalb des Grundwasserspiegels. Denn auf Wasser als Lebensmittel war man täglich angewiesen. Es quillt seit weit zurückliegenden Zeiten aus diesen Quell- oder Ursprungsmulden ständig mit Wassertemperaturen von etwa 6 °C bis 9 °C hervor.

[7] Grabert 1983.

LITERATUR

Binczyk 1998
W. Binczyk, Bergbau in Herscheid. Grubenlehrpfad hält die Erinnerung wach In: Herscheid Beiträge zur Heimat und Landeskunde (Altena 1998).

Blüthgen 1966
J. Blüthgen, Allgemeine Klimageografie (Berlin 1966).

Geolog. Landesamt NRW 1981/83
Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000, Blätter C 4710 Dortmund (1981) und C 5110 Gummersbach (1983) (Krefeld 1981/83).

Grabert 1983
H. Grabert, Das Nordhelle Konglomerat im Unterdevon. In: Erläuterungen zu Blatt C 5110 Gummersbach. Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Krefeld 1983).

Pott 1985
R. Pott, Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen zur Niederwaldwirtschaft in Westfalen. Abh. Westf. Mus. Naturkde. 47, 1985.

Rosenbohm 1963
G. Rosenbohm, Zur Geographie des Kreises Altena. In: Das Herz des Märkischen Sauerlandes (Altena 1963).

Rosenbohm 1974
G. Rosenbohm, Naturräume zwischen Ardey und Ebbegebirge. Der Märker 3, 1974, 102–110.

Rosenbohm 1975
G. Rosenbohm, Industrieräume im Märkischen Kreis. In: H. F. Gorki/A. Reiche (Hrsg.): Festschrift für Wilhelm Dege (Dortmund 1975) 129-149.

Rosenbohm 1978
G. Rosenbohm, Zur Geographie des mittleren Lennetals. Natur- und Landschaftskunde in Westfalen 14, 1978, 33–42.

Rosenbohm 1990
G. Rosenbohm, Zur Geologie. In: Kierspe. Beiträge zur Heimat- und Landeskunde (Altena 1990).

Rosenbohm 1995
G. Rosenbohm, Oberes Märkisches Sauerland. Landschaftsführer des Westf. Heimatbundes 15 (Münster 1995).

Rosenbohm 1998
G. Rosenbohm: Herscheids geographische Lage. In: Herscheid. Beiträge zur Heimat- und Landeskunde (Altena 1998).

Speier 1999
M. Speier, Das Ebbegebirge. Vegetationskundliche und paläoökologische Untersuchungen zur Vegetations- und Landschaftsgeschichte des Hochsauerlandes. Abh. Westf. Mus. Naturkde. 61, Heft 4 (Münster 1999).

Ziegler et al. 1970
W. Ziegler, H. v. Kamp, M. Reinhardt, A. Scherp, Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 4713: Plettenberg (Krefeld 1970).

KIERSPE-FERNHAGEN (MÄRKISCHER KREIS), VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 11

Christoph Willms

Die erste der insgesamt vier Grabungen im Projekt „Märkisches Sauerland“ (MSL) fand in der Flur „Fernhagen“, ca. 4,6 km nordöstlich der Stadt Kierspe (Märkischer Kreis) gelegen, in einer Höhenlage von etwa 400 m ü. NN am Hagener Bach in einem Waldgelände statt (r 3404500; h 5670600) (*Abb. 1*).

Bemerkenswert ist die topografische Verortung dieses Objektes in eine Reihe weiterer Verhüttungsplätze und Fundstellen im näheren Umkreis (*Abb. 2*).

Die archäologischen Untersuchungen an Verhüttungsplatz Nr. 11 (1.–25. August 1994) galten einer großen podiumartigen Geländestruktur, die in Verbindung mit den auftretenden Schlacken als Standort eines Rennfeuers in Frage kam. Weniger die Gras- und Krautschicht, als vielmehr die große Menge an Fallholz behinderte den Blick und erschwerte die Platzdiagnose sowie die Festlegung der Flächenausdehnung. Unmittelbar bachbegleitend und an feuchten Standorten breiten sich Erlen aus, an die sich – noch in Tallage – Lärchen anschließen. Im nördlich angrenzenden Hangbereich stockt teils Fichten- und teils Laubhochwald (*Abb. 3*). Nicht einmal 50 Meter oberhalb des Platzes Nr. 11 liegt ein morphologisch beinahe identischer Schlackenplatz mit schweren Rennfeuerschlacken (Nr. 12) und Überlagerung durch einen Holzkohlemeiler (Durchmesser etwa 7–8 m) (*Abb. 4,1*).

Bachbettprospektionen im Rahmen des Forschungsprojektes erbrachten unmittelbar am Fundplatz Nr. 12 neben zahlreichen, durch das Fließgewässer teilweise stark kantenverrundeten Schlacken außerdem eine größere Bodenscherbe (*Abb. 4,3*), die wahrscheinlich aus der Geländekante herausgewaschen worden war. Das Gefäß (Steinzeug mit Salzglasur) verfügt über einen flachen, leicht nach innen gewölbten Standboden. Es handelt sich um einen glatten, mit einer Rille gegen den übrigen Gefäßkörper abgesetzten Boden, der wahrscheinlich zu einem kleinen Krug gehörte. Die Datierung passt zur Meilerphase.

Knapp 500 m unterhalb von Fundplatz Nr. 11 befindet sich ein kleiner Stausee (ehemals etwa 50 x 30 m) mit zwei vorgelagerten Schlackenplätzen von zwei historisch belegten Frischfeuern (Nr. 39, 40), an denen zahlreiche Schlackenzapfen und -kalotten abgelagert sind. Oberhalb der Anlagen Nr. 11 und Nr. 12, d. h. höher als 400 m ü. NN, befinden sich an den Bächen, Seifen und Quellmulden offenbar ausschließlich klassische Rennfeuerplätze, also solche ohne wasserradgetriebene Gebläse.[1]

Der Hagener Bach mündet in die Jubach, die ihrerseits um die Jahrhundertwende zur heutigen Jubachtalsperre aufgestaut wurde. An ihrem linken Bereich konnte im Jahre 1992 während Sanierungsarbeiten, bei denen das Stauwasser abgelassen wurde, die mächtige raugemauerte Ruine eines Floßofens im Zuge einer Notgrabung durch H. L. Knau und M. Sönnecken dokumentiert werden (Fundplatz Nr. 36: s. S. 335 ff.).

Zur örtlichen Wassersituation ist zu bemerken, dass bei der Erstbesichtigung des Platzes der Hagener Bach noch reichlich Wasser führte, während wenige Tage später bei Grabungsbeginn und bis zum Ende der Grabung nur noch ein schmales Rinnsal übriggeblieben war. Das zeigt, dass hier im Sommer vermutlich nicht durchgängig mit Wasserantrieb gearbeitet werden konnte, wir also für die Zeit des Hüttenbetriebs an eine Saisonarbeit als einen willkommenen Nebenerwerb zur Landwirtschaft denken müssen.

PROSPEKTION UND GRABUNGSTECHNIK

Geophysikalische Prospektion

An diesem Fundplatz konnten auch die sonst mit großem Erfolg durchgeführten geophysikalischen Messungen keine klaren Erkenntnisse zur Struktur liefern (*Abb. 5–7*).

Erschwerend kam hinzu, dass die geophysikalischen Messungen erst einige Tage nach Grabungsbeginn am 3. August 1993 durchgeführt werden konnten. Die Messungen bestätigten lediglich, dass die zwei wesentlichen Positivmaxima in den bereits angelegten Grabungsflächen erfasst worden sein mussten (*Abb. 7,B–C*). Weitere Anomalien sind offensichtlich auf die bereits erfolgten Bodeneingriffe im Rahmen der begonnenen Ausgrabung zurückzuführen (*Abb. 7,1–3*). Bei einer abschließenden Datenbearbeitung wurden allerdings noch einige Strukturen deutlich: zum Beispiel der Meilerrand im Osten (*Abb.6B–E*) und im Westen (die scharfe, halbkreisförmige Grenze zwischen Positiv- und Negativanomalie [*Abb. 6B–C*]), wie auch Teile des Grabens (*Abb. 6B–D*). Die niedrigen Werte bei Stelle A reflektieren die ofenartigen Befunde in Quadrat V. Die Ausmaße des Schlackenplatzes sind ausgehend von diesen Untersuchungen mit 20 x 15 m zu veranschlagen.

Grabungstechnik

Insgesamt wurden knapp 70 m² des Fundplatzes archäologisch untersucht (*Abb. 8*).

[1] Knau/Sönnecken 1994b, 460 Nr. 13–27.

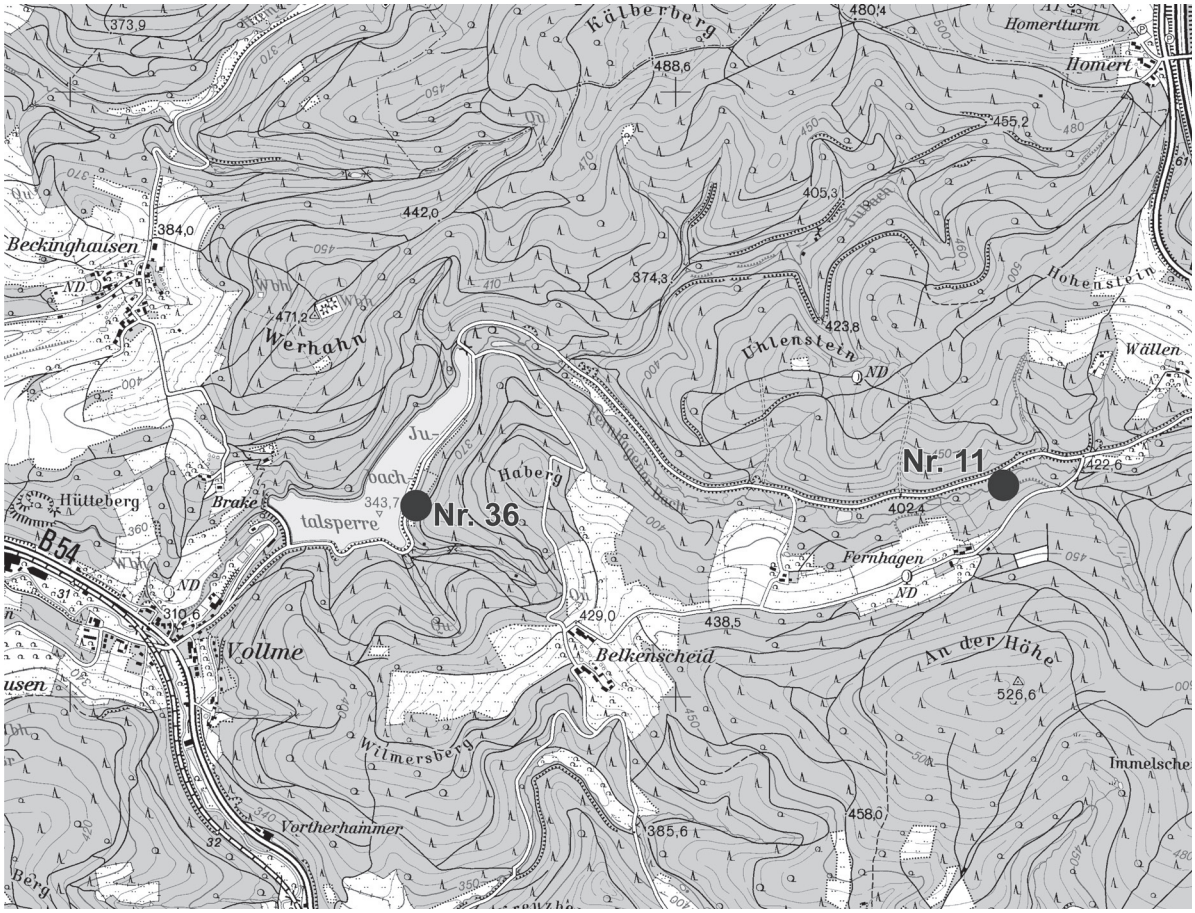


Abb. 1. Kierspe-Fernhagen. Lage des Verhüttungsplatzes Nr. 11 und des Floßofens Nr. 36 (s. S. 335 ff.) an der Jubachtalsperre. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1:25.000, Blatt 4811 (Meinerzhagen).

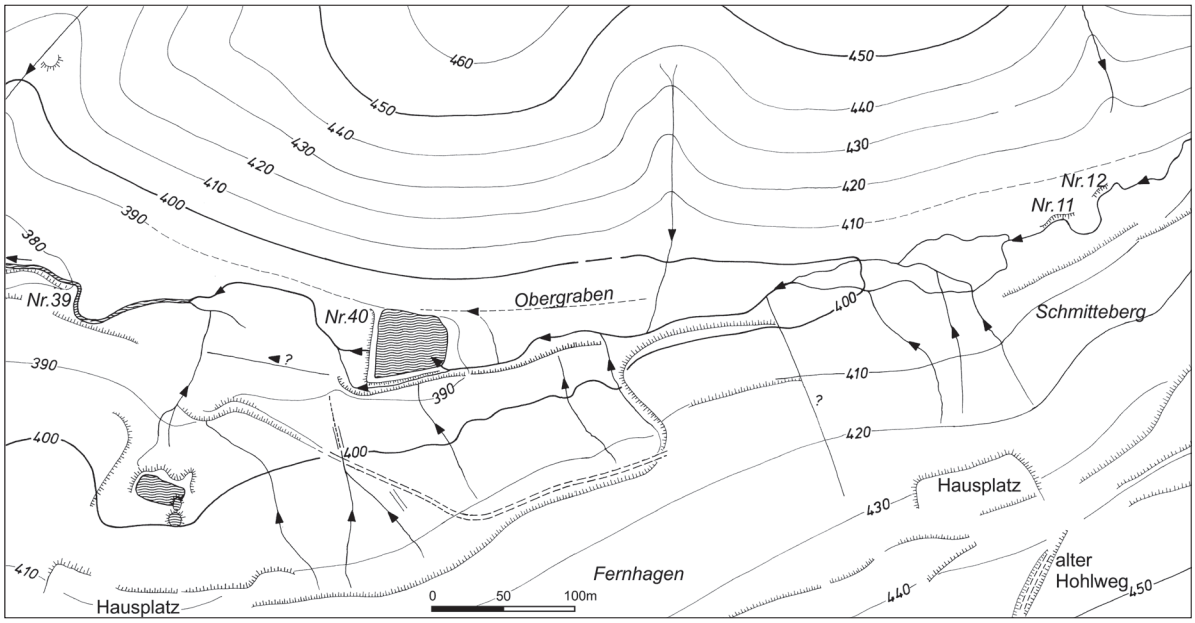


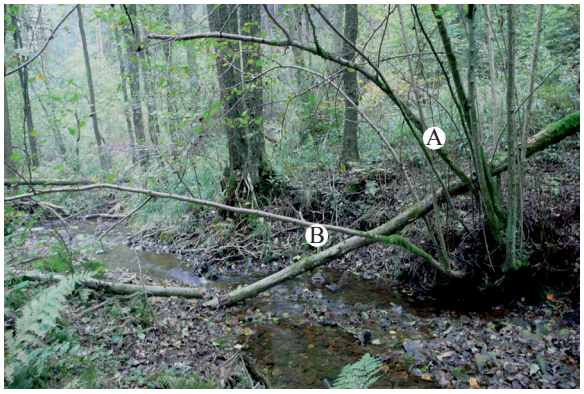
Abb. 2. Kierspe-Fernhagen. Verhüttungsplatz Nr. 11 und seine topografischen Bezüge zu weiteren Verhüttungsplätzen am Hagener Bach.



1



2



3



4



5



6

Abb. 3. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1: Landschaft im unmittelbaren Umkreis der Fundstelle; 2: Blick nach Nordosten in das Tal des Hagener Baches; 3: Blick nach Osten auf den Verhüttungsplatz (A). Im Vordergrund fließt der Hagener Bach. An der Böschungskante treten Schlacken der „Halde mit Frischschlacken“ zutage (B – siehe auch Abb. 3; 6); 4, 5: Der Hagener Bach am Fundplatz mit zahlreichen Schlacken im Bachbett; 6: Böschungskante an der „Halde mit Frischschlacken“ (Markierung B in Abb. 3,3) (Fotos M. Overbeck).



1



2



3

Abb. 4. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 12. 1: Blick nach Osten auf die Fundstelle (A). Im Vordergrund der Hagener Bach, aus dem zahlreiche Schlackenfunde und Keramik geborgen werden konnten; 2: Schwere Schlacken des direkten Verfahrens sind nach Ausweis der wiederholten Geländesurveys typisch für diese Fundstelle; 3: Keramik (grob gereinigt, mit Schmutzanhaftungen) (Fotos M. Overbeck).

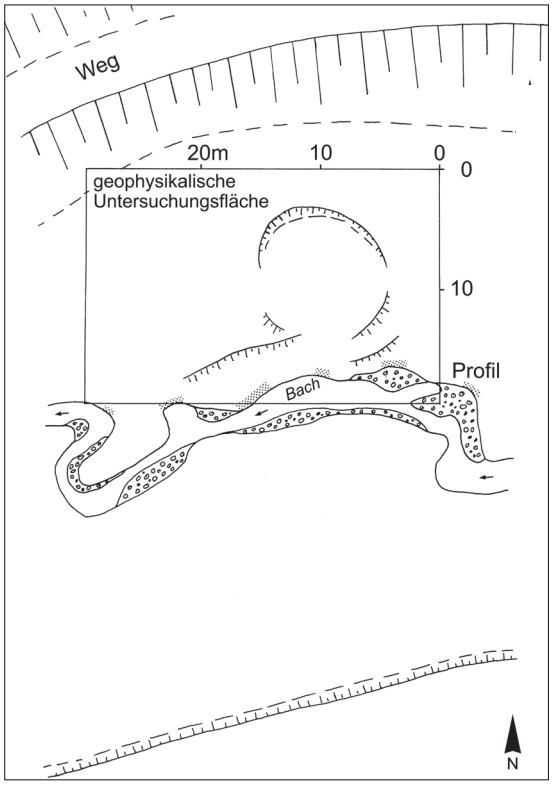


Abb. 5. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Geophysikalisch vermessene Fläche.

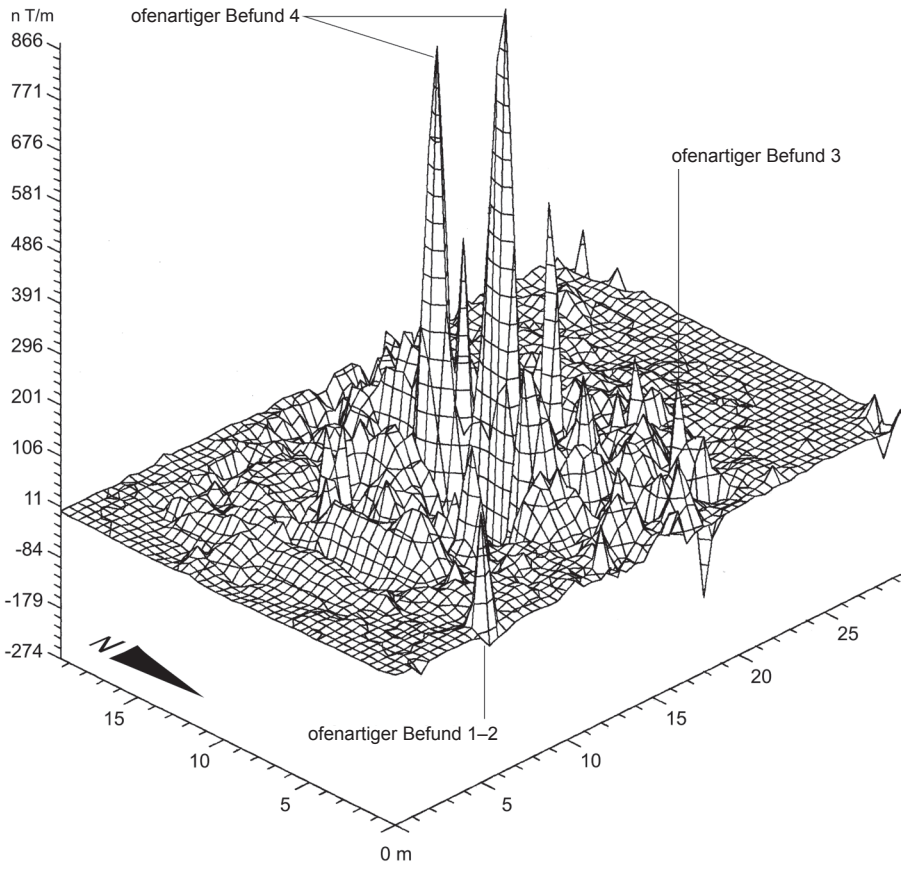


Abb. 6. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Geophysikalische Anomalien mit Lage der ofenartigen Befunde 1–4.

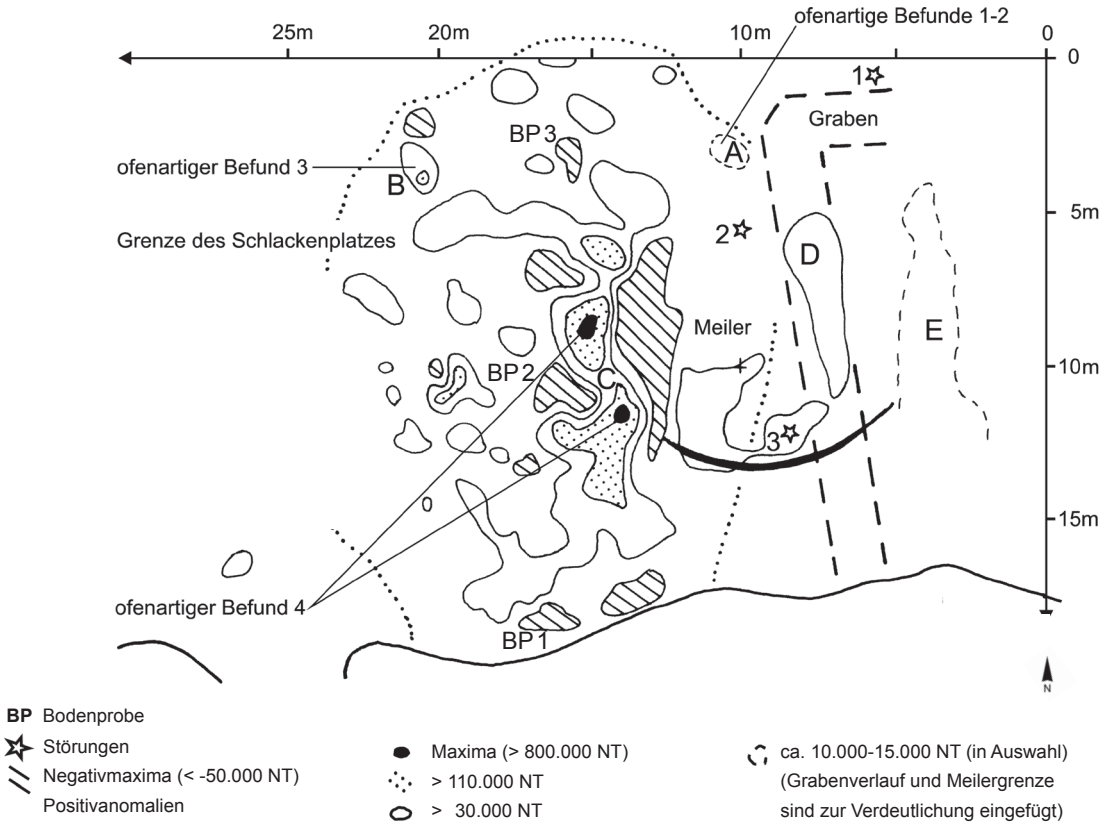


Abb. 7. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Struktur des Verhüttungsplatzes nach den geophysikalischen Befunden (A = ofenartige Befunde 1–2; B = ofenartiger Befund 3; C = ofenartiger Befund 4; D = Wassergraben; E = Meilerrand; Störungen: 1 = Werkzeugdepot; 2 = Schlackenhaufen; 3 = Abraum).

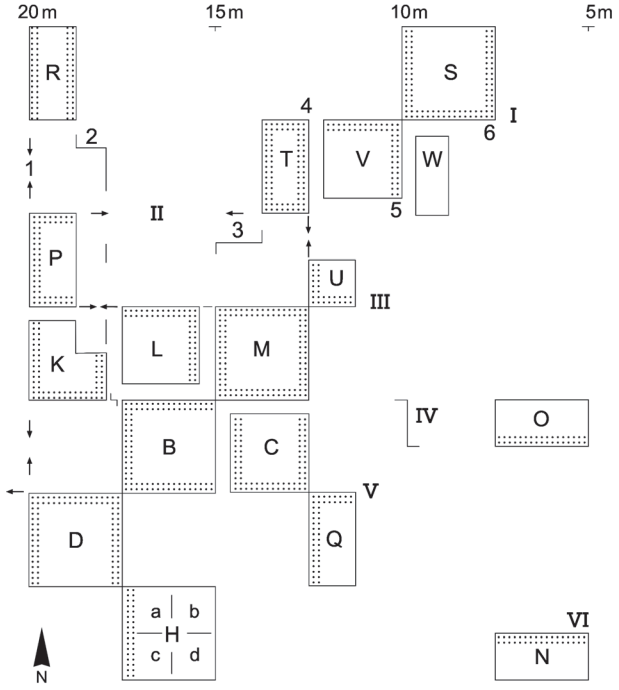


Abb. 8. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Lage und Bezeichnung der Grabungsflächen und Profile (I–VI: Ost-West-Profile, 1–6: Nord-Süd-Profile).

Die Ausgrabungsfläche wurde im bewährten „Schachbrettsystem“ geöffnet. An ein geöffnetes Quadrat mit entsprechenden Unterquadraten schließt dabei ein ungeöffnetes Grabungsquadrat an.

So konnten die zu öffnenden Flächen (*Abb. 31–33*), O-W-Profile (*Abb. 37–39*) und N-S-Profile (*Abb. 34–36*) angelegt werden.

BEFUNDE

Ofenartige Befunde 1–4

Die ofenartigen Befunde in den Quadraten V und W (ofenartige Befunde 1/2) ließen sich ab Planum 5 erahnen (*Abb. 9,1; 32; 36,2*). Erkennbar war dies zunächst anhand einer verschwommenen dunklen Verfärbung mit etwas Holzkohlen, Schlacken und einigen Steinen. In Planum 6 traten auch noch Ofenwandfragmente hinzu (*Abb. 9,2*). In Planum 6 und 7 zeigt sich am nördlichen Rand der Verfärbung eine leicht rötliche Zone (*Abb. 9,3*). Westlich befindet sich in etwa 0,75–1,0 m Abstand eine Rotfärbung des anstehenden Lehmbodens, wie sie normalerweise im Umfeld eines ehemaligen Ofenstandortes als sekundäres Erkennungsmerkmal auftritt. Wenn beide Befunde zusammengehören sollten, hätte sich der Rennofenkomplex mit Ofen und vorgelagertem Schlackenkanal über etwa 3 m erstreckt. Dies scheint nach dem bisherigen Kenntnisstand eher unwahrscheinlich. Auch die Reihenfolge der Elemente – Ofen im Westen und Schlackenkanal im Osten – würde sich nicht unbedingt mit dem Gesamtbefund in Einklang bringen lassen. Dieser vollkommen zerstörte Rennofen, dessen Position nur noch am hitzegeröteten Lehm festzumachen ist, ist dagegen gut mit einem Schlackenkanal kombinierbar, der im Nordabschnitt von Profil 3 leicht schräg angeschnitten wurde (*Abb. 35,2 Quadrat T*). Dieser Ofen (ofenartiger Befund 1) wurde wahrscheinlich noch zur Rennfeuerbetriebszeit gestört bzw. zerstört.

Östlich davon wurde wahrscheinlich eine neue Anlage (ofenartiger Befund 2) gebaut, deren Ofenstandort beim Bau des Wassergrabens ebenfalls komplett zerstört wurde (*Abb. 9*). Beide Anlagen würden sich jeweils über gut 2 m erstreckt haben. Eine dritte Anlage (ofenartiger Befund 3) lässt sich unmittelbar südlich von Quadrat R (*Abb. 7*, Anomalie B) vermuten.

Ein weiterer Ofen (ofenartiger Befund 4) konnte anhand der Befunde der Plana 5/6 und mit geophysikalischen Methoden im Schnittpunkt der Unterquadrate B-c/d und C-a/b lokalisiert werden (*Abb. 32; 33*). Nördlich davon zeigte sich ein gleichartig strukturierter Befund kleinerer Abmessung (0,5 m), wobei es sich um Versturz oder umgelagertes Material handeln dürfte. Eventuell stammen diese Ofenwandreste insgesamt vom Aufgehenden des Ofens und seinem Versturz. Sicher zu belegen ist aber die inhaltliche und räumliche Verbindung mit der künstlich aufgebrachten Lehmschicht, die im Wesentlichen östlich anschließt. Der maximale Abstand der Lehmschicht und dieses ofenartigen Befundes vom Graben beträgt 6,5–7,0 m, so dass man insgesamt mit einer Kraftübertragung vom Rad auf einen radparallelen(?) (Doppel-)Blasebalg über eine Entfernung von mindestens 5 m zu rechnen hätte; bei einem wassergetriebenen Hammer könnte die Strecke der Kraftübertragung kürzer ausfallen.

Gebäuderest(?)

In Planum 7/8, Quadrate C und M, zeigt sich in einer Tiefe von 0,7 m und einer Ausdehnung von etwa 2,5–3,0 m eine dünne, spezifische Lehmschicht mit roten Einsprengseln (*Abb. 33*), die auch in den entsprechenden Profilen gut erkennbar ist (*Abb. 35,3; 36,1; 38*). Westlich vorgelagert finden sich direkt auf dem anstehenden Lehm aufliegend an der Basis einer Schlackenschicht vier Schlackenkalotten (*Abb. 10*).

Dies zeigt, dass beide Strukturen – Schlackenschicht mit Kalotten und Kunstlehm – aus der gleichen Phase stammen. Dieser Lehm könnte von einem zerflossenen Ofen oder von einer Gebäudewand stammen. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass er den Laufhorizont/Fußboden eines Gebäudes bzw. einer Werkstatt anzeigt. Der ofen- oder herdartige Befund im Quadrat V steht mit diesen Befunden vermutlich nicht in Verbindung, während der Wassergraben, auf dessen Sohle im Quadrat N einige rostige Schlacken lagen, doch einigermaßen sicher damit zu verbinden sein dürfte (*Abb. 39*).

Wassergraben

Der Graben war ursprünglich kastenförmig ausgehoben, wie man anhand der eingebrochenen Seitenwände in den Profilen erkennen kann (*Abb. 35,2; 36,3; 37,1; 38; 39,2*). Unter dieser Voraussetzung war der Graben etwa 1,5 m breit und maximal 1,0–1,25 m tief. Ob die Seiten mit Brettern oder Bohlen verstärkt waren, muss offen bleiben. Im Grabenschnitt in Quadrat O fanden sich einige stift- bzw. nagelartige Eisenreste, die von einer Grabenverkleidung oder einem Wasserrad stammen könnten (*Abb. 38*).

Halde

Im nördlichen Hangbereich befindet sich eine Halde der Rennfeuerzeit mit einer Ausdehnung von etwa 10 m (mit zwei Rennöfen in Quadrat V [*Abb. 29*] und – eventuell – nach den Ergebnissen der geophysikalischen Untersuchung an Stelle B [*Abb. 7*]), die im Südosten bei der Installation der Frisch-Schmiede zum Teil gestört, beseitigt und umgelagert wurde (*Abb. 11,1*).

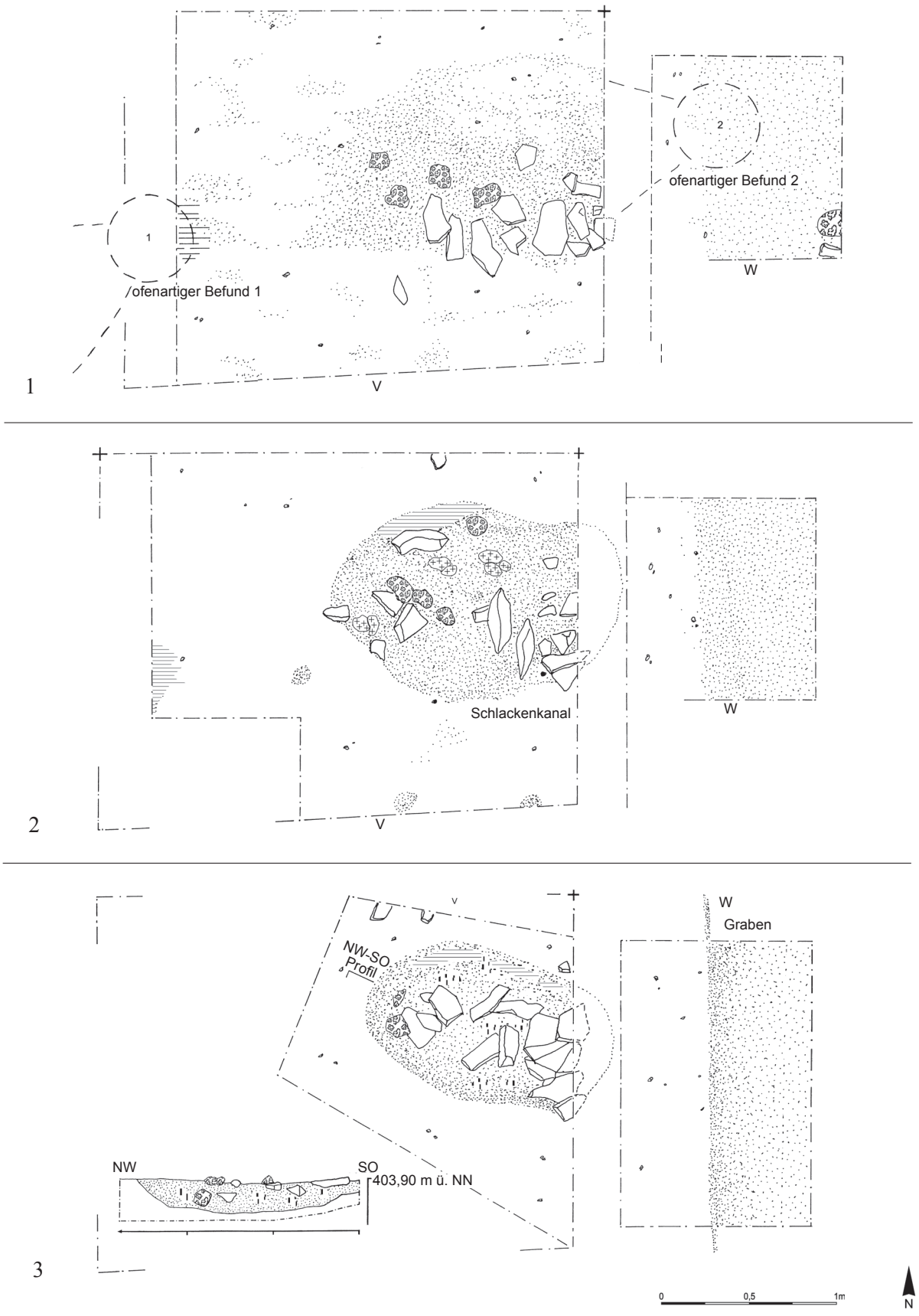


Abb. 9. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Quadrate V–W, ofenartige Befunde 1 und 2. 1: Planum 5; 2: Planum 6; 3: Planum 5 mit Profil in Quadrat V.

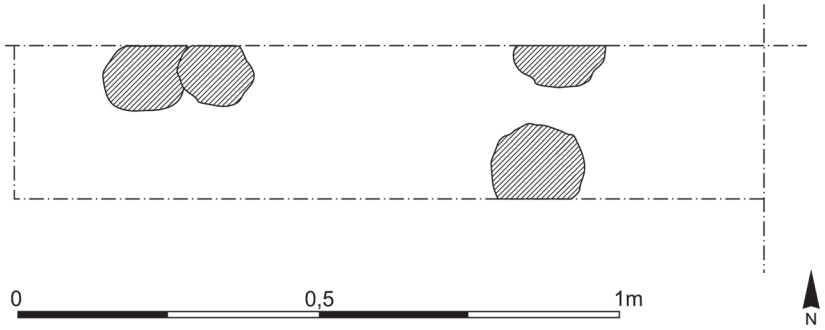


Abb. 10. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Unterquadrat B-b mit Lage der Schlackenkalotten.

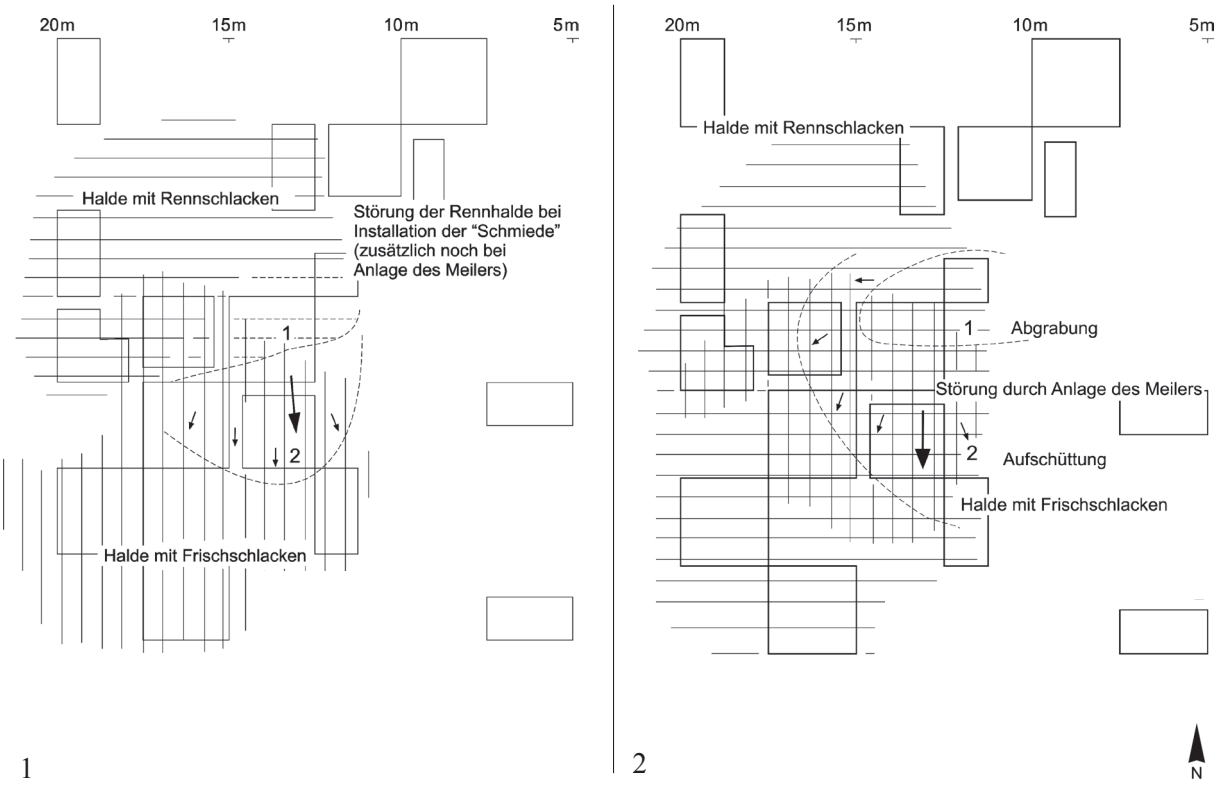


Abb. 11. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1, 2: dynamische Vorgänge am Verhüttungsplatz.

Dabei sind mehrere Interpretationen denkbar, die insbesondere in Hinsicht auf die datierenden Scherben in Unterquadrat C-d von Bedeutung sind. Größte Wahrscheinlichkeit hat die Vorstellung, dass die Schlackenabfälle aus der Zeit des Roheisenfrischens eine größere Halde aus der Zeit des Rennofenbetriebes überlagern, wobei beide Schlackenschichten im Bereich des Meilers durch diesen gestört werden (*Abb. 11,2*). Weniger wahrscheinlich ist es, dass es nur eine einzige Halde gibt, bei der alle in den Profilen erkennbaren Schichtungen auf eine wiederholte Präparation der Meilerbasis zurückgehen (*Abb.35,2; 36,1; 37,3; 38; 39*).

Der Detailbefund an der Basis der Halde in Unterquadrat B-b (*Abb. 10*) zeigt, dass die Schlackenkalotten (zumindest drei der vier abgebildeten Stücke) unmittelbar auf dem anstehenden Lehm aufliegen (*Abb. 38*).

Meiler

Für das Planum 2/3 lässt sich eine erste flächenhafte Darstellung entwerfen (*Abb. 31*), die unbedingt mit der entsprechenden Abbildung zum Holzkohlen-Index zu vergleichen ist (*Abb. 24*). Die Grenzen des Meilers sind im archäologischen Befund unterschiedlich festzumachen. Nach Westen hin zeigt sich eine z. T. markante Farb- und Strukturgrenze, nach Süden bildet eine dünne Lehmschicht mit Spuren einer Brandeinwirkung die Grenze. Im Osten läuft die dunkelbraun-schwarze Verfärbung aus und geht über in den steindurchsetzten natürlichen Lehm; ausgehend vom Profilbefund für Quadrat O (*Abb. 38*) liegt die echte Meilergrenze etwas weiter östlich, nämlich etwa 0,5 m außerhalb des Quadrats. Die in Quadrat O gefasste Verfärbungsgrenze zeigt bereits den Wassergraben an. Im Norden ist der Meilerrand weniger gut nachweisbar. Ein dunkel bis schwarz gefärbter Deckboden, der offenbar auf den Meiler(-Betrieb) zurückzuführen ist, ist nördlich und nordwestlich bis zu 2,5 m vorgelagert, südlich und südwestlich (Hangbereich) bis zu 5 m. Größere Holzkohlenfragmente (>1,5 cm) sind in den geputzten Flächen ausgesprochen selten. Im Südwesten (Quadrate D und H) erkennt man eine braune, aschehaltige Schicht mit Schlacken. In den Quadraten L und B machen sich ebenfalls die ersten Schlacken bemerkbar.

Die Befundstrukturen sind aufgrund der Mehrfachnutzung des Platzes nicht leicht zu interpretieren. Im Bereich des Holzkohlemeilers lässt sich eine obere Meiler-Basisschicht anhand der Profile einwandfrei ansprechen (*Abb. 36,1;38;39,1*). Eine dünne Schicht ähnlicher Position und Ausdehnung in tieferer Lage dürfte eine ältere Meilerphase anzeigen. Dies ist allerdings nicht völlig sicher, da sich darüber bzw. zwischen diesen beiden dünnen Schichten ein 0,15 m starker Horizont mit einem Schlacken-Holzkohlen-Gemisch befindet. Dieser Schlacken-Holzkohlen-Horizont findet unter der Annahme einer hangseitigen Vergrößerung der Meilerplattform und Einplanierung der dort abgegrabenen Materialien eine Erklärung. Auffällig ist die identische Position, so dass auf jeden Fall eine Beziehung zu Planierarbeiten – entweder aus der Zeit des Frischens oder, mit größerer Wahrscheinlichkeit, der Meilerzeit – besteht.

Auf derartige Planierarbeiten sind Aufschüttungen mit Schlacken im Westen mit einem Zentrum im Quadrat L zurückzuführen, bei denen sich teilweise eine Zweilagigkeit – korrespondierend mit dem Befund auf der Meilerplattform – erkennen lässt (*Abb. 35,2;37,3*). Inwieweit ältere Strukturen bei Anlage der Plattform betroffen waren, lässt sich nicht sagen, doch dürften hangaufwärts die Störungen größer und massiver sein, vielleicht bis zur vollständigen Entfernung von Schichten.

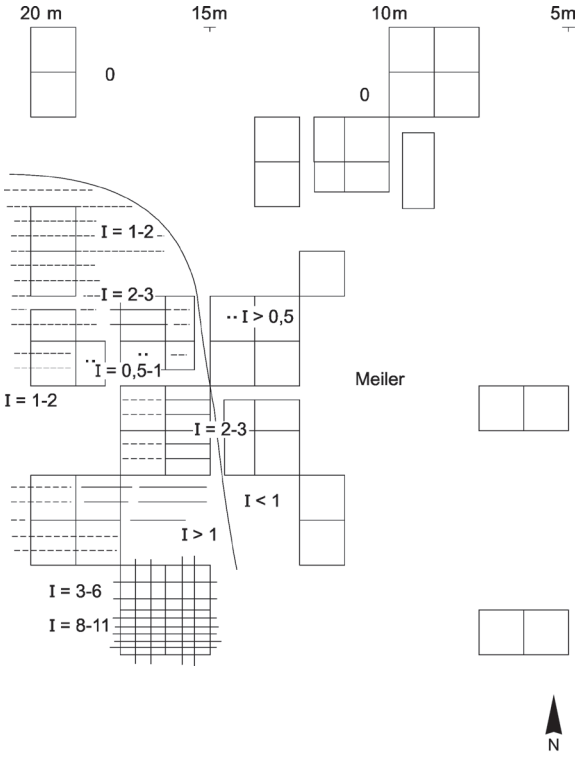


Abb. 12. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Schlacken-Index, Planum 2.

FUNDE

Schlacke

Betrachtet man die Schlackenverteilung aufgrund des sog. Schlacken-Index (I) in Planum 2, so offenbart sich die oberflächennahe Platzstruktur, d. h. der Zustand nach der letzten Nutzung, immer noch in wünschenswerter Klarheit (*Abb. 12*).[2]

Die Grenze zwischen Schlackenlage einerseits sowie schlackenfreiem Raum (im Norden) und Meilerstandort (im Osten) andererseits lässt sich am Schlacken-Indexwert I > 1 festmachen, wobei die meisten Fundeinheiten der Gruppe I < 1 keine Schlacke geliefert haben. In Planum 3 bleibt die Grenze gut erkennbar, wobei die Indexwerte im Haldenbereich leicht ansteigen (*Abb. 13,1*); stärker noch steigen sie in Planum 4, wobei sich der Haldenschwerpunkt mit hohen Indexwerten nach Westen verlagert (*Abb. 13,2*). In Planum 5 findet sich die Schlackenlage dann immer weiter unter der Meilerplattform (*Abb. 13,3*). Auf dieser Ebene scheint sich klar abzuzeichnen, dass die Schlackenhalde – ausgehend von den vorliegenden Schlacken-Indizes – in zwei Teile zu gliedern ist, jeweils in eine „obere“ und „untere Halde“. Die Grenze, die im Quadrat M

[2] Zur Definition des Schlacken-Index siehe: Jockenhövel/Willms 2005, 104.



Abb. 13. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Schlacken-Index. 1: Planum 3; 2: Planum 4; 3: Planum 5; 4: Planum 6/7.

vermutet werden kann, ist nicht konkret fassbar. Diese Zweiteilung deutet sich durch eine Zone mit geringen Indexwerten bereits in Planum 4 an. Dies steht in Übereinstimmung mit den für die Holzkohlen ermittelten Daten (s. S. 40 f.). In den bergseitigen Quadraten T und V zeichnet sich auf Planum 5 eine zuvor nicht vorhandene Schlackenkonzentration ab. Im Planum 6/7 ist aufgrund der eingeschränkten Grabungsflächen zu dem Verhältnis zwischen beiden Schlackenkonzentrationen keine genauere Aussage zu machen, doch könnte man eine Grenze nach wie vor im Quadrat M vermuten (*Abb. 13,4*). Andererseits ist es möglich, dass diese

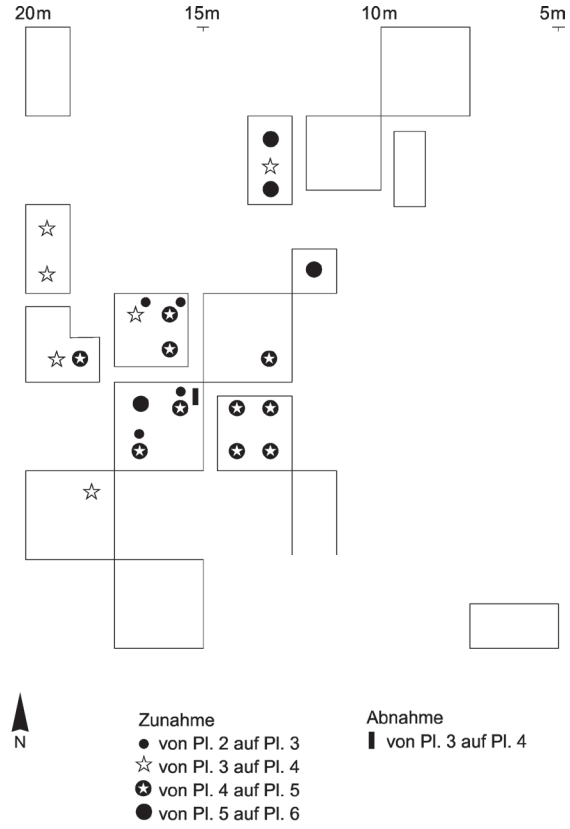


Abb. 14. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Quantitative Veränderungen in der Schlackenmenge von Plana 2–6.

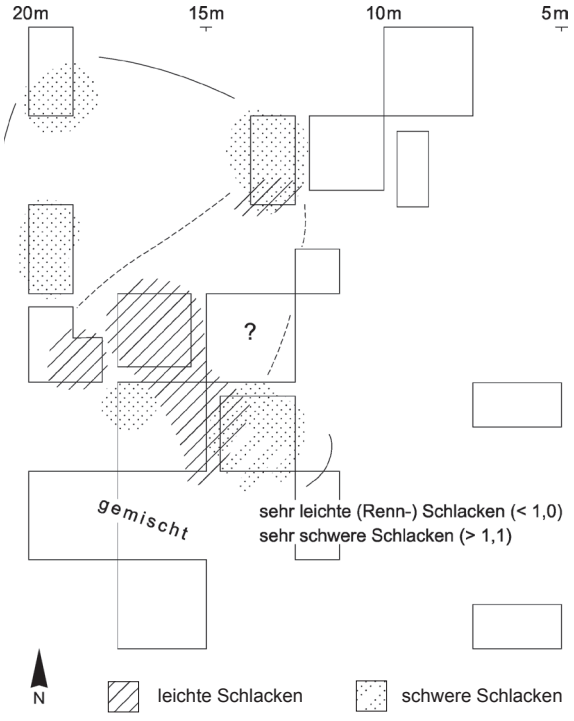


Abb. 15. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Schlackenarten.

Teilung der Halde lediglich durch Präparationen an der Meilerplattform entstanden ist, d. h. durch nachträgliche Abgrabung im bergseitigen Bereich.

Eine weitergehende Bearbeitung schien nur im Nordteil der Grabung, im Bereich der zuvor nicht erkennbaren Schlackenlage sinnvoll zu sein. In Planum 6 lassen sich Details zur Struktur und zum Verteilungsmuster erkennen (*Abb. 13,4*). Bei einem raschen Abbau in Quadrat W fanden sich nur wenige Schlacken, wie schon in den gut dokumentierten Untereinheiten von Quadrat S. Auch in Quadrat V fehlen nennenswerte Schlackenbelege mit Ausnahme von Unterquadrat V-b. Für die Quadrate T und N lassen sich zwei Indexzonen trennen. Selbst im weit entfernten Unterquadrat R-c kommen noch Schlacken vor. Das hier gezeichnete Bild findet sich unverändert auch im Planum 7, so dass ein Zufallsergebnis auszuschließen ist. Ausgehend von Erkenntnissen, die an anderen Schlackenplätzen gewonnen wurden, könnte man im Unterquadrat V-b die Reste einer Schmelzanlage (nur noch als Schlackenkanal vorhanden) vermuten, die durch einen weitgehend schlackefreien Korridor von 1,3–1,5 m von der vorgelagerten Schlackenschüttung getrennt ist; die Schlackenschüttung selbst zeigt erwartungsgemäß steigende Indexwerte in Richtung auf ihr vermutetes Zentrum (Verlauf in südwestlicher Richtung, nördlich von Quadrat L).

Beim Vergleich der Entwicklung des Schlacken-Index in einzelnen Unterquadraten können Entwicklungen bzw. auch Brüche deutlich werden. Speziell dieser Aspekt wird in der Folge beleuchtet (*Abb. 14*).

Im Nordbereich erkennt man eine Zone, in der der Schlacken-Index mit dem Wechsel von Planum 3 zu 4 sprunghaft zunimmt. Ob der Ausnahmewert in Unterquadrat D-b tatsächlich singulär ist oder für die Gruppe der südwestlich anschließenden Fundeinheiten steht, muss offen bleiben. Im Süden grenzen an die erstgenannte Gruppe mehrere zusammenhängende Einheiten, in denen ein markanter Wechsel von Planum 4 auf 5 zu verzeichnen ist. In Quadrat T gibt es einen weiteren Wechsel zwischen den Plana 5 und 6. Unterquadrat B-a bildet diesbezüglich eine Ausnahme; es war in diesem Zusammenhang nicht eindeutig zu ermitteln, ob es sich um eine Zwischenschicht oder um den gewachsenen Boden handelt. Es gibt nur ein Beispiel dafür, dass der Indexwert bei zunehmender Fundtiefe merklich zurückgeht, nämlich von Planum 3 auf 4 im Unterquadrat B-b. Dies scheint ein besonderes Ereignis anzuzeigen (vielleicht die Anlage des Meilers oder der Schmiede?).

Von Anfang an bestand der Eindruck, dass die Schlacken dieser Fundstelle „leicht“ sind. Dies bestätigte sich zumindest für einen Teil der Schlacken. Hier galt es zu prüfen, ob die beiden Schlackenarten, die versuchsweise in „schwere Schlacken vom Rennfeuertyp“ und „leichtere Schlacken des Frischfeuertyps“ unterschieden werden sollen, mit der angedeuteten Zweiteilung der Schlackenlage korrespondieren. Da dieses Kriterium, dessen

Bestimmung auf der Grabung (nach der Formel: Schlackengewicht in Kilogramm geteilt durch Schlackenvolumen in Liter) einige methodische Einschränkungen erforderlich macht, nur bei großer Schlackenmenge innerhalb der einzelnen Fundeinheiten einigermaßen verlässliche Ergebnisse liefert, wird sich auf eine zusammenfassende Darstellung beschränkt (*Abb. 15*). Dabei wird deutlich, dass die „leichteren Schlacken" SI < 1,0 in den oberen Niveaus von Quadrat L und Teilbereichen der Quadrate K, B und C angetroffen werden. Eine Streuung bis in Planum 4 von Quadrat T könnte vorliegen, dies ist aber nicht sicher. Offenkundig ist, dass im Nordbereich ausschließlich „schwere Schlacken" SI > 1,1 vorkommen. Es hat den Anschein, dass im südlichen Hangbereich beide Schlackenarten – zumindest in den dort untersuchten oberen Niveaus – vermischt sind SI = 1,0–1,1.

Eisen/eisenhaltige Schlacke

Es wird deutlich, dass die Einbettung der archäometallurgischen Hinterlassenschaften an diesem Fundplatz nicht homogen bzw. störungsfrei verlaufen ist. Da hierüber hinaus auch mit zwei metallurgischen Zeitphasen zu rechnen ist, wird die Fundkategorie „eisenhaltige Schlacken" speziell unter dem Aspekt horizontal- und vertikalstratigrafischer Verteilung untersucht. Als Parameter bietet sich ein Index, das Verhältnis eisenhaltiger Schlacke zur Gesamtmenge der Schlacken innerhalb eines Quadrats/Unterquadrats, an (eisenhaltige Schlacken in kg x 100 : Schlacke in kg). Dieses Verhältnis wird in vier Klassen dargestellt: „sehr viel" (I > 15), „viel" (I = 6–15), „mittel" (I = 2,5–6) und „wenig" (I < 2,5).

In Planum 3 finden sich mit weitem Abstand die meisten Funde dieser Art in Unterquadrat L-a (*Abb. 16,1*).

In Planum 4 findet dieses Bild eine Bestätigung in Unterquadrat L-a und L-c, in denen erneut die höchsten Werte „sehr viel" erreicht werden (*Abb. 16,2*). Unterquadrate, die mit „viel" eingestuft werden, schließen sich in den Unterquadraten P-a und T-d an. Unterquadrat B-d zeigt den Wert „mittel", während sonst nur noch die Wertgruppe „wenig" erreicht wird. Im Planum 5 hat sich die Kernzone mit hohen Werten im Quadrat L vergrößert, an die Unterquadrat B-a mit dem Wert „viel" anschließt, gefolgt von solchen mit dem Wert „mittel" (Unterquadrate B-b, B-d, C-c). Im Osten, Süden und Südwesten schließt sich ein Kranz mit dem Wert „niedrig" an (*Abb. 16,3*). Im Norden ergeben sich die Werte „viel" und „mittel". Für einen echten räumlichen Vergleich ist der Grabungsausschnitt in der Tiefe von Planum 6/7 zu gering (*Abb. 16,4*). Bemerkenswert sind die hohen Werte im Norden und der radikale Wechsel in Unterquadrat C-a mit einem Wert von 0,4 auf 16,9. Dies lässt sich nur mit Schlackenschichten unterschiedlicher Genese erklären.

Insgesamt ergibt sich ein Verhältnis von Schlacke zu „eisenhaltiger Schlacke" zu „glasiger Schlacke", wie es von anderen Plätzen der Rennfeuerzeit nicht bekannt ist. Der Anteil der letztgenannten Kategorie liegt aber im Normbereich. Selbst dann noch, wenn man angesichts einer wahrscheinlichen Drittelung der Schlackenmenge (etwa ⅓ dürfte Rennfeuerschlacken sein) diesen Wert verdreifacht.

Um den Aspekt „eisenhaltige Schlacke" überregional vergleichbar zu machen, wird das prozentuale Verhältnis von Schlacke zu „Eisen" ermittelt (*Abb. 17*).[3]

„Eisen"-Anteil-Werte von 10–15 % liegen beim Rennfeuerverfahren noch im Normalbereich, obwohl geringere Werte von unter 10 % häufiger sind.[4] Auffällig ist deshalb die Fundeinheit der Unterquadrate L-a/L-c in den Plana 3/4 mit beinahe 45 % „Eisen". Ein derartiger Wert wurde bei keiner anderen Projektuntersuchung annähernd erreicht. Nach einer Umrechnungsformel, die selbstverständlich einige Unsicherheiten beinhaltet, liegt der auf dieser Basis ermittelte Wert für die Gesamtgrabung bei etwa 20 %.

Im direkten Vergleich der Volumina beider Fundkategorien, „Eisen" und „Schlacke" beläuft sich der Wert auf 6–7 %; bezogen auf die Frischschlacken darf man mit etwa 10 % rechnen, während der Wert bei den Rennschlacken dieses Platzes unter 1 % liegen dürfte. Hier könnte sich eine einfach zu handhabende Unterscheidung von Rennfeuerplätzen und solchen der Weiterverarbeitung andeuten, die ohne spezielle mineralogisch-metallurgische Untersuchungen auskommt. Dies gilt ebenso für den Aspekt des spezifischen Schlackengewichts (Gewicht : Volumen), indem Werte < 1 für Frischetätigkeit sprechen könnten (*Abb. 18*). Aus archäologischer Sicht sind diese Unterscheidungsmöglichkeiten von großer Bedeutung und sollten unbedingt auf einer größeren Materialbasis überprüft werden.

Schlackenkalotten und -zapfen

Schlackenkalotten haben sich als Indikatoren für Weiterverarbeitungstätigkeit erwiesen. Dies gilt z. B. für einen alemannischen Fundplatz in der Schweiz[5] wie auch für Platz Nr. 11 am Fernhagen. Ein Einzelfund lässt sich allerdings nicht zwingend zuweisen, da möglicherweise Merkmalsüberschneidungen mit kleinen Ofensauen bestehen können. Wenn jedoch zwei oder drei Funde vorliegen, sollte eine Zuordnung gelingen (*Abb. 19*), zumal die Oberseiten dieser Kalotten häufig auch unregelmäßiger ausgebildet sind als jene von Ofensauen.

[3] Schlacken [Volumen in Liter] x10/n „Eisen".
[4] Jockenhövel/Willms 2005, 183. 197. 244 f. 379.
[5] Eschenlohr/Serneels 1991.

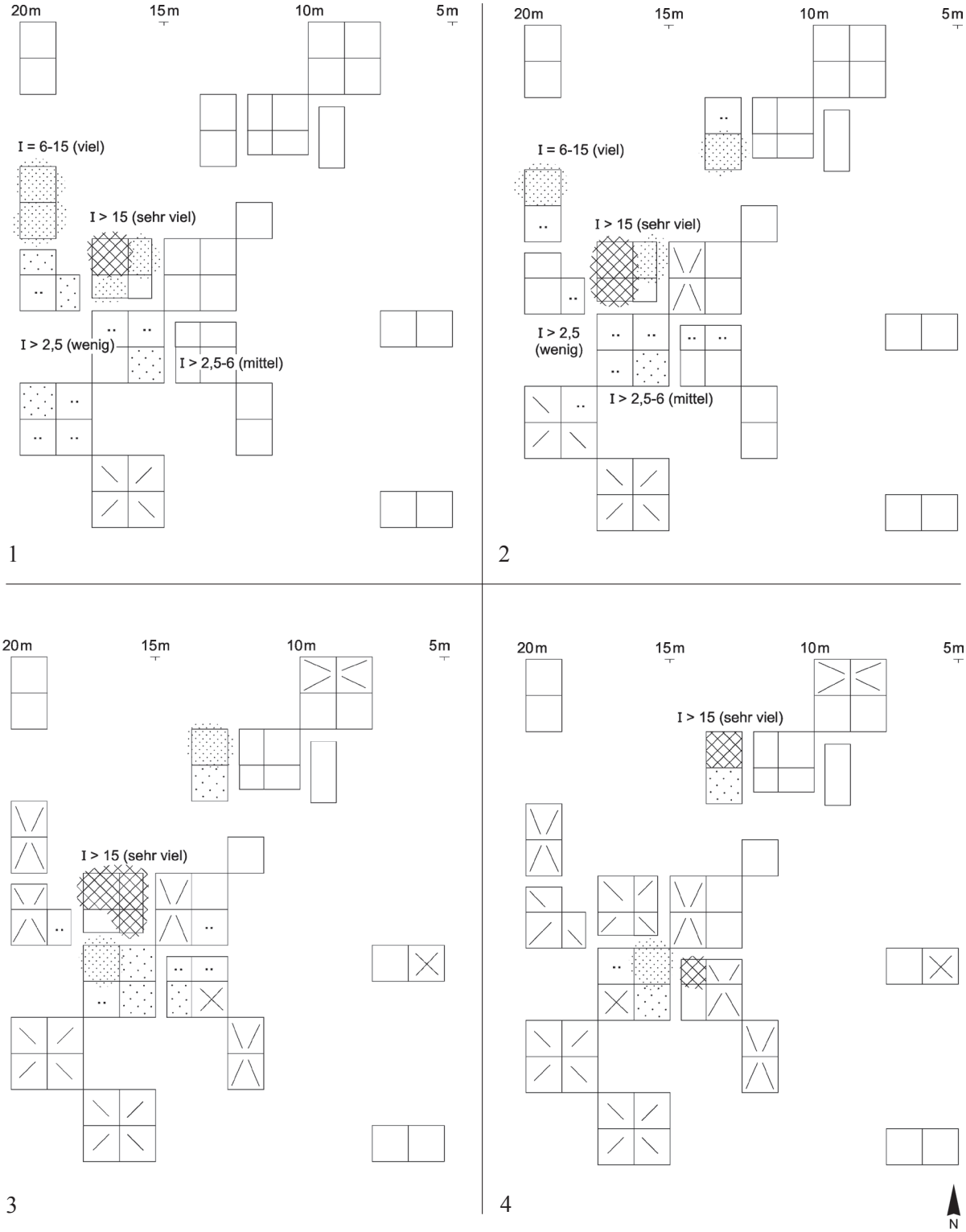


Abb. 16. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. „Eisen"-Index. 1: Planum 2, 3; 2: Planum 4; 3: Planum 5; 4: Planum 6.

Dies gilt insbesondere für große und schwere Exemplare, die nicht der Frühzeit angehören, sondern vermutlich aus einer fortgeschrittenen Phase des Frischens (ab etwa 1600?) stammen. Besonders wichtig und zudem ein seltener Fund ist die Kalotte mit mehreren Zapfenansätzen an einer Seite (*Abb. 20,3*). Sie trat bei der Präparation des Südprofils (Unterquadrat K-d) zutage, also tiefer als Planum 5, vermutlich in etwa 0,35–0,4 m Tiefe.

Offenbar hatte man die anfallende Schlacke mehrfach aus dem „Schlackenbett" abzuleiten versucht. Letztlich wird man nicht umhin können, diesen Vorgang wie beim Schmelzen als „Abstich" zu bezeichnen. Allerdings

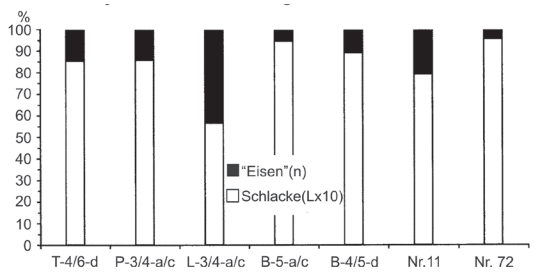


Abb. 17. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Verhältnis Schlacke zu „eisenhaltige Schlacke“ in ausgewählten Unterquadraten.

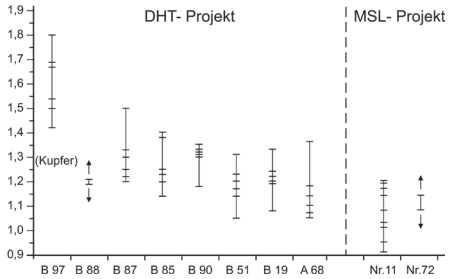


Abb. 18. Verhältnis von Schlacken-Indizes im Dietzhölzetal-Projekt (DHT) und im Projekt Märkisches Sauerland (MSL).

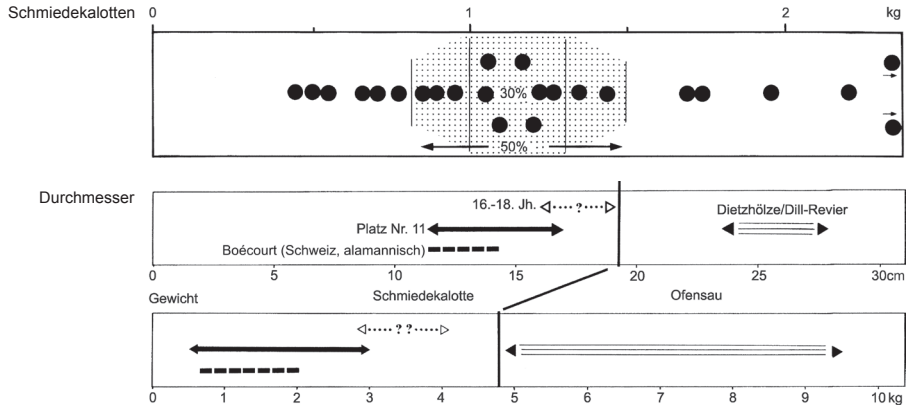


Abb. 19. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz 11. Schmiedekalotten im Vergleich (nach Durchmesser und Größe) mit anderen Fundplätzen.

wird es sich um einen Abstich aus einer mehr oder weniger offenen Schmiede-Esse gehandelt haben. Eine einseitige Verdickung an der Kalotte, im 90°-Winkel zum Abstich stehend, könnte die ehemalige Position des Gebläses anzeigen. Sehr viele Holzkohlen – entweder im Original oder als Abdruck – auf der Oberseite der Kalotte dürften ein markantes Indiz für eine Kalotte aus einem Schmiedeverfahren sein. Die Unterseiten dieser und anderer Kalotten zeigen eine feinere Struktur als die jeweiligen Oberseiten. Im direkten Vergleich lässt sich die Größenvariabilität erkennen (*Abb. 20,3–9*). Mineralogische und metallografische Untersuchungen an diesen Objekten sind unverzichtbar und werden sicher noch aufschlussreiche Ergebnisse zeitigen, möglicherweise sogar solche, die über die beteiligten und messbaren Prozessparameter auch Datierungshinweise liefern können. Die bisher durch archäologische Analysen und Überlegungen gewonnenen Erkenntnisse über Kalotten und kalottenförmige Schlacken lassen sich mittels Schaubild veranschaulichend darstellen (*Abb. 19*). Das hier dargestellte Schema bedarf aber noch weiterer Verifizierung.

Schlackenzapfen können bei leichtflüssigen Schlacken des Rennfeuerprozesses und beim Frischen entstehen. Möglicherweise fielen solche Zapfen in späterer Zeit (ab etwa 1600) in sehr großer Zahl beim Frischen an, so der Eindruck im Fall von Platz Nr. 40. Beim Austritt aus dem Schmiedefeuer haben diese Zapfen lediglich einen Durchmesser von 2–4 cm. Auch hier gilt es nach Abgrenzungsmöglichkeiten zu suchen, da z. B. die aus dem Rennprozess stammenden *in situ*-Zapfen Durchmesser von 7–9 cm aufweisen. Eine zeitliche Komponente ist ebenfalls nicht auszuschließen. Zapfen aus Frischprozessen jüngerer Zeit (etwa ab 1600) zeigen wieder größere Durchmesser, da insgesamt die Schmiedefeuer größer und leistungsfähiger geworden waren. Diese Aspekte sind in Zukunft noch weiterzuverfolgen.

Ofenwand

Graue Ofenwandreste sind selten, ihr Anteil beträgt höchstens 10 %. Für einige Fundeinheiten liegen genaue Angaben vor. Daraus ergibt sich, dass von 680 klassifizierten Ofenwandfragmenten 30, dies entspricht 4,5 % als graue Ofenwand einzuordnen sind. Dies zeigt einerseits, dass der während der Grabungsarbeiten gewonnene Eindruck nicht täuschte, aber auch, dass exakte „Daten“ erforderlich sind, um weiterführende Ergebnisse intern oder im Fundplatzvergleich gewinnen zu können. Eine Ausnahme besteht allerdings: Für das Material der Quadrate T und V ergibt sich auf der Basis von 42 Fragmenten eine Dominanz von grauer (⅔) gegenüber roter Ofenwand (⅓). Auch in dieser Hinsicht nimmt der nördliche Fundplatzbereich eine Sonderstellung ein.

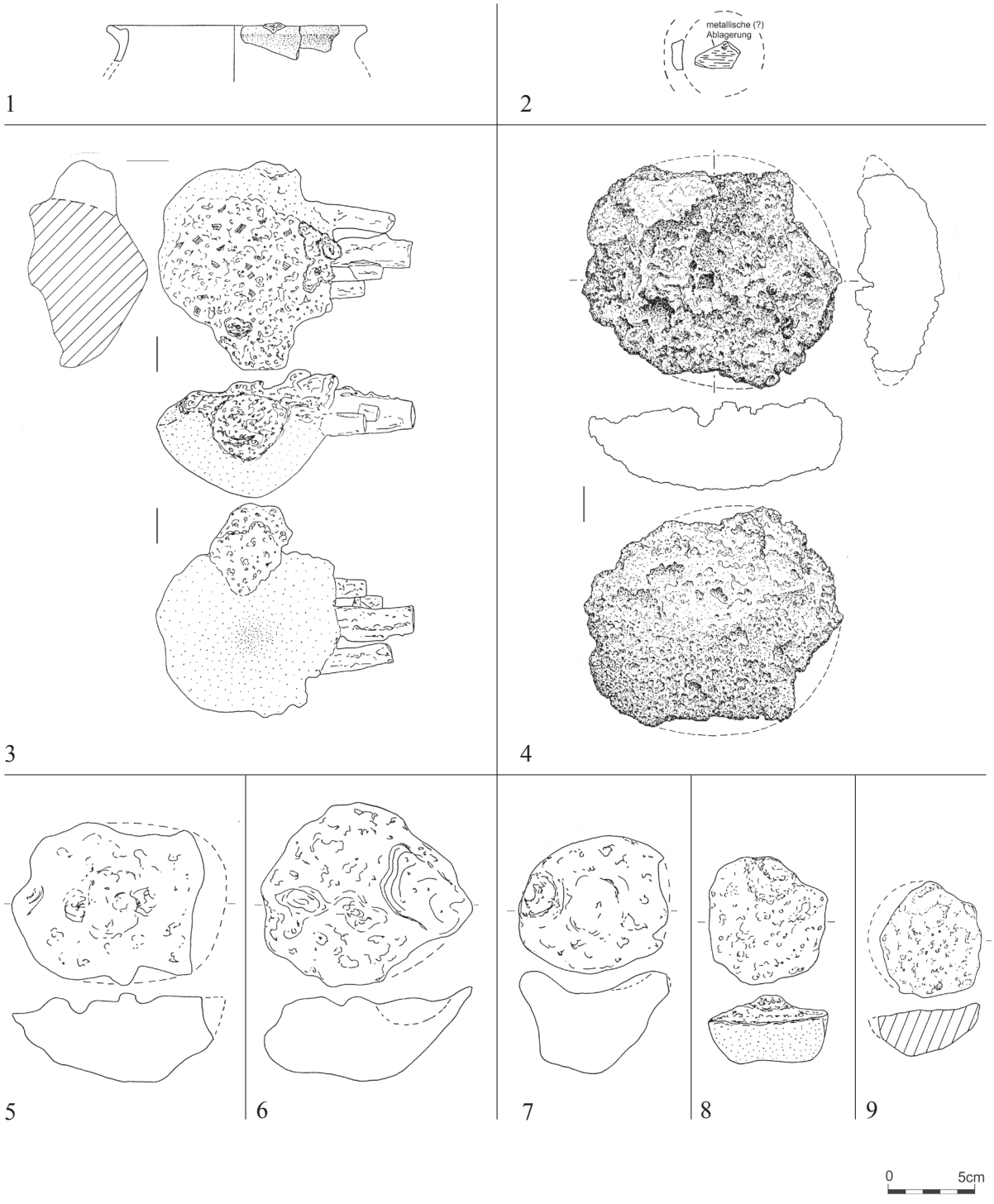


Abb. 20. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Funde: 1, 2: Keramik (2: Ofendüsenfragment); 3–9: Schmiedekalotten.

Vollends deutlich wird die abweichende bzw. neue Struktur im Nordbereich der Grabung, wenn man die Verteilung der Ofenwandreste betrachtet – zumindest auf den untersten Niveaus, d. h. Planum 5 und tiefer. Hier genügen einfache Stückzahlen als Arbeitsgrundlage. Im Bereich des Schlackenkanals in Unterquadrat V-b fanden sich insgesamt 30 Fragmente der Ofenwand, zu denen die 13 aus Unterquadrat V-d hinzuzurechnen sind, da der Kanal noch geringfügig in dieses Unterquadrat hineinreicht (*Abb. 9*). In den anderen Fundeinheiten konnten jeweils nur zwischen zwei und fünf Ofenwandfragmente festgestellt werden; auch im weit entfernten Unterquadrat R-c gibt es noch einen Ofenwandfund. Die Stücke aus Unterquadrat M-d oder auch aus Unterquadrat M-b sind vielleicht nicht mehr dieser Struktur zuzurechnen. Östlich im Süden und Westen gab es

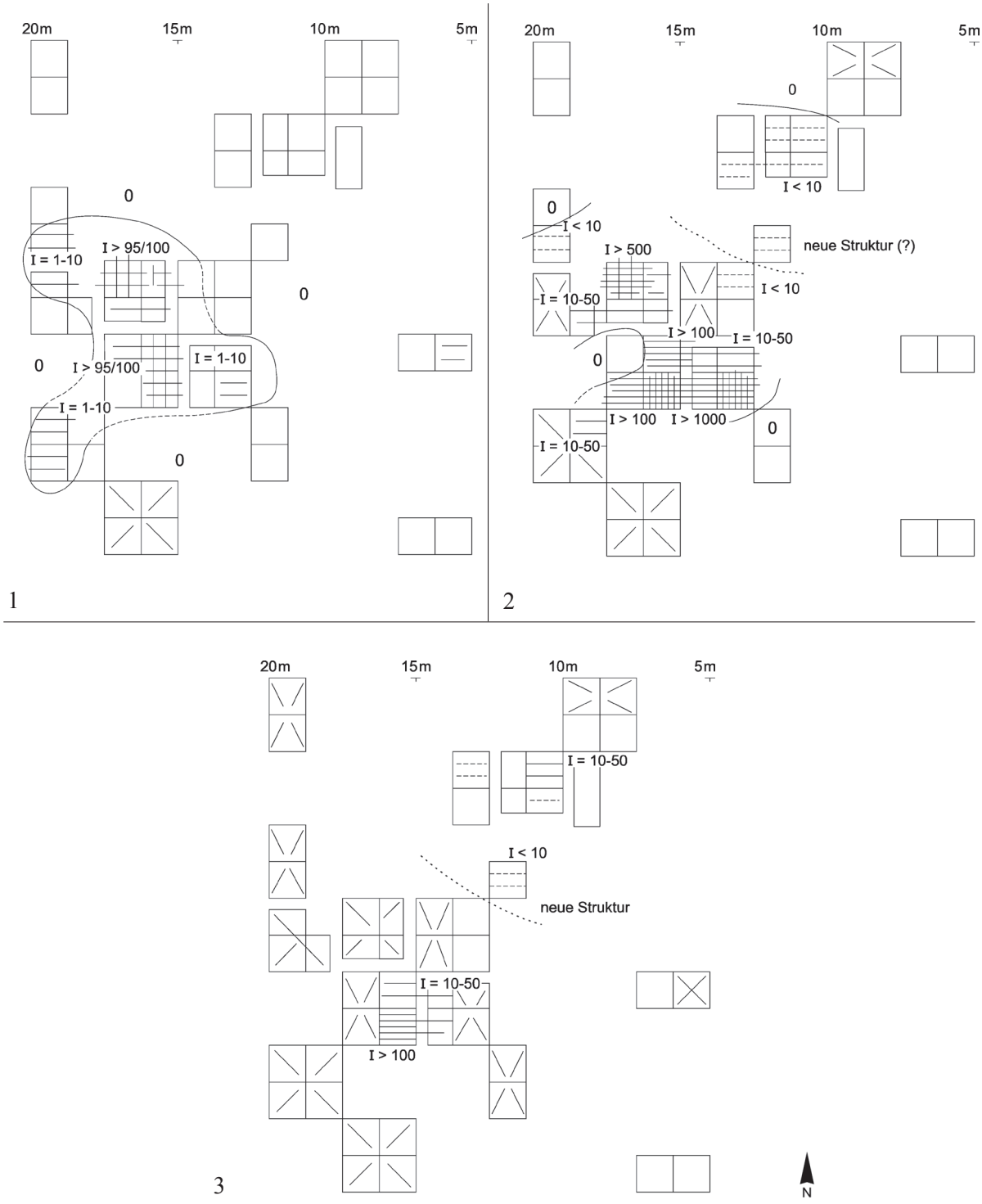


Abb. 21. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Ofenwand-Index. 1: Planum 3; 2: Planum 4/5; 3: Planum 6/7.

keine Funde der Kategorie „Ofenwand“. Letztlich entspricht dies exakt dem Verteilungsbild der Schlacken.

In der Arbeitsabfolge der Grabung ergibt sich folgendes Bild: Planum (1+) 2 hat zwar nur wenige Funde geliefert, doch deuten diese bereits auf das spätere Zentrum hin. Planum 3 zeigt einmal mehr die Respektierung des Meilerbereichs (*Abb. 21,1*). Hier lohnt es sich, die Indexwerte zu betrachten, da über 1.000 kleine Ofenwandbrocken je Unterquadrat vorhanden sein können. Bei der Bearbeitung dieser Fundkategorie hat sich gezeigt, dass es von Vorteil ist, die Plana 4/5 gemeinsam auszuwerten (*Abb. 21,2*). Das Zentrum befindet sich in Unterquadrat B-d, dem einige Unterquadrate mit Werten über 100 vorgelagert sind: Unterquadrate



1

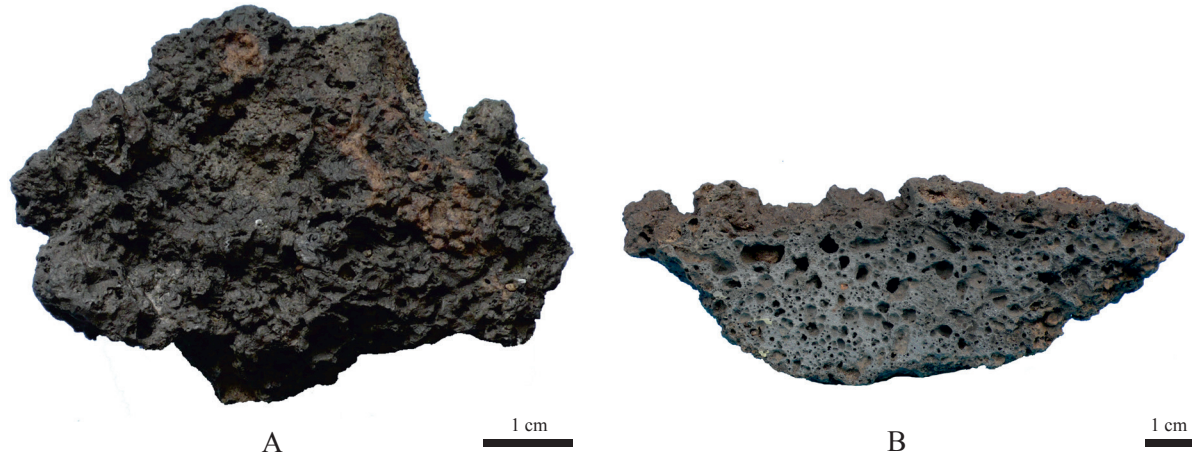


2

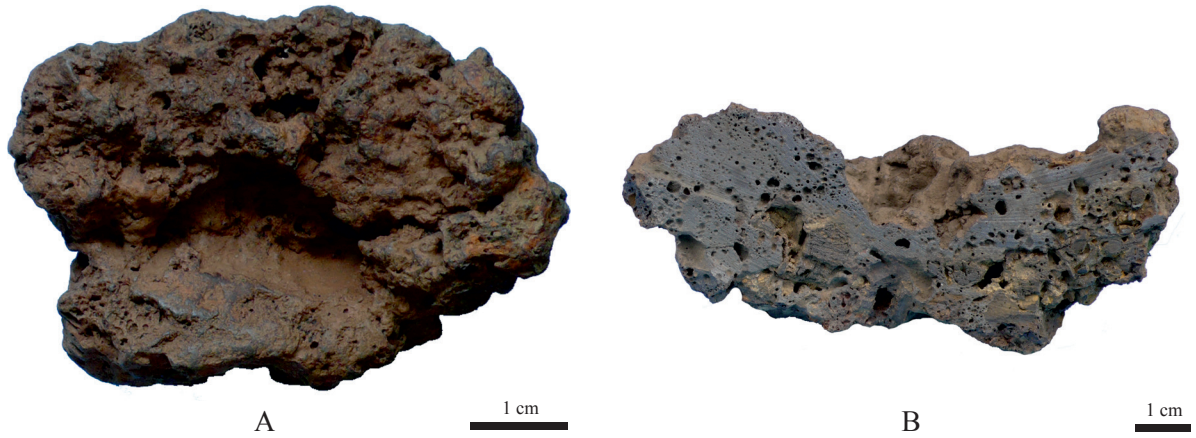


3

Abb. 22. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1–3: Schlacken aus der „Halde mit Frischschlacken“ (Fotos M. Overbeck).



1



2



3

Abb. 23. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1: Fragment einer kalottenförmigen Schlacke (Produktionsschlacke?) in der Draufsicht (A) und im Querschnitt (B); 2: Fragment einer kalottenförmigen Schlacke mit zahlreichen Holzkohleeinschlüssen an der Basis (Verarbeitungsschlacke?) in der Draufsicht (A) und im Querschnitt (B); 3. Fragment einer Schlackenzunge (Fotos M. Overbeck).

B-c, B-b (in Planum 3) und C-c. In diesen Bereichen gibt es auch Indexwerte unter 50, welcher auch einmal in Unterquadrat C-a vorkommt. Insgesamt ergibt dies eine Intensivzone mit den Maßen von etwa 2,5 x 2,5 m. Ob dies auf eine *in situ*-Struktur, einen Ofen, zurückzuführen ist, wird später zu besprechen sein. Mit Planum 6 gehen die Werte im zentralen Bereich (Unterquadrat B-d) deutlich zurück, obwohl Schlacken noch reichlich vorhanden sind (*Abb. 21,3*). Das heißt, die Ofenwand liegt offenbar nicht direkt auf dem gewachsenen Boden auf, was bedeuten könnte, dass hier eine ältere Schlackenschicht der Rennfeuerzeit zumindest noch rudimentär vorhanden war.

Ein weiterer Schwerpunkt mit Werten über 1000 findet sich in Fundeinheit C-4-d. Diese Sachlage erschwerte lange die Interpretationsversuche. Es wurde auch in Erwägung gezogen, ob es sich z. B. in den Fundeinheiten C oder Q um kleine Teile gebrannten Lehms aus der präparierten Brennfläche des Meilers handeln könnte. Anders ist die Situation im Unterquadrat L-a. Dort konnten mehrfach Indexwerte < 100 festgestellt werden, in einem Fall sogar < 400, die bis in Unterquadrat L-b hineinreichten. Es gibt keinen Zweifel, dass es sich hier um die echte Ofenwand handelt, vermutlich um einen Versturz o. Ä., doch sind kleinere Umlagerungen und Störungen nicht auszuschließen. Der hohe Indexwert mit I > 400 gilt für Planum 4, der Wert von Planum 5 liegt mit I = 100–150 deutlich niedriger. In Quadrat N gibt es keine Ofenwand, in Quadrat O finden sich höchstens jeweils 1–3 Stück je Fundeinheit bzw. Unterquadrat.

Steine

Größere Steine, die man mit speziellen Konstruktionen hätte verbinden können, fanden sich kaum. Die Steine aus Unterquadrat B-a, etwa fünf größere Exemplare, scheiden aus, da sie offenbar außerhalb der Schlackenlage bzw. Kulturschicht auftreten. Auch in den Profilen 3 und 4 zeigen sich nur wenige Exemplare (*Abb. 35,2; 36,1*). Einzig jene aus der „Herdstruktur", dem Schlackenkanal, sind sicher als umgelagerte Überreste einer Konstruktion anzusprechen. Hier waren es etwa 20–25 Stück mit den Maximalabmessungen von 25 x 20 x 10 cm bzw. 20 x 10 x 10 cm.

Holzkohle

Mehrere vollständige Fundeinheiten wurden für eventuelle spätere botanische Untersuchungen zurückbehalten, die aber bisher nicht durchgeführt werden konnten. Es stellt sich die Frage, ob die vermutete Mehrphasigkeit in der Platznutzung sich eventuell in Unterschiede im Waldbestand und/oder in den technischen Anforderungen niederschlägt.

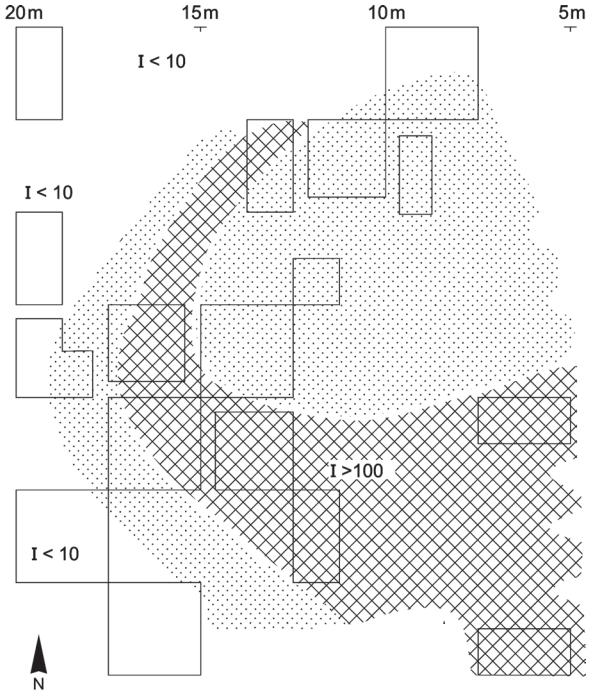


Abb. 24. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Meilerrest.

Zum besseren Verständnis wird mit einem aus den konkreten Gegebenheiten entwickelten Modell begonnen, das sich unmittelbar aus den Ergebnissen der Plana 2 und 3 herleiten lässt. So kann man sicher sein, dass darin allein der neuzeitliche Meilerbetrieb zum Ausdruck kommt (*Abb. 24*). Nicht die Meilerplattform selbst zeigt die meisten Holzkohlenfunde, sondern ein diese umgebender „Randwall". Die Werte des Kernbereichs entsprechen jenen, die sich sichelförmig auch außen um den Kranz mit Höchstwerten herumlegen.

Auf der Basis des Holzkohlen-Indexes (HK-Index) einzelner Fundschichten kommen wir zu den Details (*Abb. 25; 26*). Es zeigt sich, dass der zentrale Meilerplatz in den Plana 2–4 jeweils nur mittlere Werte zwischen 10/12–95/100 aufweist (*Abb. 25,1–3*). Westlich und südlich (im Wesentlichen auf gleicher Höhe bzw. z. T. talwärts, aber nie hangaufwärts) legt sich ein Kranz mit hohen Werten über I > 100, z. T. sogar mit Indexwerten von deutlich I > 400. Diese im Westen und vermutlich auch im Nordwesten befindliche schmale Zone reflektiert den erwähnten „Randwall" des Meilers; im Süden, wo das Gelände zum Bach abfällt, ist diese Zone merklich breiter. Dieser „Randwall" könnte bei einer Klärung bzw. Säuberung der Plattform entstanden sein, die nur dann einen Sinn ergibt, wenn man den Meilerplatz erneut nutzen will. Offenbar wurde dieser Platz als stationärer Meilerstandort mehrfach benutzt. Die natürliche Hangneigung sorgte bereits für eine breitere Streuung der zusammengefegten Meilerrückstände. Sicher wurden im Hangbereich nach Aufgabe des Mei-

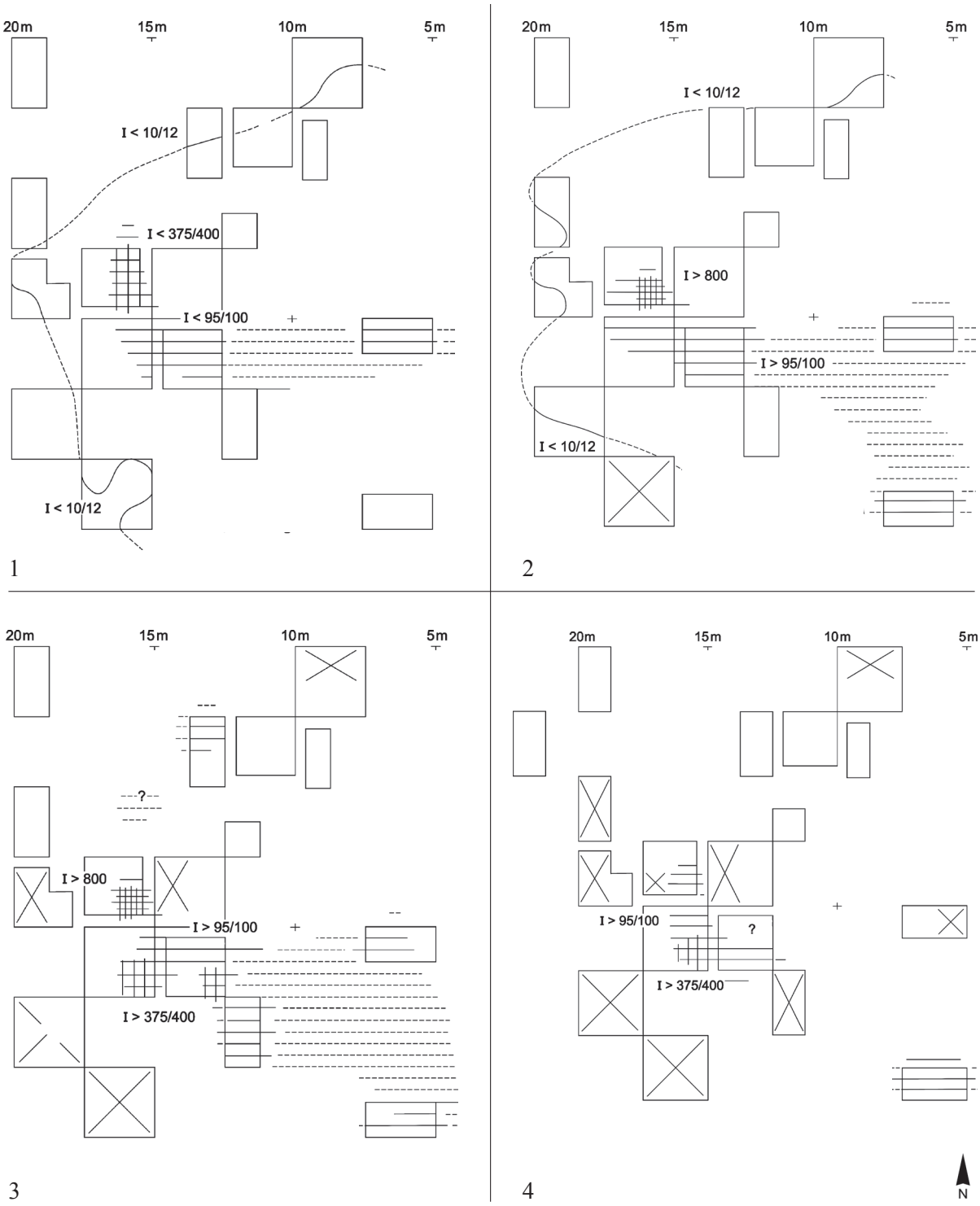


Abb. 25. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Holzkohlen-Index. 1: Planum 2; 2: Planum 3; 3: Planum 4; 4: Planum 5.

lerstandortes später noch Erosionsvorgänge wirksam, die diese Schüttung talwärts verlagerten und die Spur verwischten bzw. undeutlicher machten.

Im Planum 5 gibt es noch einige Unterquadrate mit Werten I>100, die im Bereich des „Randwalles“ liegen, aber dieser Struktur vermutlich nicht mehr zuzurechnen sind (*Abb. 25,4*). Es ist gut möglich, dass bereits ab Planum 4 einige Werte eine ältere, vom Meiler überlagerte Struktur reflektieren. Aufgrund der räumlichen Nähe bzw. der Übereinstimmung mit der vom Meiler geprägten Struktur wird dies leider nicht deutlich. Eine weitere neue Struktur ist in Planum 6 erkennbar (*Abb. 26,1*). In Planum 7/8 wurden die untersten Reste des Befundes erfasst (*Abb. 26,2*).

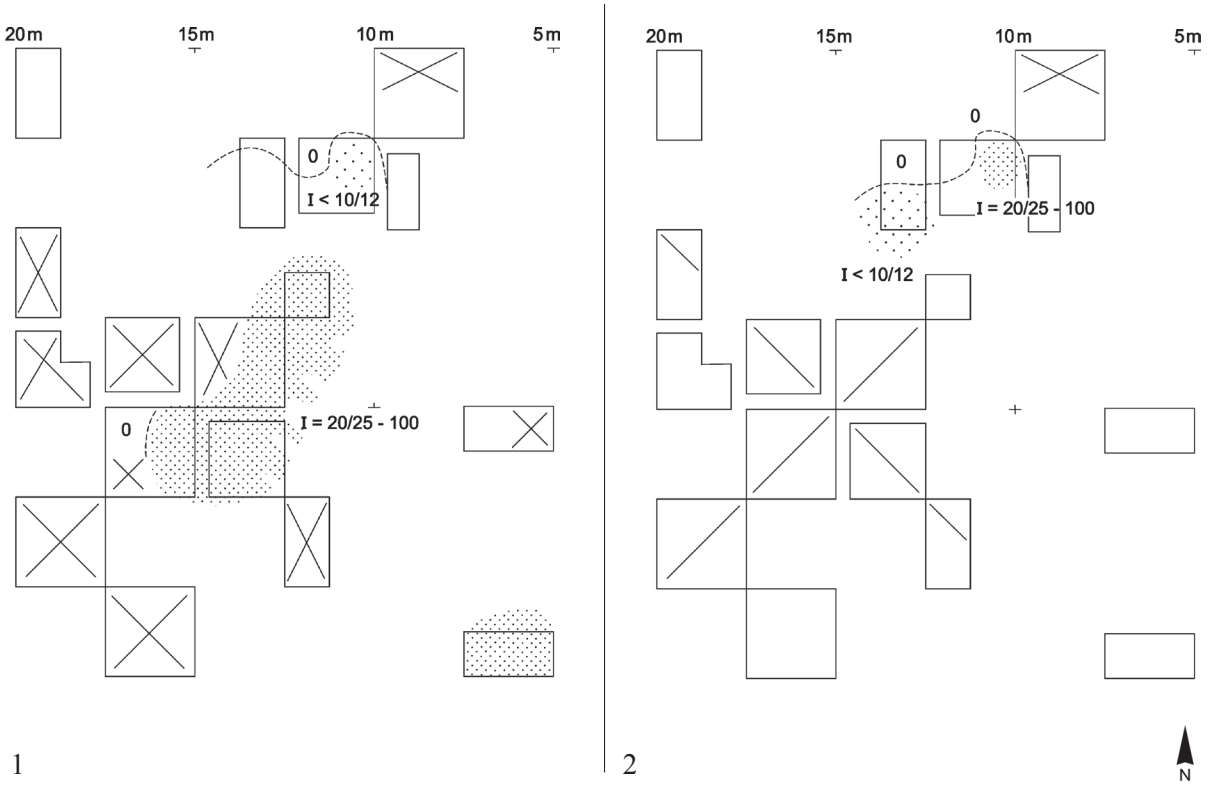


Abb. 26. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Holzkohlen-Index. 1: Planum 6; 2: Planum 7/8.

Erz

Erze fanden sich nur in geringer Stückzahl (26 Exemplare). Aus der stratigrafischen Situation und der räumlichen Verteilung lassen sich keine Schlüsse auf die Lage der Erzaufbereitung ziehen. Aus dem Dietzhölzetal-Projekt ist bekannt, dass die Erzaufbereitung normalerweise in geringer Entfernung (von etwa 3–3,5 m) vom Schmelzofen stattfand.[6]

Tondüse

Ein kleines Keramikfragment (2,6 x 1,6 x 0,6 cm) von rot-oranger Farbe wurde ursprünglich vom Verfasser für einen Rundholzabdruck in gebranntem Lehm gehalten. Bei einer abschließenden Überprüfung in gesäubertem Zustand zeigten sich aber senkrecht zur Krümmung verlaufende Spuren von Fingerverstrich. Reste einer metallischen(?) Ablagerung haben sich rudimentär ebenfalls erhalten (*Abb. 20,2*). Der innere Durchmesser dieser Röhre mag zwischen 4,5–5,5 cm gelegen haben. Es kann sich nur um ein kleines Bruchstück einer Tondüse handeln, die nach der Fundlage eher der oberen als der unteren (Renn-)Schlackenlage zuzurechnen ist.

Keramik

Abbildung 27 zeigt unter Angabe des Fundniveaus die räumliche Fundverteilung. Abgesehen von einer Ausnahme, dem Fragment der oben erwähnten Tondüse (*Abb. 20,2*), handelt es sich um Gefäßkeramik. Die dünnwandige Keramik (0,3–0,5 cm) dürfte in das 11.–13. Jahrhundert datieren. Genauere Angaben sind nicht möglich, da einerseits markante, typologisch relevante Merkmale fehlen und zudem die Erhaltung schlecht ist. Allerdings darf es als einigermaßen sicher gelten, dass es sich bei allen Fragmenten um Drehscheibenware handelt. Gut erkennbar ist dies bei dem besser erhaltenen, allerdings sehr kleinen Fragment aus Unterquadrat T-7-d, das innen deutliche Drehspuren zeigt; auf der Außenseite glaubt man eine schwache Riefelung erkennen zu können. Vielleicht stammt diese Scherbe von einer Kanne oder einem Krug.

Gut ansprechbar ist allein der Rand eines Gefäßes aus Unterquadrat M-5-b (*Abb. 20,1*), dessen anpassende Scherben in etwa 1 m Entfernung lagen. Die Fundtiefe korrespondiert genau mit dem Horizont, auf dem die untere Meilerschicht die dünne Schlackenschicht überlagerte. Eine (geringfügige) Verlagerung dieser Keramik bei Anlage des Meilers ist wahrscheinlich. Auf dem gekehlten Rand der Scherbe befindet sich ein größerer

[6] Jockenhövel/Willms 2005, 381 f.

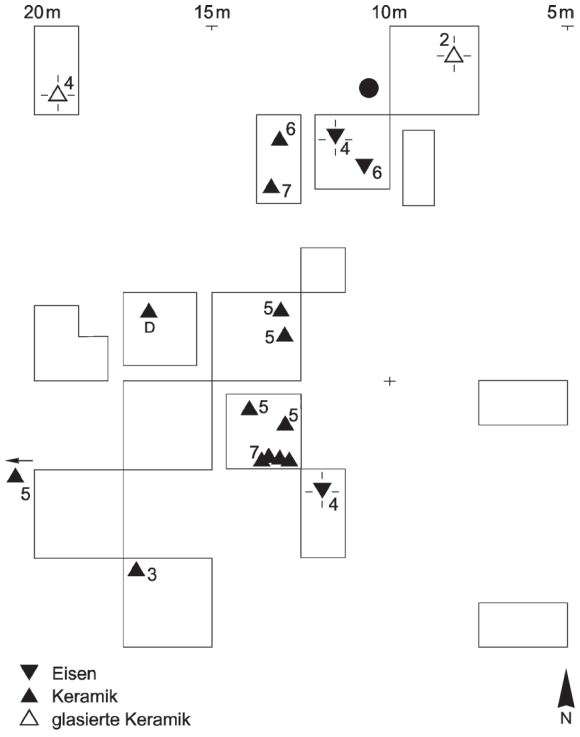


Abb. 27. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Verteilung der Eisen- und Keramikfunde.

Spritzer Eisen/Schlacke, d. h. die Scherbe bzw. das ganze Gefäß hatte sich in unmittelbarer Nähe eines stattgefundenen Metallschmelzprozesses befunden. Möglicherweise ist noch schlackenanalytisch nachweisbar, ob es sich um einen Schmelz- oder Frischprozess gehandelt hat. Das könnte für die Datierung des Frischprozesses relevant sein, denn diese Scherbe ist mit Sicherheit erst in das mittlere 13. Jahrhundert, vielleicht auch erst in das beginnende 14. Jahrhundert einzuordnen. In der Machart vergleichbar sind vier kleine Keramikfragmente aus Unterquadrat C-6-d, aus dem Übergangshorizont beider Schlackenschichten (eine exakte Zuweisung ist nicht möglich, da sie bei der Präparation der Profile in einem schmalen Schnitt gefunden wurden). Vermutlich handelt es sich um Importmaterial, ähnlich der sog. Paffrather Ware.

Über das keramische Fundmaterial lässt sich eine echte Zweiphasigkeit der metallurgischen Prozesse nicht mit letzter Sicherheit beweisen. Wenn sich eine solche herauslesen ließe, so hätte dies zur Konsequenz, die Verhüttungsphase dem 11.–13. Jahrhundert und die Schmiedephase dem 13./14. Jahrhundert zuzuweisen. Allerdings könnte es sich noch um einen (späten) Rennverhüttungsplatz aus der Mitte bzw. zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts handeln. Dann hätte die Schmiedephase keinerlei datierendes Keramikmaterial hinterlassen, denn die glasierte Keramik des 17./18. Jahrhunderts kommt dafür nicht mehr in Frage. Diese ist vielleicht dem Meilerbetrieb zuzurechnen.

AUSWERTUNG

Die jüngste Belegungsphase von Fundplatz Nr. 11 am Hagener Bach bei Fernhagen zeigt einen großen, wahrscheinlich stationär betriebenen Meiler des 17./18. Jahrhunderts, der seinerseits dafür verantwortlich ist, dass die Schmiedephase im Befund stark gestört ist (*Abb. 24*).

Der Schmiedeherd und eine vorgelagerte „Lehmtenne“ wie auch der kastenförmige, vermutlich holzverschalte Wassergraben sind nachweisbar und in ihrer Lage zueinander darstellbar. Die Schlacken wurden viertelkreisförmig hangabwärts entsorgt. Die Hammerhütte kam selbst im Fundamentbereich ohne jede Steinkonstruktion aus. Auch der Herd war vermutlich komplett aus Lehm gebaut. Ob die bescheidene Bauweise ein chronologischer Hinweis ist, kann nicht sicher beantwortet werden, da vergleichbare Anlagen kaum ergraben sind. Noch offen bleiben muss die Datierungsfrage: Eine aufgrund von Funden und Befunden mögliche chronologische Zuweisung in die Zeit um 1300 würde mehr Fragen aufwerfen als eine Spätdatierung in die Zeit um 1500. Allerdings darf beim derzeitigen Forschungsstand ohnehin noch kein festgefügtes Bild erwartet werden. Neben zeitlicher Entwicklung und Differenzierung sind auch regionale und lokale Unterschiede zu erwägen. Die Situation in „Tal X“ dieser Region muss selbst zur gleichen Zeit nicht mit jener im „Tal Y“ identisch gewesen sein. Die Gründe dafür sind vor allem rohstoffbedingt (zu den Rohstoffen des Frischens zählen auch sekundär verwendete Schlacken). Die Darstellung einer Schmiedewerkstatt aus der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts ist sicher nur in Einzelheiten für einen Vergleich verwendbar, etwa bezüglich des unterschlächtigen Wasserrades (*Abb. 28*), das auch für die Anlage am Platz Nr. 11 anzunehmen ist.

Allerdings liegt noch völlig im Dunkeln, ob ein Blasebalg (ein kleines Stück Düsenkeramik ist vorhanden [*Abb. 20,2*]) oder ein Hammer mit Wasserkraft angetrieben wurde. Die Abbildung kann aber die Vorstellungskraft stärken. Hinsichtlich des Ofens mit hohem Kamin mögen sich auch weitere Parallelen zu dem ergrabenen Befund andeuten.

Die Betriebsphase der Rennfeuerzeit ist besonders stark gestört. Diesem Abschnitt sind eine herdförmige Struktur (Schlackenkanal) im Norden und eine südlich anschließende halbkreisförmige Schlackenschüttung zuzurechnen, die zumindest zu großen Teilen von den Frischschlacken überlagert wird (*Abb.11,1–2*). Weitere Strukturen sind nicht nachweisbar. Für diese Rennofenanlage ist eine Spätdatierung möglich, die entweder kurz vor der ältesten Floßofenzeit oder sogar noch parallel dazu anzusetzen ist.

Im Quadrat C fanden sich an der Basis der Schlackenschicht mehrere Keramikfragmente, die in das 13.–14. Jahrhundert datieren. Nach der jetzigen Interpretation wird damit die Frischtätigkeit datiert.

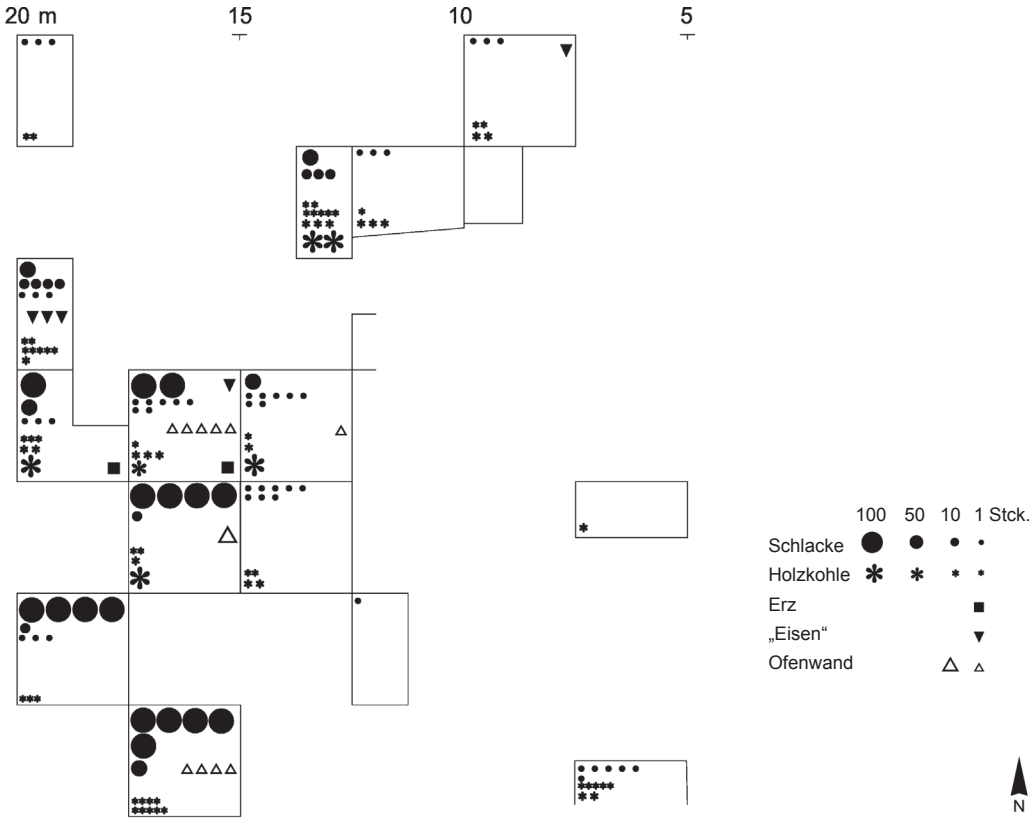


Abb. 28. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Mengenmäßige Verteilung verschiedener Fundgruppen.

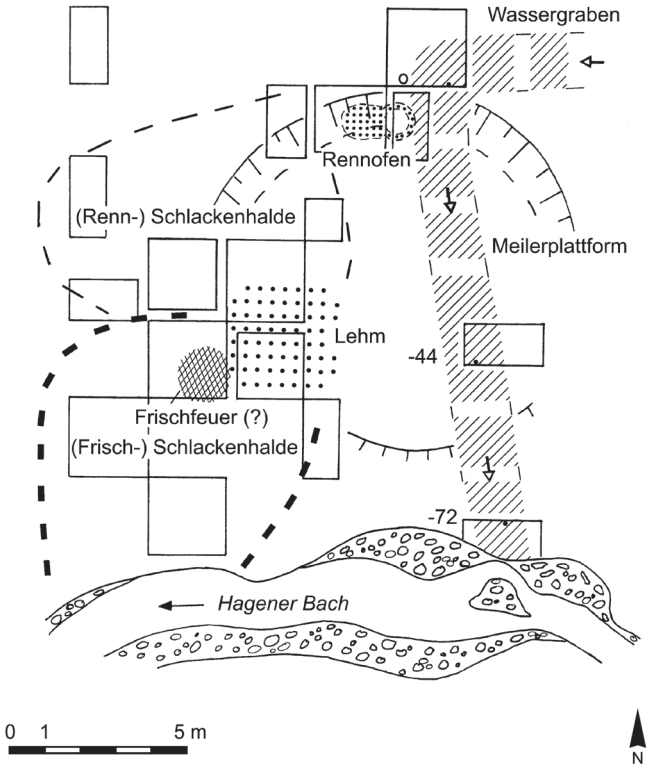


Abb. 29. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Platzstruktur.



Abb. 30. Spätmittelalterliche Schmiedewerkstatt (Straßburger Druck von 1488; nach Hugo Spechtsharts von Reutlingen *Flores musicae omnis cantus gregoriani* [1332/1342]) (nach Borst 1983, 382 Abb. 73).

Es ist durchaus wahrscheinlich, dass sich im Norden der Grabungsflächen (Quadrate V, T, U und westlich davon) Befunde und Schichten einer vorhergehenden Rennverhüttungsphase nachweisen lassen. Anhand der Datierung der Keramik lässt sich diese Zweiphasigkeit vermuten, aber nicht sicher nachweisen. Demnach würde das Rennfeuer in das 11.–13. Jahrhundert, das Frischfeuer hingegen in das 13./14. Jahrhundert zu datieren sein. Das bedeutet, dass Rennverfahren und Hochofenverfahren, für welches der Frischbetrieb steht, an dieser Fundstelle zeitlich nahe beieinander liegen und dass sie sich – für das Märkische Sauerland gesprochen – einander im 13. Jahrhundert abgelöst haben könnten.[7]

Eine angenommene Frühdatierung der Frische-Schmiede um 1300 ist durchaus möglich, wenn man sich an der chronologischen Position der älteren Floßofenanlage von Platz Nr. 105 orientiert (s. S. 103 ff.). Aber woher kam dann das Roheisen für diese Schmiede? Der nahegelegene Jubach-Floßofen kommt dafür nicht in Frage, da er kaum in die Zeit vor das 15. Jahrhundert zu datieren ist und diese Hütte offenbar über integrierte Frischhämmer verfügte (s. S. 335 ff.).[8] Aus dem näheren Umkreis sind bislang nur zwei benachbarte Floßofenanlagen bekannt, die der Frühzeit, dem 13./14. Jahrhundert, zugeordnet werden könnten: Es handelt sich um die Hüttenplätze Nr. 42 und Nr. 43, die

[7] Der Floßofenplatz Nr. 91 oberhalb der Fundstelle Nr. 90 im Wippertal (s. S. 185 ff.) hatte seinerzeit (1971) die ersten frühen 14C-Daten geliefert. Prof. Dr. M. Geyh, 14C-Labor des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung Hannover, hat auf Anfrage des Verfassers aus dem Jahr 1995 diese Daten nach dem neuesten Forschungsstand kalibriert. Das ältere Datum belegt den Zeitraum zwischen 1275–1375 (1 Sigma) bzw. 1225–1400 (2 Sigma). Ein Datum für den älteren Floßofen am Floßofenplatz Nr. 105 (s. S. 103 ff.) deutet auf den engen, gut begrenzten Datierungsbereich der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts hin (1 Sigma). Ein 14C-Datum der Rennofenanlage am Floßofenplatz Nr. 90 ist auf jeden Fall vor 1200 zu datieren (2 Sigma: 11./12. Jahrhundert) (vgl. S. 132 *Abb. 30*). Eine Schlackenhalde mit Schlacken des Rennfeuertyps bei Schwelm, Ennepe-Ruhr-Kreis, wird anhand der Keramik der Zeit von 1450–1550 zugewiesen. Siehe: Hackler 1994, 219–227. Diese Keramik lässt sich mit einem Teil der Keramik der (mehrphasigen?) Hochofenperiode von Platz Nr. 90 vergleichen und ist in Schwelm vermutlich nicht, wie angenommen, mit einer Rennverhüttung, sondern einer Weiterverarbeitung (Frischen/Schmieden) zu verbinden.

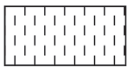
[8] Sönnecken/Knau 1994, 407–446; Ganzelewski/Rehren 1994.

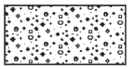
sich weiter südlich, in gut 2,5 km Entfernung (Luftlinie) am Zusammenfluss von Schleipe und Fromecke befinden. Die Hütten Nr. 7, 8, 10, 15, 16 und 33 liegen im Haupttal der Volme und zählen vermutlich nicht zur ersten und ältesten Floßofengeneration; sie könnten den Zeitraum von 1450–1600 repräsentieren.

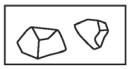
H. L. Knau und M. Sönnecken vermerken, dass in den Betriebszeiten der ältesten Floßöfen „bisher noch keine Hammerwerke in benachbarten Gebieten (d. h. in enger Nachbarschaft) nachzuweisen sind“ und „daß noch im 14./15. Jahrhundert die Weiterverarbeitung des im Floßofen erzeugten Roheisens nicht in Hammerwerken, sondern am Standort des Floßofens in Frischfeuern erfolgte“.[9] Handelt es sich bei Platz Nr. 11 also doch um einen Frischhammer des 14./15 Jahrhunderts? Der unmittelbar östlich des heutigen Fernhagen-Hofes gelegene Berg bzw. dessen Nordhang, beinahe gegenüber den Schlackenplätzen Nr. 10 und 11, trägt den Namen „Schmitteberg“. Urkundlich bezeugt sind Schmiedehämmer am Fernhagen spätestens seit 1652 (Platz Nr. 39), der seinerzeit allerdings schon wüst gefallen war, so dass man vielleicht bis zum Jahr 1600 zurückrechnen darf. Der bachaufwärts gelegene Frischhammer Nr. 11, noch ohne Teichanlage, ist sicher älter.

[9] Knau/Sönnecken 1994a, 263. 268.

LEGENDE FÜR DIE PLANA- UND PROFILZEICHNUNGEN

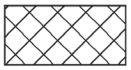

Mutterboden/See-Sediment

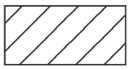

Verfüllung, Füllschicht
(in Gräben/Kanälen, Pfostenlöchern)

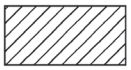

Steine


Holz


größeres Wurzelwerk/Wurzeln


Störung

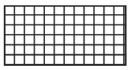

lockere Schlacke

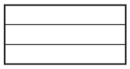

dichte Schlacke

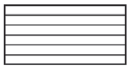

vereinzelte Schlacke

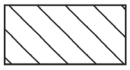

Erz

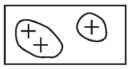

Holzkohle


verschlackte Ofenwand


Ofenrot


Ofenrot intensiv

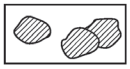

Rotfärbung
(Hitze, kleinste Erzstücke)


Ofenlehm, unverschlackte Ofenwand


Arbeitsfläche(?)
Beschickungsfläche


eisenhaltige Schicht


schwarz-graue Zone
am Ofen


Schlackenkalotten


Keramik


Eisen

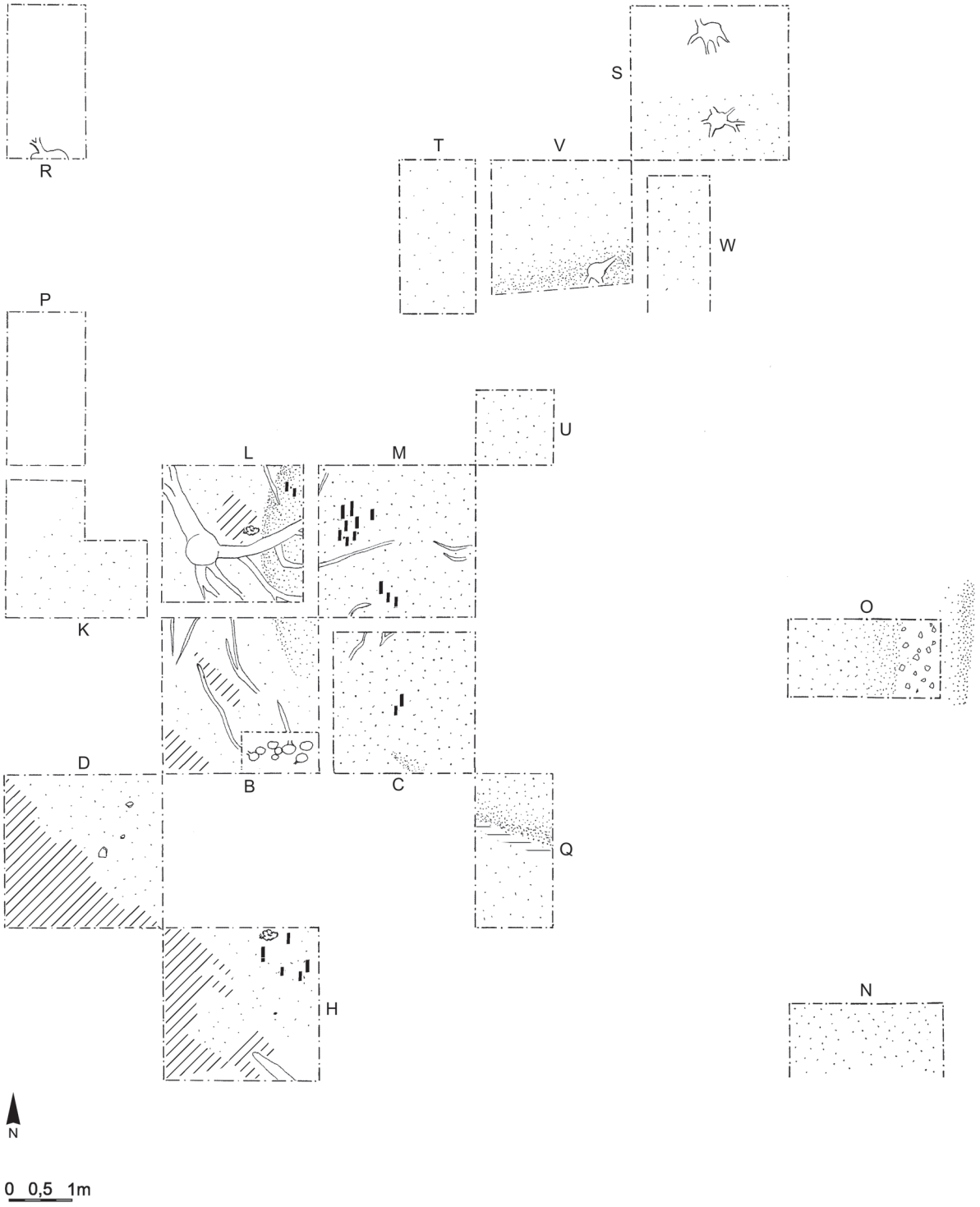


Abb. 31. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Planum 2, 3.

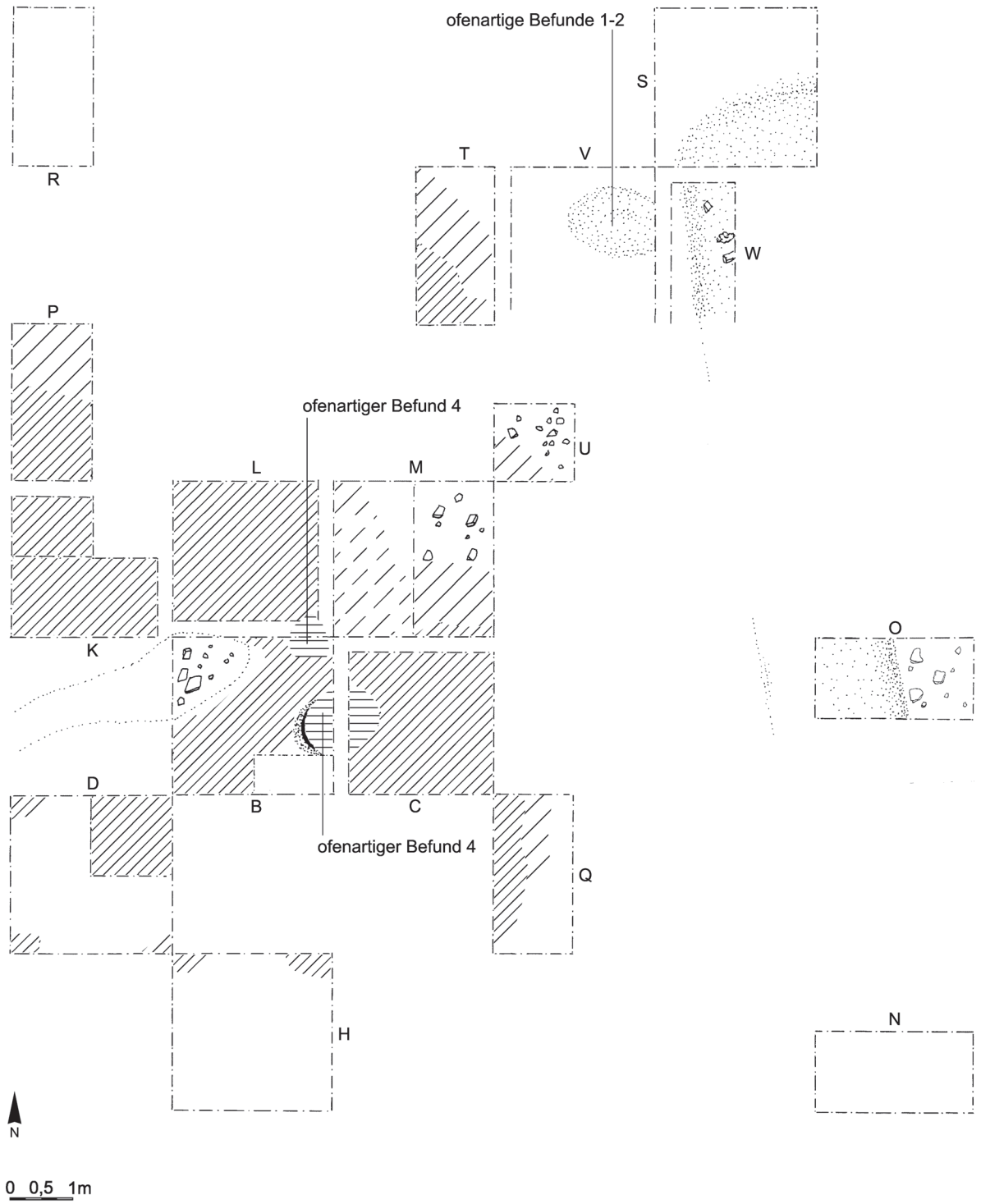


Abb. 32. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Planum 4–6.

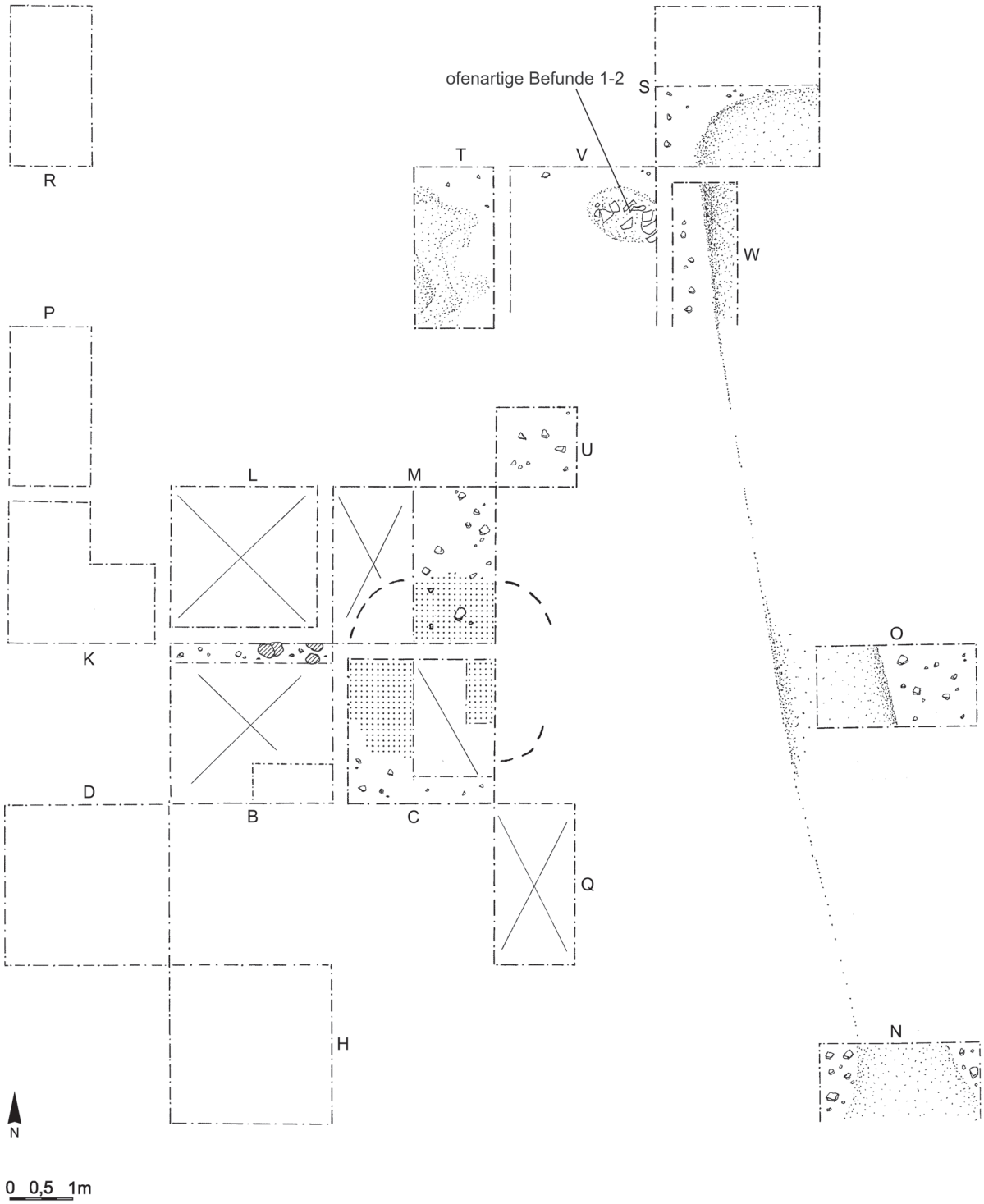
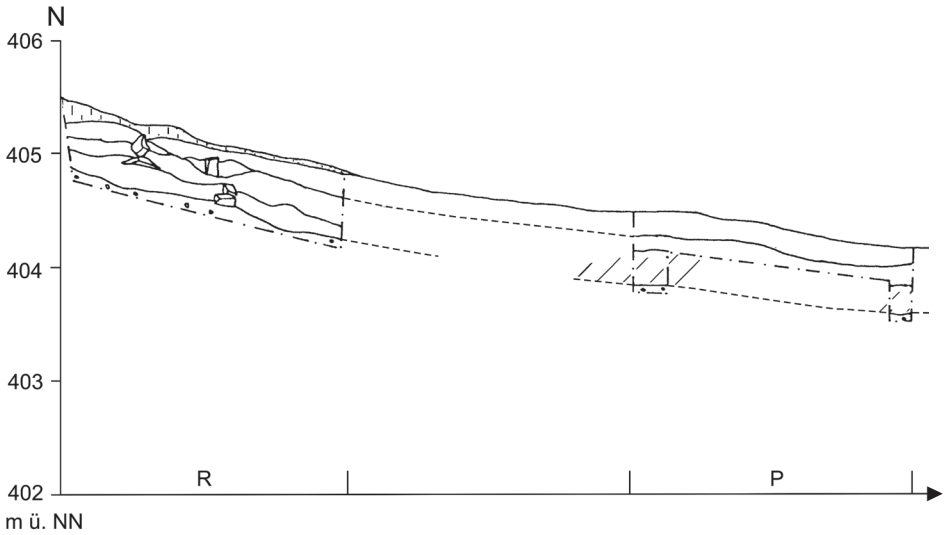
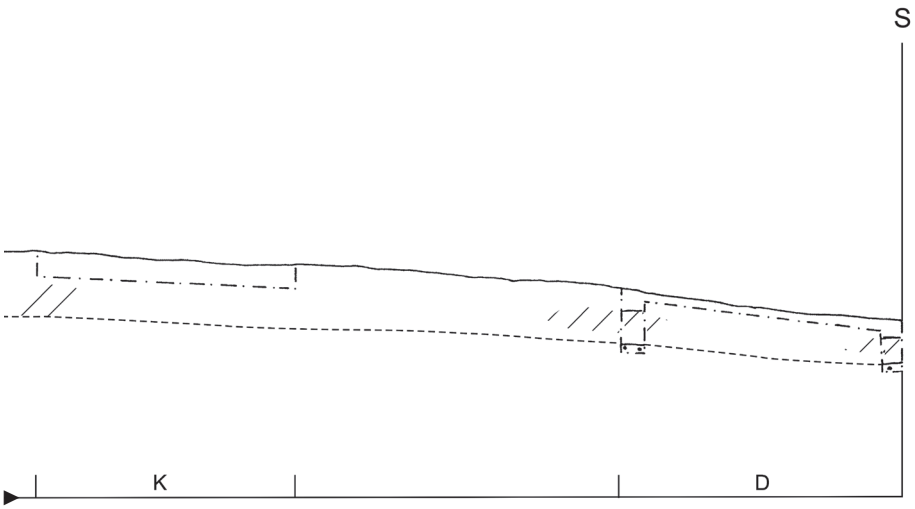
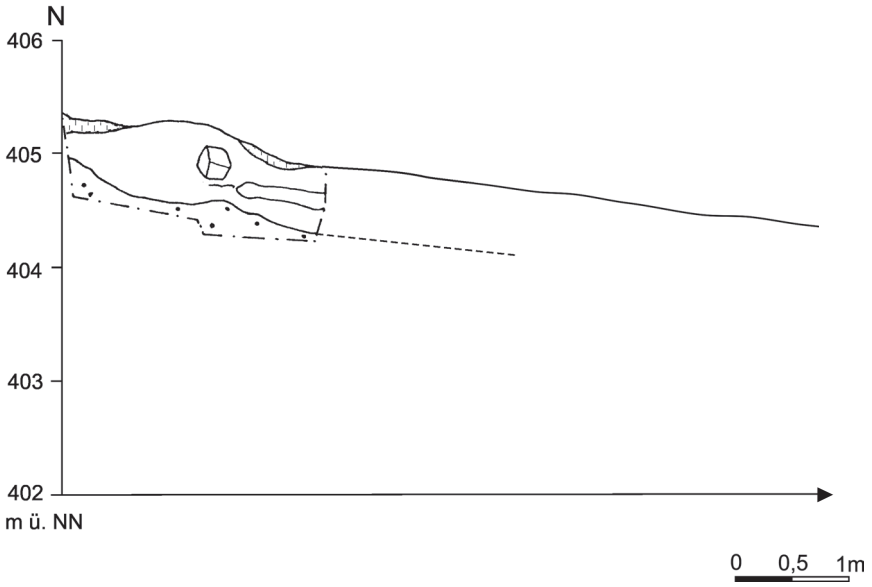


Abb. 33. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Planum 7, 8.



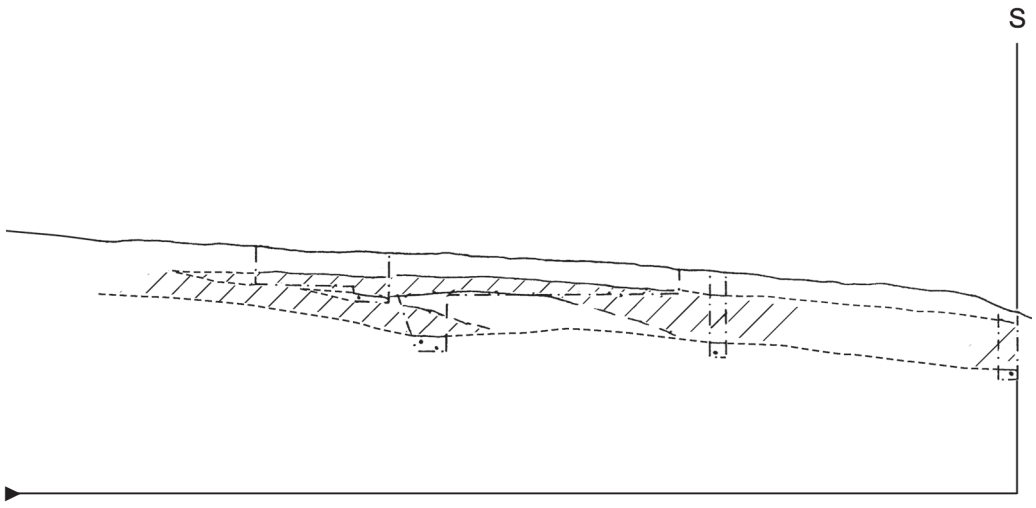


1

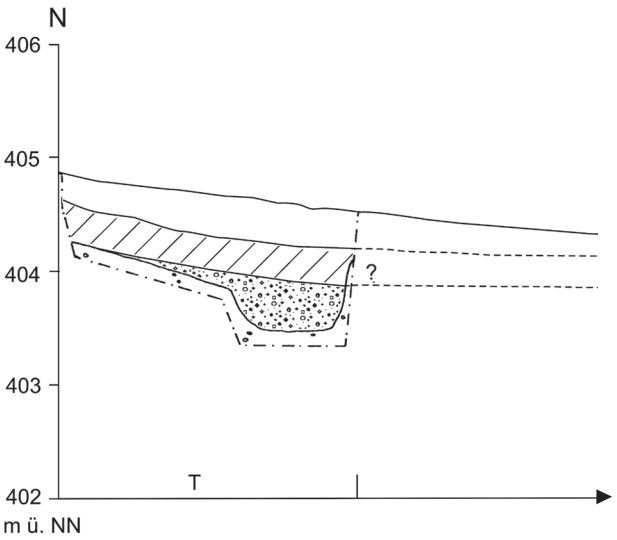


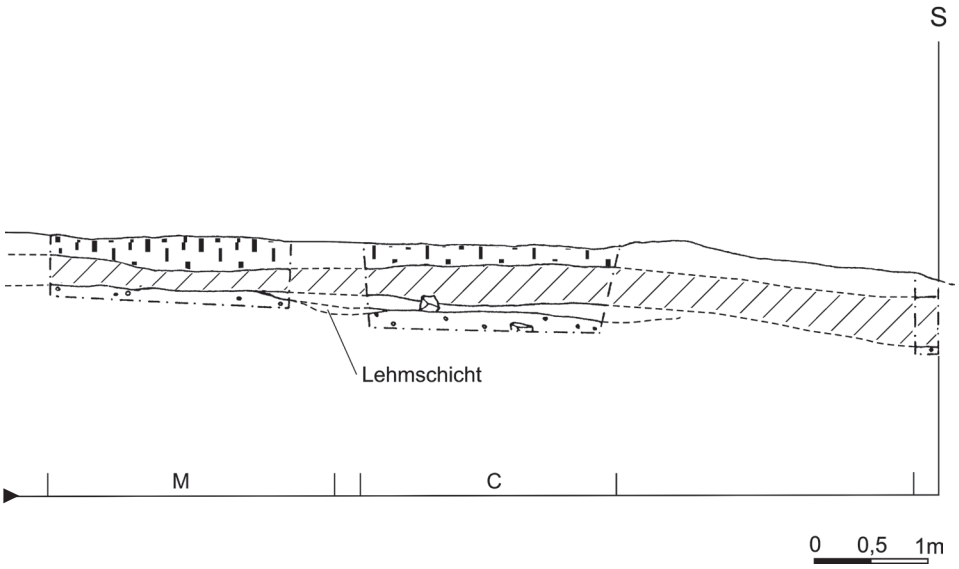
2

Abb. 34. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1: N-S-Profil 1; 2: N-S-Profil 2.



1





2

Abb. 35. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11.1: N-S-Profil 2; 2: N-S-Profil 3.

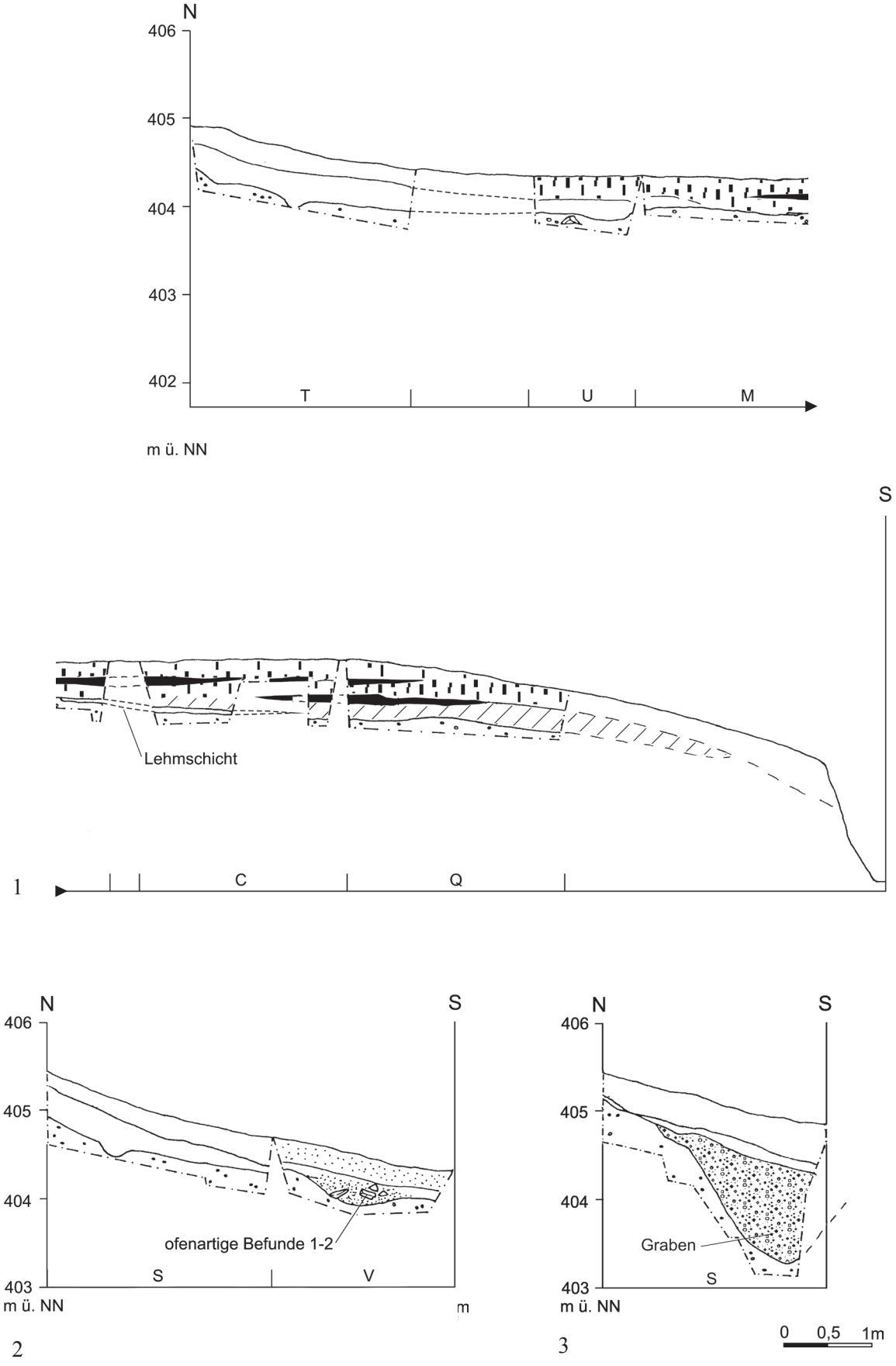


Abb. 36. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1: N-S-Profil 4; 2: N-S-Profil 5; 3: N-S-Profil 6.

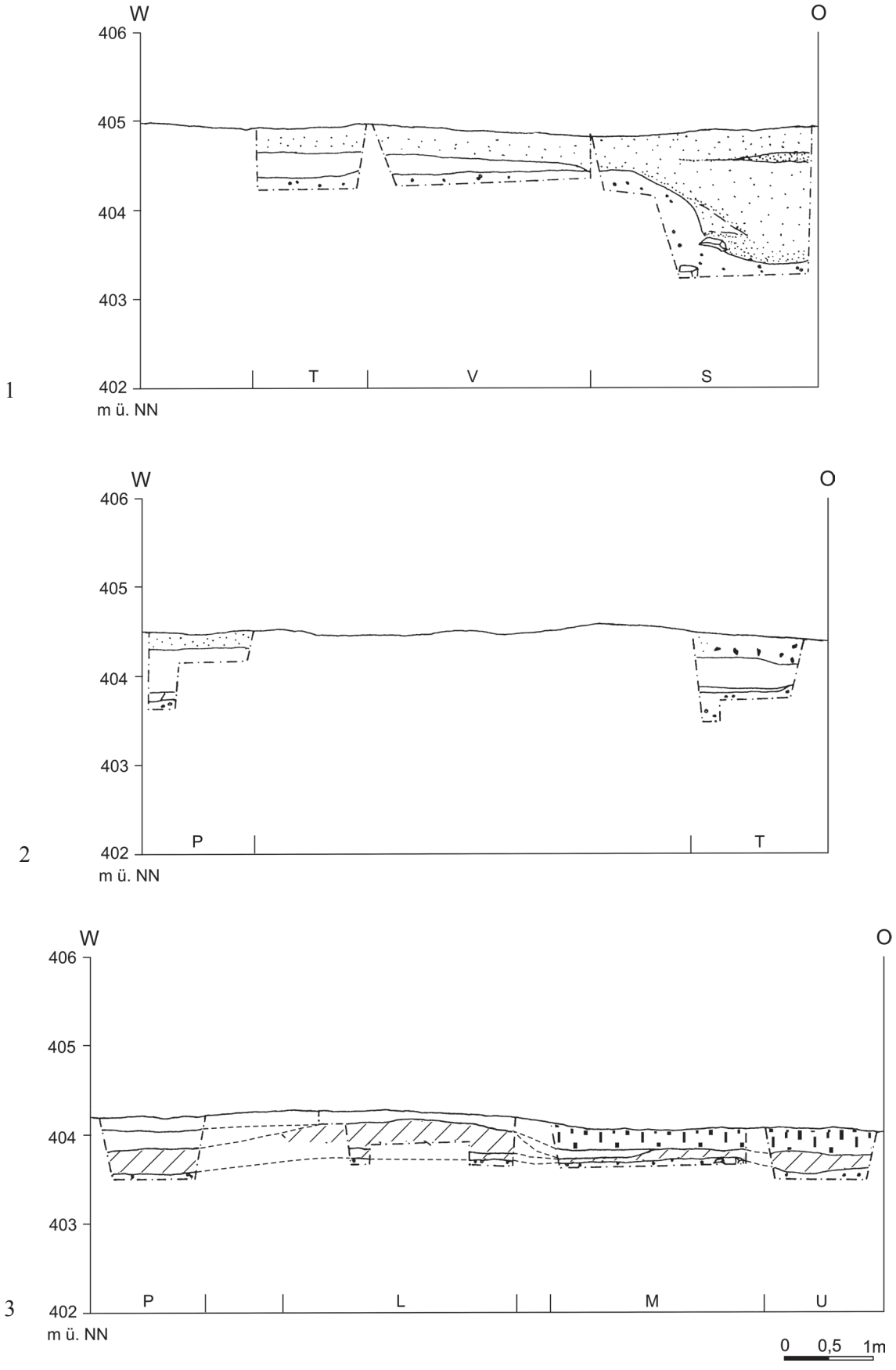


Abb. 37. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11.1: W-O-Profil I; 2: W-O-Profil II; 3: W-O-Profil III.

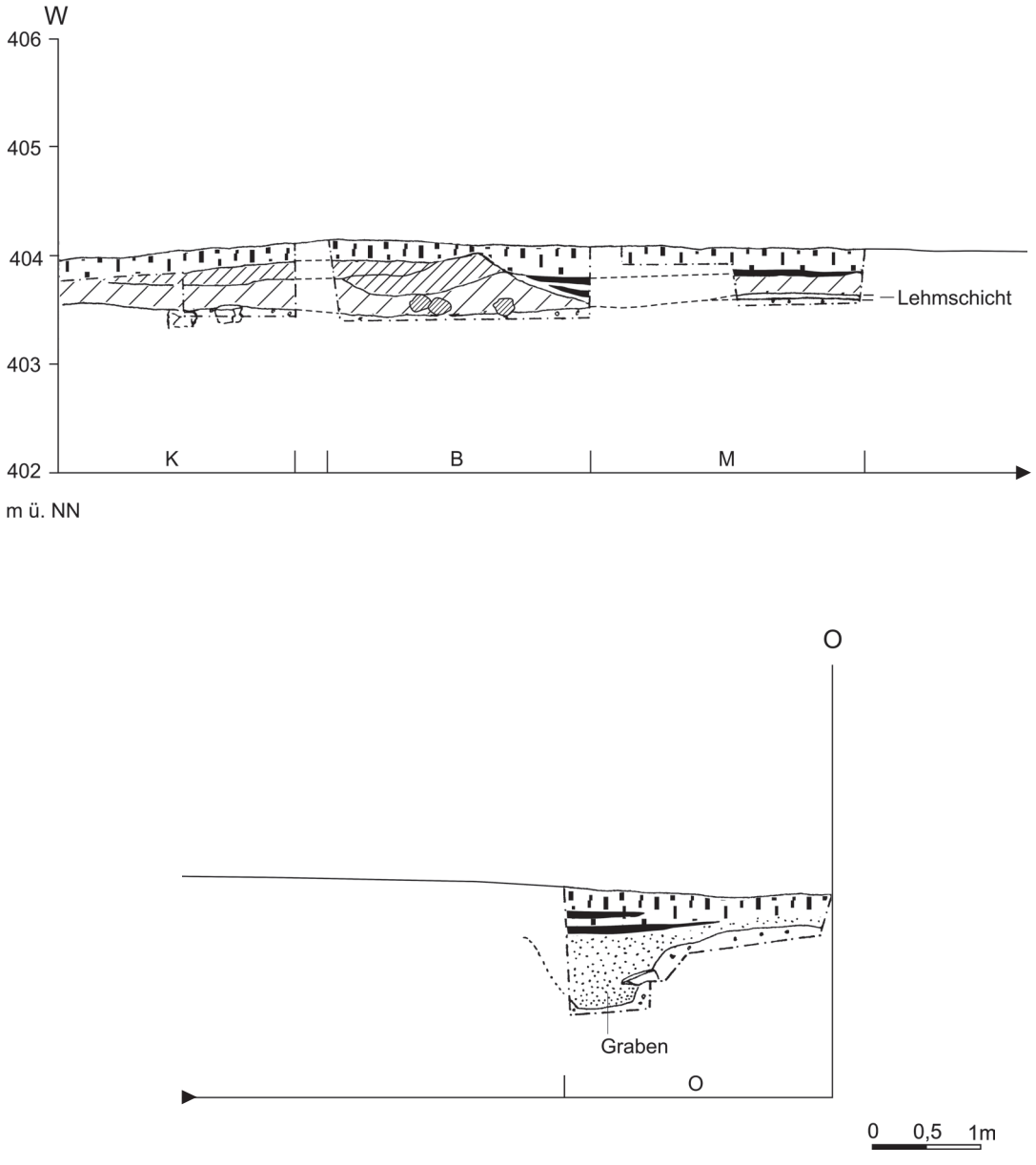


Abb. 38. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. W-O-Profil IV.

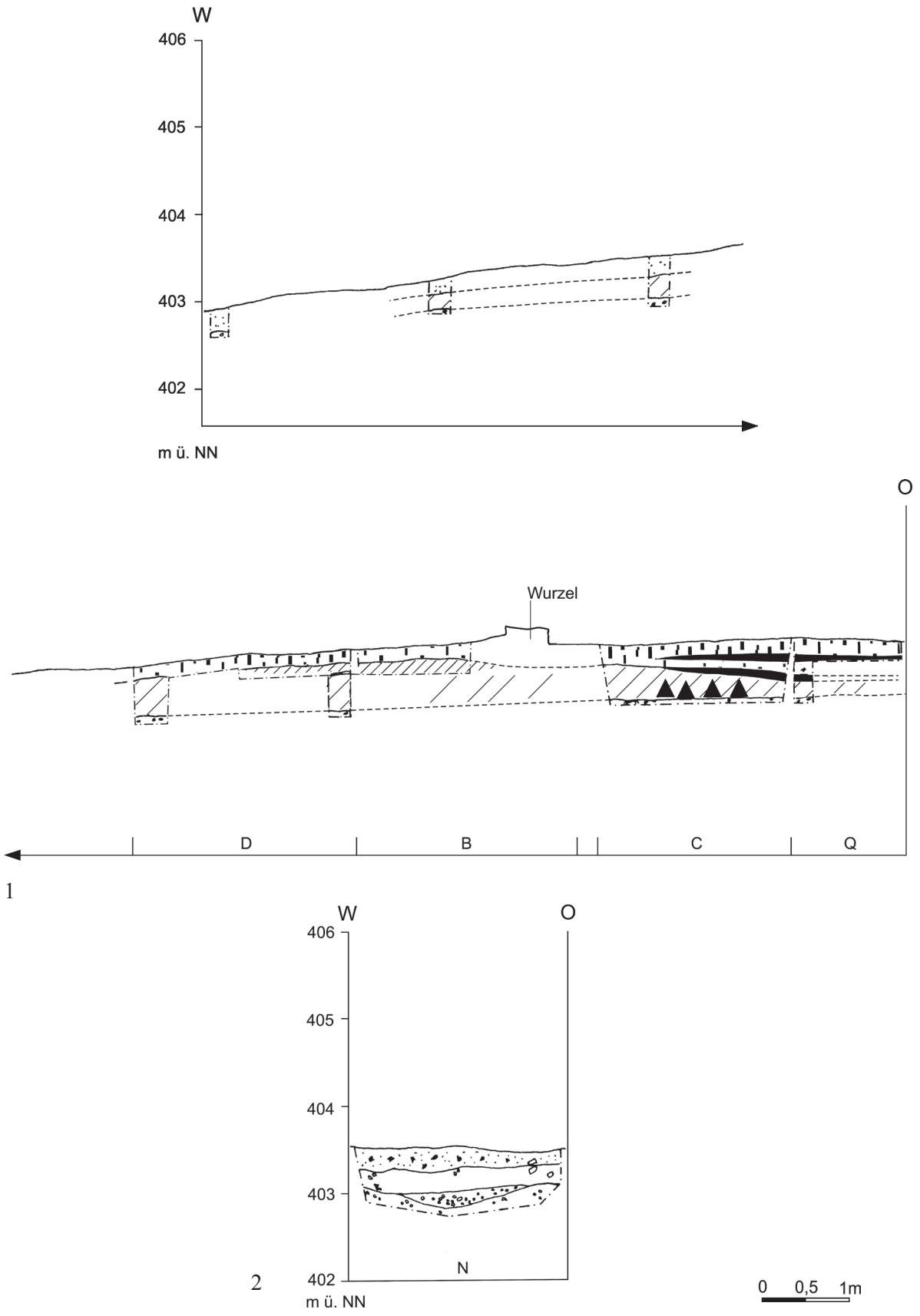


Abb. 39. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. 1: W-O-Profil V; 2: W-O-Profil VI.

SIEB- UND SCHLÄMMANALYSEN ZU VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 11

Michael Overbeck

An Fundplatz Nr. 11 wurden aus verschiedenen Bereichen des Verhüttungsplatzes insgesamt drei Bodenproben (BP) im Umfang von 6,2 kg (BP 1), 5,4 kg (BP 2) und 7,8 kg (BP 3) entnommen (s. S. 26 *Abb. 7*). Die Entnahmestellen liegen sämtlich außerhalb der im Verlauf der Ausgrabung geöffneten Quadrate. Das Probenmaterial sollte Aufschluss darüber geben, wie sich die Fundgruppen Schlacke, Gestein/Erz, verziegelter Lehm/Ofenwand und Holzkohle auf dem Fundplatz verteilen. Zum anderen sollten vor allem die kleinen und kleinsten Funde (Größenklasse 2–6 mm), die im Rahmen der regulären Grabungsarbeiten nicht vollumfänglich dokumentiert werden konnten, einer detaillierten Betrachtung unterzogen werden. Im Folgenden werden die Fundgruppen jeweils in der Reihenfolge der abnehmenden Fundmenge (n) vorgestellt. Falls nicht ausdrücklich anders angemerkt, beziehen sich Prozentangaben auf das Gewicht.

BODENPROBE 1

BP 1 stammt aus der bachseitigen Abbruchkante des Geländes und ist aus der sog. „Halde mit Frischschlacken" entnommen worden (s. S. 26 *Abb. 7*). Nach der Schlämmung (insgesamt 3.714,5 g) betrug der Fundinhalt 500,1 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 3.214,4 g (Größenklasse > 6 mm). Schlacke (99,3 %), Gestein/Erz (0,6 %), Holzkohle (0,07 %) und Ofenwand/verziegelter Lehm (0,03 %) sind in der BP enthalten (*Abb. 1,1*).

Schlacke hat mit insgesamt 3.687 g den größten Anteil am Bodensubstrat. Lediglich 18 % der Schlacken im Größenbereich 2–6 mm reagierten nicht auf den Handmagneten (*Abb. 1,2*). 75 % der Schlacken sind magnetisch, weitere 7 % stark magnetisch.[1] Bei den nicht magnetischen Schlacken dieser Größenklasse handelt es sich nicht ausschließlich um kompakten, scharfkantigen Schlackengrus (s. S. 101 *Abb. 7*), d. h. um kleine Einzelsplitter kristalliner (Fließ-)Schlacke, sondern überwiegend um schaumig-poröse Bruchstücke sowie Fragmente von Schlackentropfen (*Abb. 2,3*). Sowohl die magnetischen als auch die stark magnetischen Schlacken (*Abb. 2,4*) unterscheiden sich äußerlich nicht voneinander. Ausnahmslos magnetische bzw. stark magnetische, schuppenförmige Schlacken sind in der Größenklasse 2–6 mm mit 1.318 n (30,2 g) vertreten (*Abb. 2,7*). Kugelförmige Schlacke beschränkt sich auf diese Größenklasse. Die insgesamt 22 nachgewiesenen Exemplare (1,5 g) sind sämtlich magnetisch, drei Schlackenkügelchen sogar stark magnetisch (*Abb. 2,5*).

In der Größenklasse > 6 mm ist stark magnetische Schlacke mit lediglich 18 Exemplaren (50 g) vertreten. Die z. T. schaumig-porösen Schlackenstücke sind mehr oder weniger stark korrodiert und versintert (*Abb. 2,2*). Demgegenüber weisen die magnetischen Schlacken (231 g/457 n) dieser Größenklasse zwar insgesamt weniger Versinterung auf, entsprechen aber äußerlich weitgehend den stark magnetischen Schlacken. Grobe, schuppenförmige Schlacke kam mit insgesamt 6 g ebenfalls vor (*Abb. 2,6*). Von den 18 nachgewiesenen Exemplaren waren 17 stark magnetisch bzw. magnetisch. Die übrigen Schlacken dieser Größenklasse sind insgesamt eher schaumig-porös (*Abb. 2,1*). Daneben treten aber auch sehr kompakte Stücke mit charakteristischen Fließstrukturen auf, wie sie typisch sind für Verhüttungsplätze, an denen das direkte Verfahren der Eisenproduktion nachgewiesen werden kann.

Bezogen auf die Stückzahl ist der hohe Anteil kleinsten Schlackenmaterials mit 83 % bemerkenswert (Größenklasse 2–6 mm) (*Abb. 1,3*).

Lediglich 24,5 g Gestein sind insgesamt in der BP 1 enthalten (*Abb. 1,1*). Nach Schlacke handelt es sich somit um die zweitgrößte Fundgruppe. Allerdings sind die Stückzahlen mit lediglich 45 Exemplaren gegenüber Schlacke beinahe verschwindend gering. Das niedrige Gesamtgewicht deutet auf geringe Stückgrößen hin. 28 Exemplare sind der Größenklasse > 6 mm zuzurechnen, 17 Exemplare der Größenklasse 2–6 mm (*Abb. 1,7*). Es handelt sich bei sämtlichen Gesteinen beider Größenklassen um gelblich-rötliche[2] bis graue, unregelmä-

[1] Innerhalb der fest definierten Größenklasse 2–6 mm wurde zwischen „nicht magnetischen", „magnetischen" und „stark magnetischen" Fundobjekten unterschieden. Insbesondere bei den Schlackenfunden sollte auf diesem Wege eine Identifikation von potentieller Weiterverarbeitungsschlacke im Bodensubstrat erleichtert werden. Weil sich Ausheiz- bzw. Schmiedeschlacken im Allgemeinen u. a. dadurch auszeichnen, dass sie stark magnetisch sind wurden sämtliche Proben auf diese Eigenschaft hin untersucht. Als magnetisch wurden Funde dann bezeichnet, wenn sie im direkten Kontakt mit dem verwendeten Magneten haften blieben. Dazu wurde der Handmagnet unmittelbar auf die Proben aufgelegt. In die Kategorie „stark magnetisch" fallen demgegenüber all jene Funde, die selbst dann vom Magneten angezogen wurden, wenn dieser in einem Abstand von 1,5–2,0 cm über das Probenmaterial bewegt wurde. Durch dieses Verfahren sollte sichergestellt werden, dass zumindest innerhalb der hier vorgestellten Probenreihen eine gewisse Vergleichbarkeit bzw. ein einheitliches Vorgehen in Bezug auf die magnetischen Fundgruppen der untersuchten Fundplätze gewährleistet war.

[2] Ob die Färbung des Gesteins auf Verwitterung oder thermische Beeinflussung (z. B. Rösten, Verhüttung) zurückzuführen ist, kann bei der geringen Probenzahl allein durch makroskopische Betrachtung nicht sicher beurteilt werden.

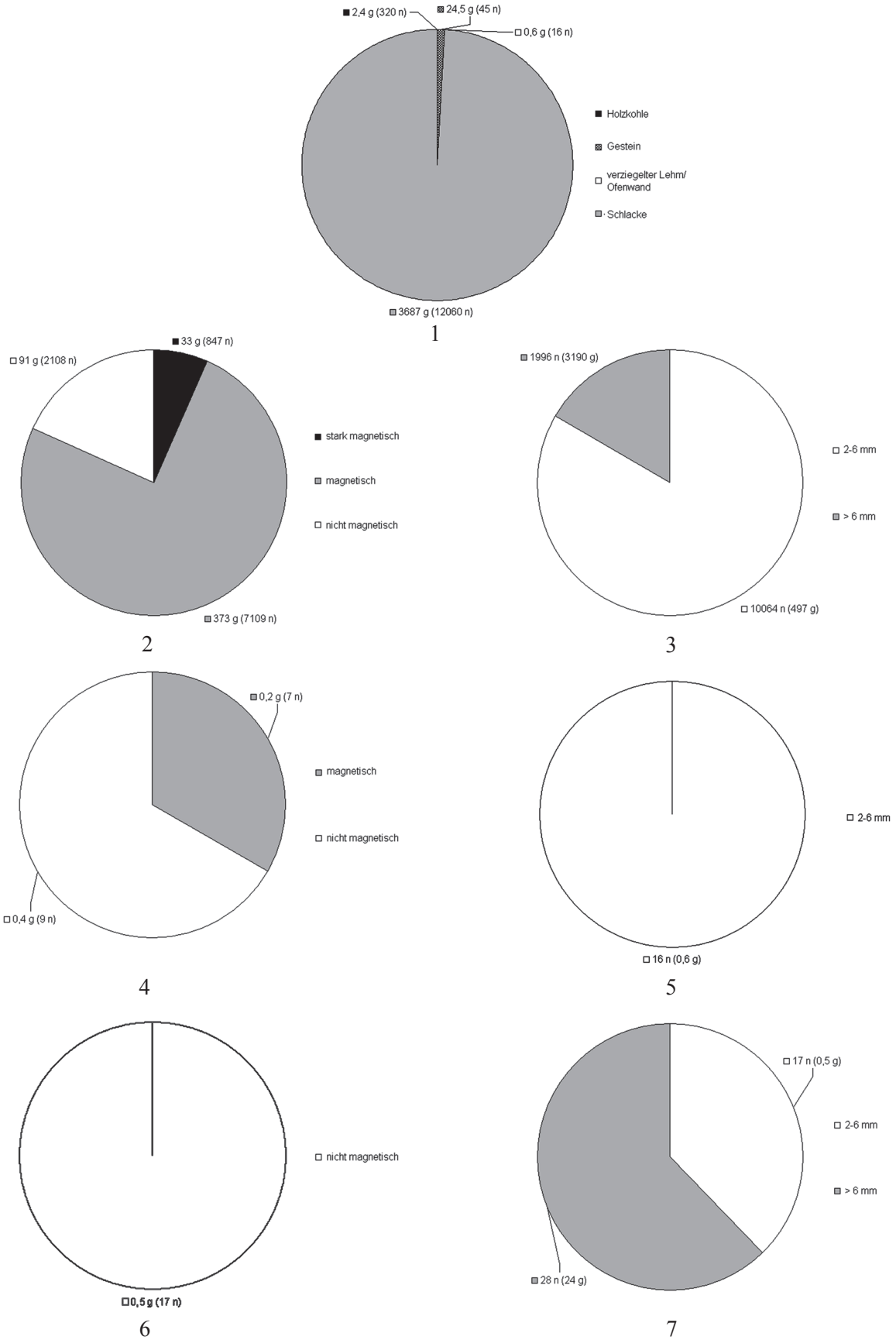


Abb. 1. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 1. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4: Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 5: Verziegelter Lehm/Ofenwand, beide Größenklassen; 6: Gestein, Größenklasse 2–6 mm; 7: Gestein, beide Größenklassen.

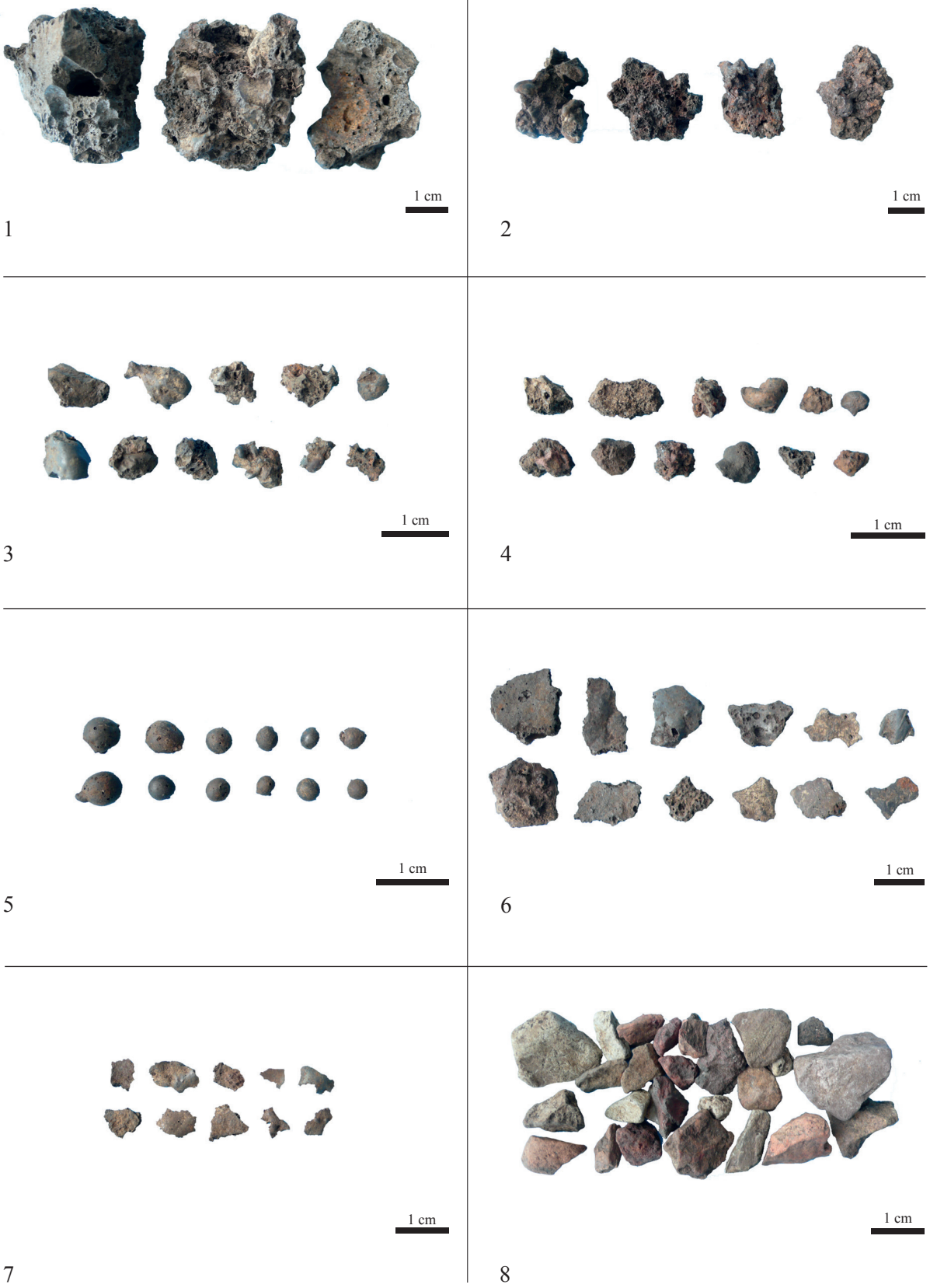


Abb. 2. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 1. 1: Schlacke > 6 mm; 2: Versinterte Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke 2–6 mm, nicht magnetisch; 4: Schlacke 2–6 mm, stark magnetisch; 5: Kugelförmige Schlacke 2–6 mm; 6: Schuppenförmige Schlacke > 6 mm; 7: Schuppenförmige Schlacke 2–6 mm; 8: Gestein.

ßig geformte Fragmente mit tonsteinartigem Gefüge (*Abb. 2,8*). Keines der Stücke reagierte auf den Magneten, so dass eine thermische Vorbehandlung, z. B. durch Röstprozesse im Rahmen einer Erzaufbereitung, nicht erkennbar ist (*Abb. 1,6*). Eine sichere Ansprache potentieller Erzfragmente konnte in keinem Fall erfolgen.

In dieser Bodenprobe waren nur 2,4 g Holzkohle (HK) enthalten (*Abb. 1,1*). Die hohe Stückzahl (320 n) verweist auf die nahezu ausschließlich geringen Stückgrößen.[3] In der Größenklasse > 6 mm sind nur 10 HK-Stücke (0,4 g) zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu fanden sich in der Größenklasse 2–6 mm insgesamt 310 HK-Flitter (2 g). Bezogen auf die Stückzahl lassen sich demzufolge 97 % der HK-Stücke bzw. -Flitter der Größenklasse 2–6 mm zuweisen.

Verziegelter Lehm[4] ist nur in 16 Exemplaren belegt (*Abb. 1,1*). Entsprechende Fragmente fehlen in der Größenklasse > 6 mm vollständig (*Abb. 1,5*). Lediglich kleine Bruchstücke zwischen 2–6 mm waren im Bodensubstrat enthalten. Durch die Hitze überwiegend hell-rötlich bis hell-gelb/weislich verfärbt, heben sich die in der Regel stark kantenverrundeten Bruchstücke vergleichsweise gut gegen die makroskopisch ähnliche Fundgruppe „Gestein“ ab und sind daher in jedem Fall eindeutig zu identifizieren. Sieben Exemplare sind magnetisch (0,2 g) (*Abb. 1,4*). Äußere Schlackenanhaftungen konnten nicht beobachtet werden.

BODENPROBE 2

BP 2 stammt aus der sog. „Halde mit Frischschlacken“ und wurde unmittelbar neben dem als „Frischfeuer (?)“ angesprochenen Befund entnommen (s. S. 26 *Abb. 7*). Der Fundinhalt (insgesamt 2.617,2 g) betrug nach der Schlämmung 333,2 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 2.284 g (Größenklasse > 6 mm). Enthalten sind Schlacke (91,9 %), Gestein (7,4 %), Holzkohle (0,4 %) und verziegelter Lehm bzw. Ofenwand (0,3 %) (*Abb. 3,1*).

Mit 2406 g stellt Schlacke die größte Fundgruppe dieser BP (*Abb. 3,1*). In der Größenklasse 2–6 mm reagierten 76 % (5280 n) der Schlacken auf den Handmagneten (*Abb. 3,2*). Dabei bilden magnetische Schlacken mit 67 % Gesamtanteil am Schlackenmaterial dieser Größenklasse die größte Gruppe bezogen auf Gewicht und Stückzahl. 9 % (548 n) der Schlacken wurde als stark magnetisch angesprochen (*Abb. 4,4*). Bezogen auf die Stückzahl können 81 % der Schlacken dem Größenbereich 2–6 mm zugewiesen werden (6861 n) (*Abb. 3,3*). Nur 1.593 Exemplare, die allerdings mit 2.119 g den Großteil des Gesamtgewichts dieser Fundkategorie ausmachen, sind größer als 6 mm (*Abb. 4,1.2*).

Allgemein ist bei dieser BP der hohe Anteil kleinsten Schlackenmaterials bemerkenswert. Es handelt sich überwiegend um Schlackengrus, d. h. um kleine Einzelsplitter kompakter oder schaumig-poröser, kristalliner (Fließ-)Schlacke von graubrauner Färbung, häufig mit charakteristischen Fließstrukturen auf der Oberfläche (*Abb. 4,3*). Der Anteil makroskopisch klar identifizierbarer Sinterschlacken ist in beiden Größenklassen hingegen verschwindend gering. So fanden sich z. B. selbst unter denjenigen Schlacken der Größenklasse > 6 mm, die als stark magnetisch angesprochen worden sind, nur einige wenige Exemplare.

Als charakteristische Sonderformen konnten im Schlackenmaterial der Größenklasse 2–6 mm zusätzlich Schlackenschuppen (*Abb. 4,6*) und kugelförmige Schlacke (*Abb. 4,5*) unterschieden werden. Makroskopisch klar identifizierbarer Hammerschlag (Zunder) fehlt.

Die mehr oder weniger großen und unterschiedlich starken Schlackenschuppen weisen nahezu sämtlich jeweils eine glatte und eine stark poröse, blasige Seite auf. Einige Exemplare sind deutlich gekrümmt. Vertreten sind sowohl stark magnetische (0,8 g/24 n), magnetische (2,1 g/66 n) als auch nicht magnetische Exemplare (0,9 g/17 n).

Obwohl kugelförmige Schlacken auch in der Größenklasse > 6 mm nachgewiesen werden konnten, sind sie dort nur mit drei Exemplaren vertreten. Wesentlich häufiger ist dieser Schlackentyp in der Größenklasse 2–6 mm (*Abb. 4,5*). Insgesamt 46 Exemplare mit einem Gesamtgewicht von lediglich ca. 1,4 g sind dokumentiert. Neben 33 magnetischen sind zehn stark magnetische Schlacken zu verzeichnen. Lediglich drei kugelförmige Schlacken reagierten nicht auf den eingesetzten Handmagneten.

Gestein stellt mit 194 g (410 n) die zweitgrößte Fundgruppe (*Abb. 3,1*). Magnetische Exemplare kommen nicht vor (*Abb. 3,6*). Potentielles Erz konnte nicht identifiziert werden. Analog zu den Schlacken haben bezogen auf die Stückzahl die kleinen und kleinsten Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm mit 79 % den größten Anteil am Probenmaterial (*Abb. 3,7*). Sie stellen jedoch mit 36 g lediglich 18,6 % des Gesamtgewichts dieser Fundkategorie. Es handelt sich in der Größenklasse > 6 mm überwiegend um gelblich bzw. gelblichgraues Gestein mit sandstein- und tonsteinartigem Gefüge (*Abb. 4,8*). Relativ häufig treten auch rötlich gefärbte Gesteinsfragmente auf. Die Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm bestätigen dieses Bild.

Holzkohle bildet mit einem Gewicht von 9,5 g noch vor der Kategorie „verziegelter Lehm/Ofenwand“ die drittgrößte Fundgruppe dieser BP (*Abb. 3,1*). Die hohe

[3] Die Stückgrößen resultieren im Wesentlichen aus der Bodenlagerung und besitzen daher nur einen sehr eingeschränkten Aussagegehalt.

[4] Die Bezeichnung „Ofenwand“ dient hier als Sammelbegriff für potentielle Wandfragmente von Ofen- und/oder Herdstrukturen.

Stückzahl von 1.190 n verdeutlicht die sehr geringen Stückgrößen der Holzkohlefragmente bzw. -flitter. Tatsächlich stammen bezogen auf die Stückzahl 97 % (1.154 n) der Holzkohlen aus der Größenklasse 2–6 mm.

Mit nur 7,7 g (87 n) war nur wenig verziegelter Lehm/ Ofenwand in der Bodenprobe enthalten (*Abb. 3,1*). Die überwiegende Anzahl der Fundstücke ist rot bis rötlich-orange verfärbt, nur einige Fragmente weisen eine hellgraue Verfärbung auf (*Abb. 4,7*). Sämtliche Fragmente sind unregelmäßig geformt und besitzen abgerundete Kanten. Von insgesamt 87 Exemplaren lassen sich 89 % (77 n) der Größenklasse 2–6 mm zuweisen (*Abb. 3,5*). 22 der insgesamt 77 Exemplare in der Größenklasse 2–6 mm waren magnetisch (0,7 g) (*Abb. 3,4*). Schlackenanhaftungen konnten nicht beobachtet werden. Auch Verglasungen kommen nicht vor. Eine klare Unterscheidung zwischen Ofenwandfragmenten und verziegeltem Lehm (hervorgerufen z. B. durch thermische Einwirkung auf den anstehenden Boden im unmittelbaren Umkreis des Ofens) war kaum möglich.

BODENPROBE 3

BP 3 wurde am nördlichen Rand des Fundplatzes aus der (Renn-)Schlackenhalde zwischen dem ofenartigen Befund 3 und den ofenartigen Befunden 1–2 entnommen (s. S. 26 *Abb. 7*). Der Fundinhalt (insgesamt 2.977 g) betrug nach der Schlämmung 738 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 2.239 g (Größenklasse > 6 mm). Enthalten sind Schlacke (55,5 %), Gestein (42,3 %), Holzkohle (2,1 %) und Ofenwand bzw. verziegelter Lehm (0,1 %) (*Abb. 5,1*).

Schlacke hat mit insgesamt 1651 g (9.572 n) deutlich den größten Anteil am Sediment. 92 % der Schlacken in der Größenklasse 2–6 mm reagierten auf den Magneten. 78 % waren magnetisch, 14 % sogar stark magnetisch (*Abb. 5,2*). Bezogen auf die Stückzahl dominieren klar kleine und kleinste Schlacken der Größenklasse 2–6 mm mit 9.056 Exemplaren in dieser BP (*Abb. 5,3*). Obwohl sie 95 % der Gesamtschlackenzahl stellen, machen sie gleichzeitig jedoch nur 21,4 % des Gesamtgewichts aus. Die stark magnetischen Schlacken (Größenklasse 2–6 mm) sind durch Korrosion z.T. rötlich verfärbt (51 g/963 n) (*Abb. 6,4*). Einzelne Exemplare sind in unterschiedlich hohem Grad versintert. Ein entsprechendes Bild zeichnet die magnetische Schlacke dieser Größenklasse (276 g/7.481 n). Die nicht magnetischen Schlacken (27 g/612 n) dieser Größenklasse werden in der Mehrzahl aus kompakten, weitgehend blasenfreien Schlackensplittern gebildet (*Abb. 6,3*).

Das stark magnetische Material (68 g/82 n) der Größenklasse > 6mm zeigt überwiegend eine unterschiedlich stark ausgeprägte, durch Korrosion hervorgerufene rötliche Färbung auf der Oberfläche (*Abb. 6,2*). Versinterte Schlacken sind häufig. Im Vergleich dazu konnten bei den magnetischen Schlacken (240 g/305 n) weniger Korrosionsspuren, die zudem weniger stark ausgeprägt sind, beobachtet werden. Die Schlacke dieser Kategorie ist schaumig-porös. Versinterungen kommen selten vor, treten jedoch sporadisch auf. Die übrige Schlacke dieser Größenklasse (989 g/129 n) ist in der Mehrzahl schwarz-grau gefärbt (*Abb. 6,1*). Vereinzelt sind Fließstrukturen auf den Oberflächen zu erkennen. Kompakte, weitestgehend blasenfreie Stücke sind selten. Insgesamt erscheint die Schlacke stark porös. Nur sehr vereinzelt sind Korrosionsspuren vorhanden.

Kugelförmige Schlacke ist ausschließlich in der Größenklasse 2–6 mm zu verzeichnen (20 n/ 1 g) (*Abb. 6,5*). Sämtliche Schlacken dieser Kategorie reagieren auf den Magneten. Es handelt sich um 13 stark magnetische und sieben magenetische Exemplare.

Schuppenförmige Schlacke beschränkt sich ebenfalls auf die Größenklasse 2–6 mm (149 n/2 g) (*Abb. 6,6*). Davon sind 41 n stark magnetisch, 10 n magnetisch. Es ist auffällig, dass 98 n (66 %) überhaupt nicht auf den eingesetzten Handmagneten reagierten.

Gestein/Erz stellt mit 1258 g (9289 n) die zweitgrößte Fundgruppe (*Abb. 5,1*). Magnetische Exemplare kommen in der Größenklasse 2–6 mm nicht vor (*Abb. 5,6*). Lediglich 7 Gesteinsfragmente (6 g) der Größenklasse > 6 mm reagierten schwach auf den Magneten. Diese Stücke könnten als potentielle Erzfragmente angesprochen werden. Bezogen auf die Stückzahl haben die kleinen und kleinsten Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm mit 90 % den größten Anteil am Probenmaterial (*Abb. 5,7*). Sie stellen mit 8.324 g sogar 89,9 % des Gesamtgewichts dieser Fundkategorie. Es handelt sich in der Größenklasse > 6 mm nahezu ausschließlich um graues bzw. grauweißes Gestein mit sand- oder auch tonsteinartigem Gefüge (*Abb. 6,8*). Nur wenige rötlich gefärbte Exemplare sind vorhanden. Die Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm weisen das gleiche Farbspektrum auf.

Nach Schlacke und Gestein/Erz stellt HK mit insgesamt 61 g die drittgrößte Fundgruppe dieser BP (*Abb. 5,1*). Die hohe Stückzahl (8.195 n) steht bei gleichzeitig niedrigem Gewicht für die geringen Stückgrößen. Tatsächlich sind nahezu sämtliche Holzkohlen der Größenklasse 2–6 mm zuzuweisen (57 g/8.143 n). Es handelt sich in der Mehrheit lediglich um kleine und kleinste Flitter.

Verziegelter Lehm ist nur mit 7 g (44 n) vertreten (*Abb. 5,1*). Es handelt sich um rötlich bzw. rötlich-gelbe Exemplare, die sich deutlich von den schaumig-porösen Fragmenten aufgeschmolzener Ofenwand unterscheiden (*Abb. 6,7*). Verglasungen konnten nicht beobachtet werden. In der Größenklasse 2–6 mm waren zwölf Lehmfragmente magnetisch (*Abb. 5,4*). 22 Exemplare reagierten hingegen nicht auf den Magneten. Der überwiegende Teil der Funde ist der Größenklasse 2–6 mm zuzuweisen, nur zehn Exemplare sind größer als 6 mm (*Abb. 5,5*).

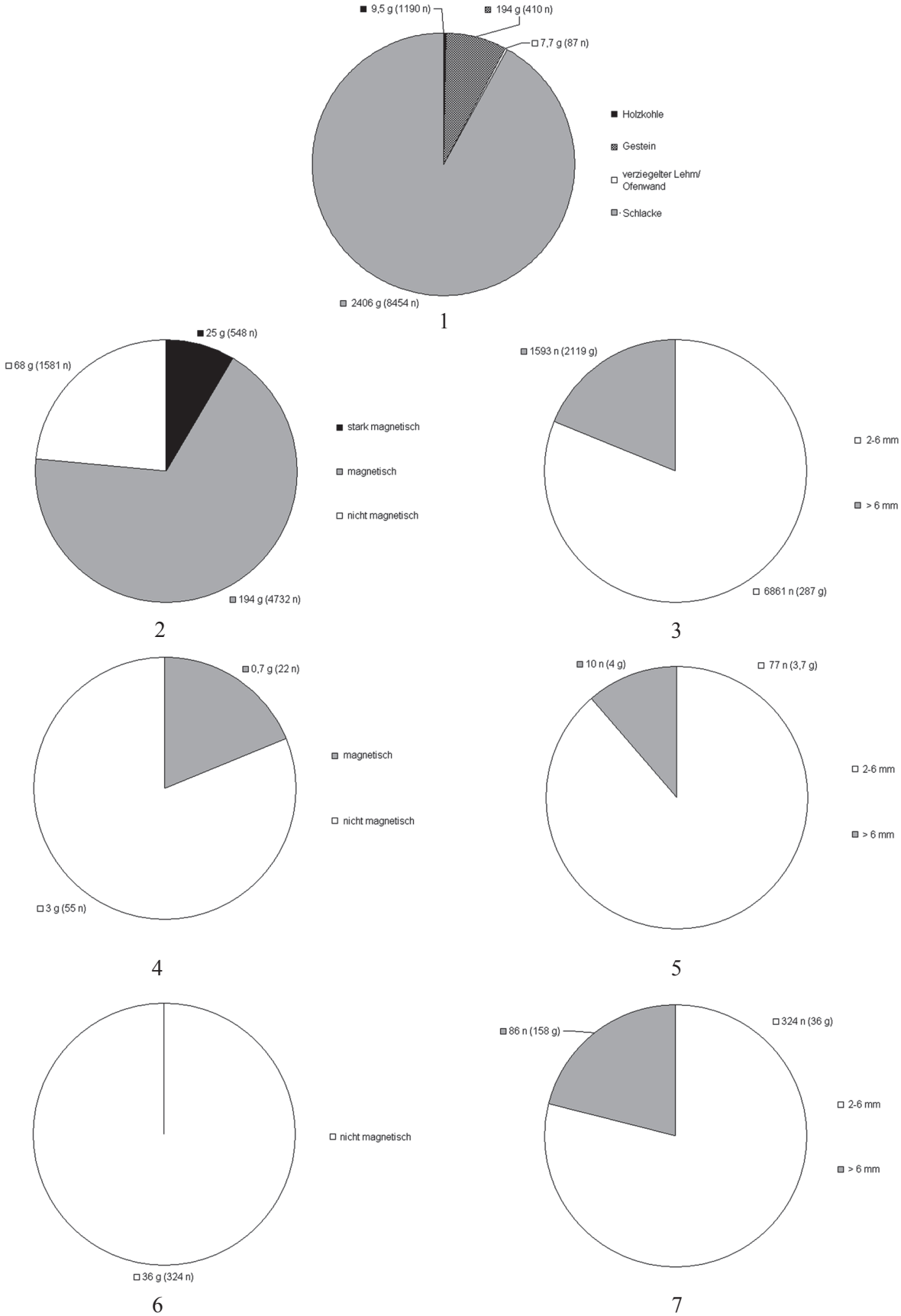


Abb. 3. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 2. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4: Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 5: Verziegelter Lehm/Ofenwand, beide Größenklassen; 6: Gestein, Größenklasse 2–6 mm; 7: Gestein, beide Größenklassen.

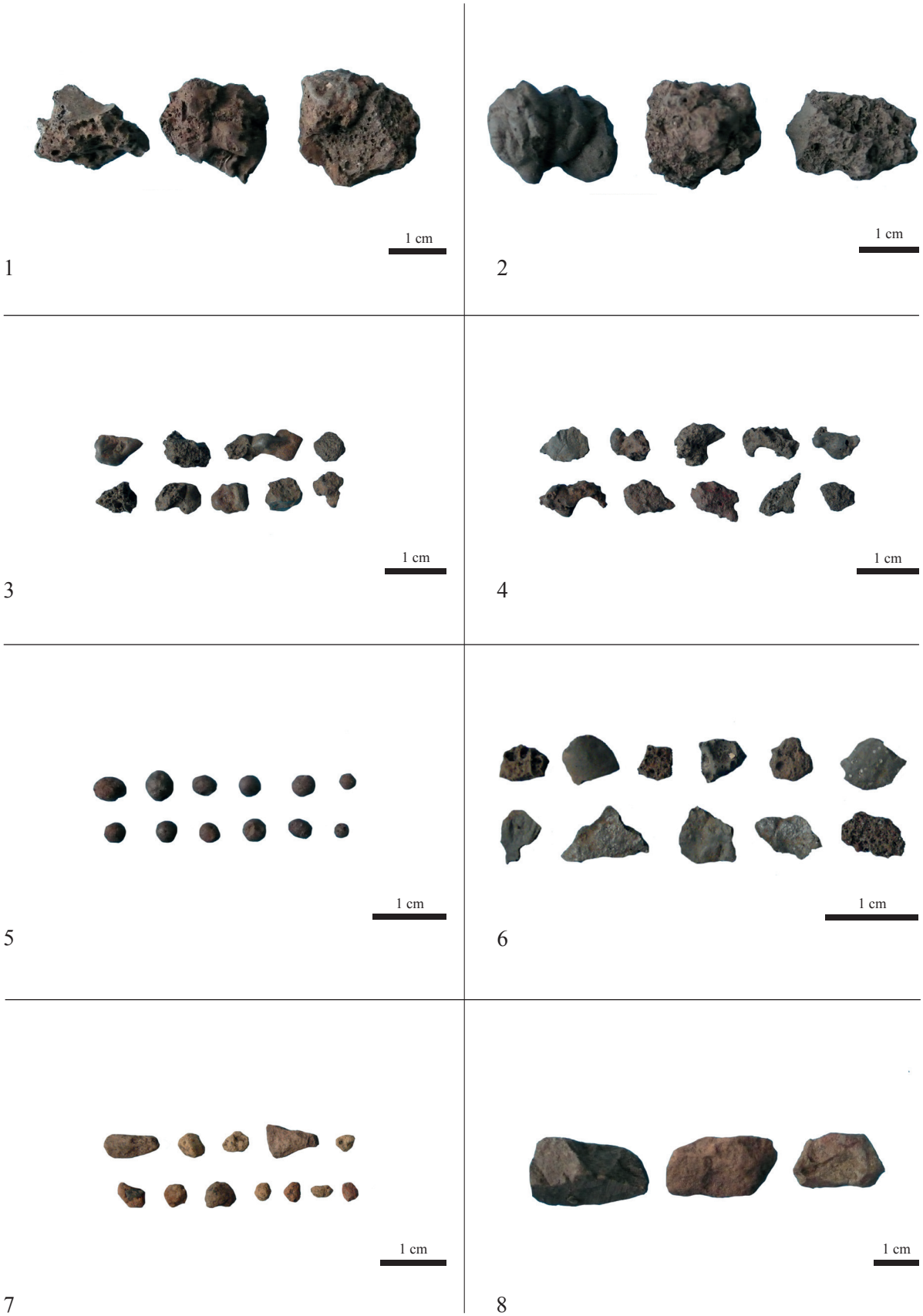


Abb. 4. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 2. 1: Schlacke, Größenklasse > 6 mm; 2: Schlacke, Größenklasse > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke Größenklasse 2–6 mm, nicht magnetisch; 4: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm, stark magnetisch; 5: Kugelförmige Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 6: Schuppenförmige Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 7:Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 8: Gestein, Größenklasse > 6 mm.

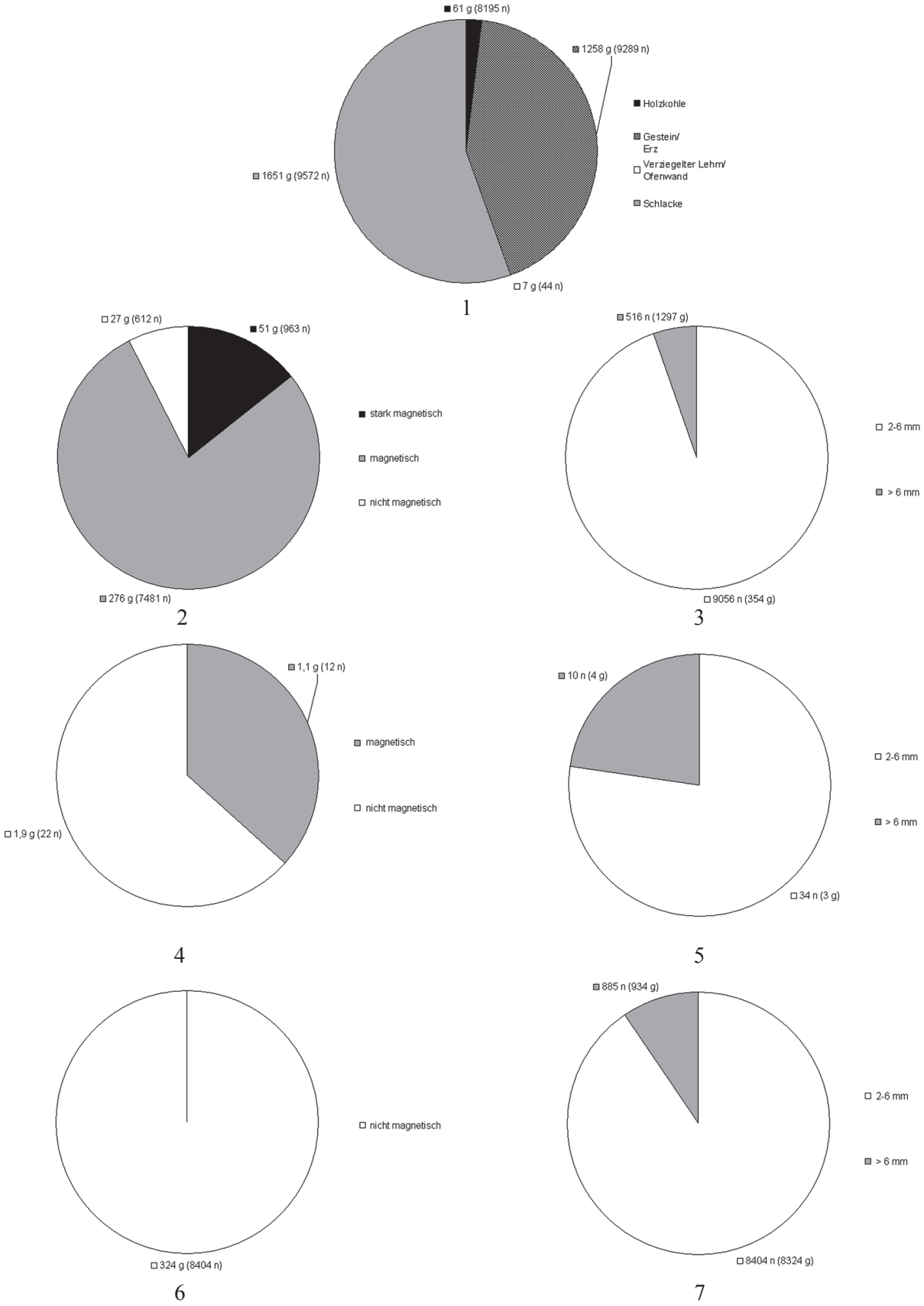


Abb. 5. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 3. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4: Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 5: Verziegelter Lehm/Ofenwand, beide Größenklassen; 6: Gestein/Erz, Größenklasse 2–6 mm; 7: Gestein/Erz, beide Größenklassen.

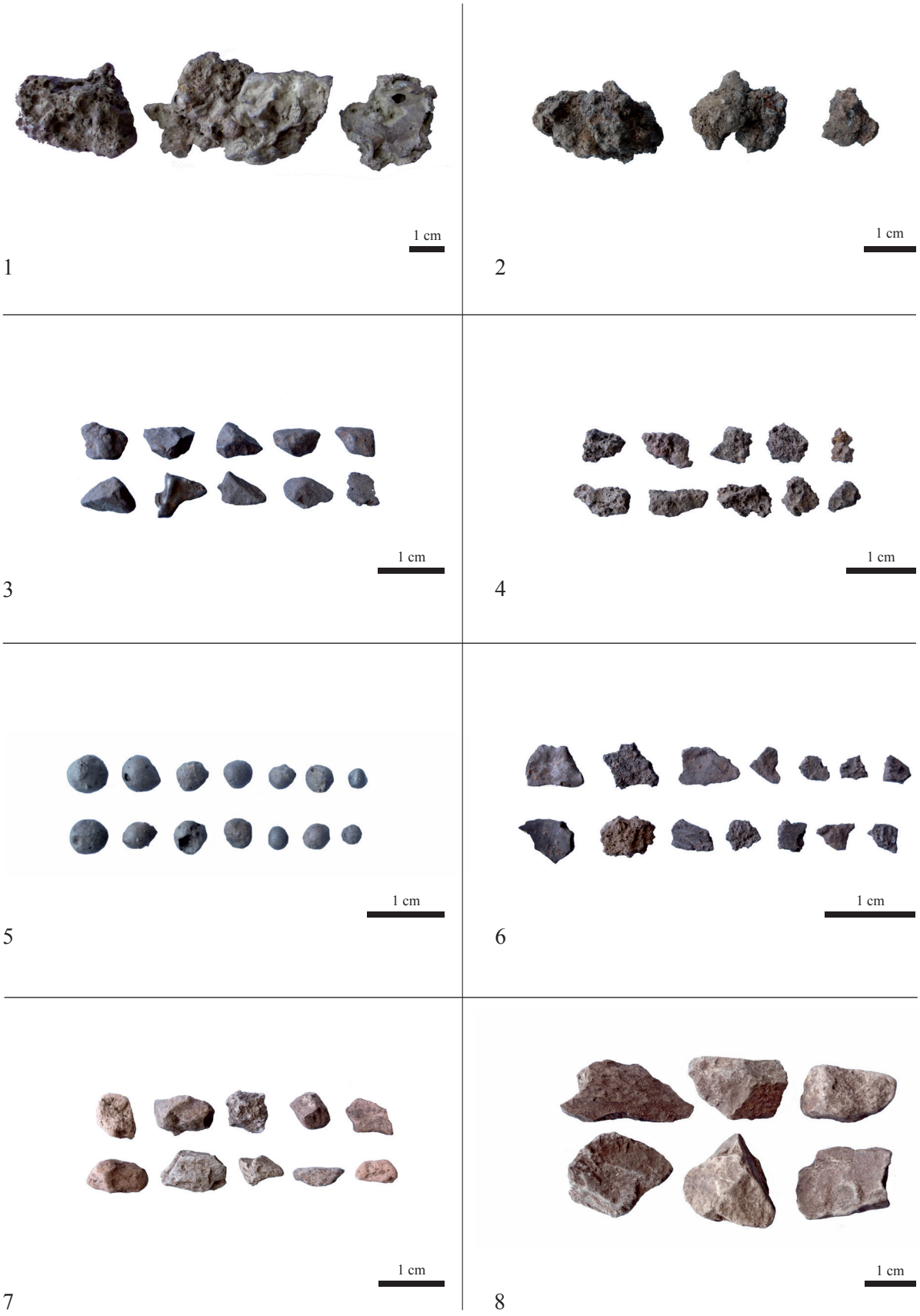


Abb. 6. Kierspe-Fernhagen, Verhüttungsplatz Nr. 11. Bodenprobe 3. 1: Schlacke > 6 mm; 2: Versinterte Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke 2–6 mm, nicht magnetisch; 4: Schlacke 2–6 mm, stark magnetisch; 5: Kugelförmige Schlacke 2–6 mm; 6: Schuppenförmige Schlacke > 6 mm; 7: Verziegelter Lehm/Ofenwand 2–6 mm; 8: Gestein/Erz.

ZUSAMMENFASSUNG

Die mengenmäßige Zusammensetzung der drei Bodenproben schwankt erwartungsgemäß. Stets sind jedoch Schlacke, Gestein, verziegelter Lehm/Ofenwand und Holzkohle in wechselnden Anteilen enthalten.

Dabei spiegeln die seltenen Funde potentieller Erzfragmente in den BP 1–3 die auch im Rahmen der Ausgrabung festgestellte „Erz-Armut" dieser Fundstelle.

In allen Bodenproben ist demgegenüber ein hoher Anteil Schlacke zu verzeichnen, der bis zu 99,3 % (BP 1) beträgt, in jedem Fall jedoch mehr als die Hälfte des gesamten Fundmaterials ausmacht. Makroskopisch konnte keine teilweise glasige oder vollglasige, amorphe Schlacke nachgewiesen werden, wie sie an den Fundplätzen mit indirektem Verfahren (z. B. Nr. 90 [s. S. 185 ff.], Nr. 105 [s. S. 103 ff.]) in signifikantem Umfang anzutreffen ist. Eine sekundäre Verwendung von Schlacken aus der Roheisenproduktion ist aus dem Probenmaterial allein durch makroskopische Betrachtung nicht unmittelbar herzuleiten.

Obwohl die drei Bodenproben an verschiedenen Stellen des Fundplatzes entnommen worden sind (s. S. 26 *Abb. 7*), ähneln sich die darin enthaltenen Schlacken u. a. in Bezug auf Färbung und Aussehen. Die ausschließlich grau-braunen, kristallinen Schlacken weisen häufig Fließstrukturen auf ihren Oberflächen auf. Entgasungsblasen in großer Zahl sind charakteristisch. Aufgrund einer dadurch hervorgerufenen schaumig-porösen Struktur lassen sie die Schlacken dieser Fundstelle insgesamt recht leicht erscheinen. Sinterschlacken, die an dem ebenfalls beprobten Fundplatz Nr. 72 (Kierspe-Wienhagen [s. S. 91 ff.]) in größerer Zahl in den BP nachgewiesen werden konnten, sind in dem BP-Material von Kierspe-Fernhagen deutlich seltener vertreten.

Betrachtet man wiederum ausschließlich die Schlacken aus den Bodenproben von Kierspe-Fernhagen so unterscheiden sich diese hinsichtlich ihrer magnetischen Eigenschaften. Bemerkenswert ist dabei der hohe Anteil magnetischer Schlacke (stark magnetisch/magnetisch) innerhalb der Größenklasse 2–6 mm. Die ermittelten Werte liegen bei 92 % (BP 3), 82 % (BP 1) und 76 % (BP 2). Besonders BP 1 und BP 2 (beide aus dem Bereich der „[Frisch-]Schlackenhalde", s. S. 27 ff.) sind bezüglich der Anteile stark magnetischer, magnetischer und nicht magnetischer Schlacke innerhalb der Größenklasse 2–6 mm nahezu identisch. Leichte Abweichungen weist BP 3 (aus dem Bereich der „[Renn-]Schlackenhalde", s. S. 27 ff.) auf. In diesem Fall ist der Anteil nicht magnetischer Schlacke geringer, die Anteile stark magnetischer und magnetischer Schlacke demgegenüber leicht erhöht. Ob sich in diesem Ergebnis die von Chr. Willms postulierte Zweiteilung der Schlackenhalde in eine nördliche (ältere Rennverhüttung) und südliche (jüngere Frischphase) spiegelt, muss offen bleiben (s. S. 44 *Abb. 29*). Allgemein sind sich die Muster der drei BP im Hinblick auf die Magnetik der Schlacken in der Größenklasse 2–6 mm zu ähnlich, um aus diesem Merkmal eine Zweiphasigkeit des Verhüttungsplatzes ableiten zu können.

BP 3 unterscheidet sich darüber hinaus durch einen deutlich höheren Anteil der Kategorie „Gestein" von den diesbezüglich sehr ähnlichen Zusammensetzungen der BP 1 und 2.

Hierin spiegelt sich die vom Ausgräber beschriebene geringere Mächtigkeit der Schlackenhalde im nördlichen Bereich der Grabungsfläche. Die Halde wurde dort erst in den unteren Plana erfasst und nach Ausweis der Grabungsergebnisse von größeren Mengen Sediment und (vereinzelter) Schlacke aus dem südlich anschließenden Haldenbereich überlagert. Der gegenüber BP 1 und BP 2 deutlich erhöhte Anteil kleinsten Schlackenmaterials (2–6 mm) in BP 3 könnte in diesem Zusammenhang als eventueller Hinweis auf eine möglicherweise ausgeräumte oder weitgehend umgelagerte Haldenstruktur interpretiert werden, bei der überwiegend kleines Schlackenmaterial zurückblieb. Diesbezüglich sollte der Aussagegehalt der Bodenproben jedoch nicht überstrapaziert werden.

Als charakteristische Sonderformen sind im Schlackenmaterial jeder BP dieses Fundplatzes Schlackenschuppen und kugelförmige Schlacke zu unterscheiden. Die Bodenproben belegen somit Weiterverarbeitungsprozesse, die auch durch die im Rahmen der archäologischen Ausgrabung gefundenen Kalottenschlacken (s. S. 36 *Abb. 20*) angezeigt worden sind. Hinweise auf fortgeschrittene Verarbeitungsschritte (u. a. Ausschmieden von Barreneisen) liefern die Bodenproben wegen des Fehlens von Hammerschlag (Zunder) jedoch nicht. Somit ist aufgrund der spezifischen Schlackenfunde aus den BP zwar allgemein auf Verarbeitungsverfahren zu schließen, die Menge (n) charakteristischer Verarbeitungsschlacke ist jedoch jeweils zu gering, um präzise Aussagen über potentielle Standorte zugehöriger Herdstrukturen innerhalb der Untersuchungsfläche ableiten zu können.

KIERSPE-WIENHAGEN (MÄRKISCHER KREIS), VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 72

Christoph Willms

Der Verhüttungsplatz Nr. 72 liegt ungefähr zwei Kilometer westlich der Stadt Kierspe in einem kleinen, relativ dichten Fichtenwald zwischen den Ortschaften Wienhagenerhaus und Elbringhausen in einer Quellmulde des Antlenbachs auf einer Höhe von ca. 400 m ü. NN (r 3398750; h 5667600) (*Abb. 1–3*).

Der Antlenbach mündet etwas oberhalb von Floßofenplatz Nr. 105 in die ehemalige Kerspe ein: Die Entfernung zu diesem Platz beträgt ca. 2.400 Meter Luftlinie. Die Fundstelle ist bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt, wie A. Meister 1909 berichtet: „*Solche Schlackenhalden finden sich* [...] *im sog. Wienhagen am Weg von (Roensahler) Woeste nach Wienhagenerhaus, von dort nach Elbringhausen im letzten Wiesental rechts am Wege* [...]“.[1]

ARCHÄOLOGISCHE UND GEOPHYSIKALISCHE PROSPEKTION

Die Struktur des Platzes war nach Auswertung der archäologischen (*Abb. 4*) und geophysikalischen Voruntersuchungen (*Abb. 5*) des Jahres 1994 klar definiert. Abweichend vom sonstigen Vorgehen mussten dabei aufgrund der dichten Bodenüberdeckung mit Fichtennadeln kleinere Bodeneingriffe mit Hilfe eines Geologenhammers durchgeführt werden, um die Schlackenstreuung verifizieren zu können. Anhand des dunklen, aschehaltigen Haldenbodens war eine Schlackenhalde von etwa 15 x 15 m auszumachen, die aber durch Ausräumung – insbesondere in Nordrichtung – geprägt war, so dass das ursprüngliche Maß vielleicht nur bei 8–10 m im Durchmesser gelegen haben mag. Von West nach Ost (d. h. hangabwärts) war offenbar im geophysikalischen Befund (Maximum 3 am westlichen Rand von den Quadraten I–C, I–D, I–G, I–H) ein ungestörter Rennfeuerplatz mit vorgelagerter Schlackenhalde erkennbar. Obwohl dort oberflächig keine Schlacken vorkamen, schien sich durch eine leichte Erhebung eine intakte Schlackenhalde anzudeuten. Ein Podium mit Maximum 2 im Zentrum der Fläche galt als zweiter Ofenstandort mit ebenfalls vorgelagerter Schlackenhalde, die ihrerseits – so die vorläufige Interpretation – zwei kreisförmige Ausräumungsstrukturen aufwies. In einer davon befand sich Maximum 1, das auf ein kaum sichtbares rezentes Metallgeflecht zurückzuführen war (*Abb. 5*). Dieses Bild ergab sich schon während der Voruntersuchung. Es musste aber noch endgültig verifiziert werden.

GRABUNGSTECHNIK

Die Ausgrabung der Fundstelle wurde vom 18. April bis 15. Mai 1995 durchgeführt.

In Planum 1 wurden zunächst 13 Ausgrabungsquadrate mit 81,25 m² Grabungsfläche geöffnet. Bis zum Planum 3/4 wurde mit etwa 45 m² noch mehr als die Hälfte der Ausgangsfläche untersucht, da der eigentliche Haldenbereich ausgeklammert wurde. Später wurde der Grabungsbereich weiter eingeengt und auf einen Kernbereich von etwa 45 m² reduziert.

Der Grabungsverlauf zeigte, dass Maximum 3 der geophysikalischen Vermessung ebenso wenig wie Maximum 1 auf einen Rennofen zurückzuführen war. Lediglich Maximum 2 markierte den Standort eines derartigen Ofens.

PLATZSTRUKTUR UND FUNDVERTEILUNG

Um bei den nachfolgenden Ausführungen eine sichere Orientierung zu gewährleisten, sei eine Platzübersicht vorangestellt (*Abb. 6*).

Die Fundverteilung in Planum 1 lässt aufgrund der großen Schlackenmengen im Quadrat IV-L lediglich die Lage der Halde erahnen, wobei sich im Quadrat L-b bereits das nordwestliche Ende abzeichnet, während die Haldenmitte eher im Südwesten liegen dürfte (*Abb. 7*).

Insofern ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Oberflächenfundaufnahme im Rahmen der Voruntersuchung. Funde der Kategorien Holzkohle, Ofenwand und Eisen lassen vorerst keine weiteren Schlüsse zu.

FLÄCHEN UND PROFILE

Der Gesamtplan für Planum 3 zeigt sehr anschaulich die Erzaufbereitung, den Ofenplatz und zwei Schlackenschüttungen. Da keine bzw. kaum überraschende Momente in der Entwicklung der Fläche auftraten, können wir uns auf die Wiedergabe eines Gesamtplanes – unter Hinzuziehung einiger Erkenntnisse aus den Plana 2 und 4 – beschränken (*Abb. 8 oben*). Das Gesamtprofil soll in erster Linie die Geländeverhältnisse wiedergeben (*Abb. 8 unten*); ansonsten werden Detailpläne und -profile vorgelegt.

[1] Meister 1909, 422 f.; Knau/Potyka 1994, 251.

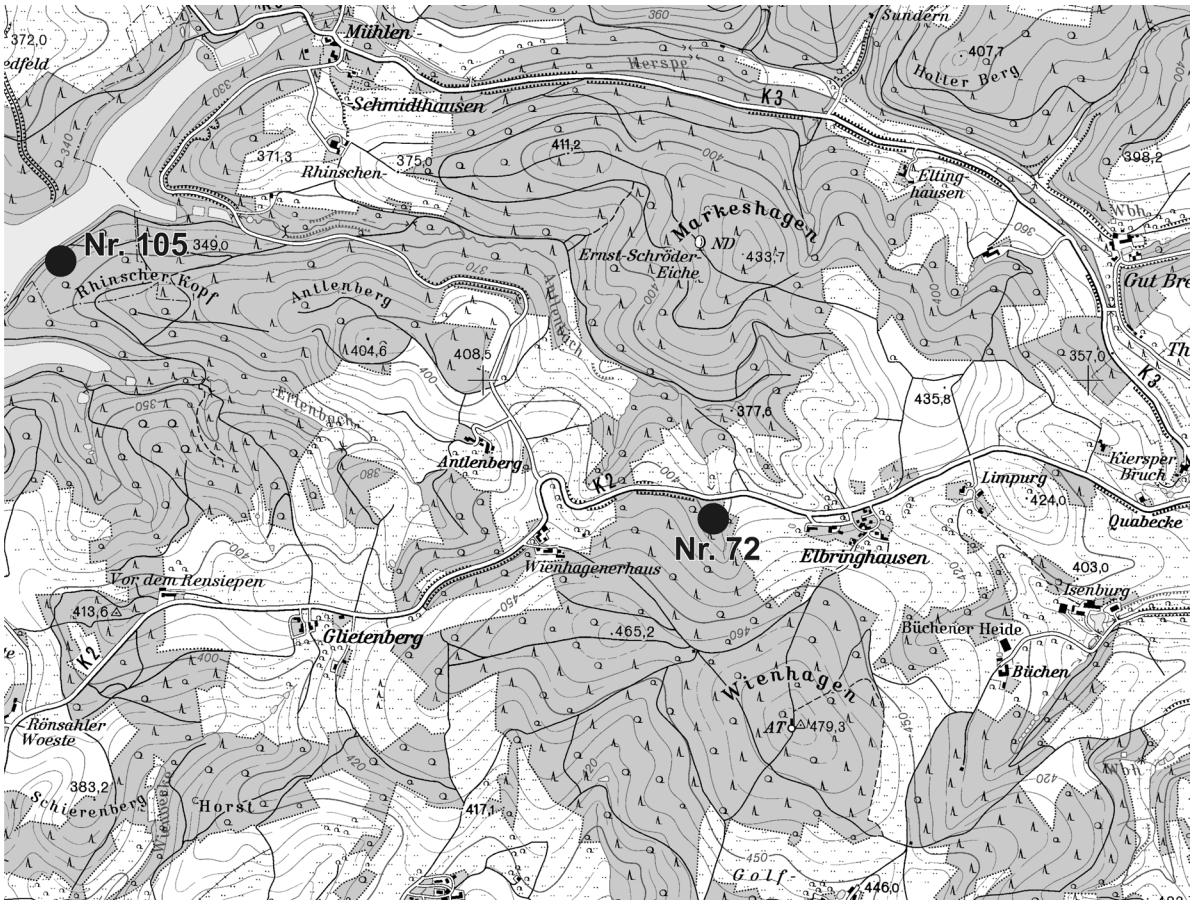


Abb. 1. Kierspe-Wienhagen. Lage des Verhüttungsplatzes Nr. 72 und des Floßofens Nr. 105 an der Kerspetalsperre. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1:25.000, Blatt 4811 (Meinerzhagen).



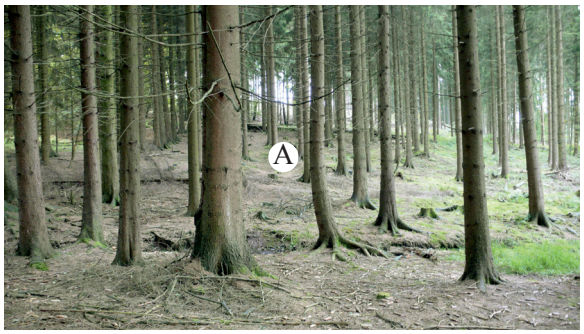
Abb. 2. Kierspe-Wienhagen. Blick auf den Schlackenplatz Nr. 72 in der Quellmulde des Antlenbachs mit Ofenstandort (A) (Foto M. Overbeck).



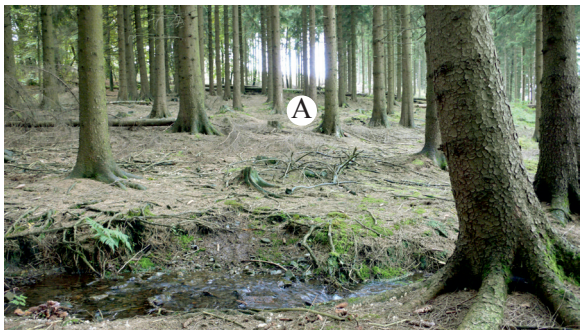
1



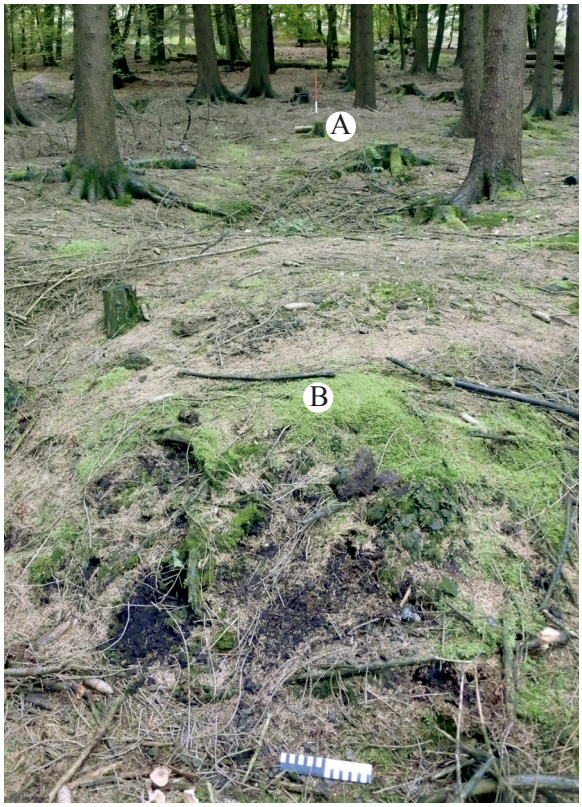
2



3



4



5



6

Abb. 3. Kierspe-Wienhagen.,Verhüttungsplatz Nr. 72. 1–2: Landschaft im unmittelbaren Umkreis der Fundstelle; 3–4: Der Verhüttungsplatz innerhalb der Fichtenschonung. Blick von Osten über den Antlenbach auf den Ofenstandort (A); 5: Blick von NO über die Haupthalde (B) auf den Ofenstandort (A); 6: Anhand der bereits obertägig sichtbaren Schlacken konnte der Verhüttungsplatz lokalisiert und die Ausdehnung der Haupthalde ermittelt werden (Fotos M. Overbeck).

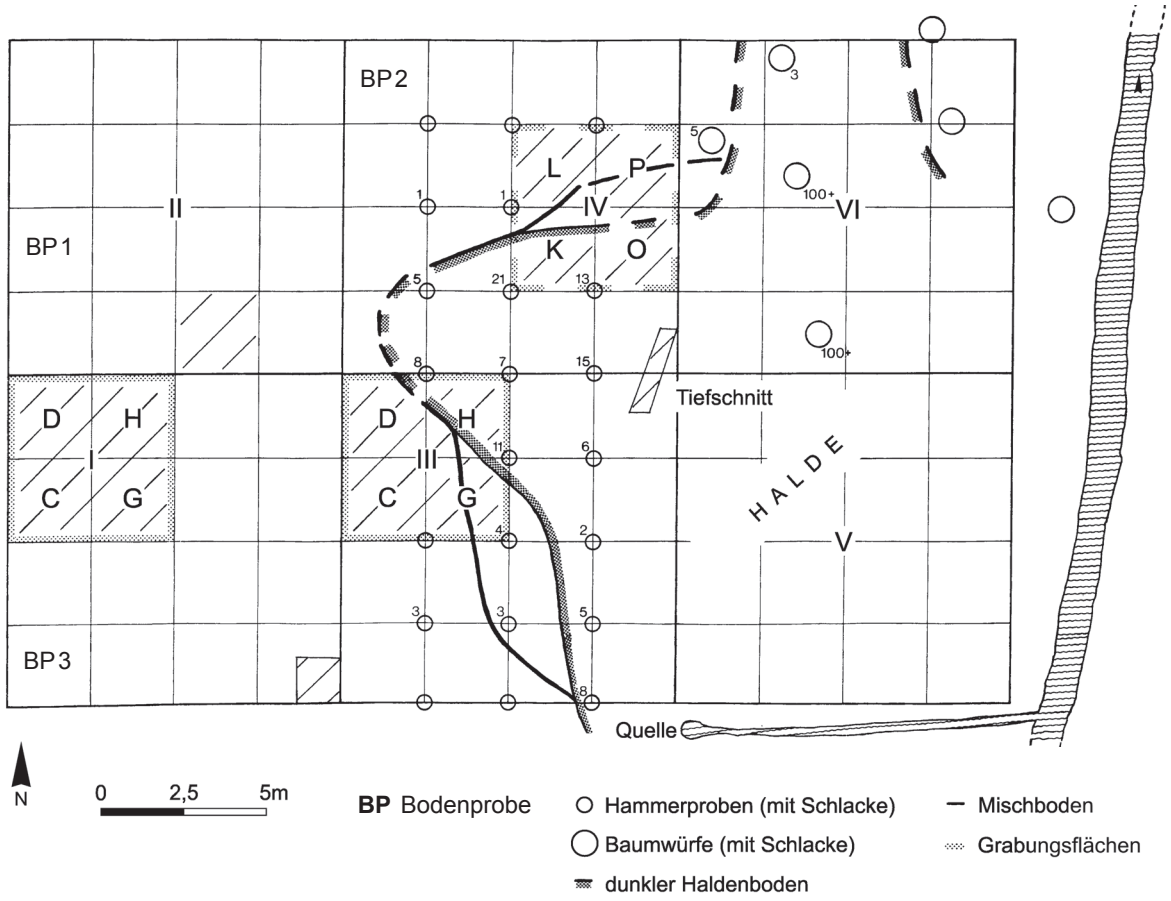


Abb. 4. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Archäologische Vorerkundung.

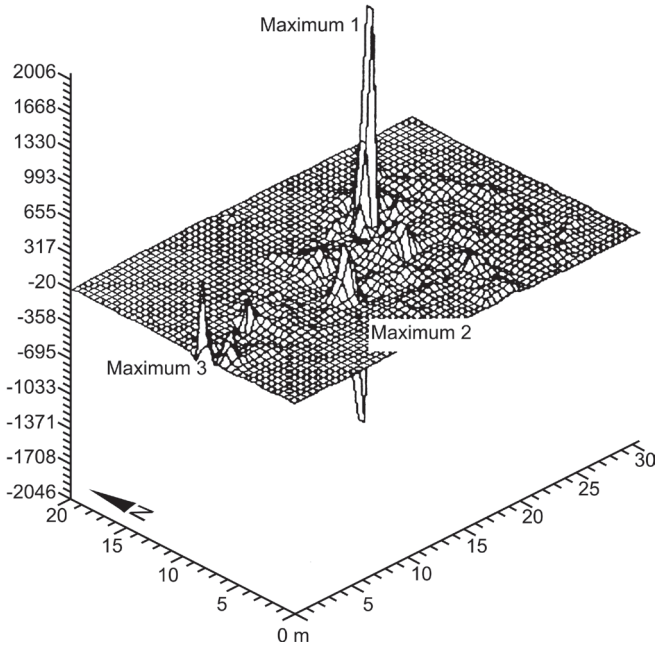


Abb. 5. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Geophysikalische Vermessung mit Lage der Anomalien (Maximum 1–3).

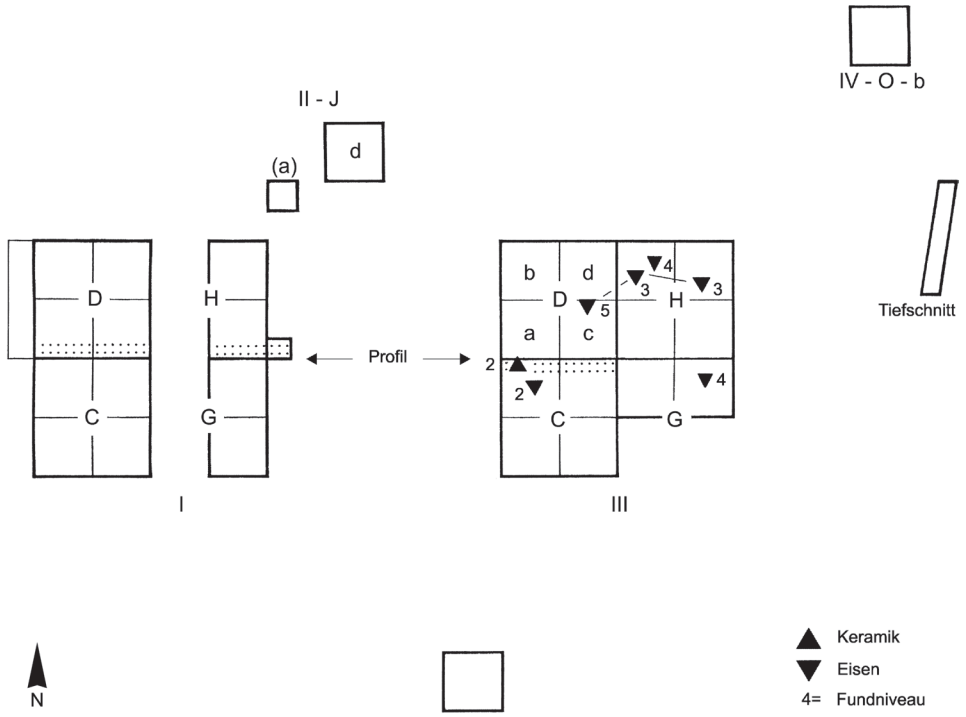


Abb. 6. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Lage und Bezeichnung der Grabungsflächen und des O-W-Profils.

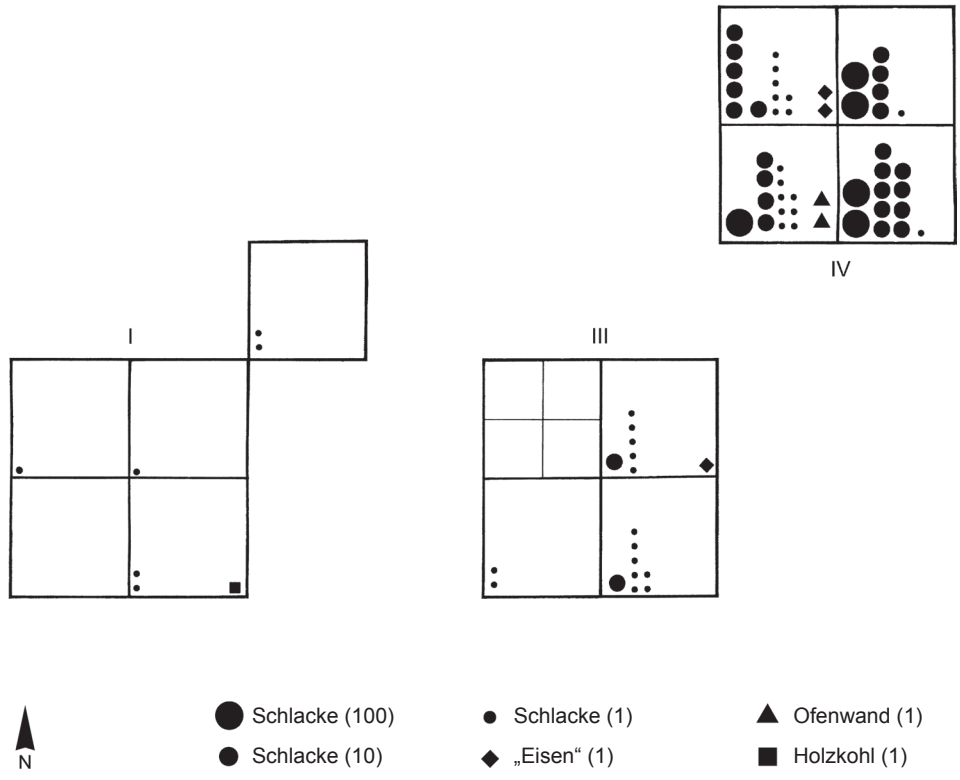


Abb. 7. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Planum 1, Verteilung von Fundkategorien.

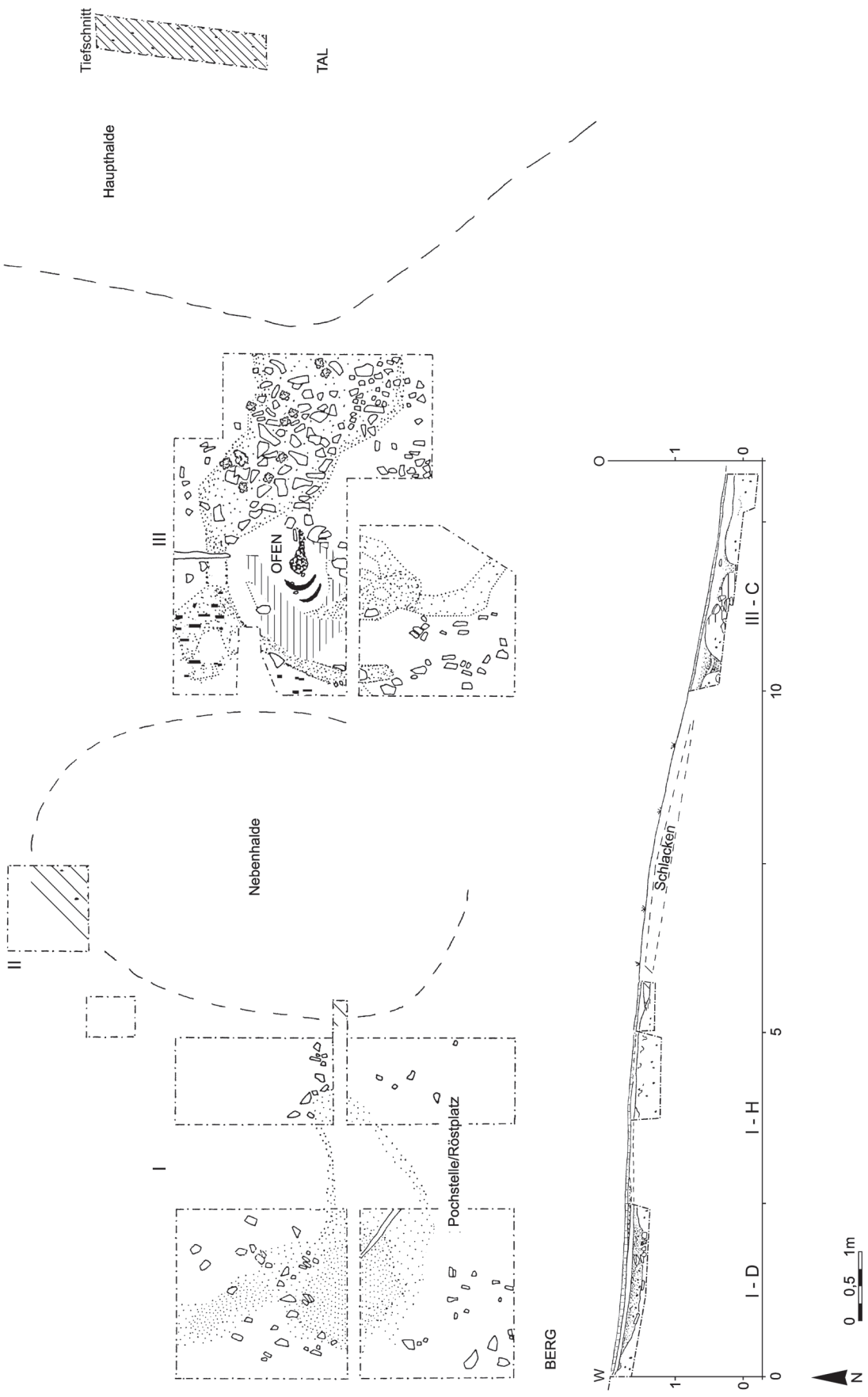


Abb. 8. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Planum 2/3 mit O-W-Profil (zur Lage des Profils siehe Abb. 6).

BEFUNDE

Rennofen

Hangseitig (westlich) zieht sich eine schmale Grabenspur (Breite 0,20–0,25 m; Tiefe 0,25–0,3 m) halbkreisförmig um den Ofen. Im Profil glaubt man, zwei Phasen zu unterscheiden, wobei es sich nicht um echte Aushubphasen, sondern eher um natürliche Verfüllungsvorgänge handeln könnte. Die Wandscherbe – einer der seltenen Keramikfunde an diesem Fundplatz – ist zumindest klar der unteren Füllung zuzuweisen.[2] Solche Gräben konnten mehrfach – allerdings jeweils nur als Ausnahme und nicht als Regelfall – im Dietzhölzetal- und MSL-Revier sowohl von M. Sönnecken als auch vom Verfasser ergraben werden.[3] Sicher handelt es sich um drainageartige Schutzmaßnahmen gegen Wasser und Feuchtigkeit, die später beim Floßofenbau in Konstruktion und Systematik verbessert, komplexer und offenbar unverzichtbar wurden (s. S. 350). Die Ofenwand kann nicht über diesen Graben hinweggereicht haben, war also auf keinen Fall stärker als 0,75–0,85 m (*Abb. 9; 10*).

Die aufgehende Wand oberhalb der *in situ* befindlichen Ofensau und des innersten Kerns der Ofenbasis ist zwar vollständig zerstört[4], doch kann der innere Durchmesser jeweils mit etwa 0,35–0,4 m (Ofen II) und mit 0,4–0,45 m (Ofen III) angegeben werden. Basisreste von weiteren Lehmöfen sind klar auszumachen. Diese älteren Vorgängeranlagen haben ihre Spuren auch südwestlich des jüngsten Standortes hinterlassen. Einen ähnlichen Befund gab es bereits bei Platz B 90 im Scheldetal bei Dillenburg (Lahn-Dill-Kreis), doch waren dort Wände und Basis der Vorgängeröfen vor der Erneuerung fast vollkommen entfernt worden. Sehr gut vergleichbar ist ein Befund aus Schlöten (Märkischer Kreis), „Im schmalen Hagen".[5]

Im Rückblick auf sämtliche Projektgrabungen lässt sich feststellen, dass häufig pfostenartige Verfärbungen in Ofennähe vorhanden waren. Dies ist auch hier der Fall, wo sie als Spuren von Pfahlwurzeln angesprochen wurden, zumal eine der fraglichen Verfärbungen sehr dicht am Ofen liegt (*Abb. 11*). Dem Aspekt einer möglichen Überdachung von Schmelzöfen muss daher in Zukunft noch gezielt und konsequent nachgegangen werden.

Es kam darauf an, diesen optisch beeindruckenden Befund vor dem skizzierten Hintergrund zu verifizieren und gut zu dokumentieren. Gleichzeitig mussten sich die weiteren Arbeiten daran orientieren, den eventuell vorhandenen Schlackenkanal zu erfassen. Nur langsam ließ sich die amorphe Verfärbungszone östlich unterhalb des Ofens entschlüsseln. Es trennen sich drei Schlakkenkanäle von einer runden Grube. Aus den Spitzen der Kanäle ziehen sich schmale, kanalartige Gräbchen, die vermutlich der Entwässerung dienten. Die Gesamtanlage und insbesondere die Lage der Ausgrabungsquadrate erlaubten keine Schnitte. Vielmehr schien es sinnvoll, den gesamten Befund in der Fläche nach und nach abzutragen und jedes Niveau zu dokumentieren. Analog zu den Kanälen ergeben sich mindestens drei Ofenphasen. Die Höhenverhältnisse lassen sich anhand der Nivellements nachvollziehen und somit lässt sich auch ein Schnitt durch die Anlage erstellen. Der Ofen zeigt im Frontbereich einen zweifachen Umbau, der sich einerseits an Konstruktionsdetails und andererseits an einer veränderten Abstichrichtung festmachen lässt (*Abb. 12*). Die mittlere Betriebsphase (II) lässt eine kompliziertere Struktur erkennen, die bis hin zu den drei übereinanderliegenden flankierenden Steinen gesichert ist (*Abb. 13*).

Aus zwei der drei Schlackenkanäle ziehen sich sehr schmale Gräbchen, die in ein etwas größeres Gräbchen münden. Trotz intensiver Bemühungen ist es nicht gelungen, im Befund zweifelsfrei zu belegen, dass hier ein Zusammenhang mit dem westlich und nordwestlich den Ofen umziehenden Graben besteht. Als eindeutig erweist sich das Verhältnis zwischen Graben und Grube. Diese wird vom Grabenlauf deutlich respektiert, der auch im Ostprofil von Quadrat III-H noch auszumachen ist. Solche Befunddetails sind bislang ohne Parallelen und zeigen, dass das Wasser an dieser Verhüttungsstelle tatsächlich ein Problem war.

Grube

Dem Ofen vorgelagert ist eine Grube (1,6 x 1,4 x 0,4 m), deren Funktion nicht geklärt ist.[6] Sie enthält in der Verfüllung (Ofenbau-)Steine, einige größere Schlacken wie auch verschlackte Ofenwandreste, aber keine Holzkohlen. Über die ehemalige Funktion kann nur das Material von der Grubensohle Auskunft geben, das sich stratigrafisch aufgrund seiner Inhomogenität im Schnitt (mit kleinen Stückchen Ofenwand, Holzkohle usw.) deutlich von der durch Erosionsvorgänge entstandenen

[2] Einen weiteren Keramikfund erbrachten die Bodenproben. Siehe dazu S. 91 ff.

[3] Hangseitige Drainagegräben fanden sich an den Rennfeuerplätzen B 51 und B 87 im Dietzhölzetal, Hessen (Jockenhövel/Willms 2005, 217 f. 268); geschlossene Ringdrainagen sind belegt z. B. in Breckerfeld-Neunloh, Ennepe-Ruhr-Kreis (Sönnecken 1971, 47 f.); Apollmicke, Kr. Olpe (Sönnecken 1982, 8 ff.).

[4] Anders als z. B. bei den entsprechenden Befunden im Dietzhölzetal-Projekt; auch scheint die innere Verschlackung der Ofenwand zu fehlen; ein großes Wandstück aus dem Tiefschnitt entspricht aber der normalen Rennofenwand.

[5] Sönnecken 1971, 67 Abb. 12; Jockenhövel/Willms 2005, 331 ff.

[6] Diese Konstellation erinnert an die „Schmiedegruben" in Schmiedehütten der späten Römischen Kaiserzeit in Joldelund, Kr. Nordfriesland (Jöns 1997, 139 ff.).

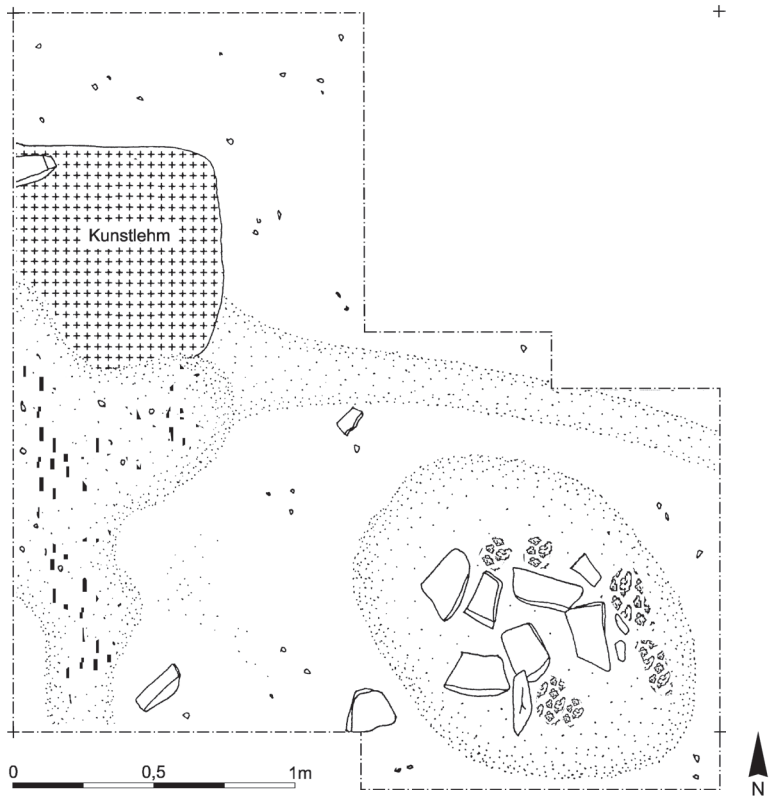


Abb. 9. Kierspe-Wienhagen. Verhüttungsplatz Nr. 72. Quadrat III-H, Planum 5.

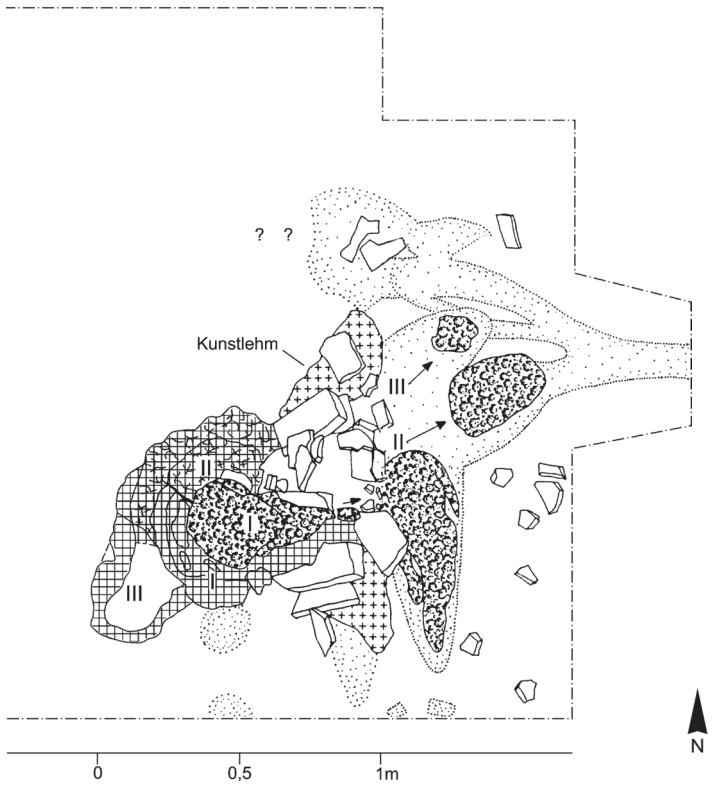


Abb. 10. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Quadrat III-H, III-D, Planum 6 mit Plana 4/5.



Abb. 11. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Quadrat III, Reste von Rennöfen (Foto Chr. Willms 1995).

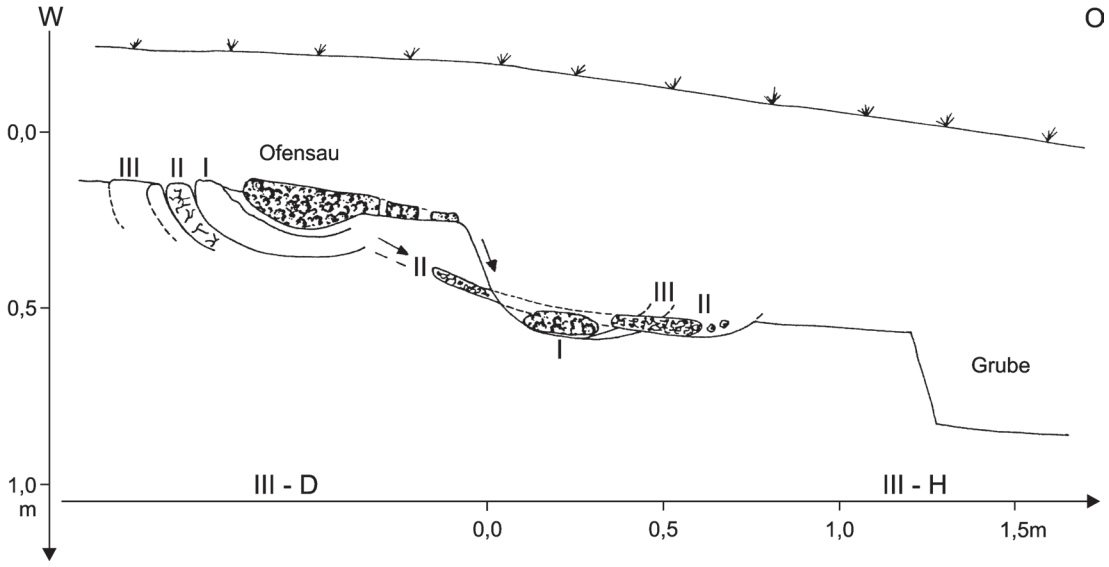


Abb. 12. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. O-W-Profil durch den Ofenbereich.

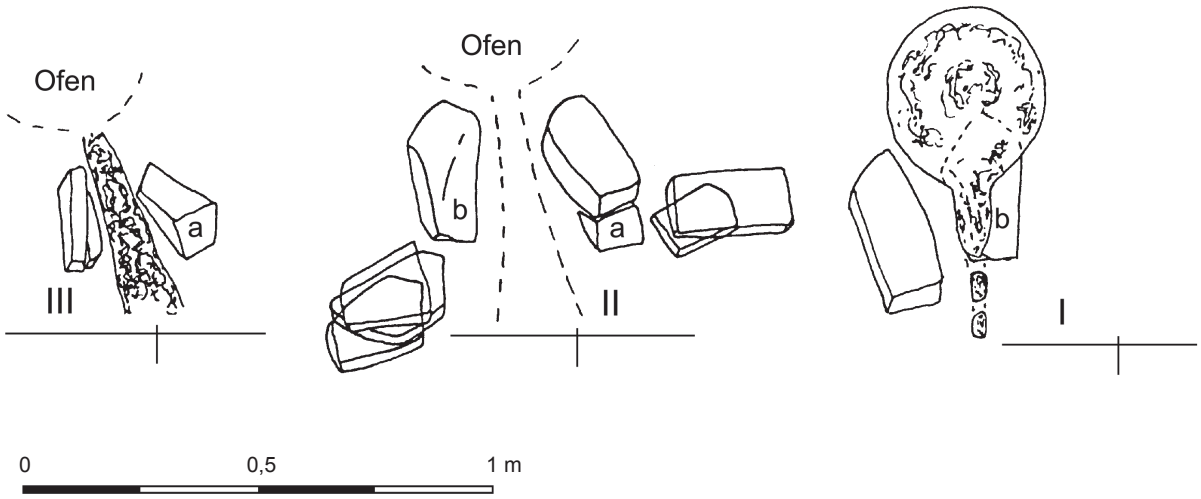


Abb. 13. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Details von Ofen 1–3.

Verfüllung abhebt. Diese Grube mag der letzten Betriebsphase zuzurechnen sein, wodurch die Schlackenentsorgung hangabwärts erschwert bzw. unmöglich gemacht wurde, so dass es zu der kleineren, bergseitigen Schlackenablagerung kam.

Röstplatz/Pochstelle

Der Befund des Erzröstplatzes am Geophysik-Maximum 3 (*Abb. 5*) fällt unspektakulär aus. Bei Abmessungen von etwa 4 x 3 m zeigt er eine eher unregelmäßige Form in der Fläche und auch nur schwache Rot-Schwarz-Färbung im Profil. Eine besondere Basis- oder Bodenschicht ist nicht erkennbar. Holzkohlen sind – zumindest Stücke von über 0,5 cm Größe – ausgesprochen selten.

Schlackenhalde

Im Tiefschnitt wurde deutlich, dass die Schlackenlage im ungestörten Bereich der Haupthalde wenigstens 0,7 m stark ist und keinerlei Schichtung erkennen lässt. Hier handelt es sich auf jeden Fall um eine Halde von Rennfeuerschlacken, zu der die Ofenanlage mit Drainage zu rechnen ist. Es bleibt allerdings die Frage, ob diese Ofenanlage nachträglich noch als Herd zum Ausschmieden genutzt wurde. Da eine unmittelbare Kontinuität zum Verhüttungsprozess wahrscheinlich, wenn nicht sogar sicher ist, sollte diese Tätigkeit in die Rennfeuerzeit und nicht in die Hochofenzeit datiert werden. Eine funktional bedingte Haldentrennung in eine obere Schmiedehalde und untere Rennfeuerhalde erscheint durchaus möglich.

Gräben

Bereits zu Beginn der Untersuchungen war südlich, etwa 100 m oberhalb des Schlackenplatzes ein deutlich ausgeprägter Graben entdeckt worden. Später ließen sich bei gezielter Überprüfung noch zwei weitere verfallene Gräben identifizieren. Diesbezüglich ist zu betonen, dass derartige Befunde ohne datierende Beifunde kaum chronologisch eingeordnet werden können, da sich ein mittelalterlicher Graben anhand seiner äußeren Form kaum von einem neuzeitlichen Graben, z. B. zur landwirtschaftlichen Wiesenbewässerung, unterscheiden lässt. Hilfreich ist in diesem Fall neben der Erforschung der gesamten Geländesituation vor allem das Studium alter Karten und Schriftquellen. Dass alte Gräben des Metallgewerbes im Rahmen von Wiesenbewässerung auch sekundär genutzt worden sein können, erschwert die Einschätzung allerdings zusätzlich.

FUNDE

Schlacke

Die Verteilung der Schlacken wird auf der Basis von Gewicht und Index untersucht. Hinsichtlich des Gewichts zeigt sich, dass im Süden und im äußersten Westen Schlackenbelege fast vollständig fehlen. In allen dargestellten Fundeinheiten sind die Schichten bis auf den gewachsenen Boden abgetragen worden, abgesehen von Quadrat IV-O-b, in dem mit sehr viel mehr Schlacke zu rechnen ist (*Abb. 14*).

Eine Vorstellung davon kann der unmittelbar südlich angrenzende Tiefschnitt vermitteln, dessen Schlacken zwar nicht quantitativ erfasst wurden, aus dem

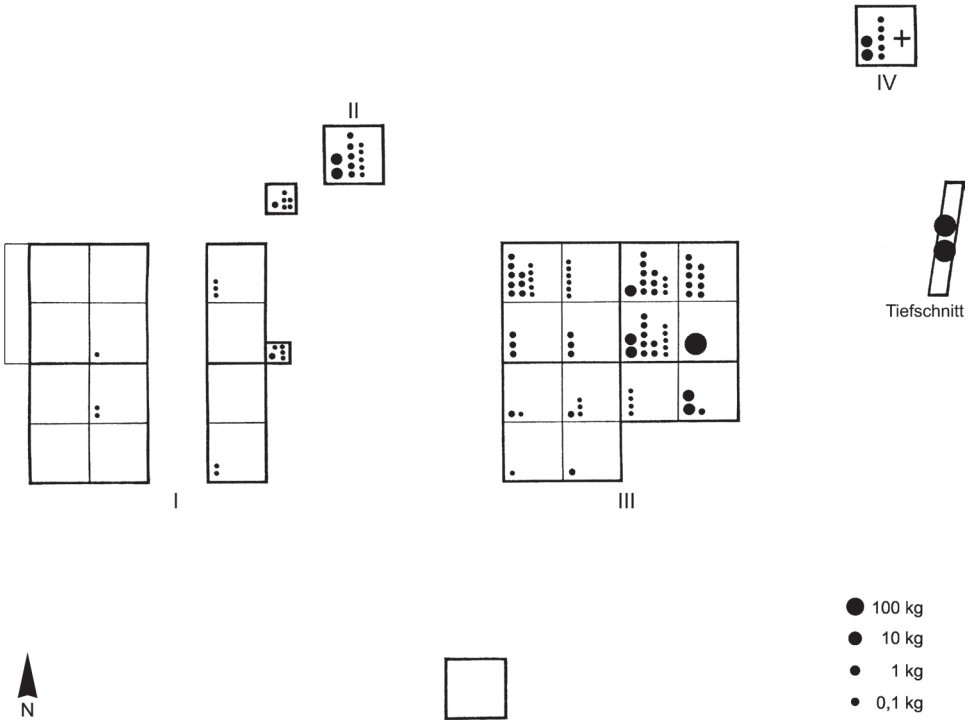


Abb. 14. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung der Schlacken nach Gewicht.

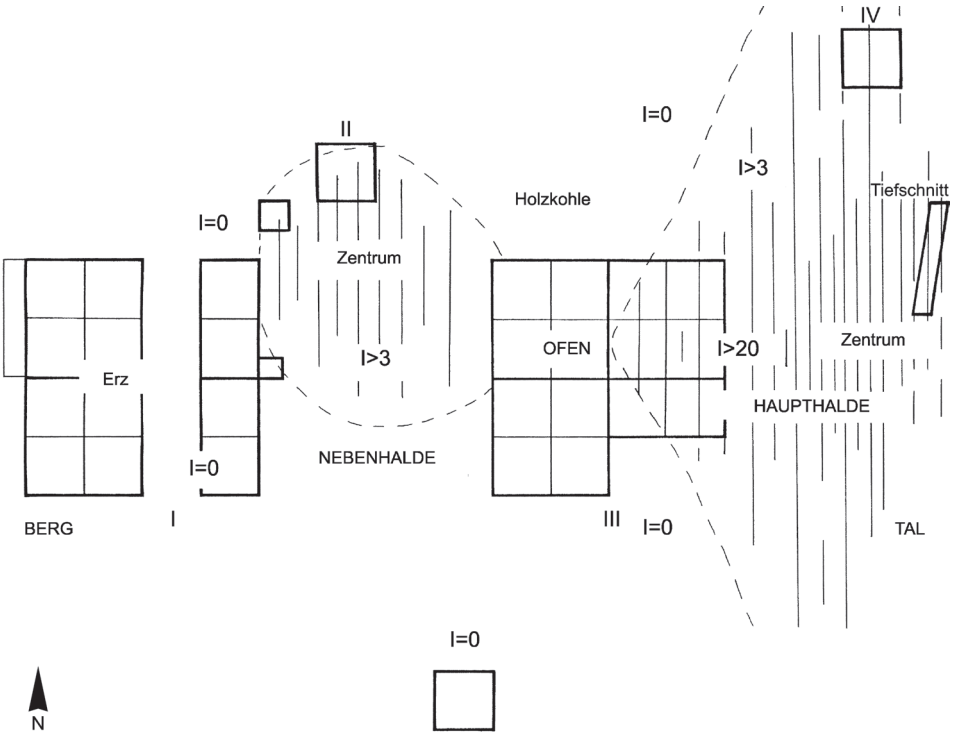


Abb. 15. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Schlacken-Index.

jedoch eine große Menge sicher verbürgt ist. In Verbindung mit der Abraummenge ergeben sich aufgrund der ermittelten Indexwerte zwei voneinander getrennte Schlackenablagerungen. Jene im Osten entspricht den Ergebnissen der Voruntersuchung (*Abb. 15*).

Anders verhält es sich mit der kleineren Halde hangaufwärts. Allein ihre Position ist schon ungewöhnlich. Anhand der gezielt untersuchten Kleinflächen lässt sich diese Halde rundum begrenzen. Eine leichte Geländeerhebung markiert das Zentrum, das durch die Grabung nicht erfasst worden ist. Mit einer Ausdehnung von 5 x 6 m und einer Stärke der Schlackenlage von höchstens 0,2–0,25 m erweist sich diese Halde als ausgesprochen klein. Theoretisch denkbare funktionale Gründe für das Vorhandensein von zwei getrennten Halden sind kaum anzunehmen, da z. B. Schlackenzapfen im Fundmaterial beider Halden vertreten sind. Dem Fehlen von Schlackenkalotten im begrenzten Fundmaterial der „Nebenhalde“ ist keine Bedeutung beizumessen. Wahrscheinlicher ist eine chronologische Differenz der Halden, die in unmittelbar aufeinander folgenden bzw. noch der gleichen Verhüttungssaison für möglich gehalten wird (d. h. es gibt keine echte Diskontinuität). Die ungewöhnliche Nebenhalde ließe sich durch einen nach Osten verstellten Zugang zur Haupthalde erklären – wahrscheinlich während der absolut letzten Betriebsphase. Der Schlacken-Index von Quadrat IV-O-b liegt bei I = 30. Dieser relativ geringe Wert ist entweder darauf zurückzuführen, dass es sich ausschließlich um hohe Niveaus oder um den Außenbereich der Halde handelt. Im Tiefschnitt, d. h. in der ungestörten Schlackenablagerung muss sicher mit einem Wert von I > 100 gerechnet werden.

Zur Bestimmung des Verhältnisses von Gewicht zu Volumen ist nur eine einzige – dafür aber sorgfältig ermittelte Angabe – verfügbar. Der Wert von 1,14 liegt gemessen am Dietzhölzetal-Material im unteren Bereich, d. h. die Schlacken sind relativ leicht. Vermutlich entsprechen sie in dieser Hinsicht den „schwereren“ Rennfeuerschlacken von Platz Nr. 11 (s. S. 35 *Abb. 18*). Allerdings müssten noch größere Serien aus dem MSL-Revier bearbeitet und jenen des Dietzhölzetal-Reviers gegenübergestellt werden. Der Anteil „eisenhaltiger Schlacken/Eisen“ entspricht mit einem Wert von gut 4 % dem Gros der dortigen Rennfeuerschlackenplätze (s. S. 35 *Abb. 17*).

Zu den Schlackengrößen ist zu bemerken, dass jene aus dem „Tiefschnitt“ in den unterschiedenen Größenklassen etwas größer als jene aus dem Planum 0/1 des Quadrats IV-O ausfallen (*Abb. 16*). Der Unterschied ist zwar auf den ersten Blick nicht besonders gravierend, doch zeigt er möglicherweise ein rezentes Recycling an.

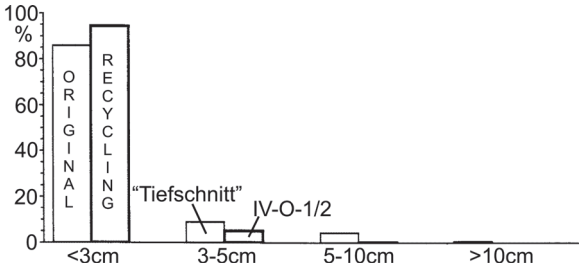


Abb. 16. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Schlackengrößen.

Schlackenkalotten und -zapfen

Auch anhand einer Kartierung spezieller Schlacken (Kalotten, Zapfen u. Ä.) lassen sich keine weitergehenden Erkenntnisse gewinnen (*Abb. 17*).

Bemerkenswert sind an dieser Fundstelle die vielen im Schnitt runden Schlackenzapfen (75 Exemplare) unterschiedlicher Länge (bis zu 15–20 cm) und Durchmesser (3–8 cm) (*Abb. 18,3*).

Ähnliche Stücke waren schon aus dem Dietzhölzetal-Projekt bekannt, waren dort aber dicker, bei weitem nicht so häufig und nur in Originallage im Schlackenkanal erkennbar und definierbar. Der *in situ*-Befund zeigt klar, dass diese Zapfen – wie auch im Dietzhölzetal-Revier – den obersten ofenseitigen Abschnitt des Schlackenflusses, die Schlackenzunge bilden (*Abb. 19*).

Aus der Menge und Art der Stücke ergibt sich, dass diese Schlacke sehr leichtflüssig war. Das kann an der hohen Temperatur oder der Zusammensetzung der Schmelze gelegen haben. Zusätzlich zu den charakteristischen Schlackenzungen lieferte der Fundplatz auch mehrere Schlackenkalotten (sieben bzw. neun Exemplare), z. T. aber in atypischer Ausprägung.

Immerhin entsprechen diese nach Gewicht und Abmessungen jenen von Platz Nr. 11 (s. S. 33 ff.). Deutlich unterscheiden sie sich darin von der Ofensau aus der Ofenbasis (27 cm, 14 kg), die im Vergleich beider Projekte als besonders mächtiges Exemplar ausgewiesen ist. Im Verhältnis zur ergrabenen Schlackenmenge hat Platz Nr. 11 jedoch weniger Kalotten (eine Kalotte auf 65 Liter Schlacke) als Platz Nr. 72 (eine Kalotte auf 35–40 Liter Schlacke) geliefert.

Die Kalotten von Platz Nr. 72 können aber nicht *a priori* mit dem Frischen von Roheisen verbunden werden, ebensowenig wie jene des alamannischen Verhüttungsplatzes von Boécourt (Dép. Jura, Schweiz).[7] Das stellt aber auch die von uns vorausgesetzte Zugehörigkeit der Exemplare von Platz Nr. 11 zum dortigen Frischen des Roheisens in Frage (s. S. 43 ff.). Hier ist eine mineralogische Untersuchung zur Klärung

[7] Eschenlohr/Serneels 1991.

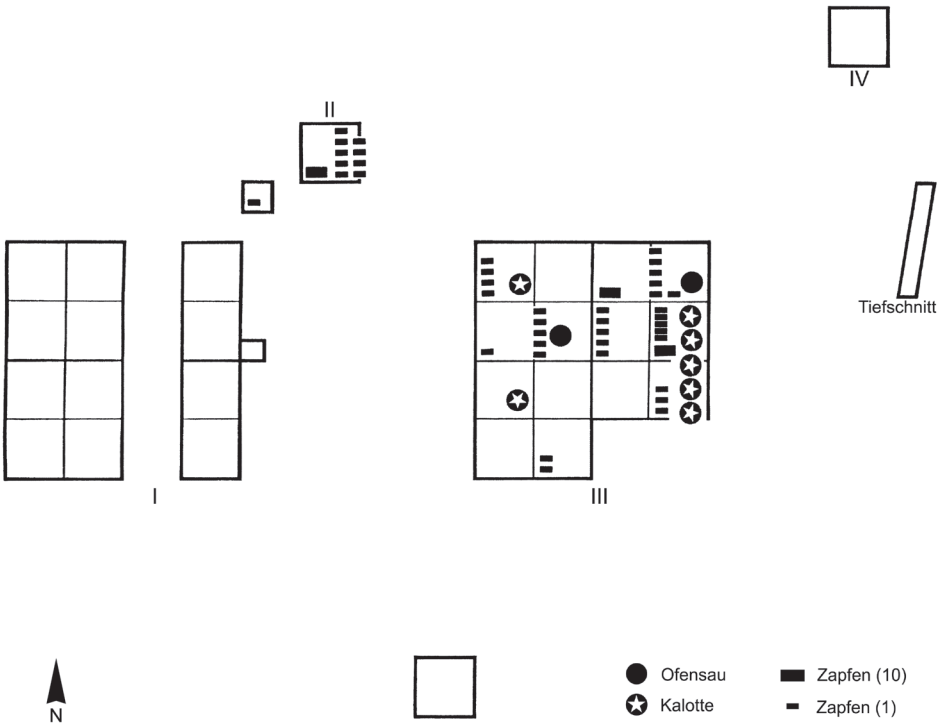


Abb. 17. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung spezifischer Schlacken.

unverzichtbar. Auch Rennofenluppen müssen in einem an die eigentliche Verhüttung anschließenden Schmiedeprozess nachbearbeitet werden.

Ofenwand

Die Ofenwandfunde konzentrieren sich auf die unmittelbare Umgebung des Ofenstandortes, d. h. auch hier ergeben sich keinerlei Anhaltspunkte für einen zweiten Ofenstandort (*Abb. 20; 21*).

Im Tiefschnitt fand sich in mittlerer stratigrafischer Position ein relativ großes Ofenwandfragment (gelb-rot/grau), das vermutlich einer mittleren Betriebsphase zuzurechnen ist und von diesem Ofenstandort stammen muss. Für beide Fundkategorien wird eine Kartierung der Stückzahlen als ausreichend erachtet.

Ein großes Stück Ofenwand, das auf einen zylinderförmigen Innenraum schließen lässt, wurde in sekundärer Lage im „Tiefschnitt“ gefunden. Dieser Fund kann als Bestätigung einer Kompletterneuerung des Schmelzofens betrachtet werden.

Steine

An diesem Ofen waren erstaunlich viele Steine verbaut worden, nämlich mindestens 216 Stück mit einem Gesamtgewicht von 330 kg. Mit Ausnahme einiger großer Exemplare, die den Schlackenabstich flankierten, waren alle hangabwärts gerutscht. Die Detail-Verteilungsbilder (*Abb. 22; 23*) verdeutlichen dies eindrucksvoll. Die meisten Steine, insbesondere die kleineren, fanden sich im Quadrat III-H-c (umgelagert), solche mit einem Gewicht von mehr als 10 kg nur im Quadrat III-D-c (Ofenstandort *in situ*). Aussagen zu Gewicht und Größe dieser Konstruktionssteine wurden zwecks besserer Vergleichbarkeit grafisch dargestellt (*Abb. 24*).

Für ein detailliertes Gewichtsprofil stehen bislang noch keine Vergleichsserien zur Verfügung (*Abb. 25*). doch könnte herausgelesen werden, dass bei Steinen bis zu 4 bzw. 5 kg Gewicht das unmittelbar zur Verfügung stehende Materialangebot genutzt wurde, während die schwereren Exemplare gezielt ausgewählt und vermutlich auch über kürzere oder weitere Entfernungen herantransportiert wurden. Eine weniger aussagestarke Statistik zeigt keine gravierenden Unterschiede zum Rennofenbefund am Platz Nr. 90 (*Abb. 26*).Wenngleich dort deutlich weniger Steine verbaut worden waren (maximal 30–33 %), während es am Platz Nr. 11 (bei gestörtem Befund) vermutlich nur 10–12 % gewesen sein dürften.

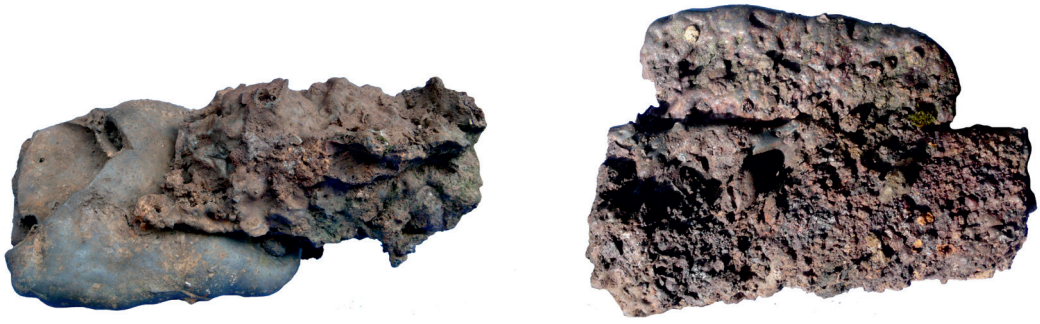
Zwei große Steine zeigen aufgrund starker Hitzeeinwirkung glasige Verschlackungszonen. Bei den genaueren Untersuchungen der Ofensau fiel ein kleines Gebilde auf, dessen äußere Struktur (z. T. löchrig, porös) und Farbe (blau-grün) denen einer frühen Floßofenschlakke täuschend ähnlich ist. Bei einer Zertrümmerung des



1



2



3

Abb. 18. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Schlacke mit Fließstrukturen. 1: Verschiedene Schlacken aus der Haupthalde; 2: Typische Fließschlacke (A: Oberseite; B: Unterseite mit Anhaftungen von Lehm); 3: Schlackenzapfen (A: Oberseite mit zwei übereinander geflossenen Schlackensträngen und großer Entgasungsblase; B: Unterseite mit anhaftendem Bodensubstrat aus Gestein und Schlackengrus) (Fotos M. Overbeck).

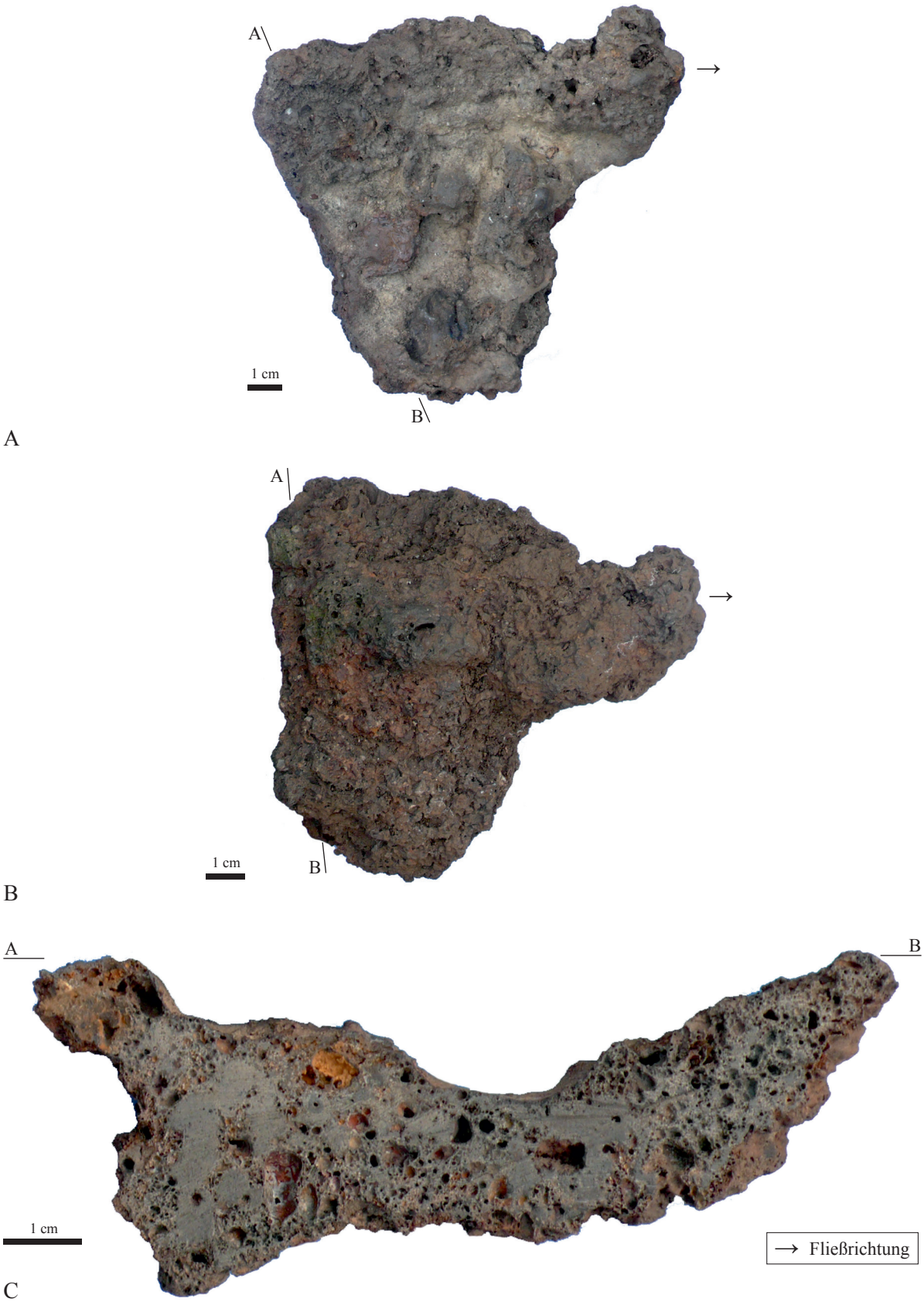


Abb. 19. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Fragment einer kleinen Schlackenzunge (max. Dm. ca. 11,5 cm; Gew. 431 g). A: Oberseite mit Fließstrukturen; B: Stark porige Unterseite mit Abdrücken von Bodensubstrat und Pflanzenhäckseln; C: Querschnitt mit Entgasungsblasen (Fotos M. Overbeck).

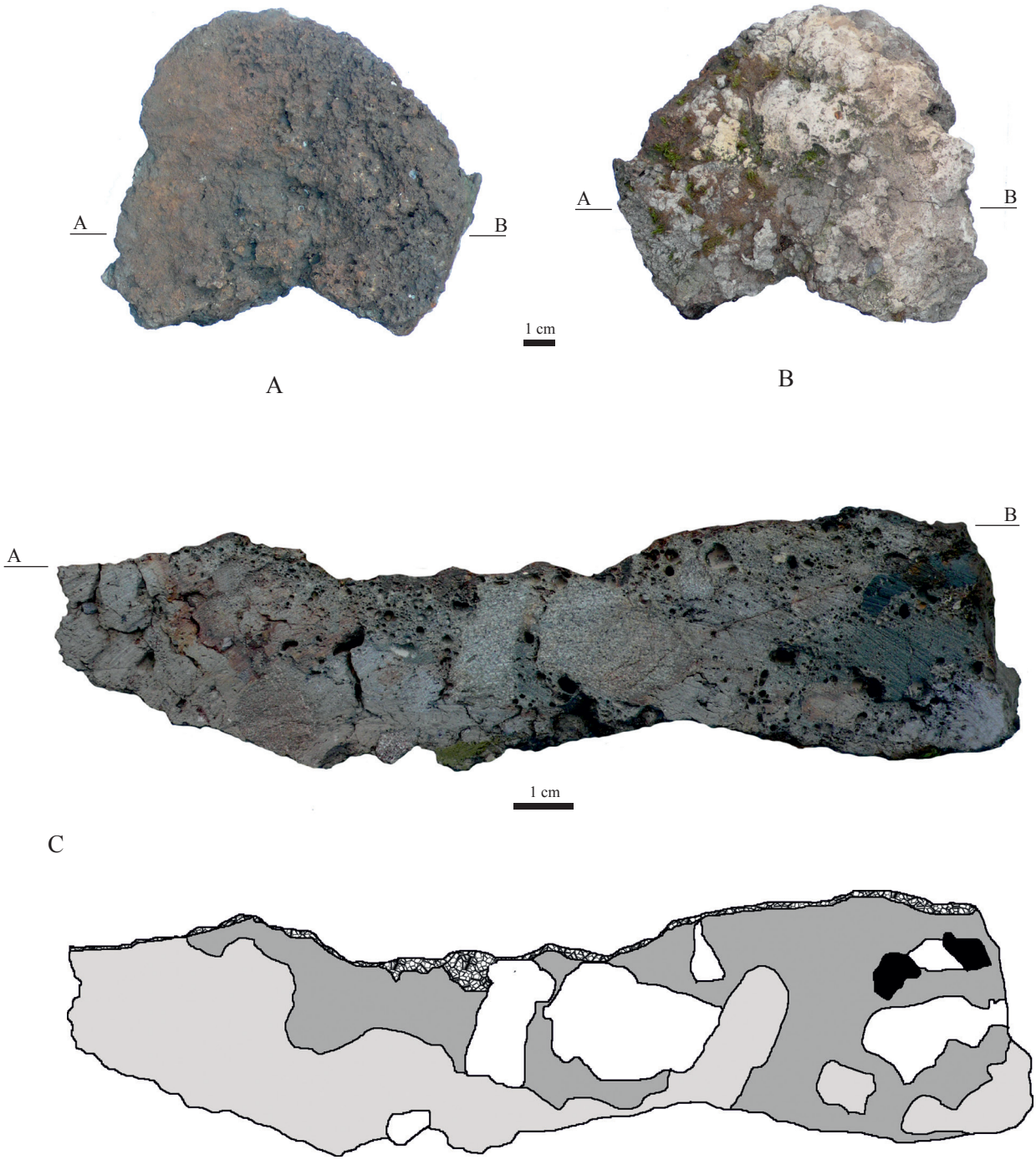


Abb. 20. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Kalottenförmiges Ofenwandfragment (Dm. ca. 16 cm; Gew. 894 g). A: Oberseite. Auf der linken Seite ist die Oberfläche vergleichsweise glatt und eben ausgebildet. In diesem Bereich zeigen sich deutliche Korrosionsspuren, die unter anderem anhand einer intensiven Rot-Verfärbung erkennbar sind. Nahezu die gesamte Oberfläche ist magnetisch. Vereinzelt sind Holzkohlestücke und Schlackengrus auf der Oberfläche zu erkennen; B: Unterseite. Die Unterseite ist grau bzw. gelb-grau und besteht überwiegend aus verziegeltem Lehm. Bis auf einige kleine Steine sind keine weiteren Anhaftungen z. B. von Schlacke oder Holzkohle vorhanden; C: Querschnitt. Im Querschnitt wird deutlich, dass dieses Ofenwandfragment nahezu vollständig aus grau verziegeltem Lehm besteht, in den einige (Sand-)Steinbruchstücke eingeschlossen sind. In manchen Bereichen ist der Lehm vollständig aufgeschmolzen und zeigt Entgasungsblasen. Die etwa 1–3 mm starke, rostrote und stark verfestigte Schicht auf der Oberfläche enthält makroskopisch erkennbare Einschlüsse von Holzkohlepartikeln und kleinstem Schlackengrus; D: Querschnitt. Interpretierende Umzeichnung. Schwarz: Holzkohle; dunkelgrau: aufgeschmolzener Lehm; hellgrau: verziegelter Lehm; weiß: Gestein; Muster: Korrosionsschicht mit Holzkohle und Schlacke (Fotos und Zeichnung M. Overbeck).

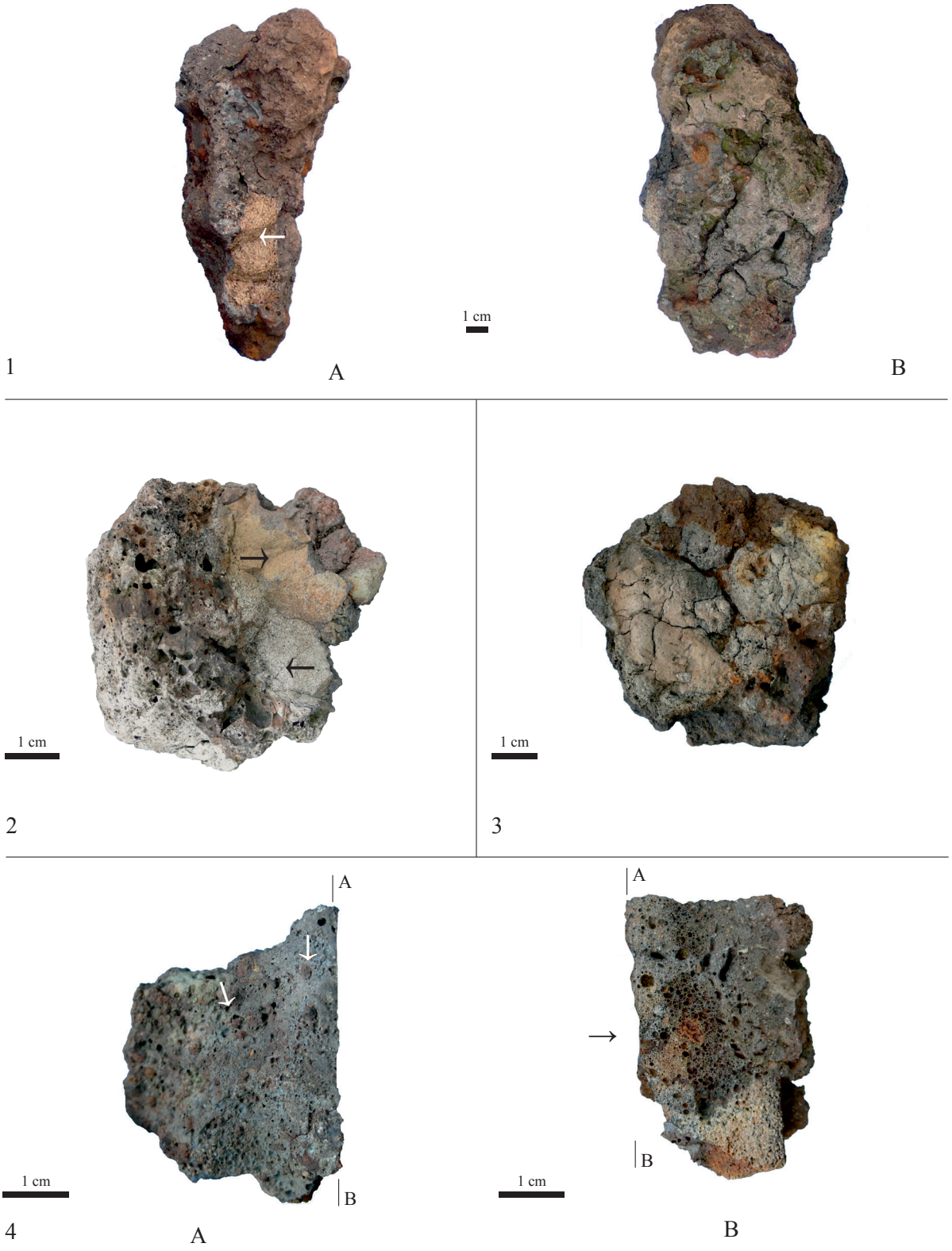


Abb. 21. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verschiedene Ofenwandfragmente. 1–3: Erhalten blieben zahlreiche Fragmente der inneren grauen Ofenwand, die, unter reduzierenden Bedingungen gebrannt, besonders hart verziegelt war und immer wieder eingeschlossenes Gestein aufwies (Pfeile); 4A: Auf der Oberfläche der teilweise verglasten inneren Ofenwand konnten vereinzelt stark korrodierte Anhaftungen von Metall in Tropfenform beobachtet werden (Pfeile); 4B: Querschnitt durch dasselbe Ofenwandfragment. Deutlich ist die besonders stark verziegelte und teilweise verglaste innere Ofenwand (Pfeil) von den schaumig porösen bzw. kompakten Bereichen zu unterscheiden, die thermisch nicht so stark beansprucht worden sind (Fotos M. Overbeck).

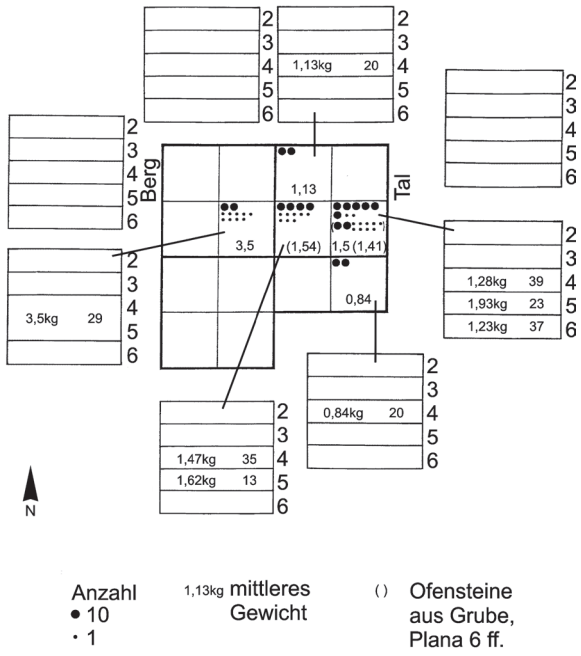


Abb. 22. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung der Ofensteine in Quadrat III und Plana.

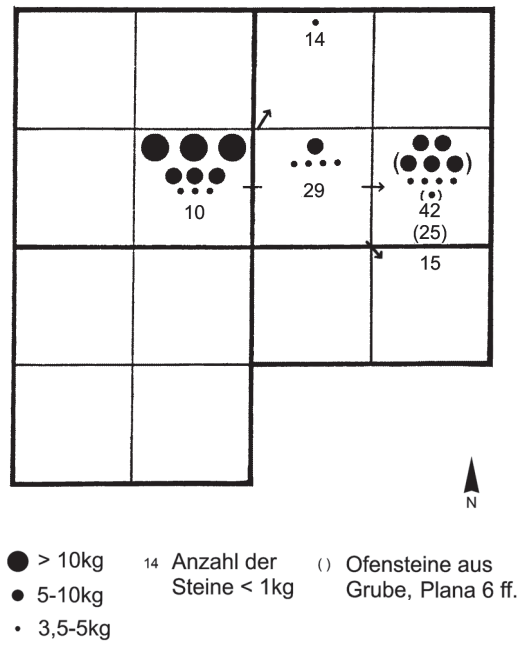


Abb. 23. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Quadrat III, Verteilung der Einzelsteine.

Gegenstandes bestätigte sich diese Annahme aber nicht. Diese Beobachtung mag vielleicht zukünftig im einen oder anderen zweifelhaften Fall von Bedeutung sein.

Holzkohle

Es zeigt sich, dass im Haldenbereich fast immer Restkohlen aus dem Verhüttungsprozess als Abfall vorhanden sind. Außerhalb der Halde ergibt sich für Quadrat III-H-b als Maximalwert I = 36,8. Als Fundeinheit einzeln gewertet zeigt das dortige Planum 5 den höchsten Wert mit I = 105.

Die Holzkohlefunde verteilen sich um den Ofen herum wie folgt: Planum 2 : 4 %, Planum 3 : 23 %, Planum 4 : 24,5 %, Planum 5 : 14,5 %, Planum 6: keine Belege. Betrachtet man das Detailbild (*Abb. 27*), so kann man daraus schließen, dass die Quadrate III-D-d, III-H-a und III-H-b eine etwas andere Folgestruktur bzw. Sukzession zeigen als die bergseitigen Quadrate.

Hier sind die meisten Holzkohlen den Plana 3/4 zuzurechnen, während sie sonst zu Planum 5 gehören. Das bedeutet, dass die ehemalige Oberfläche bergseitig etwa den Plana 3/4 und talseitig etwa Planum 5 entspricht. Vielleicht gab es hier zur Betriebszeit – zumindest im Ofenbereich – eine kleine (Gelände-)Stufe. Im nördlich anschließenden Bereich (d. h. jenseits der Grabungsgrenze) ist zwischen beiden Haldenbereichen das Holzkohlenlager (mit Indexwerten bis zu I = 250/300) zu vermuten. Von dort aus wurde sicherlich auch die Beschickung vorgenommen (*Abb. 28*). Mehrere vollständige Fundeinheiten wurden für eventuelle spätere botanische Untersuchungen zurückbehalten, die aber bisher nicht erfolgen konnten.

Erz

Nahezu vollständig erfasst ist die Erzaufbereitung mit ziemlich niedrigen Indexwerten (bis I = 34) (*Abb. 28*). Selbst wenn man eine gewisse Unsicherheit für Quadrat I-C-d gelten lässt, wird man einen Wert von I = 50 nicht überschreiten. Verglichen mit Erzlagern/Pochstellen von Verhüttungsplätzen des Dietzhölzetal-Reviers sind das relativ geringe Werte.[8] Ein weiterer Unterschied zeigt sich darin, dass die Erzaufbereitung mit 7–10 m ziemlich weit vom Ofen entfernt ist (aufgrund von Feuereinsatz?).

Oberhalb des Ofenstandortes war ein Erzplatz aufgedeckt worden. Dieser kann als Pochstelle oder Röstplatz angesprochen werden, da von dort überwiegend sehr kleine Makro-Erze stammen, von denen nicht einmal 20 % mehr als 10 g wiegen (*Abb. 29*).

[8] Jockenhövel/Willms 2005, 182 (A68). 205 (B19). 276 (B87). 338 (B90).

[9] Willms 1992; ausführlich in Jockenhövel/Willms 2005, 192. 381.

Ein derartiges Erzprofil ist für eine Pochstelle eher ungewöhnlich.[9] Eine Siebprobe aus dem Profilsteg zeigt im Bereich der Korngröße > 0,3 cm einen Erzanteil von mehr als zwei Dritteln (*Abb. 30*).

Bemerkenswert ist der hohe Anteil magnetischer Stücke, der sowohl im Makro- als auch im Siebproben-Bereich immer die 80 %-Marke übersteigt. Das legt die Vermutung nahe, dass diese Erze thermisch aufbereitet wurden und hier tatsächlich ein Röstplatz/-stadel ergraben wurde.

Objekte aus Eisen

Die Fundkategorie „Eisen“ verteilt sich in der Fläche entsprechend der Kategorie „Schlacke“, d. h. es zeigen sich keine Auffälligkeiten (*Abb. 31*).

Ein gebogenes Eisenteil (Quadrat III-H-3-b) dürfte von einer Tülle stammen (*Abb. 32,1a*). Eine dünnere Eisenspitze oder Zinke (Quadrat III-H-3-d) und ein kleines Zinkenfragment (Quadrat III-D-5-c) könnten zusammen mit der erwähnten Tülle eine drei- oder vierzinkige Forke oder Hacke ergeben (*Abb. 32,1b–c*). Ob dieses Gerät zur Ausstattung des Hüttenmannes gehörte oder – vermutlich – aus der Ausräumphase stammt, muss offen bleiben. Ersteres ist für das Endstück einer vierkantigen Eisenstange (L. 8,5 cm; 3,5/3 x 2,2/2 cm; 162 g) (Quadrat III-C-2-b) anzunehmen, das an ähnliche Fragmente vom Dietzhölzetal-Platz B 51 erinnert (*Abb. 32,2*).[10] Es gibt auch noch eine Eisenspitze (Quadrat III-G-4-d) von 83 g mit rundem Querschnitt (*Abb. 32,3*). Ein rechteckiger, schnallenartiger Eisengegenstand könnte Bestandteil eines Pferdegeschirrs (Wagenanspannung) gewesen sein (Quadrat III-H-4-b) (*Abb. 32,4*).

Keramik

Im Verlauf der Ausgrabungen konnte aus den Planquadraten nur eine hochmittelalterliche Wandscherbe geborgen werden (Quadrat III-C-3-b, Gräbchen). Ein weiteres, allerdings stark zerstörtes Keramikfragment lieferten die im Anschluss an die Ausgrabungsarbeiten durchgeführten Sieb- und Schlämmanalysen (s. S. 91 ff.).

AUSWERTUNG

Es handelt sich um einen Verhüttungsplatz der Rennfeuerzeit, der allerdings manche Eigentümlichkeit aufweist. Vergleichend lässt sich festhalten, dass der Ofen aus Lehm und Stein konstruiert war. Das war in diesem

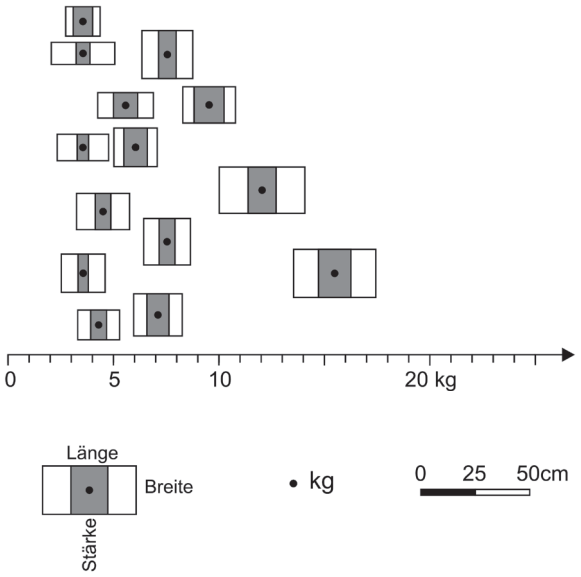


Abb. 24. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Gewicht und Maße der Ofensteine.

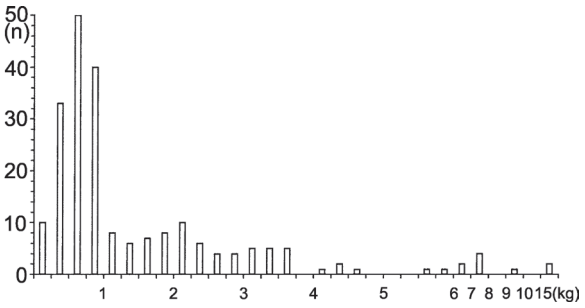


Abb. 25. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Gewicht der Ofensteine.

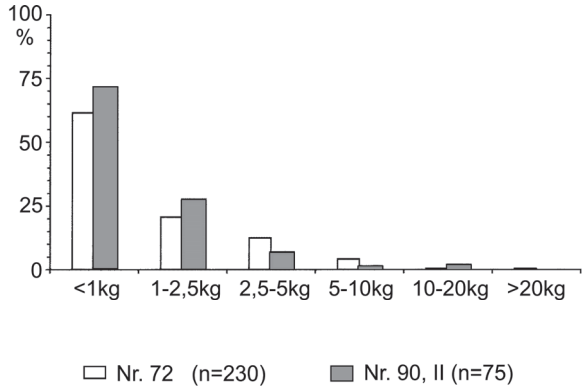


Abb. 26. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Gewicht der Ofensteine von Platz Nr. 72 und Rennofenverhüttungsplatz Nr. 90 (vgl. S. 205 ff.).

[10] Jockenhövel/Willms 2005, 240.

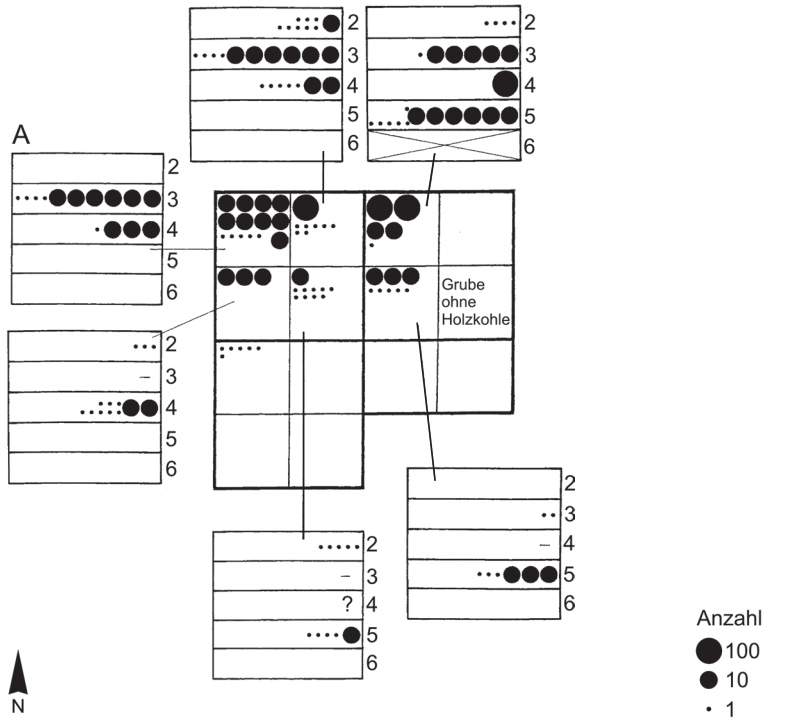


Abb. 27. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung der Holzkohle in Quadrat III und in den Plana.

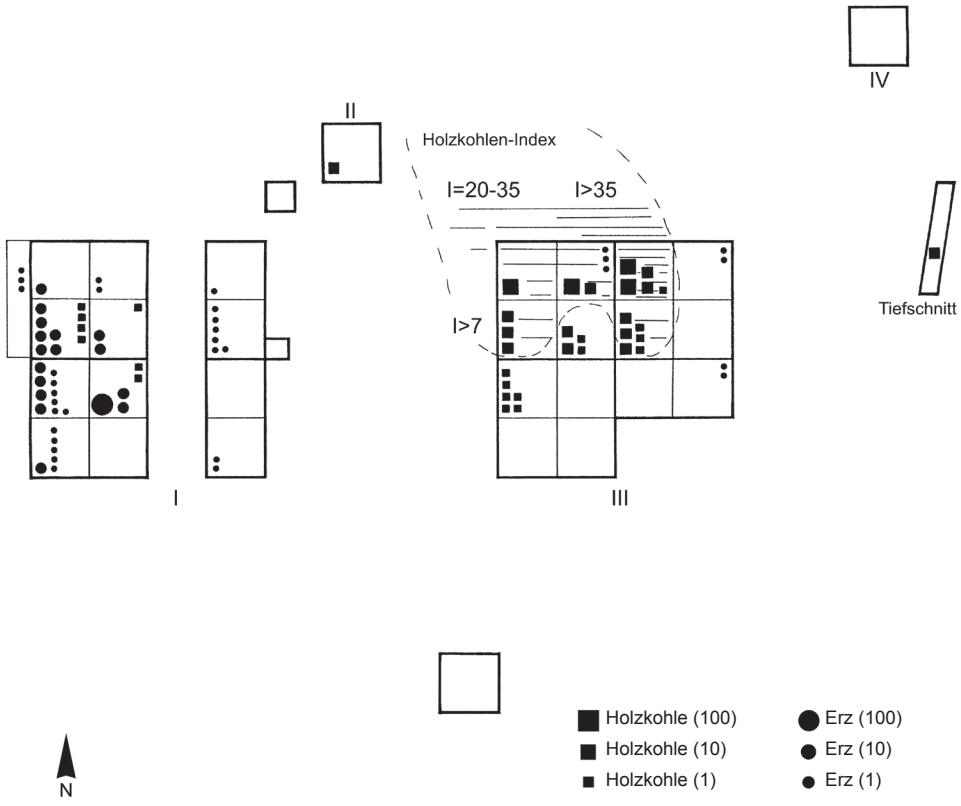


Abb. 28. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung von Holzkohle und Erz.

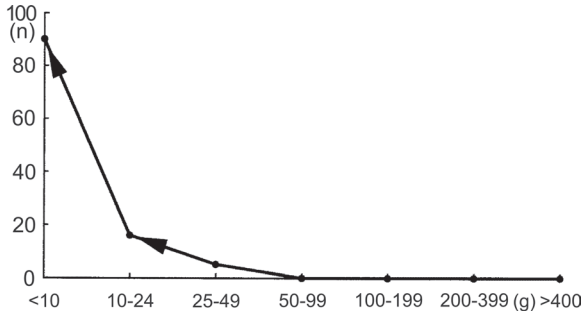


Abb. 29. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Fraktionsgrößen der Erze.

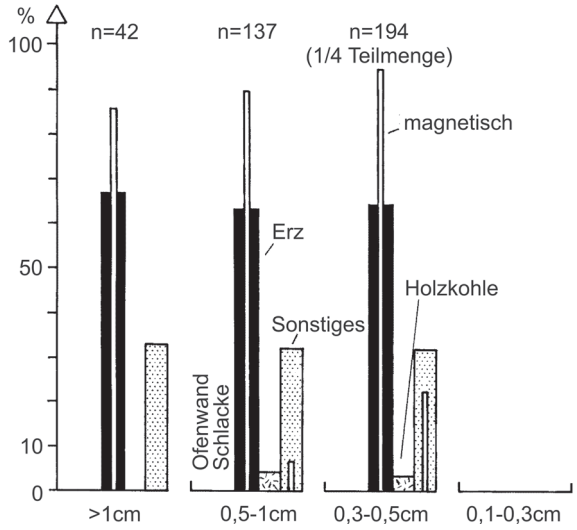


Abb. 30. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Anteil von Fundgruppen in den Siebproben.

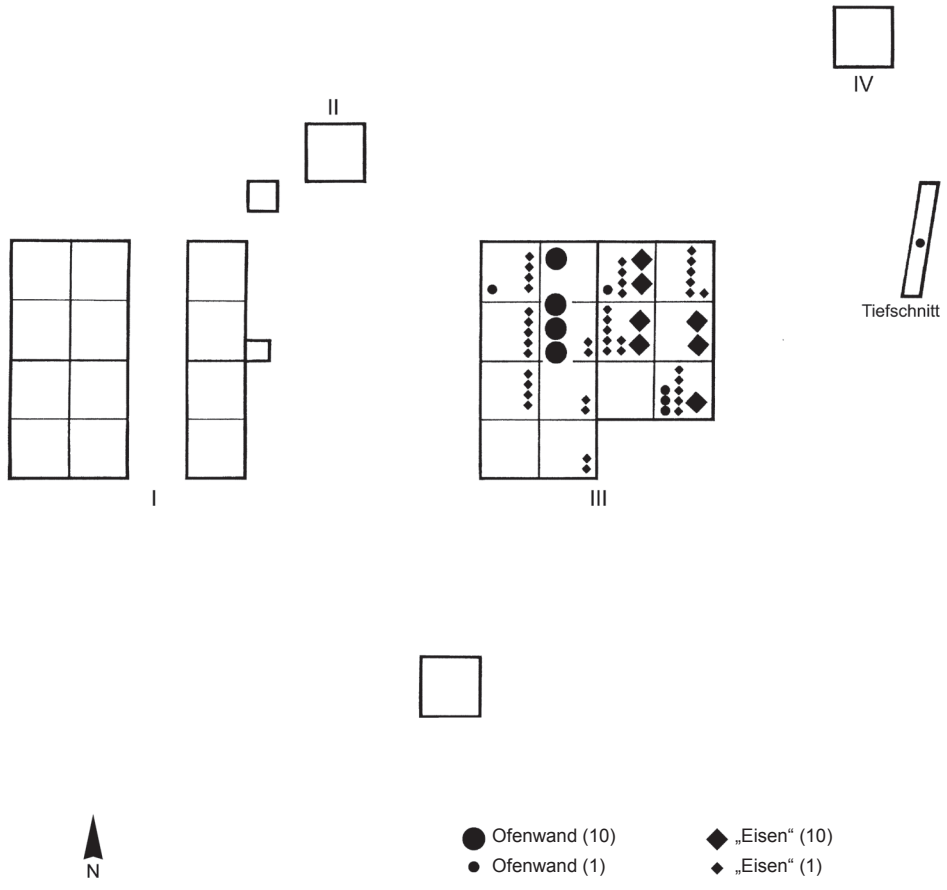


Abb. 31. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Verteilung der Funde.

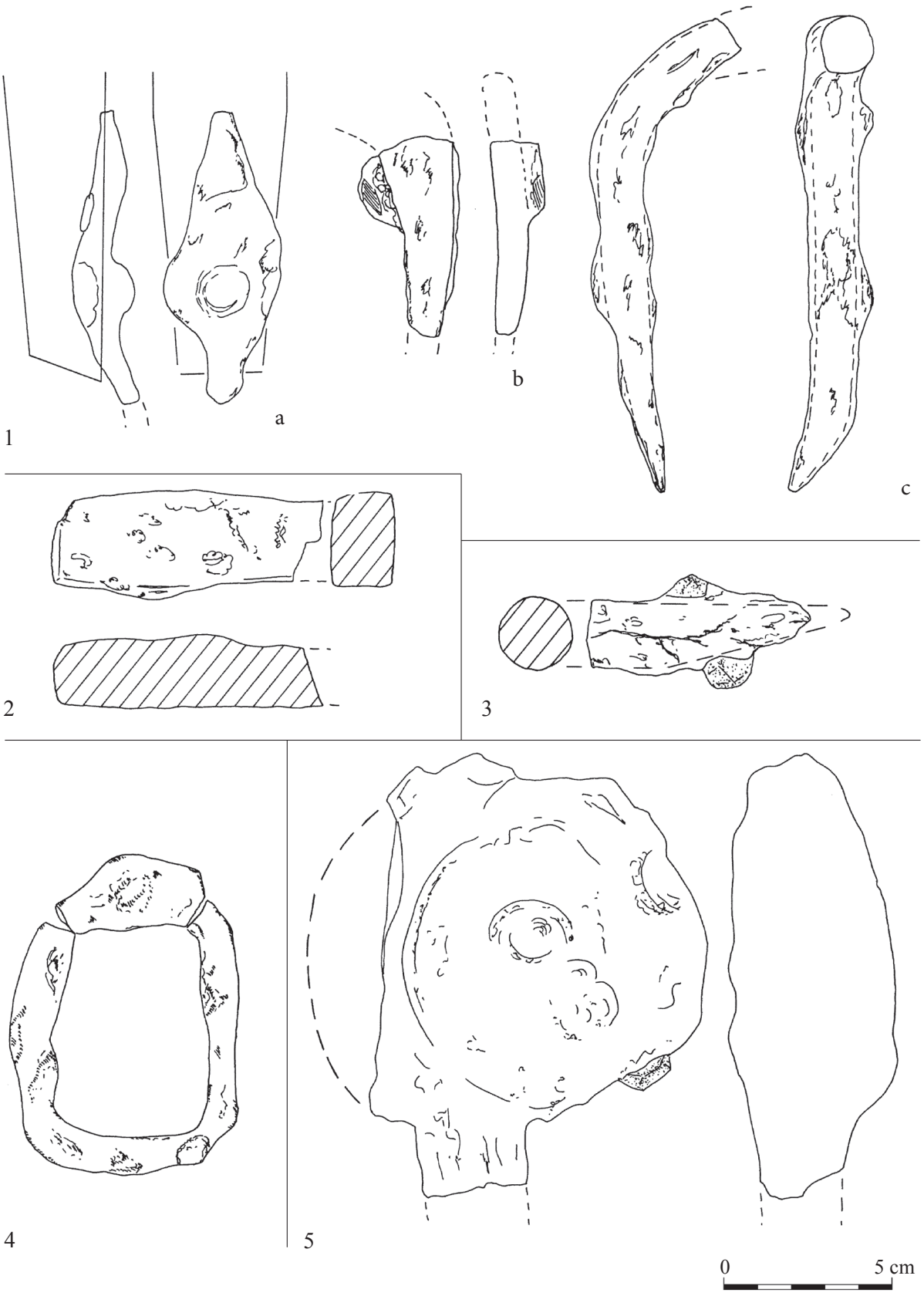


Abb. 32. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Funde. – Eisen. 1: Gebogenes Eisenteil (a) (Quadrat III-H-3-b), kleines Zinkenfragment (b) (Quadrat III-D-5-c) Eisenspitze oder Zinke (c) (Quadrat III-H-3-d); 2: Endstück einer vierkantigen Eisenstange (Quardrat III-C-2-b); 3: Eisenspitze mit rundem Querschnitt (Quadrat III-G-4-d); 4: Schnallenartiger Eisengegenstand (Quadrat III-H-4-b); 5: Eisenobjekt mit unbekannter Funktion.

Umfang weder im Dietzhölzetal-Projekt noch bei Ofen 1 am Platz (MSL-)Nr. 90 (s. S. 191 ff.) zu beobachten: Etwa 230 Steine unterschiedlichen Gewichts waren im und am Ofen verbaut. Dies mag eine lokale oder regionale Eigenheit sein. Es zeichnet sich eine chronologisch relevante Steigerung bei der Verwendung von Steinmaterialien am Bau der Außenkonstruktion der Öfen ab. Seitdem sich dieses Revier auf das Hochofenverfahren umgestellt hatte, wurden Steine nach und nach zum dominierenden Konstruktionsmaterial. Diese Entwicklung kann als erwiesen gelten.[11] Insofern könnte ein Rennofen mit vielen Steinen für eine absolute Spätdatierung innerhalb des Rennverhüttungszeitraumes sprechen. Diese Spätdatierung scheint angesichts der vorliegenden Werte des „spezifischen Schlackengewichtes" durchaus möglich. Allerdings sind ohne mineralogische Untersuchungen keine endgültigen Aussagen zu treffen.

Ohne direkte Parallele zu anderen Rennofenbefunden bleibt die kleinere bergseitige Schlackendeponierung, da bei allen Vergleichsbefunden die Schlacken ausnahmslos nur talseitig entsorgt wurden. Eine zentrale Position des Ofenstandortes im Umfeld des Schlackenabfalls ist äußerst ungewöhnlich. Möglich ist, dass diese Schlackenreste (und die unterhalb vorgelagerte Grube) die Abschlussnutzung dieses Verhüttungsplatzes anzeigen oder – weniger wahrscheinlich –, dass auch dieser Platz eine Phase der Rennverhüttung und eine (abschließende) Schmiedephase (der Rennfeuer- oder frühen Hochofenzeit) aufweist.

Das Rösten von Eisenerzen wird von G. Agricola für das frühneuzeitliche „Westfalen" als charakteristisch angegeben[12], doch bleibt im Dunkeln, auf welche Region dieser historischen Landschaft er sich bezieht, die sich damals bis an die Nordsee erstreckte und reiche Rasenerzlagerstätten besaß.[13] Andererseits glaubt auch M. Sönnecken, Röstplätze nachweisen zu können.[14] Schmelztechnisch lassen sich durch das Rösten bei Brauneisenerz eigentlich keine Vorteile erzielen, allerdings wird das Erz mürbe und ist leichter zu pochen.

Den Ofen am Platz würde man nach Sönnecken wohl als „flachen Rennherd" einzuordnen haben (s. S. 282 *Abb. 3*). Der Verfasser ist der Meinung, dass alle Rennöfen des Reviers am Nordrand der Mittelgebirgszone in Westfalen zum gleichen Ofentyp (mit mehr oder weniger Steinen), dem kleinen Schachtofen mit Schlackenabstich, zählen. Eine angedeutete Revierteilung des Märkischen Sauerlandes in einen West- und Ostbereich mag durchaus aufgrund unterschiedlich ausgeprägter Beschaffenheiten der Erze und des Lehms für den Ofenbau gegeben sein.[15] Einer weiterreichenden ethnischen Interpretation (hier Franken, dort Sachsen) steht der Verfasser jedoch skeptisch gegenüber. Eher noch könnte sich eine funktional bedingte Trennung in Gebiete überwiegend mit Rennfeuer oder Frischfeuer andeuten. Um dies zu klären, bedarf es einer wesentlich tragfähigeren Materialgrundlage und einer kritischen Revision aller bislang vorliegenden Daten.

[11] Willms 1996a.
[12] Agricola 1556/1994, 233 ff.
[13] Müller-Wille 1981, 7 ff.
[14] Sönnecken 1971.
[15] Horstmann/Knau/Sönnecken 1996.

SIEB- UND SCHLÄMMANALYSEN ZU VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 72

Michael Overbeck

An Fundplatz Nr. 72 wurden aus drei verschiedenen Bereichen des Verhüttungsplatzes insgesamt drei Bodenproben (BP) im Umfang von 5,1 kg (BP 1), 4,6 kg (BP 2) und 4,1 kg (BP 3) entnommen (s. S. 70 *Abb. 4*). Die Entnahmestellen liegen sämtlich außerhalb der ausgegrabenen Quadrate, wobei anhand der BP zum einen Aufschluss darüber erlangt werden sollte, wie sich die Fundgruppen Schlacke, Gestein/Erz, verziegelter Lehm/Ofenwand und Holzkohle auf dem Fundplatz verteilen. Zum anderen sollten vor allem die kleinen und kleinsten Funde (Größenklasse 2–6 mm), die im Rahmen der regulären Grabungsarbeiten nicht vollumfänglich dokumentiert werden können, einer detaillierten Betrachtung unterzogen werden. Im Folgenden werden die Fundgruppen jeweils in der Reihenfolge der abnehmenden Fundmenge (n) vorgestellt. Falls nicht ausdrücklich anders angemerkt, beziehen sich Prozentangaben auf das Gewicht.

BODENPROBE 1

Bodenprobe 1 stammt aus Quadrat II-B und wurde etwa 3 m nördlich der Pochstelle entnommen (s. S. 70 *Abb. 4*). Der Fundinhalt nach der Schlämmung (insgesamt 1.646,3 g) betrug 454,6 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 1.191,7 g (Größenklasse > 6 mm). Erwartungsgemäß waren bis auf ein Keramikfragment ausschließlich Schlacke (91 %), Gestein (8 %), Holzkohle (0,5 %) und verziegelter Lehm/Ofenwand (0,5 %) in der BP enthalten (*Abb. 1,1*).

Schlacke hat mit insgesamt 1.500 g den größten Anteil am Bodensubstrat. 35 % der Schlacken in der Größenklasse 2–6 mm reagierten nicht auf den Handmagneten (*Abb. 1,2*). 48 % der Schlacken sind magnetisch, 17 % stark magnetisch.[1] Allgemein ist bei dieser Bodenprobe der hohe Anteil kleinsten Schlackenmaterials bemerkenswert (*Abb. 1,3*). Es handelt sich dabei jedoch nicht ausschließlich um Schlackengrus, d. h. um kleine Einzelsplitter kompakter, kristalliner (Fließ-)Schlacke (*Abb. 2,3*), sondern vor allem um mehr oder weniger deutlich versintertes, ausschließlich magnetisches bzw. stark magnetisches Material. Die meisten Sinterschlacken sind der Größenklasse 2–6 mm (Mikroschlacken) zuzuordnen. Sinterschlacken kommen jedoch auch in der Größenklasse > 6 mm vor, wo sie allerdings nur 23 % der Gesamtschlackenmenge bezogen auf die Stückzahl ausmachen (*Abb. 2,2*). Aufgrund des Metallgehalts in wechselnden Anteilen ist bei diesem Schlackentyp stets eine partielle oder vollständige, durch Korrosion hervorgerufene, dunkelrote Färbung zu beobachten. Bei geringem Kraftaufwand können die Sinterschlacken mit der Hand zerbrochen werden. Neben kleinsten Splittern von Fließschlacke sind vereinzelt grober Hammerschlag, verziegelter Lehm (Ofenwandfragmente?), Holzkohle und Quarzsand im Gefüge der Sinterschlacken zu erkennen. In der Größenklasse > 6 mm treten besonders zahlreich kristalline Fließschlacken auf, wie sie üblicherweise an Fundstellen nachgewiesen werden können, an denen das direkte Verfahren der Eisenproduktion belegt ist (*Abb.2,1*). Charakteristische Fließstrukturen auf den Oberflächen der graubraunen, kompakten bzw. mehr oder weniger blasigen Schlacken sind häufig zu beobachten. Im Gegensatz zu den Sinterschlacken können die kompakten, kristallinen Schlackensplitter nicht mit der Hand zerbrochen werden.

Als charakteristische Sonderformen konnten im Schlackenmaterial der Größenklasse 2–6 mm zusätzlich Schlackenschuppen (*Abb. 2,4*), Hammerschlag (Zunder) (*Abb. 2,6*) und kugelförmige Schlacke (*Abb. 2,5*) unterschieden werden.

Hammerschlag (Zunder) ist jedoch nur in sehr geringer Menge in der BP enthalten (15 n = < 1 g) (*Abb. 2,6*). Vertreten sind sowohl stark magnetische (8 n) als auch magnetische Exemplare (7 n). Deutlich häufiger kommen demgegenüber grobe Schlackenschuppen vor (4,5 g), die ebenfalls ausnahmslos magnetisch (103 n) bzw. stark magnetisch (14 n) sind (*Abb. 2,4*). Die groben Schlackenschuppen sind nicht nur größer als der papierdünne Zunder, sondern auch dicker und somit schwerer. Einige Exemplare sind deutlich gekrümmt. In der Regel ist sowohl jeweils die Ober- als auch die Unterseite glatt ausgebildet, nur bei einigen Exemplaren zeigt sich auf jeweils einer Seite eine unregelmäßige, blasige Oberfläche.

[1] Innerhalb der fest definierten Größenklasse 2–6 mm wurde zwischen „nicht magnetischen“, „magnetischen“ und „stark magnetischen“ Fundobjekten unterschieden. Insbesondere bei den Schlackenfunden sollte mit dieser Methode eine Identifikation von potentieller Weiterverarbeitungsschlacke im Bodensubstrat erleichtert werden. Weil sich Ausheiz- bzw. Schmiedeschlacken im Allgemeinen u. a. dadurch auszeichnen, dass sie stark magnetisch sind wurden sämtliche Proben auf diese Eigenschaft hin untersucht. Als „magnetisch“ wurden Funde dann bezeichnet, wenn sie im direkten Kontakt mit dem verwendeten Magneten haften blieben. Dazu wurde ein Handmagnet unmittelbar auf die Proben aufgelegt. In die Kategorie „stark magnetisch“ wurden demgegenüber all jene Funde eingeordnet, die selbst dann vom Magneten angezogen wurden, wenn dieser in einem Abstand von 1,5–2,0 cm über das Probenmaterial bewegt wurde. Durch dieses Verfahren sollte sichergestellt werden, dass zumindest innerhalb der hier vorgestellten Probenreihen eine gewisse Vergleichbarkeit bzw. ein einheitliches Vorgehen in Bezug auf die magnetischen Fundgruppen der untersuchten Fundplätze gewährleistet war.

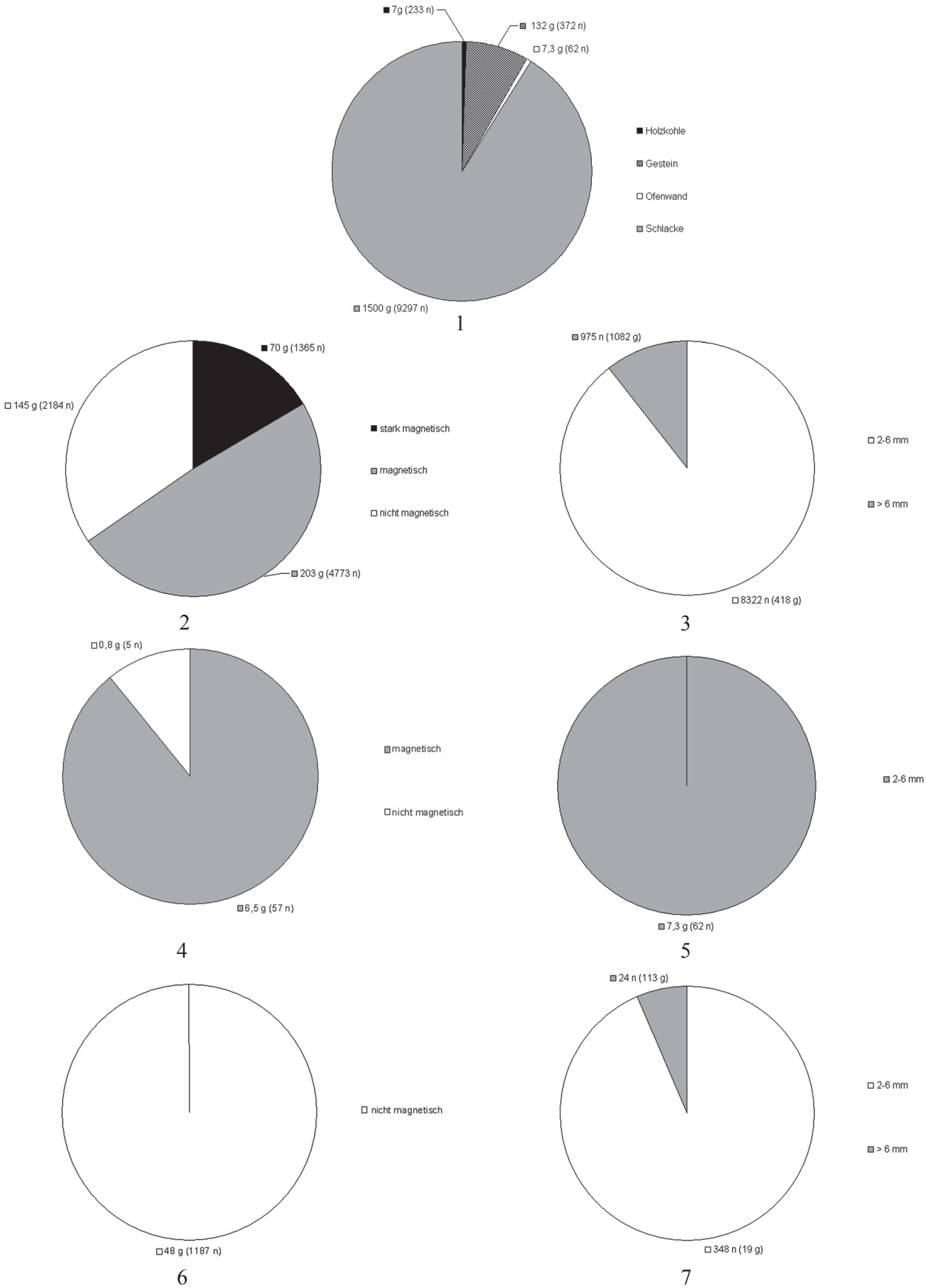


Abb. 1. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 1. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4: Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 5: Verziegelter Lehm/Ofenwand, beide Größenklassen; 6: Gestein, Größenklasse 2–6 mm; 7: Gestein, beide Größenklassen.

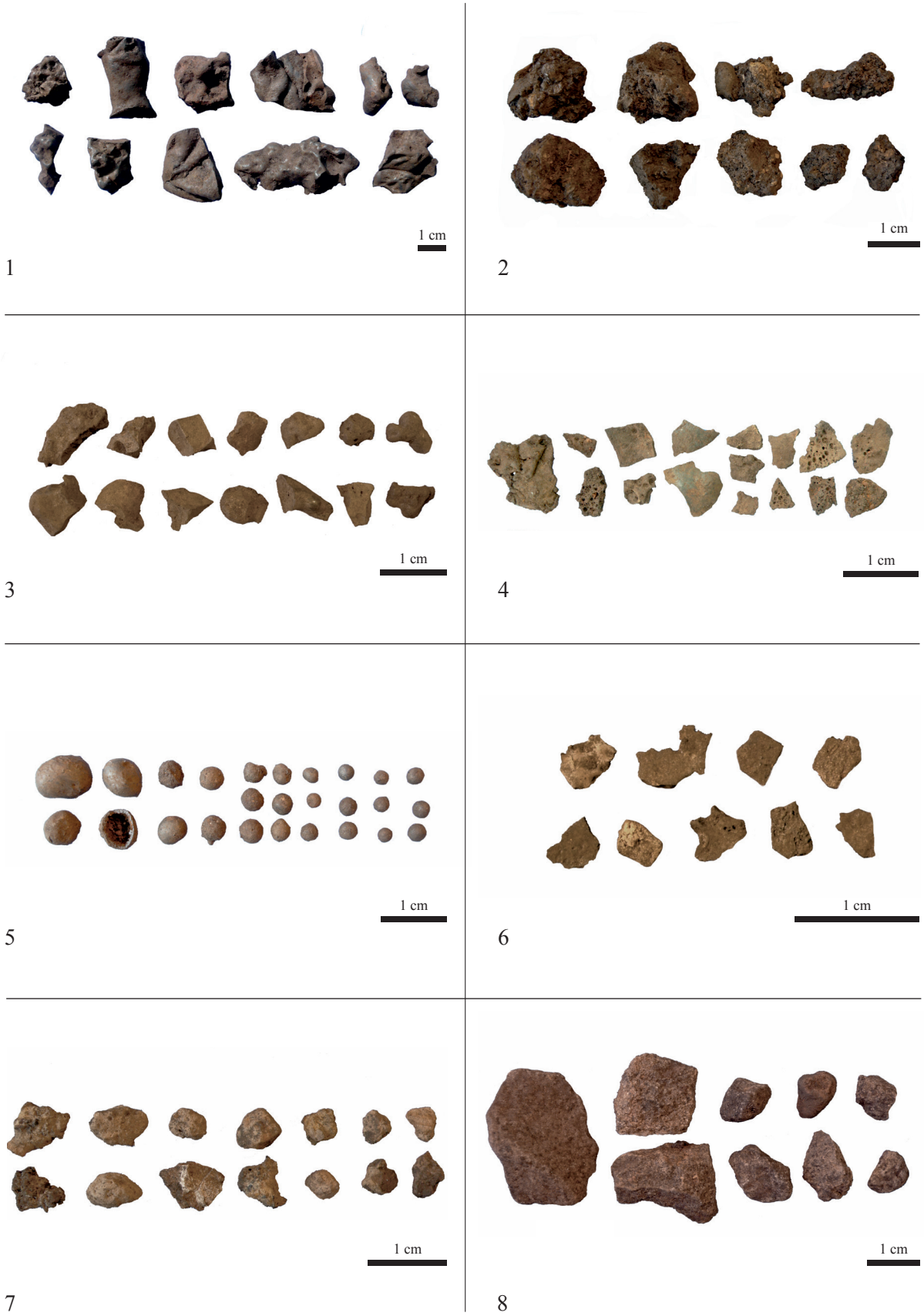


Abb. 2. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 1. 1: Schlacke > 6 mm; 2: Versinterte Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke 2–6 mm, nicht magnetisch; 4: Schuppenförmige Schlacke; 5: Kugelförmige Schlacke; 6: Zunder; 7: Verziegelter Lehm/Ofenwandfragmente; 8: Gestein.

Obwohl kugelförmige Schlacken auch in der Größenklasse > 6 mm nachgewiesen werden konnten, sind sie dort nur mit zwei Exemplaren vertreten. Wesentlich häufiger ist dieser Schlackentyp in der Größenklasse 2–6 mm (*Abb. 2,5*). Insgesamt 133 Exemplare mit einem Gesamtgewicht von lediglich 4,8 g sind dokumentiert. Der Anteil der magnetischen Exemplare (53 n) ist beinahe ebenso groß wie der Anteil stark magnetischer Schlacken dieses Typs (57 n).

132 g Gestein sind insgesamt in der BP enthalten (*Abb. 1,1*). Nach Schlacke handelt es sich somit um die zweitgrößte Fundgruppe. Die hohe Stückzahl (372 n) deutet vor dem Hintergrund des gleichzeitig niedrigen Gesamtgewichts auf geringe Stückgrößen hin. Obwohl Gestein auch in der Fraktionsgröße > 6 mm enthalten war, handelt es sich hierbei um 24 relativ große Exemplare. Drei Stücke erreichen sogar eine Größe im Kubikzentimeter-Bereich und machen bezogen auf das Gesamtgewicht von 113 g mit 76 % den größten Anteil in der Größenklasse > 6 mm aus (*Abb. 1,7*). Die zahlenmäßig größte Fundmenge konnte jedoch mit 348 n der Größenklasse 2–6 mm zugewiesen werden. Bezogen auf die Anzahl stellen die Stücke dieser Kategorie 94 % des gesamten enthaltenen Gesteinsmaterials dieser BP. Es handelt sich bei sämtlichen Gesteinen beider Größenklassen um gelblich-rötliche[2], unregelmäßig geformte Fragmente mit sandsteinartigem Gefüge (*Abb. 2,8*). Keines der Stücke reagierte auf den Magneten, so dass eine thermische Vorbehandlung z. B. durch Röstprozesse im Rahmen der Erzaufbereitung nicht erkennbar ist (*Abb. 1,6*). Eine sichere Ansprache potentieller Erzfragmente konnte in keinem Fall erfolgen.

Verziegelter Lehm[3] ist nur in 62 Exemplaren belegt (*Abb. 1,1*). Entsprechende Fragmente fehlen in der Größenklasse > 6 mm vollständig (*Abb. 1,5*). Lediglich kleine Bruchstücke zwischen 2–6 mm waren im Bodensubstrat enthalten. Durch die Hitze überwiegend hell-rötlich bis hell-gelb/weislich verfärbt, heben sich die in der Regel stark kantenverrundeten Bruchstücke vergleichsweise gut gegen die makroskopisch ähnliche Fundgruppe „Gestein" ab und sind daher in jedem Fall eindeutig zu identifizieren (*Abb. 2,7*). 92 % der Fragmente aus verziegeltem Lehm sind magnetisch (57 n/6,5 g) (*Abb. 1,4*). Äußere Schlackenanhaftungen konnten nicht beobachtet werden. Allerdings sind einige verglaste Ofenwandfragmente überliefert, die auf jeweils einer Seite einen charakteristischen glasartigen Überzug (grünlich-weiß) aufweisen, wie er ansonsten typischerweise von Fundplätzen mit indirektem Verfahren aus dem Untersuchungsgebiet bekannt ist.

In dieser Bodenprobe waren nur 7 g Holzkohle (HK) enthalten (*Abb. 1,1*). Die hohe Stückzahl (233 n) verweist auf die nahezu ausschließlich geringen Stückgrößen.[4] In der Größenklasse > 6 mm sind nur 21 HK-Stücke (4 g) zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu fanden sich in der Größenklasse 2–6 mm insgesamt 212 HK-Flitter (3 g). Bezogen auf die Stückzahl lassen sich demzufolge 91 % der HK-Stücke bzw. -Flitter der Größenklasse 2–6 mm zuweisen.

Bemerkenswert ist der Fund einer stark beschädigten Wandscherbe, die allerdings aufgrund der schlechten Erhaltung lediglich grob datiert werden kann. Es handelt sich um mäßig hart gebrannte, unglasierte Grauware, die mit Sand gemagert worden ist. Keramik dieser Art ist in der Forschungsregion seit etwa dem 11./12. Jahrhundert bis in die frühe Neuzeit hinein verbreitet.

BODENPROBE 2

Bodenprobe 2 wurde etwa 8 m nördlich vom Ofen aus Quadrat VI-D entnommen (s. S. 70 *Abb. 4*). Der Fundinhalt (insgesamt 2.184,1 g) betrug nach der Schlämmung 156,5 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 2.027,6 g (Größenklasse > 6 mm). Enthalten sind Schlacke (87,34 %), Gestein (12,18 %), Ofenwand bzw. Schlacke mit hohem Ofenwandanteil (0,41 %) und Holzkohle (0,07 %) (*Abb. 3,1*).

Schlacke hat mit insgesamt 1.907,6 g (3.752 n) deutlich den größten Anteil am Sediment. 60 % der Schlacken in der Größenklasse 2–6 mm reagierten auf den Magneten. 50 % waren magnetisch, 10 % sogar stark magnetisch (*Abb. 3,2*). Bezogen auf die Stückzahl dominieren klar kleine und kleinste Schlacken der Größenklasse 2–6 mm mit 2.953 Exemplaren in dieser BP (*Abb. 3,3*). Obwohl sie 78,7 % der Gesamtschlackenzahl stellen, machen sie gleichzeitig jedoch nur 5,7 % des Gesamtgewichts aus. Die stark magnetischen Schlacken (Größenklasse 2–6 mm) sind durch Korrosion z. T. rötlich verfärbt (10,3g/300 n) (*Abb. 4,4*). Einzelne Exemplare sind in unterschiedlich hohem Grad versintert. Ein entsprechendes Bild zeichnet die magnetische Schlacke dieser Größenklasse (54,5 g/1.921 n). Auch die nicht magnetischen Schlacken (43,2 g/732 n) dieser Größenklasse unterscheiden sich kaum in Bezug auf äußere Form und Färbung (*Abb. 4,3*). Korrosionsspuren sind jedoch deutlich seltener zu beobachten. Auffällig sind weiterhin zahlreiche grau-schwarze bzw. braunschwarze Splitter von kompakten Schlacken mit eindeutigen Fließstrukturen.

[2] Ob die Färbung des Gesteins auf Verwitterung oder thermische Beeinflussung (z. B. Rösten, Verhüttung) zurückzuführen ist, kann bei der geringen Probenzahl allein durch makroskopische Betrachtung nicht sicher beurteilt werden.

[3] Weil ein Ausheiz- bzw. Schmiedeherd im Grabungsbefund nicht nachzuweisen war, werden sicher ansprechbare Wandfragmente aus verziegeltem Lehm im Folgenden als „Ofenwandfragmente" bezeichnet.

[4] Die Stückgrößen resultieren im Wesentlichen aus der Bodenlagerung und besitzen daher nur einen sehr eingeschränkten Aussagegehalt.

Leichter fällt die makroskopische Beschreibung der Schlacken in der Größenklasse > 6 mm. Das stark magnetische Material (53 g/23 n) zeigt durchweg eine durch Korrosion hervorgerufene rötliche Färbung auf der Oberfläche (*Abb. 4,2*). Einzelne Schlacken sind mehr oder weniger stark versintert. Im Vergleich dazu sind bei den magnetischen Schlacken (39 g/45 n) deutlich weniger Korrosionsspuren zu beobachten. Die übrigen Schlacken dieser Größenklasse (1.707 g/726 n) sind in der Mehrzahl schwarz-grau gefärbt (*Abb. 4,1*). Fließstrukturen auf den Oberflächen der kompakten bzw. blasigen Schlacken sind häufig zu beobachten und bilden das charakteristische Merkmal. Nur sehr vereinzelt sind Korrosionsspuren vorhanden.

Lediglich eine kugelförmige Schlacke, die schwach auf den Magneten reagierte, war in der BP enthalten. Diese kleine Schlacke ist der Größenklasse 2–6 mm zuzuweisen. Schuppenförmige Schlacke und Zunder sind in beiden Größenklassen nachgewiesen (Größenklasse 2–6 mm = 0, 8g/31 n; Größenklasse > 6 mm = 0,6 g/5 n) (*Abb. 4,6*). Insgesamt ist die Fundmenge mit 36 schwarzgrauen Exemplaren ausgesprochen gering. Sämtliche Stücke reagierten auf den Magneten. Bezogen auf die Stückzahl ist sogar etwa die Hälfte als stark magnetisch zu bezeichnen.

Gestein/Erz stellt mit 266 g (1.327 n) die zweitgrößte Fundgruppe (*Abb. 3,1*). Magnetische Exemplare kommen nicht vor (*Abb. 3,6*). Potentielles Erz konnte nicht identifiziert werden. Analog zu den Schlacken haben bezogen auf die Stückzahl die kleinen und kleinsten Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm mit 89,5 % den größten Anteil am Probenmaterial (*Abb. 3,7*). Sie stellen jedoch mit 48 g lediglich 18,1 % des Gesamtgewichts dieser Fundkategorie. Es handelt sich in der Größenklasse > 6 mm nahezu ausschließlich um gelblich bzw. gelblichgraues Gestein mit sandsteinartigem Gefüge (*Abb. 4,8*). Nur ein rötlich gefärbtes Exemplar ist vorhanden. Zusätzlich können vereinzelt graue Tonsteinfragmente und weiß-graue Quarzsplitter beobachtet werden. Die Gesteinsfragmente der Größenklasse 2–6 mm bestätigen dieses Bild.

Eine klare Unterscheidung zwischen Ofenwand und Schlacke mit hohem Ofenwandanteil konnte bei den in dieser BP enthaltenen Exemplaren makroskopisch nicht vorgenommen werden. Die ansonsten häufig festgestellten rötlich bzw. rötlich-gelben Exemplare aus kompaktem, charakteristisch verziegeltem Lehm fehlen vollständig. Ausschließlich schwarz-graue, schaumigporöse, d. h. mehr oder weniger stark aufgeschmolzene, sehr leichte Bruchstücke sind vertreten (*Abb. 4,7*). Insgesamt ist die Fundmenge mit lediglich zehn Exemplaren (9 g) als ausgesprochen gering zu bezeichnen (*Abb. 3,1*). Zwei Exemplare (1,5 g) reagierten auf den Magneten (*Abb. 3,4*). Sämtliche Fundstücke sind der Größenklasse > 6 mm zuzuweisen (*Abb. 3,5*).

Nach Ofenwand bzw. Schlacke mit hohem Ofenwandanteil ist nur noch HK mit insgesamt 1,5 g in noch geringer Menge in der BP enthalten. Die hohe Stückzahl (157 n) steht bei gleichzeitig niedrigem Gewicht für die geringe Stückgröße. Tatsächlich sind nahezu sämtliche Holzkohlen der Größenklasse 2–6 mm zuzuweisen. Es handelt sich in der Mehrheit lediglich um kleine und kleinste Flitter. Nur ein einziges, etwa fingernagelgroßes HK-Stück konnte dokumentiert werden.

BODENPROBE 3

Bodenprobe 3 wurde etwa 3 m südlich der Pochstelle aus Quadrat I-A entnommen (s. S. 70 *Abb. 4*). Der Fundinhalt (insgesamt 972,5 g) nach der Schlämmung betrug 233,5 g (Größenklasse 2–6 mm) bzw. 739 g (Größenklasse > 6 mm). Nachgewiesen werden konnten Gestein/Erz (66 %), Schlacke (29 %), verziegelter Lehm/Ofenwand (3,6 %) und Holzkohle (1,4 %) (*Abb. 5,1*).

In diesem Fall bildet Gestein die größte Fundgruppe (640,5 g = 3.586 n) (*Abb. 6,7*). Die Stücke sind überwiegend gelblich grau gefärbt, deutlich seltener rot-grau. Besonders in der Größenklasse 2–6 mm zeigen die Gesteinsfragmente stark verrundete Kanten. Es handelt sich nahezu ausnahmslos um Stücke mit sandsteinartigem Gefüge. Tonstein ist nur in einem Exemplar belegt. Das gesamte Fundmaterial war im makroskopischen Befund optisch relativ einheitlich. Erz konnte daher nicht sicher identifiziert werden. Obwohl in der Größenklasse 2–6 mm bezogen auf das Gewicht 99,8 % des Materials nicht auf den Magneten reagierten, waren dennoch 26 magnetische und sogar 14 stark magnetische Gesteinsfragmente enthalten (*Abb. 5,6*). Eine thermische Beanspruchung, wie sie z.B. auch im Rahmen der Erzaufbereitung aufgetreten sein könnte (Röstprozesse), ist in diesen Fällen nicht auszuschließen. Die magnetischen Exemplare unterscheiden sich makroskopisch nicht vom übrigen Gesteinsmaterial. Bezogen auf die Stückzahl konnten 93 % der Proben der Größenklasse 2–6 mm zugewiesen werden (*Abb. 5,7*). Demgegenüber waren lediglich 255 Exemplare größer als 6 mm.

Mit lediglich 282,5 g stellt Schlacke nach Gestein nur die zweitgrößte Fundgruppe dieser BP (*Abb. 5,1*). In der Größenklasse 2–6 mm reagierten bemerkenswerte 95 % der Schlacken auf den Handmagneten. Dabei bilden stark magnetische Schlacken mit 50% Gesamtanteil am Schlackenmaterial dieser Größenklasse die größte Gruppe bezogen auf Gewicht und Stückzahl (*Abb. 6,2.4*). Insgesamt 1.052 Exemplare reagierten auf den Magneten (*Abb. 5,2*). Demgegenüber sind lediglich 57 Schlacken nicht magnetisch. Bezogen auf die Stückzahl können 92 % der Schlacken dem Größenbereich 2–6 mm zugewiesen werden (1964 n) (*Abb. 5,3*). Nur 173 Schlacken, die allerdings den Großteil des Gesamtgewichts dieser Fundkategorie ausmachen, sind größer als 6 mm. Obwohl wiederum einige magnetische bzw. stark magnetische Sinterschlacken in der Größenklasse 2–6 mm verzeichnet werden konnten, war überhaupt

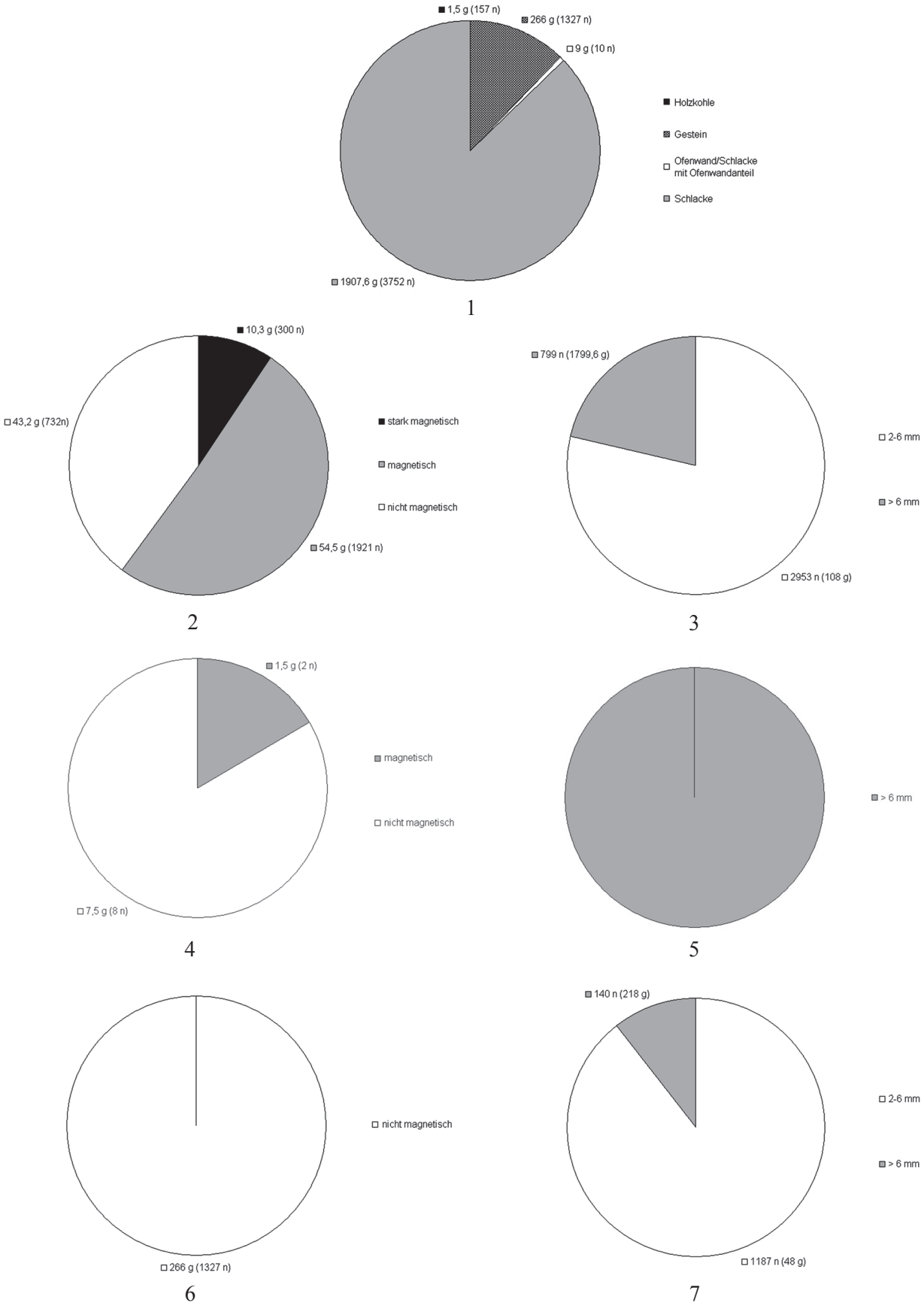


Abb. 3. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 2. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4, 5: Ofenwand/Schlacke mit hohem Ofenwandanteil; 6, 7: Gestein.

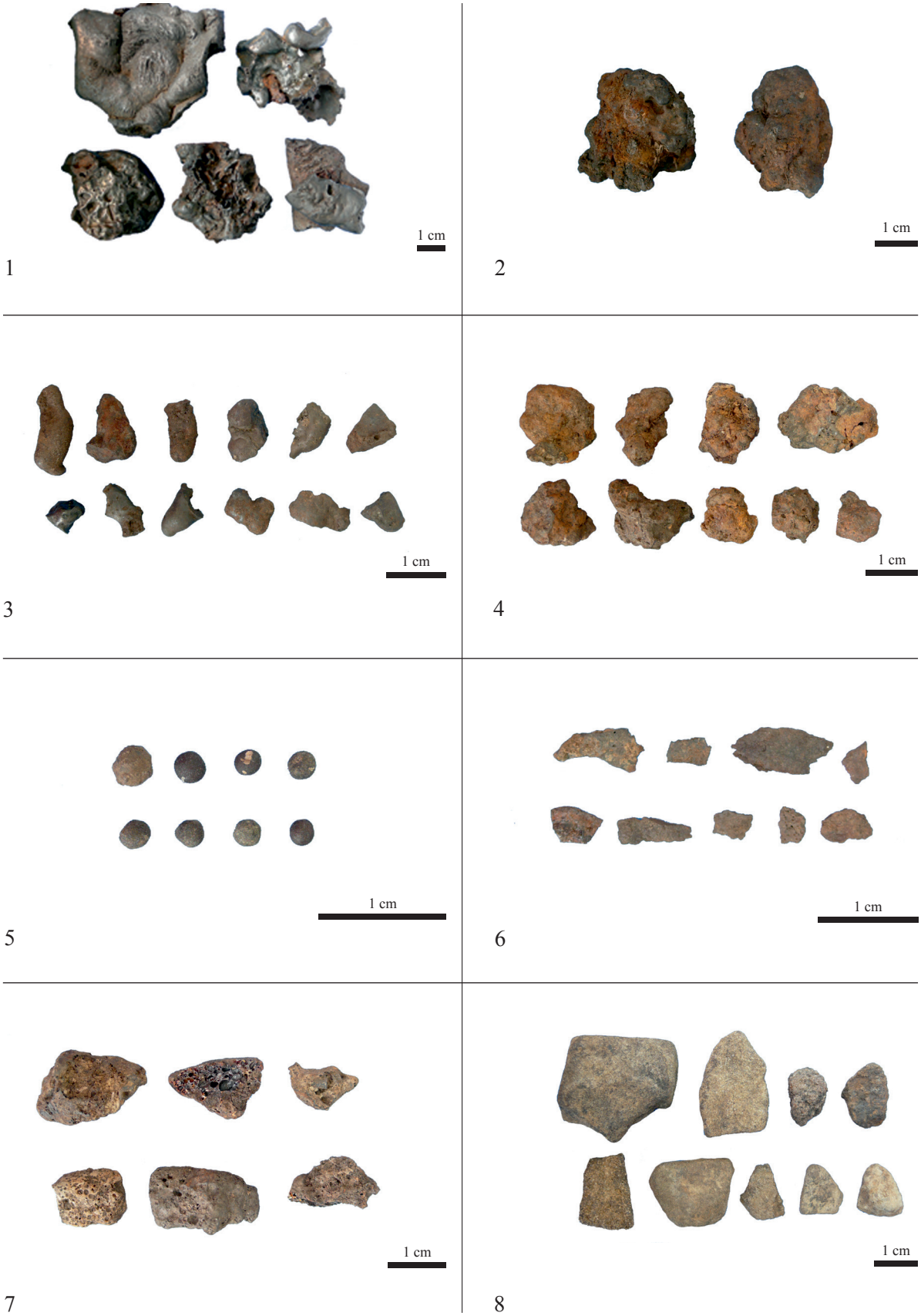


Abb. 4. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 2. 1: Schlacke > 6 mm; 2: Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke 2–6 mm, nicht magnetisch; 4: Schlacke 2–6 mm, stark magnetisch; 5: Kugelförmige Schlacke; 6: Schuppenförmige Schlacke/Zunder; 7: Ofenwandfragmente bzw. Schlacke mit hohem Ofenwandanteil; 8: Gestein.

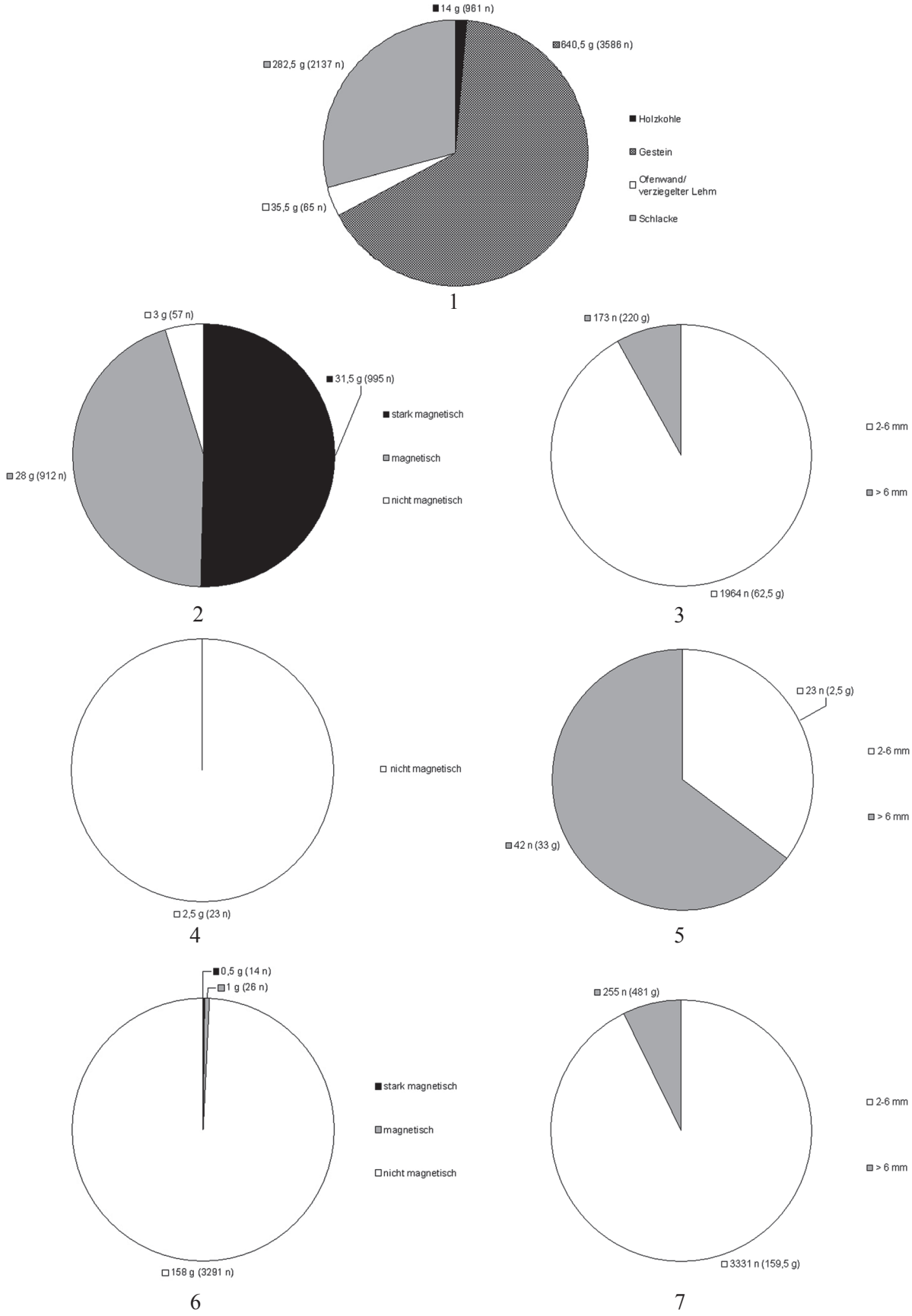


Abb. 5. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 3. 1: Zusammensetzung; 2: Schlacke, Größenklasse 2–6 mm; 3: Schlacke, beide Größenklassen; 4: Verziegelter Lehm/Ofenwand, Größenklasse 2–6 mm; 5: Verziegelter Lehm/Ofenwand, beide Größenklassen; 6: Gestein, Größenklasse 2–6 mm; 7: Gestein, beide Größenklassen.



1



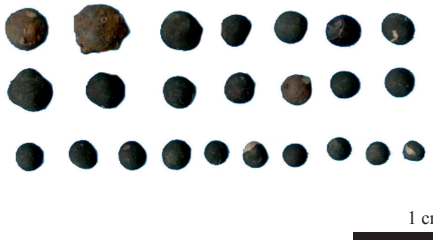
2



3



4



5



6



7

Abb. 6. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Bodenprobe 3. 1: Schlacke > 6 mm; 2: Versinterte Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 3: Schlacke > 6 mm, stark magnetisch; 4: Versinterte Schlacke 2–6 mm, stark magnetisch; 5: Kugelförmige Schlacke; 6: verziegelter Lehm/Ofenwand; 7: Gestein.

keine schuppenförmige Schlacke oder Zunder nachzuweisen. Kugelförmige Schlacke ist ebenfalls nur in geringer Stückzahl belegt.

Mit nur 35,5 g (65 n) war nur wenig verziegelter Lehm/Ofenwand in der Bodenprobe enthalten (*Abb. 5,1*). Die überwiegende Anzahl der Fundstücke ist grau bis gelblich-grau, nur einige Fragmente sind rötlich verfärbt (*Abb. 6,6*). Sämtliche Fragmente sind unregelmäßig geformt und besitzen abgerundete Kanten. Eine klare Unterscheidung zwischen Ofenwandfragmenten und verziegeltem Lehm (hervorgerufen z. B. durch thermische Einwirkung auf den anstehenden Boden im unmittelbaren Umkreis des Ofens) war kaum möglich. Bei makroskopischer Betrachtung bereitet auch die klare Abgrenzung zu grauem Tonstein aufgrund der geringen Stückgrößen durchaus Schwierigkeiten. Keines der Stücke aus der Größenklasse 2–6 mm reagierte auf den Handmagneten (*Abb. 5,4*). Schlackenanhaftungen konnten nicht beobachtet werden. Auch Verglasung kommt nicht vor. Von Insgesamt 65 Exemplaren lassen sich 35 % (23 n) der Größenklasse 2–6 mm zuweisen (*Abb. 5,5*).

Mit lediglich 14 g entfällt auf Holzkohle der geringste Anteil am Fundinhalt dieser BP (*Abb. 5,1*). Die demgegenüber hohe Stückzahl von 961 n verdeutlicht wiederum die sehr geringen Stückgrößen der Holzkohlefragmente bzw. -flitter. Tatsächlich stammen bezogen auf die Stückzahl 95 % (916 n) der Holzkohlen aus der Größenklasse 2–6 mm.

ZUSAMMENFASSUNG

Die mengenmäßige Zusammensetzung der drei Bodenproben schwankt erwartungsgemäß. Stets sind jedoch Schlacke, Gestein/Erz, Ofenwand und Holzkohle in wechselnden Anteilen enthalten. Dabei ist auffällig, dass selbst in größerer Entfernung zum zentralen Befund noch sämtliche Fundgruppen nachgewiesen werden können. Dennoch sind bei eingehender Betrachtung grundsätzliche Unterschiede feststellbar. So war z. B. die Fundgruppe „Schlacke“ zwar in jeder BP enthalten, allerdings sind bestimmte, charakteristische Schlackentypen nur für BP 1 und BP 2 belegt.

Makroskopisch konnte in keiner der drei Bodenproben von Verhüttungsplatz Nr. 72 vollglasige Schlacke nachgewiesen werden, wie sie an den Fundplätzen mit indirektem Verfahren (z. B. Nr. 90, Nr. 105) in der Forschungsregion stets in signifikantem Umfang vorhanden war (s. S. 138 *Abb. 38*). Partielle Verglasung trat ausschließlich an einigen Ofenwandfragmenten aus BP 1 auf und konnte in diesen Fällen nur auf jeweils einer Seite beobachtet werden. Diese Stücke sind wohl als Fragmente der inneren Ofenwand anzusprechen. Weil zum Bau der Rennöfen grundsätzlich dieselben Materialien (Lehm, Stein) wie an den frühen Floßöfen dieser Forschungsregion Verwendung fanden, kann es nicht verwundern, dass sich zum Teil auch die Funde (z. B. verglaste Ofenwandfragmente) optisch entsprechen, zumal auch in Rennöfen (aber auch in Schmiede- bzw. Ausheizherden) in bestimmten Zonen (z. B. unmittelbar vor der[den] Einblasdüse[n]) und für eine bestimmte Zeit Temperaturen von mehr als 1200–1300 °C auftreten konnten, die zu einem partiellem Aufschmelzen der Wand führten.

Bemerkenswert ist der hohe Anteil magnetischer Schlacke (stark magnetisch/magnetisch) innerhalb der Größenklasse 2–6 mm. Die ermittelten Werte der drei Proben liegen bei 60 % (BP 2), 65 % (BP 1) und 95 % (BP 3)[5] und unterstreichen die Resultate der mineralogisch-chemischen Analysen von I. Keesmann und A. Kronz, die feststellten, dass die Schlacken dieses Verhüttungsplatzes deutlich eisenreicher sind als Schlackenproben anderer Fundplätze aus der Forschungsregion.

Auffällig ist ebenfalls der hohe Anteil kleinsten Schlackenmaterials (Größenklasse 2–6 mm), das methodisch bedingt überhaupt erst durch detaillierte BP-Analysen sichtbar gemacht werden kann. Neben Sinterschlacken tritt vor allem scharfkantiger Schlackengrus in sämtlichen BP auf (*Abb. 7*). Die große Menge Schlackengrus ist möglicherweise auf eine Zerkleinerung (Schlackenpochung) zur Metallgewinnung und/oder Ausheizprozesse zurückzuführen. Die stark magnetischen Sinterschlacken hingegen können als Hinweis auf Weiterverarbeitungsprozesse (Ausheizen und/oder Schmieden) gedeutet werden (*Abb. 8*). Dabei soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich darauf verwiesen werden, dass diesbezüglich – wenn überhaupt – nur chemische und mineralogische Analysen letzte Klarheit bringen können. Trotz dieser Einschränkungen sprechen auch die kugelförmigen (BP 1–3) und schuppenförmigen Schlacken (BP 1–2) zusammen mit Zunder (BP 1–2) dafür, dass die produzierten Luppen unmittelbar am Verhüttungsplatz weitverarbeitet worden sind. Papierdünner, stark magnetischer Zunder gilt als Marker für fortgeschrittene Verarbeitungsprozesse und fällt in großer Menge bei der Verschmiedung von Metall, z. B. bei der Herstellung eines Fertigproduktes aus einem Barren an.[6] Allerdings ist Zunder nur in geringer Menge in BP 1 und BP 2 nachgewiesen. Unter ausschließlicher Berücksichtigung der BP wären, aufgrund der ausgesprochen geringen Fundmenge dieses charakteristischen Schlackentyps, fortgeschrittene Weiterverarbeitungsprozesse (Ausschmieden) für Verhüttungsplatz Nr. 72 sehr unwahrscheinlich bzw. sogar sicher auszuschließen. Deutlich häufiger als Zunder ist hingegen wesentlich gröbere, schuppenförmige Schlacke belegt. Sie kommt sowohl in BP 1 als auch in BP 2 vor.

[5] Allerdings ist bei BP 3 zu berücksichtigen, dass die Fundmenge (n) deutlich geringer war als bei den BP 1 und 2.

[6] Pleiner 2000.



Abb. 7. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Scharfkantiger Schlackengrus.



Abb. 8. Kierspe-Wienhagen, Verhüttungsplatz Nr. 72. Stark magnetische Sinterschlacke.

Experimenteller Nachvollzug konnte zeigen, dass z. B. grober Hammerschlag verstärkt bei der ersten Vorbehandlung der noch ungereinigten Luppen anfällt.[7] Auch an Verhüttungsplatz Nr. 72 könnten die beinahe ausnahmslos magnetischen bzw. stark magnetischen Schlacken dieses Typs möglicherweise in ihrer Entstehung auf einen solchen Arbeitsschritt zurückgeführt werden. Demnach ließe sich die Hypothese formulieren, dass die Luppen nach ihrer Entnahme aus dem Verhüttungsofen wahrscheinlich zwar grob gereinigt wurden, ohne jedoch in weiteren spezialisierten Verfahrensschritten bereits vor Ort zu Barren oder gar Fertigprodukten weiterverarbeitet worden zu sein. Weil ein gesonderter Ausheiz- bzw. Schmiedeherd im Grabungsbefund nicht nachzuweisen war, ist bis auf weiteres davon auszugehen, dass die produzierten Luppen im Ofen[8] selbst (wiederholt) auf die notwendigen Temperaturen gebracht wurden, um die eingeschlossene Schlacke erneut zu verflüssigen. Das Ausheizen bzw. Ausschmieden durch Schläge mit einem Hammer könnte dann in unmittelbarer Ofennähe auf einer geeigneten Unterlage vorgenommen worden sein. Chr. Willms vermutet einen Zusammenhang mit der dem Ofen vorgelagerten Grube (1,6 x 1,4 x 0,4 m) und zieht einen Vergleich zu den sog. „Schmiedegruben“ in Schmiedehütten der späten Römischen Kaiserzeit in Joldelund, Kr. Nordfriesland (s. S. 73). Das Resultat der BP-Analysen stützt eine derartige Theorie. Tatsächlich lassen große, stark magnetische Sinterschlacken (Größenklasse > 6 mm), die z. T. Einschlüsse von Zunder aufweisen, Rückschlüsse auf eine Verarbeitung der produzierten Luppen bei hohen Temperaturen zu.

[7] de Rijk 2007.

[8] Möglicherweise wurde der Ofenschacht aus Lehm zur Entnahme der Luppe abgetragen und erst nach dem Ausheizprozess auf der Ofenbasis schließlich wieder neu errichtet.

KERSPETALSPERRE (MÄRKISCHER KREIS), VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 105

Michael Overbeck

Natürliche Seen fehlen im Oberen Bergischen Land und Märkischen Sauerland. Seit dem Mittelalter wurden daher Gewässer künstlich aufgestaut, um den Betrieb von Mühlen, Hütten und Hämmern zu gewährleisten. Diese Stauweiher waren die Vorläufer der modernen Talsperren, von denen auf engem Raum seit 1894 insgesamt zwölf im Oberen Märkischen Sauerland errichtet worden sind. In den Jahren 1908 bis 1912 wurde die Kerspe, die südlich der heutigen Stadt Kierspe beginnt und nach 12,5 km Länge bei Wipperfürth-Ohl als rechter Nebenarm in die Wipper (Wupper) einmündet, im Auftrag der Stadt Barmen (seit 1929 Teil von Barmen-Elberfeld bzw. Wuppertal) aufgestaut. Die so geschaffene Kerspetalsperre leistet bis heute einen wichtigen Beitrag zur Trinkwasserversorgung der Stadt Wuppertal (*Abb. 1; 2*).

Eingerahmt von den Ortschaften Halver, Wipperfürth und Kierspe war sie bis zur Fertigstellung der Wiehltalsperre im Jahre 1973 die größte Trinkwassertalsperre im Bergischen Land mit einem Fassungsvermögen von 15,5 Millionen Kubikmetern. Sie dient u. a. dazu, die umliegenden Gemeinden und Städte mit Trink- und Brauchwasser zu versorgen sowie den Wasser- und Grundwasserspiegel der Ruhr in niederschlagsarmen Zeiten zu regulieren.

Die Landschaft wurde durch den Bau der Talsperre stark verändert, so dass das heutige Landschaftsbild nicht mehr demjenigen entspricht, das sich dem Betrachter noch um das Jahr 1900 bot. Durch das Aufstauen der durch zahlreiche Gebirgsbäche gespeisten Kerspe sowie das Ausschachten und Ausbauen des Staubeckens gelangte die Talsperre allmählich zu ihrer heutigen Ausdehnung von ca. 150 ha und überflutete mehrere neuzeitliche Ortschaften sowie darüber hinaus zahlreiche Werkstattplätze, die sich vor allem entlang des ehemaligen Gewässerlaufs der Kerspe aufreihten (Ober- und Nieder-Hersbach, Strombach, Schlacht und Kerspe; Strombacher Hammer, Schlachter oder Schlüter Mühle, Reppekorter Pulvermühle, Hersbacher Hammer, Hersbacher Pulvermühle).[1] Anfang der 1990er Jahre wurde für die Kerspetalsperre als einer der ältesten Talsperren Nordrhein-Westfalens eine Grundsanierung nötig. In ihrem Verlauf wurde die Talsperre vollständig abgelassen. Zu Tage trat die um 1910 versunkene Landschaft. Seit Juli 1992 unternahmen Hans Ludwig Knau und Manfred Sönnecken mit Genehmigung der Talsperrenverwaltung Begehungen des als Wasserschutzgebiet ausgewiesenen und ansonsten unzugänglichen Talsperrenbereichs, der seit seiner Überflutung im Jahr 1912 vor Bodeneingriffen geschützt war. Die Nummerierung der Fundplätze entspricht den Bezeichnungen auf der Schlackenplatzkarte von Knau und Sönnecken, die im Rahmen einer mehrjährigen Begehungstätigkeit entstanden ist und seitdem ständig erweitert wird.[2] Sie lokalisierten zahlreiche alte Standorte von historischen Mühlen, Hütten, Hämmern und Pulvermühlen, darunter auch bisher unbekannte Standorte, wie den Verhüttungsplatz Nr. 105 (*Abb. 3*).[3]

Der Fundplatz Nr. 105 befindet sich ca. 100 m südöstlich der alten Kersper Brücke an der linken Uferböschung des Staubeckens auf einer Höhe von 325 m ü. NN (r 3396650; h 5668500) (*Abb.1*). Die spätere Grabungsfläche liegt bei normalem Einstau unterhalb des Wasserspiegels. Nach dem Trockenfallen der Talsperre und dem Beginn der Untersuchungen war die Ausgrabungsfläche lediglich von einem kargen Gras- und niedrigem Strauchbewuchs bedeckt (*Abb. 4,1–3; 5*).

Im Westen wurde sie durch einen aufgeschobenen Erdhügel begrenzt, der im Rahmen von Einebnungsarbeiten am Talsperrenbecken errichtet worden war (*Abb. 6)*.

Im Süden markierte der stark sedimentierte Talsperrengrund die Grenze, wobei ein hohes Wasserfließniveau der wieder in ihrem ursprünglichen Bachbett verlaufenden Kerspe weitere Untersuchungen in diesem Bereich verhinderte. Im Süden endete die Ausgrabungsfläche am Waldrand, der bei Einstau der Kerspe die Uferkante bildet.

PROSPEKTION UND GRABUNGSMETHODIK

Archäologische Prospektion

Eine Halde typisch glasiger Roheisenschlacke sowie die in einer Abbruchkante der Uferböschung enthaltenen Herdschlacken in Kombination mit dem durch Hitzeeinwirkung stellenweise rot verfärbten Boden gaben erste Hinweise auf Struktur und Art der Verhüttungsanlage (*Abb. 4,2*). Die Geländemorphologie zeigte einige markante Merkmale, die mit der einstigen funktionellen Gliederung des Platzes in Verbindung gebracht werden konnten (*Abb. 6*). Auf diese Weise waren der Verlauf des Obergrabens sowie die Position der dem später ergrabenen Ofen 2 zugehörigen Schlackenhalde bereits deutlich im Gelände zu erkennen. Als Lesefund inner-

[1] Knau/Sönnecken 1993c; dies. 1994c.
[2] Dies. 1994c.
[3] Dies. 1993b.

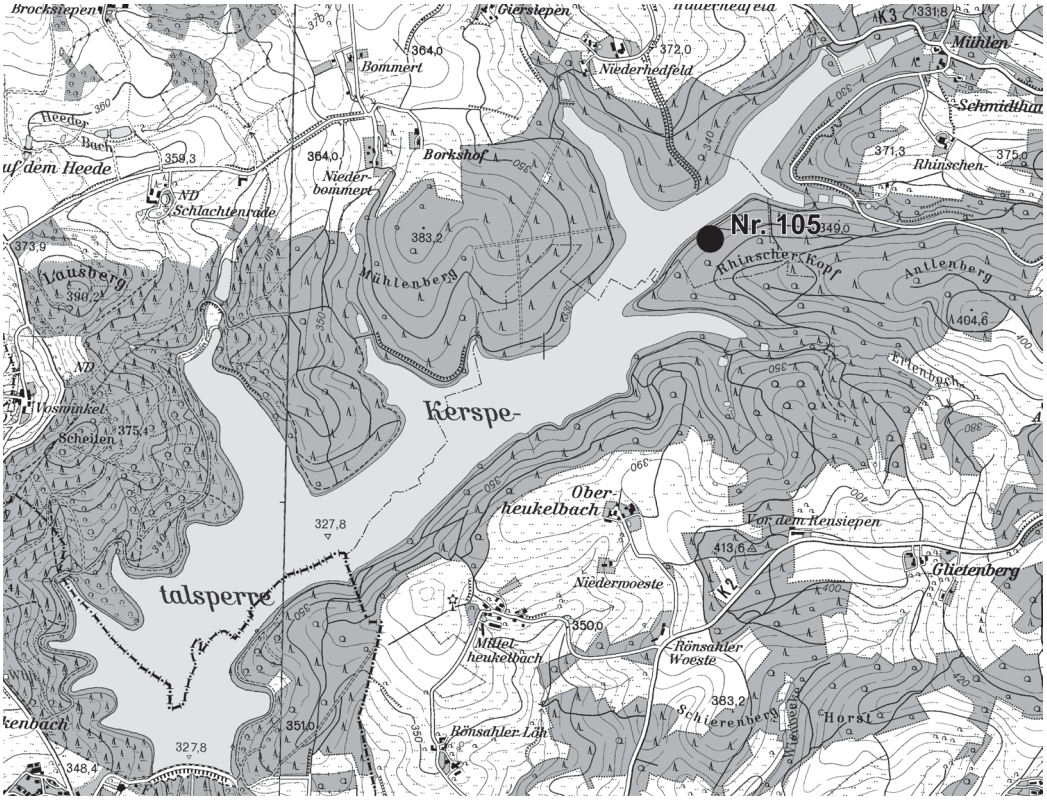
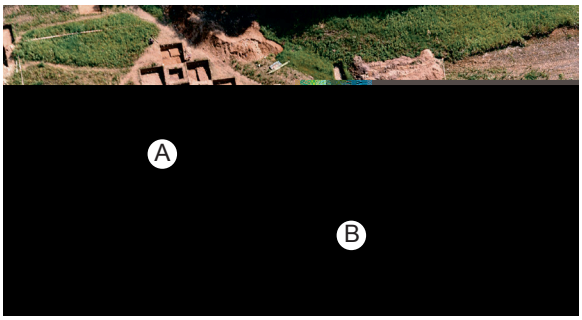


Abb. 1. Kierspe, Kerspetalsperre. Lage des Verhüttungsplatzes Nr. 105. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1:25.000, Blatt 4811 (Meinerzhagen).



Abb. 2. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Die zu Sanierungszwecken teilweise abgelassene Talsperre mit der Fundstelle (Pfeil) (Foto Aerophoto Meinerzhagen).



1



2



3



4



5



6

Abb. 3. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Luftbildaufnahmen der teilweise abgelassenen Talsperre. 1, 2: Deutlich sind die beiden Ruinen der Verhüttungsöfen in der Ausgrabungsfläche zu erkennen (A: Ofen 1; B: Ofen 2). Oberhalb von Ofen 2 markiert eine Steinsetzung das rückwärtige Ende der höher gelegenen Beschickungsfläche; 3, 4: Am Rand der Ausgrabungsfläche fließt die Kerspe als schmaler Wasserlauf in ihrem ursprünglichen Bachbett; 5: Blick über das Talsperrenareal Richtung Nordost; 6: Blick in Richtung Südwest. Die Pfeile markieren die Ausgrabungsfläche (Fotos Aerophoto Meinerzhagen).



1



2



3



4



5



6

Abb. 4. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: Oberflächenprospektion im Bereich der späteren Ausgrabungsfläche. Im Westen markiert ein aufgeschobener Erdhügel die Grenze der Grabungsfläche, die im Norden durch das schmale Fließgewässer der Kerspe gebildet wird (Bildmitte); 2: In der Abbruchkante der Uferböschung markieren verstürzte Ofenwand- und Ofensteinfragmente vermischt mit Schlacke den Standort von Ofen 2 (Quadrat I-G); 3: Blick über den Feuchtbereich des Talsperrengrundes auf die Ausgrabungsfläche am Talsperrenrand; 4: Die Ausgrabungsfläche im Bereich der Uferböschung. Im Vordergrund sind Teile der in situ befindlichen Ofenwand von Ofen 2 zu erkennen. In der Bildmitte markiert das Bachbett der Kerspe den unmittelbar angrenzenden Feuchtbereich; 5: Undatierter Hohlweg in der Umgebung der Fundstelle; 6: Undatiertes Pingenfeld nahe der Fundstelle (Fotos Chr. Willms).

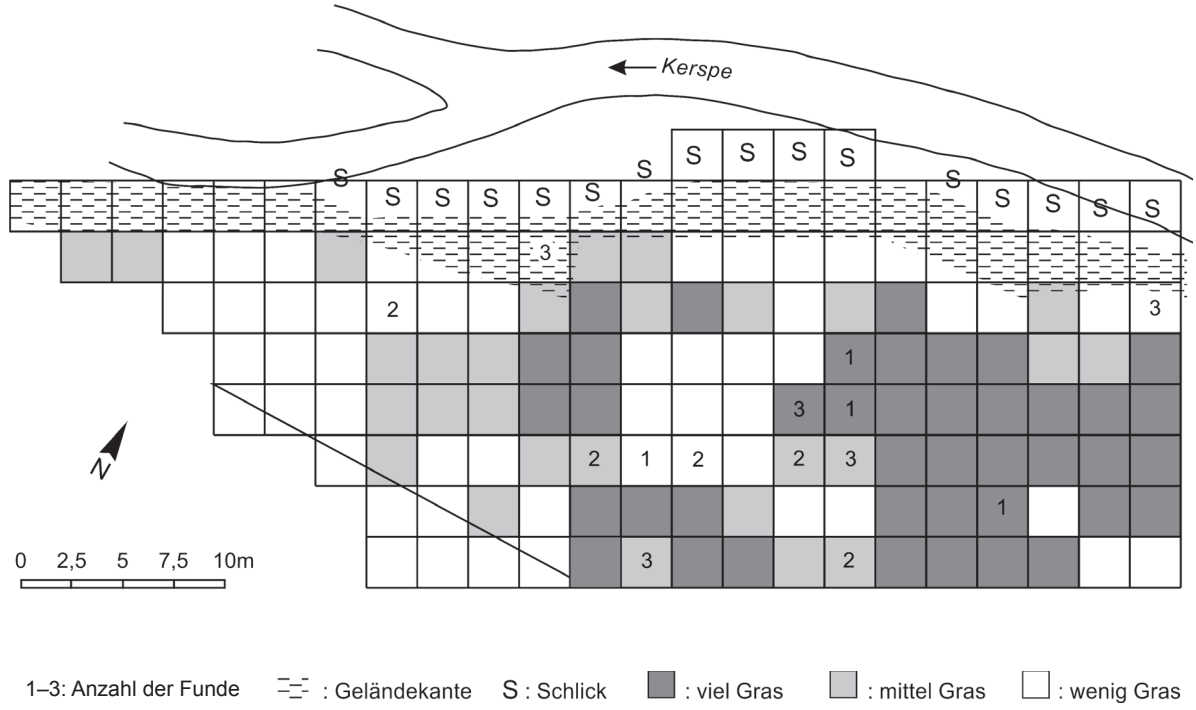


Abb. 5. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Bewuchs und Strukturmerkmale.

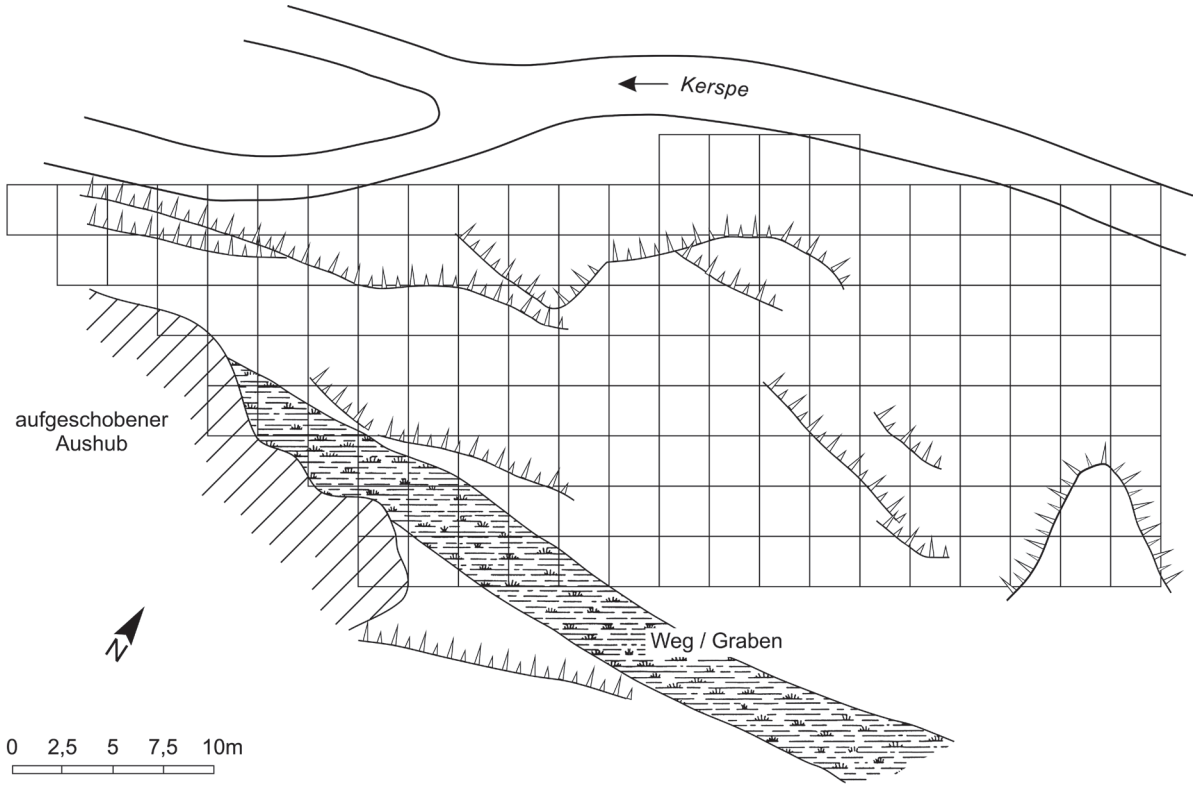


Abb. 6. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Morphologie.

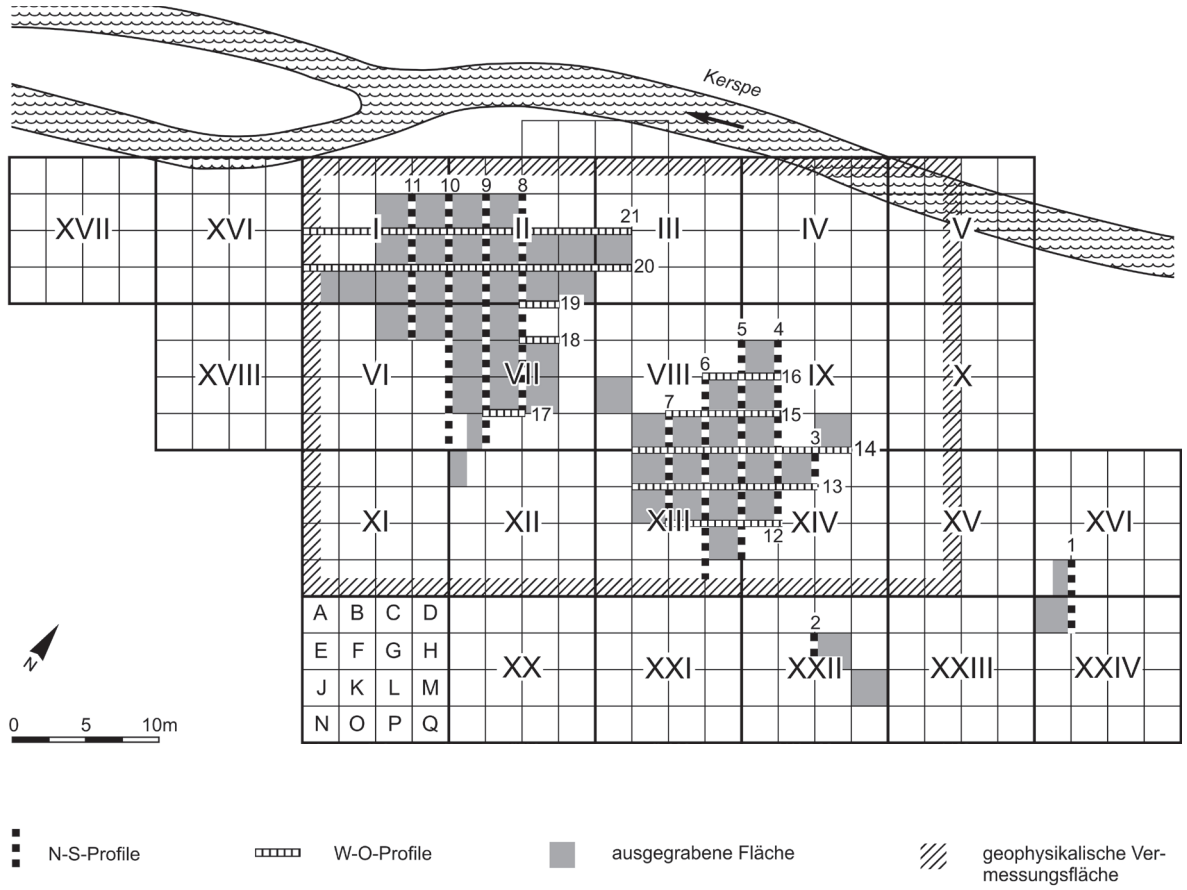


Abb. 7. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Lage und Bezeichnung der Grabungsflächen und Profile.

halb der späteren Grabungsfläche konnte die Scherbe eines Kugeltopfes des 13. Jahrhunderts geborgen werden.[4] Die Kombination von roheisentypischer glasiger Schlacke und der aufgefundenen Keramik legte so bereits im Vorfeld der Ausgrabung die Vermutung nahe, dass es sich bei den im Boden befindlichen Befunden um Reste eines der ältesten Floßöfen im Märkischen Sauerland und angrenzenden Bergischen Land handeln könnte.

Auf der Grundlage der großflächigen Prospektion von Knau und Sönnecken wurde am 29. bis 30. Mai 1993 eine zusätzliche, auf die spätere Grabungsfläche konzentrierte Geländererkundung zur Vorbereitung der ins Auge gefassten Ausgrabung durchgeführt.[5] Die archäologische Prospektion erstreckte sich über eine Fläche von ca. 50 x 20 m (ca. 1.000 m^2). Das prospektierte Areal wurde in Großquadrate von 10 x 10 m (I–XVIII) unterteilt (*Abb. 7*).

Jedes Großquadrat wurde wiederum in je 16 Quadrate von 2,5 x 2,5 m (A-Q) gegliedert. Jedes dieser Quadrate wurden dann in jeweils vier Kleinquadrate von 1,25 x 1,25 m Kantenlänge (a–d) zerlegt. Die aufgenommenen Funde ließen sich mit Hilfe dieser Methode jeweils der kleinsten Fläche von 1,25 m Kantenlänge eindeutig zuordnen.

Die Erfahrung im Rahmen eines vorausgegangenen archäometallurgischen Projektes zur Rennfeuerverhüttung im Tal der Dietzhölze (Lahn-Dill-Kreis, Hessen) hatte bereits gezeigt, dass die Struktur eines Verhüttungsplatzes bei entsprechenden äußeren Bedingungen schon anhand einer Kartierung der Oberflächenfunde gut zu erkennen ist.[6] Demzufolge wurde unter folgenden Fundgruppen unterschieden:

1. Erz
2. Glasige Schlacke
3. Ofenwand
4. Ofenstein
5. Holzkohle
6. Stark eisenhaltige Schlacke/Eisen
7. Sonstiges

[4] Die Keramik war bereits bei der Auffindung im Jahr 1992 in einem schlechten Erhaltungszustand und aufgrund der Lagerung im Boden nahezu vollständig zersetzt. Eine zeichnerische Dokumentation im Zuge der 1998 erfolgten Grabungsauswertung war aus diesem Grund leider nicht mehr möglich.

[5] Willms 1993a; 1994a.

[6] Jockenhövel/Willms 2005, 381 ff.

Die Oberflächenprospektion wurde durch den mehr oder weniger dichten Bewuchs in 112 Planquadraten zum Teil deutlich erschwert.[7] Nur in 13 der mit Gräsern und Strauchwerk bewachsenen Planquadrate konnten im Rahmen einer ersten Begehung überhaupt Funde gemacht werden (*Abb. 5*). Dennoch zeichnete sich im Bereich der Geländekante durch Ofenwandfragmente bereits deutlich der Standort eines Ofens ab, während Erz- und Schlackenfragmente im zentralen Hüttenbereich weitere Schlüsse sowohl auf die Platzstruktur als auch auf die flächige Ausdehnung der Fundstelle zuließen.

Anschließende Surveys lieferten schließlich ein klareres Bild der Fundverteilung (*Abb. 8–10*). Besonders auffällig war die offensichtliche räumliche Trennung von Erz und Schlacke (*Abb. 8*). Im zentralen und östlichen Hüttenbereich kamen nahezu ausschließlich Schlackenfunde vor, während sich die Erzfunde auf den westlichen Teil der untersuchten Fläche beschränkten. Ein bis auf wenige Schlacken fundleeres Areal, das nahe der Geländekante zwischen diesen beiden Konzentrationen lag, erwies sich im Verlauf der anschließenden Ausgrabung als Standort eines Floßofens (Ofen 2).

Bereits zu diesem frühen Zeitpunkt zeichnete sich ab, dass die Dokumentation eines Erzlagers oder einer Pochstelle durch den im Zuge der Talsperrensanierung meterhoch aufgeschobenen Aushub (*Abb. 6*), aus dessen unmittelbarem Randbereich die Erzfunde stammen, höchstwahrscheinlich verhindert werden würde. Dies galt umso mehr, als davon auszugehen war, dass sämtliche Oberflächenfunde im Laufe der Zeit hangabwärts verlagert worden sind. Größenbestimmungen erlaubten jedoch zumindest eine Unterscheidung von zerkleinertem, d. h. gepochtem und bergfrischem Erz. Eine Konzentration zerkleinerter Erze im Unterquadrat I-K-d deutete auf eine mögliche Pochstelle. Das Gesamtverbreitungsmuster des Erzes ließ darauf schließen, dass bergfrisches Erz im Westen des Verhüttungsplatzes nicht nur angeliefert, sondern auch weiterverarbeitet worden ist.

Die Bindung von glasig erstarrter, amorpher Schlacke an den Ostteil der Fläche lieferte gesicherte Anhaltspunkte bezüglich der Lage der Schlackenhalde(n), deren Position sich im Umfeld derjenigen Planquadrate mit der größten Fundmenge verorten ließ (*Abb. 8*). Schlackenkonzentrationen im nordöstlichen Teil von Großquadrat II und im westlichen Teil von Großquadrat IV ließen auf zwei räumlich getrennte Halden schließen. Eine Hypothese, die sich im Verlauf der anschließenden Ausgrabungen bestätigte.

Insbesondere bei größeren Anlagen wie den Floßöfen sind charakteristische Bruchstücke des Baumaterials in großen Mengen zu erwarten, sei es als Versturz (in situ) oder aber in Form von Fragmenten, die auf eine Ausbesserung einer in Betrieb befindlichen Anlage deuten. Hierzu zählen neben den durchgeglühten und entsprechend überwiegend rötlich verfärbten Resten der zu großen Teilen aus feuerfestem Lehm bestehenden Ofenwand vor allem die typischen Fragmente der im Ofenfundament bzw. im Gestell verbauten sog. Ofensteine (*Abb. 9*). Besonders große Ofenwandmengen, die in ihrer Verbreitung am Fundplatz stets an Ofenstein gebunden sind, konnten in den Großquadraten IV sowie den Planquadraten I-F und I-G geborgen werden. In den beiden letztgenannten Planquadraten traten die Bruchstücke an der Abbruchkante des Geländes sogar offen zu Tage (*Abb. 4,2*). Die übereinstimmenden Fundmuster von Ofenwand und Ofenstein gaben einen ersten Hinweis auf die exakte Position von mindestens zwei Öfen, der jedoch im weiteren Projektverlauf zusätzlich durch eine geophysikalische Vermessung des betreffenden Areals abgesichert werden musste.

Die Kartierung stark eisen- bzw. metallhaltiger Schlacke, die an derartigen Fundplätzen mit Weiterverarbeitungsprozessen im Anschluss an die Eisenproduktion in Verbindung stehen kann, sollte Hinweise über ein eventuelles Frischen oder die Position eines Frischherdes am Verhüttungsplatz geben. Durch die Prospektion zeigte sich eine Fundhäufung in Planquadrat II-P (*Abb. 10*) und somit exakt an der Stelle, an der schließlich eine herdartige Struktur freigelegt werden konnte, die unter Vorbehalt als möglicher Frischherd angesprochen worden ist (s. S. 125) (*Abb. 23*).

Vereinzelte Holzkohlefunde streuten im Wesentlichen über einen 20 m lang und 10–15 m breiten Streifen im zentralen Bereich der prospektierten Fläche (*Abb. 10*). Lediglich in den Planquadraten II-P und I-M kam eine größere Menge Holzkohle in kleinen Schürfgruben vor. Insgesamt war die Fundmenge jedoch zu gering, um präzise Aussagen z. B. zur Position eines möglichen Holzkohlelagers innerhalb der Ausgrabungsfläche machen zu können.

Bei den zwei einzigen Objekten aus Eisen handelt es sich um eine korrodierte Spitze aus Quadrat I-F und einen ebenfalls korrodierten Kopf eines geschmiedeten Nagels aus Quadrat VI-F (*Abb. 10*). Die Zeitstellung dieser beiden Oberflächenfunde ist jedoch unklar. Ein Zusammenhang mit der Eisenhütte kann daher nicht sicher hergestellt werden.

Es hat sich gezeigt, dass die gezielte Prospektion der für einen Verhüttungsplatz typischen Funde wie etwa Schlacke, Erz, Ofenwandfragmente und Holzkohle wichtige Anhaltspunkte liefern kann, um die spätere Ausgrabungsfläche festzulegen und den Fundplatz in seiner flächigen Ausdehnung relativ exakt zu erfassen.

[7] Willms 1992.

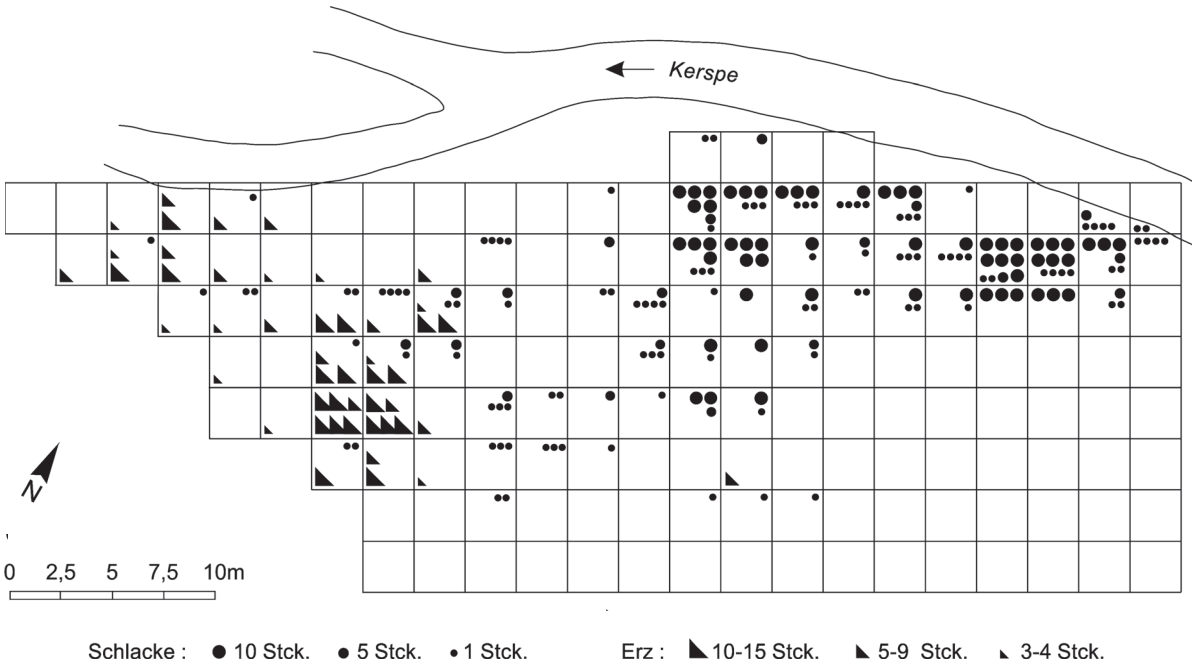


Abb. 8. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Prospektion, Verteilung von Erz und glasiger Schlacke.

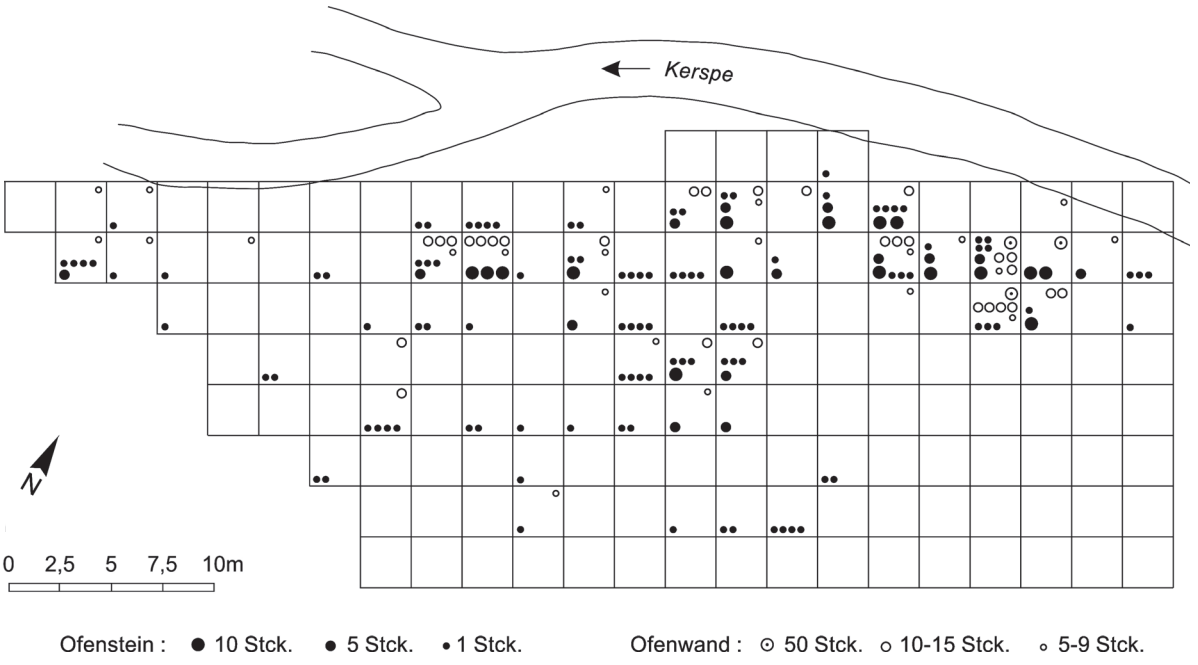


Abb. 9. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Prospektion, Verteilung von Ofenwand und Ofenstein.

Geophysikalische Prospektion

Um die Position von Verhüttungsöfen sowie möglichen anderen mit Hochtemperaturprozessen in Verbindung stehenden Befunden (Schmiedeherd/Frischherd) präziser lokalisieren und die Ergebnisse mit den Resultaten der archäologischen Prospektion korrelieren zu können, wurde auf einer Fläche von 45 x 30 m zusätzlich eine geophysikalische Vermessung durchgeführt (*Abb. 7; 13*). Erst nach einer Kombination der Ergebnisse aus der archäologischen und der geophysikalischen Voruntersuchung wurden gezielt diejenigen Bereiche bestimmt, die ergraben werden sollten, sowie deren Priorität im Grabungsverlauf festgelegt.

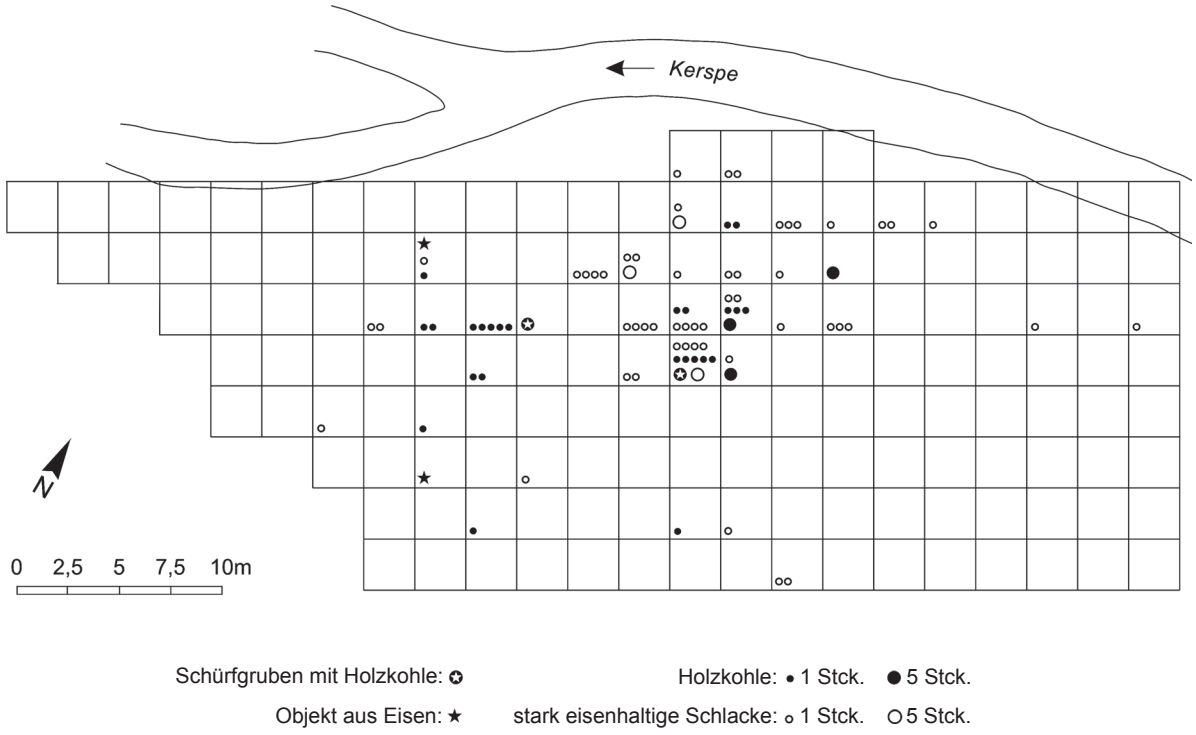


Abb. 10. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von Holzkohle, stark eisenhaltiger Schlacke und Eisenobjekten.

Der Fundplatz wurde mit Hilfe der magnetischen Radiometrie geophysikalisch untersucht. Mit diesem Verfahren hatte Dipl.-Geogr. Ralf Deisenroth, der die entsprechenden Messungen am 29. April 1993 durchgeführte, schon in anderen Zusammenhängen aussagekräftige Ergebnisse erzielt.[8] Die aus der geophysikalischen Vermessung resultierende Falschfarbendarstellung zeigt deutlich den vermuteten Standort der beiden Schmelzöfen (*Abb. 11*).

Im Messbild setzen sich die höchsten Positivanomalien klar gegen die höchsten Negativanomalien ab. Die zwei Öfen zeichnen sich jeweils durch einen hohen Positivwert und ein vorgelagertes Nordminimum aus. Ein entsprechendes Resultat ergibt sich auch aus der dreidimensionalen Umsetzung der Messwerte (*Abb. 12*).

Wie schon aufgrund der archäologischen Prospektion vermutet werden konnte, befand sich der Standort von Ofen 2 im westlichen Bereich von Großquadrat I (*Abb. 13*).

Am Beispiel von Ofen 1 zeigte sich aber, dass die archäologische Prospektion allein nicht in jedem Fall ausreichend ist, um verlässliche Ergebnisse hinsichtlich der Platzstruktur liefern zu können. Nach der ersten Kartierung der Oberflächenfunde schien alles darauf hinzudeuten, dass sich Ofen 1 innerhalb von Großquadrat IV befinden könnte. Die geophysikalische Untersuchung zeigte aber, dass diese Vermutung nicht zutreffend war. Der Standort befand sich zwölf Meter weiter südlich im südöstlichen Bereich von Großquadrat VIII. In der dreidimensionalen Umsetzung der Messdaten sind darüber hinaus hohe Positiv- und Negativanomalien bei 41 m West-Ost-Achse und 0,5 m Nord-Süd-Achse zu erkennen. Diese Messwerte geben Grund zu der Vermutung, dass sich mindestens ein weiterer Ofen (Ofen 3) außerhalb der Prospektions- bzw. der Grabungsfläche befunden hat, der im Rahmen der Ausgrabung nicht untersucht werden konnte.

Nördlich der beiden Öfen repräsentieren Positivanomalien (*Abb. 11*) in der Falschfarbendarstellung und mittelhohe Messwerte in der dreidimensionalen Umsetzung (*Abb. 12*) große Mengen von hangabwärts verlagertem Versturz, der sich überwiegend aus verschlackten Resten von Ofenwand und Ofenstein zusammensetzt.

Im Süden der untersuchten Fläche konnte anhand von mittelhohen Messwerten der Verlauf eines bezüglich Alter und Funktion nicht näher spezifizierbaren Weges dokumentiert werden, der sich in der Falschfarbendarstellung in Form einer weißen Linie im linken unteren Bereich des Messbildes hervorhebt (*Abb. 11*).

[8] Deisenroth 1995.

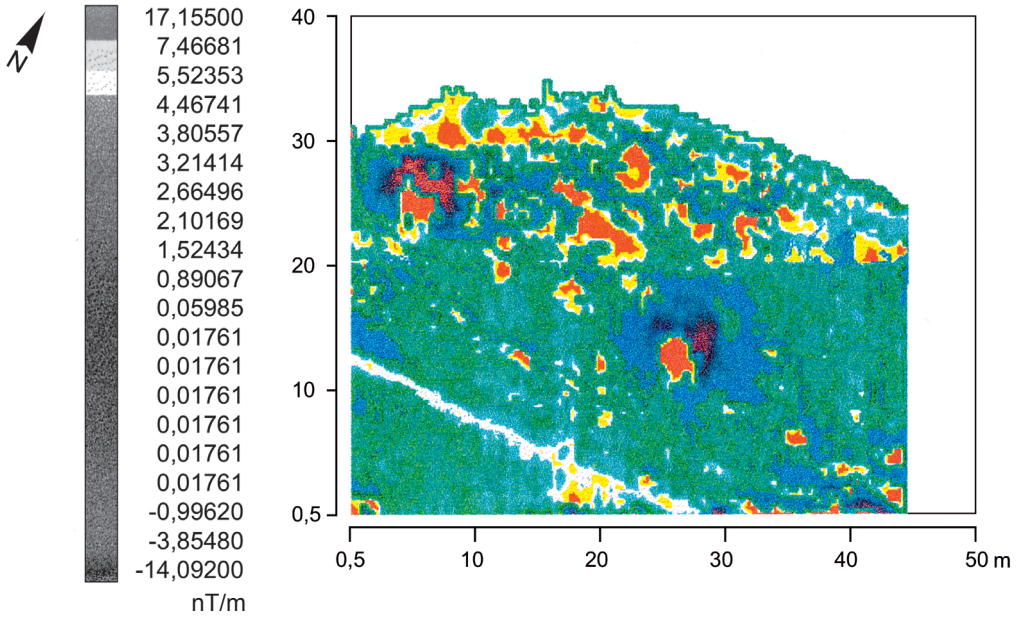


Abb. 11. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Geophysikalische Vermessung. Falschfarbendarstellung der Messdaten (Abb. verändert nach R. Deisenroth).

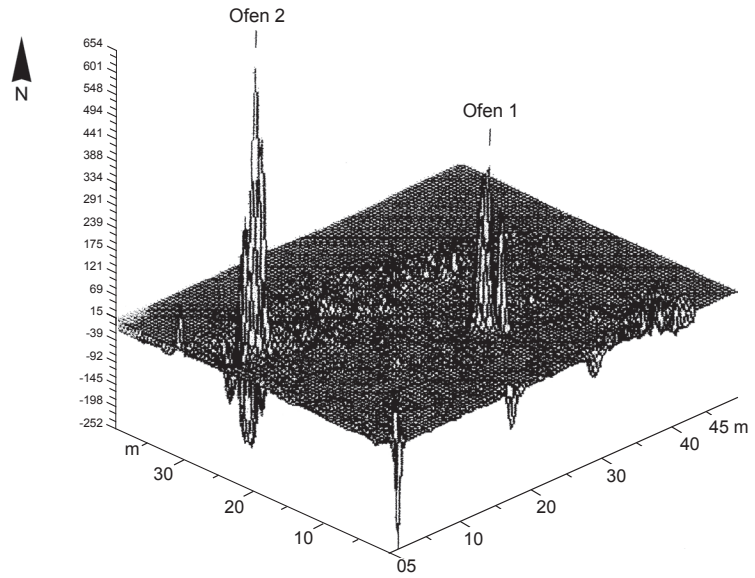


Abb. 12. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Dreidimensionale Darstellung der geophysikalischen Messdaten (Abb. verändert nach R. Deisenroth).

Grabungstechnik

Die Ergebnisse aus archäologischer und geophysikalischer Prospektion wurden dazu genutzt, innerhalb der ausgewählten Fläche diejenigen Bereiche festzulegen, die später gezielt ergraben werden sollten.[9] Dazu zählten in erster Linie die Standorte der beiden bereits durch die Geophysik eindeutig ausgewiesenen Schmelzöfen. Den gleichen Stellenwert wie die Dokumentation der Öfen besaß die Untersuchung der weitläufigen Platzstruktur. Um die zu erwartenden hüttenbaulichen Bestandteile wie Radstuben, Drainagen, Wasserzuleitungen, Schutzbauten, Rohstofflager, Pochstellen, evtl. Frischherde o. Ä. erfassen zu können, musste ausschnittswei-

[9] Willms 1994a.

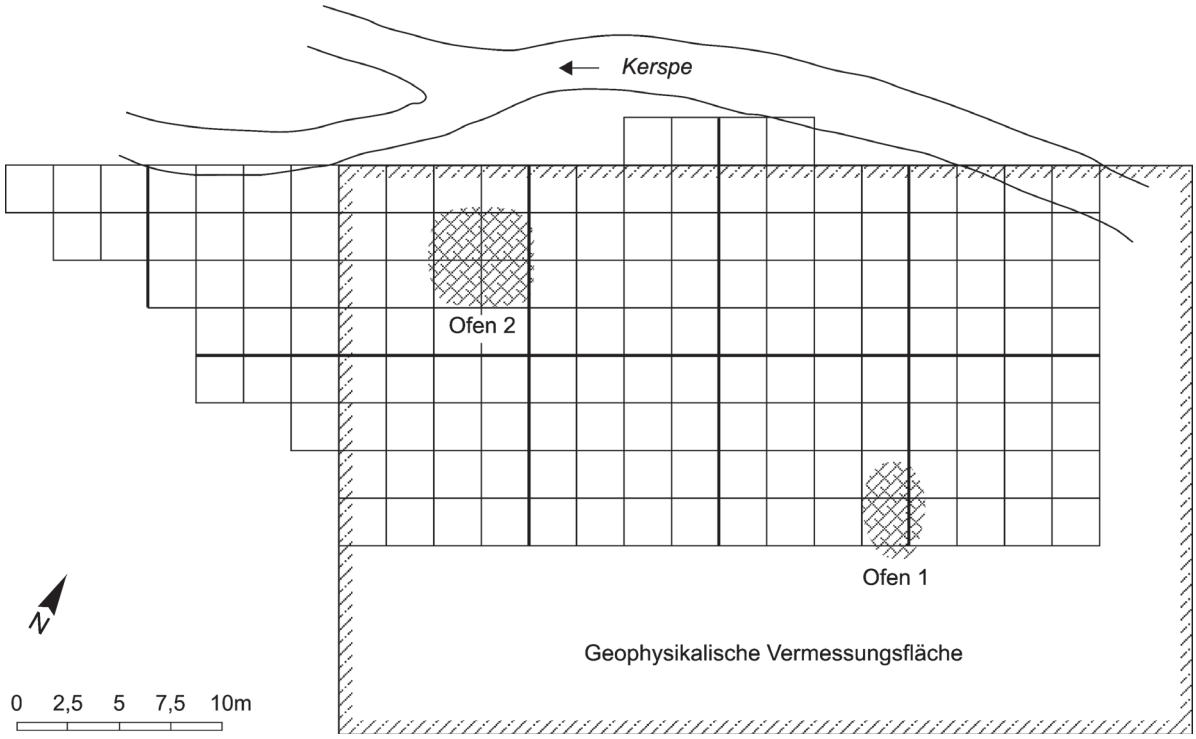


Abb. 13. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Lage der geophysikalischen Vermessungsfläche und festgestellte Position der Öfen 1 und 2.

se das gesamte Areal des ehemaligen Hüttenstandortes weiträumig ergraben werden.

Die baumfreie Fundstelle ermöglichte eine beinahe ungehinderte flächige Ausdehnung der Grabung. Die tatsächliche Ausgrabungsfläche ging teilweise über den prospektierten Bereich hinaus, umfasste aber lediglich etwa 350 m^2 (*Abb. 7*). Im Rahmen der Untergliederung der Grabungsfläche wurde die Einteilung in Großquadrate, Quadrate und Kleinquadrate beibehalten, die in mehreren Arbeitsschritten um jeweils 0,15 m hangparallel abgetieft wurden. Nach dem Abtragen der oberen Sedimentschichten wurden Horizontalplana angelegt. Gegraben wurde im sog. „Schachbrettsystem“[10], bei dem auf einen geöffnetes jeweils ein ungeöffnetes Kleinquadrat folgt (*Abb. 3,1.2*).[11] Die Methode liefert besonders zahlreiche und langgestreckte Profile, die es ermöglichen, die im Planum ermittelten Befunde im Anschnitt zu überprüfen. Auf diese Weise wird durch die Kombination zahlreicher Profil- (*Abb. 66–82*) und Planumsbefunde (*Abb. 49–65*) die systematische und umfassende Dokumentation der gesamten Platzstruktur gewährleistet. In einigen Ausnahmefällen, bei denen große Strukturen im Planum erfasst werden mussten, wurde das ansonsten konsequent durchgeführte Schachbrettsystem aufgegeben. So war es beispielsweise notwendig, im Falle der Detailuntersuchung an beiden Öfen eine Flächengrabung durchzuführen, um deren Form und bautechnische Besonderheiten in ihrer gesamten Ausdehnung erfassen zu können. Bei einigen Befunden wurde die Negativgrabung angewandt, da bei diesem Verfahren sehr viel weniger Boden zu bewegen ist als beim horizontalen und vertikalen Schneiden der Befunde.

Sämtliche Plana und Profile wurden im Maßstab 1:20 zeichnerisch dokumentiert. Zusätzlich wurde während der Ausgrabung jedes im Boden befindliche Objekt, sei es Keramik, Holzkohle, Erz, Schlacke, Eisen o.ä., quantitativ erfasst und zusammen mit der Planumsbezeichnung auf vom Ausgräber eigens für Grabungen auf archäometallurgischen Plätzen entwickelten Fundzetteln vermerkt.[12] Diese Vorgehensweise sollte sicherstellen, dass die Entwicklung der Grabung sowie die Fundverteilung innerhalb der Plana bei der späteren Auswertung und Bearbeitung in sämtlichen Phasen nachvollziehbar blieb. Dem Boden entnommene Proben und Fundobjekte wurden eingemessen und in einzelnen Fällen zur weiteren spezifischen Analyse an entsprechende Fachlabore übergeben. Die archäologische Grabung wurde vom 28. Mai bis 16. August 1996 durchgeführt.

[10] Jockenhövel/Willms 2005, 102 ff.
[11] Willms 1993b; 1995, 66; Lammers 2005, 290–325.
[12] Jockenhövel/Willms 2005, 57 Abb. 2.

BEFUNDE

Ofen 1

Ofenschacht

Um die Beschickung zu erleichtern und die Stabilität zu erhöhen, wurde der Ofen mit seiner Rückseite in den Hang gebaut (*Abb. 14,1*).

Erste in situ befindliche Reste vom Aufgehenden des Ofenschachtes wurden in Planum 5/6 freigelegt (*Abb. 15; 16; 55,1*).

Der durch Hitzeeinwirkung rötlich verfärbte Boden umgab die Ofenwand in Form eines etwa 0,50 m breiten Kranzes. Teile des Aufgehenden sind bis zu einer Höhe von 1,25 m erhalten (*Abb. 14,2*). Die Ofenwand besteht im Bereich des Schachtes ausschließlich aus gebranntem Lehm und erreicht am Übergang zur Ofenrast eine maximale Stärke von 0,6 m. Sie ist innen vollständig mit einer bis zu 0,03 m starken Schlackenschicht überzogen und zeigt die charakteristische, in verschiedene Zonen gegliederte Rotverfärbung. Rück-, Blase- und Windseite des Ofens (zur Lage und Bezeichnung der Ofenseiten siehe S. 325 *Abb. 2*) sind in unterschiedlich starkem Grad verfallen. Die nach Norden weisende Brustseite, auf der man sowohl den Roheisen- als auch den Schlackenabstich vorgenommen hat, ist völlig zerstört. Der Grundriss des Ofens ist asymmetrisch (*Abb. 14,5.6*). Rück- und Windseite sind annähernd halbrund, während die völlig gerade Blaseseite in einem Winkel von etwa 90 Grad an die Rückseite angebaut wurde.

Der Außendurchmesser des Ofenschachtes beträgt an der höchsten erhaltenen Stelle etwa 1,55 m (Planum 5/6) und wächst im Bereich der Ofenrast auf 1,80 m an (Planum 10/11; *Abb. 55,5*). Der innere Ofenschacht verengt sich im Gegensatz dazu von 1,20 m (Planum 5/6) auf 0,55–0,65 m am oberen Rand des Gestells (Planum 9; *Abb. 55,4*).

Gestell

Das Gestell des Ofens ist nahezu vollständig erhalten (*Abb. 17*).

Sowohl die Herdwände als auch der Herdboden sind nahezu unverschlackt und weisen keinerlei Beschädigungen auf. Lediglich einige Bereiche der äußeren Ofenwand und die Brustseite sind zerstört. Der Herdboden befindet sich etwa 0,4 m unterhalb der Oberkante des Gestells. Im Gegensatz zur senkrechten Blaseseite wurden Wind- und Rückseite in einem Winkel von etwa 50 Grad abgeschrägt. Dadurch wird der Herd zum Boden hin stark verengt (*Abb. 14,2–4*). Seine Weite beträgt am oberen Rand des Gestells 0,65 m und verringert sich auf 0,25–0,30 m. Auf diese Weise ergibt sich ein schmaler langrechteckiger Herdboden mit einer Tiefe von 0,8 m, der in Richtung Ofenbrust leicht geneigt ist (*Abb. 17*). Sehr wahrscheinlich sollte durch dieses Gefälle der Abfluss von Roheisen und Schlacke erleichtert werden. Das Fassungsvolumen des Gestells beträgt insgesamt etwa 182 Liter. Die Wandungsstärke ist an der Ofenbasis deutlich größer als im Bereich des aufgehenden Ofenschachtes. Der Durchmesser von Wind- und Blaseseite beträgt jeweils 0,55–0,6 m. Die Rückseite ist demgegenüber etwa 0,85 m mächtig. Zur Konstruktion des Gestells wurden überwiegend Grauwackensandsteine verwendet, die im Folgenden als Ofensteine bezeichnet werden. Zusätzlich war die Ofenbasis von senkrecht gestellten Platten aus demselben Gestein umgeben, die von der etwa 0,6 m mächtigen äußeren Ofenwand aus Lehm bedeckt wurden. Sowohl die Blase- als auch die Windseite waren an der Ofenfront über den Bereich des ehemaligen Abstichs hinaus verlängert worden, so dass zwei 0,3 m lange „Wangen“ jeweils rechts und links der Ofenbrust entstanden. Die ausgezogenen Seitenwände wurden an ihrer Basis ebenfalls mit schmalen, rechteckigen Sandsteinen umstellt, die sich an der Blaseseite in Form von drei in situ befindlichen Exemplaren dokumentieren ließen (Planum 13; *Abb. 56,3*).

Gestübbe

Die Innenseite des Gestells wurde im Bereich des Herdes vollständig mit einer grauen, bis zu vier Zentimeter dicken und hart gebrannten Schicht abgedichtet bzw. ausgekleidet. Diese setzt sich hauptsächlich aus einer Matrix aus aufgeschmolzenem Lehm zusammen, in die u.a. kleinste Holzkohle- und Schlackefragmente eingeschlossen sind. Der Herdboden besteht ausschließlich aus diesem Material, das in historischen Schriftquellen als „Gestübbe“[13] bezeichnet wird und an dieser Stelle mit etwa 0,2 m die größte Stärke aufweist (*Abb. 17*). Die Beschichtung unterscheidet sich aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit deutlich von der unmittelbar oberhalb des Gestells anschließenden Ofenwand. Im Gegensatz zu deren stark verschlackter und rauer Oberfläche sind die Herdwände glatt und zeigen kaum Spuren anhaftender Schlacke.

Abstichgrube

Die Brustseite des Ofens ist nahezu vollständig zerstört. Daher kann keine gesicherte Aussage über Art und Anzahl der Abstichöffnungen gemacht werden. Auch die Frage, ob Roheisen und Schlacke durch dieselbe oder jeweils durch separate Öffnungen abgelassen wurden,

[13] Agricola 1556/1994, 328 Anm. 6.



1



2



3



4



5



6

Abb. 14. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1. 1: Blick aus Nordwesten auf die Stichseite. Der Ofen ist noch nicht vollständig freigelegt; 2: Blick von Norden auf die Stichseite. Der schmale Herdboden und die teilweise stark abgeschrägten Seitenwände des Gestells sind nahezu vollständig erhalten und formen einen stark verengten Herd; 3: Blick von Nordwesten auf die Windseite; 4: Blick von Nordosten auf die Blaseseite; 5: Blick von der Rückseite in das Innere des Ofens. Deutlich ist der asymmetrische Grundriss zu erkennen. Rechts markiert die eingezogene Ofenwand die ehemalige Position des Gebläses (Pfeil). Auf der gegenüberliegenden, halbrunden Windseite wird die Herdwand bis zum schmalen, rechteckigen Herdboden stark abgeschrägt; 6: Blick von Westen in das Innere des Ofens. Zwischen der eingezogenen Blaseseite (Position des Gebläses) und der Rückwand des Ofens entsteht eine Art „Tasche“ (Pfeil), deren genaue Funktion im Rahmen der thermodynamischen Prozesse weitgehend unklar ist (Fotos R. Potyka).



Abb. 15. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 1. Der Ofen mit umgebenden Verfärbungszonen in einem frühen Stadium der Ausgrabung (Planum 7). Im Inneren sind Teile der verstürzten Ofenwand zu erkennen.



Abb. 16. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 1. Blick von der Stichseite in den teilweise mit Versturz verfüllten Ofenschacht (Planum 7).

muss unbeantwortet bleiben. Der einzige archäologische Hinweis auf einen Abstich von Roheisen und Schlacke ist durch eine vorgelagerte Abstichgrube gegeben (*Abb. 17*). Einzelne Schlacken- bzw. Roheisenstücke liegen innerhalb der Grube in nicht nennenswerter Zahl vor, so dass sie lediglich anhand der typischen Verfärbungen des Erdreichs sowie aufgrund von Rückständen der ehemaligen Grubenauskleidung identifiziert werden konnte. Die rechteckige Abstichgrube wurde unmittelbar vor der Ofenbrust angelegt und bis zu 0,3 m tief in den Boden eingegraben. Sie ist ca. 0,9 m breit, 0,7 m lang und reicht tiefer als das Fundament des Ofens. Der Boden der Abstichgrube verläuft nicht waagerecht, sondern steigt ausgehend vom tiefsten Punkt direkt vor der Ofenfront nach Norden hin um etwa 0,17 m an. Die Grube ist mit bis zu 0,20 m mächtigem Lehm verfüllt. Dass diese Lehmschicht noch vor Inbetriebnahme des Ofens eingebracht wurde, belegt ihre rötliche Verfärbung aufgrund von Hitzeeinwirkung, die durch den Abstich von Roheisen oder Schlacke hervorgerufen wurde. Der intensiv verfärbte Bereich der Lehmschicht befindet sich in einer 0,15–0,20 m breiten und bis zu 0,1 m tiefen Rinne, die sich mit einer Länge von 0,7–3,5 m wahrscheinlich über den gesamten Abstichbereich erstreckte. Diese langschmale Vertiefung ist in etwa so breit wie der Herdboden, in dessen direkter Verlängerung sie liegt.

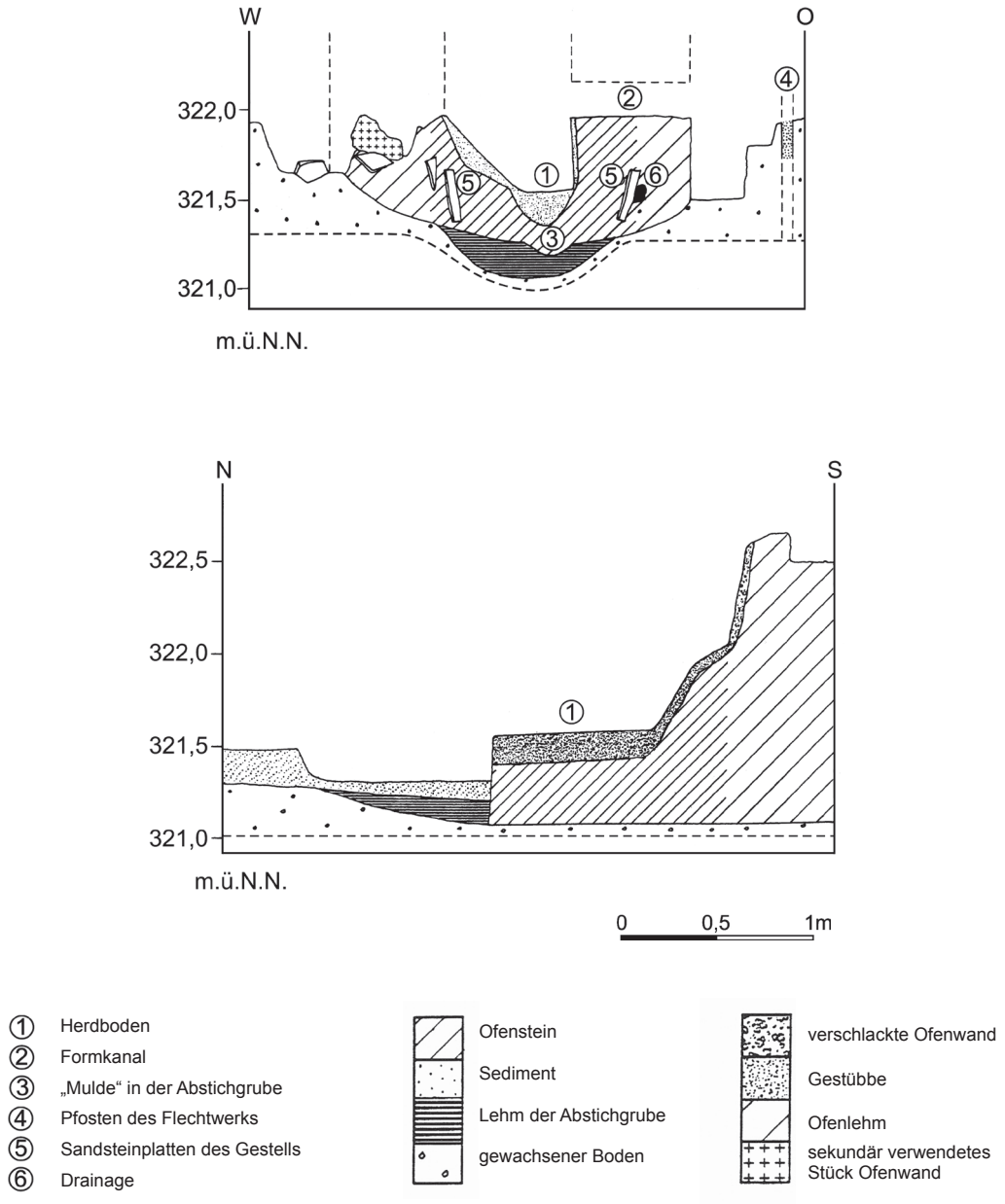


Abb. 17. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 1. West-Ost- und Nord-Süd-Profil durch das Ofengestell.

Drainage

Unmittelbar an der Ofenbasis befindet sich in der östlichen Brustseite, rechts neben dem Abstich eine annähernd kreisrunde Öffnung mit etwa 0,1–0,15 m Durchmesser (*Abb. 17*). Diese Öffnung verlängert sich zu einem Kanal, der in den ausschließlich aus Lehm bestehenden äußeren Teil der Blaseseite hineingebaut worden war und entlang der Sandsteinplatten des Ofengestells verläuft. Stützende Einbauten aus Holz oder Stein konnten nicht nachgewiesen werden. Auf der gegenüberliegenden Windseite existiert keine entsprechende Öffnung in der Ofenwand, so dass sich zunächst keine umlaufende Drainage rekonstruieren lässt. Allerdings musste aus grabungstechnischen Gründen darauf verzichtet werden, die Ofenwand vollständig abzutragen. Es ist durchaus möglich, dass Versturzmaterial vom Aufgehenden des Ofenschachtes den Befund auf der Windseite verdeckte. Auf der gegenüberliegenden Blaseseite ließ sich darüber hinaus eine wahrscheinlich künstlich angelegte Schotterschicht unterhalb der Ofenbasis nachweisen, die auf einem Teilstück von 0,5 m Breite und 1,75 m Länge freigelegt wurde (Planum 13; *Abb. 56,3*). Diese Schotterschicht, die evtl. ebenfalls eine Drainagefunktion besaß, zeigt keinerlei Hitzeverfärbungen und grenzt unmittelbar an die Ofenbasis.

Fläche für Balggerüst und Antriebswelle

Vor der nach Osten weisenden Blaseseite des Ofens konnte eine Eingrabung nachgewiesen werden, die bereits obertägig anhand der Geländemorphologie zu erkennen war (Profil 13; *Abb. 77,2*: Quadrate IX-N, XIV-A, XIV-B). Die Sohle dieser Eingrabung war östlich des Ofens in Planum 8 erreicht und zeigte sich in Form einer geringmächtigen, stark mit Holzkohle, Schlacken und Ofenlehm durchsetzten Schicht, die als Laufhorizont einer ehemaligen Arbeitsfläche interpretiert werden kann (Planum 8; *Abb. 55,3*: Quadrate VIII-Q, IX-N, VIII-M, IX J). Diese künstlich angelegte Fläche wurde ca. 0,8 m tief in den Hang eingegraben und endet im Süden etwa auf gleicher Höhe mit der Rückwand des Ofens (Profil 14; *Abb. 78*). Zusätzliche Einbauten aus Holz oder Stein, die ein Nachrutschen des Hanges hätten verhindern sollen, sind nicht vorhanden. Lediglich auf der Westseite lässt der Befund auf ein ehemaliges Flechtwerk schließen, das unmittelbar vor der Ofenwand verlief. Eine der hangseitigen Rückwand entsprechende vordere Begrenzung konnte nicht nachgewiesen werden. Die etwa 1,50 m breite, horizontal verlaufende Fläche fällt nach Norden wie eine Rampe ab und überwindet einen Höhenunterschied von etwa 0,5 m, bevor sie in dem Bereich vor der Ofenbrust wiederum horizontal verläuft (Profil 4; *Abb. 67*: Quadrate IX-E, IX-J, VIII-M, VIII-Q). Die Arbeitsfläche auf der Blaseseite grenzt nicht unmittelbar an den Ofen (Profil 14). Bis zur Ofenwand verblieb ein Sockel aus gewachsenem Boden von etwa 0,75–0,8 m Breite. Wahrscheinlich steht die Arbeitsfläche in Zusammenhang mit den Blasebälgen und dem Balggerüst, deren ehemalige Position an dieser Stelle zu vermuten ist. Radstube, Wasserrad und Antriebswelle(n) müssten sich demnach einige Meter weiter östlich befunden haben (Quadrate IX-O, IX-P). Dieser Bereich konnte jedoch aus grabungstechnischen Gründen nicht untersucht werden.

Flechtwerk

Auf der Blaseseite des Ofens befinden sich zehn kleine kreisrunde Pfostenlöcher zwischen der Fläche für Balggerüst und Antriebswelle und der Ofenwand (Plana 9–13; *Abb. 55,4–56,3*). Diese Standspuren haben einen Durchmesser von etwa 0,05–0,1 m und sind mit rötlichem Sediment verfüllt. Organische Reste der Pfosten, die etwa 0,2–0,4 m tief in den gewachsenen Boden eingebracht wurden, haben sich nicht erhalten. Die Pfosten wurden leicht gegeneinander versetzt angeordnet und sind in einem Abstand von etwa 0,05–0,25 m entlang der Blaseseite über eine Länge von etwa 2 m aufgereiht. Sie liegen im gleichen Bodenhorizont wie die Ofenbasis, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Pfostensetzungen zeitgleich mit dem Ofen errichtet worden sind. Die Entfernung zur Ofenwand beträgt etwa 0,50 m. Dieser Abstand ist zu groß, um den Befund in Form eines den Ofen umfassenden und die Ofenwand stabilisierenden Geflechtes zu rekonstruieren. Gegen eine solche Deutung spricht außerdem die Tatsache, dass die Pfostensetzungen bis zu 0,75 m über den Ofenabstich hinausreichen und sich zudem auf der gegenüberliegenden Windseite überhaupt nicht nachweisen ließen (Planum 12; *Abb. 56,2*). Der Befund ist wohl am ehesten als ein Flechtwerkzaun zu rekonstruieren, dessen genaue Funktion allerdings fraglich bleiben muss.

Beschickungsfläche 1

Der ehemalige Laufhorizont einer hangseitigen Beschickungsfläche verläuft auf der Rückseite des Ofens. Von dieser erhöhten Position aus konnten die zur Verhüttung benötigten Rohstoffe durch die vermutlich offene Gicht in den Ofen aufgegeben werden. Die Beschickungsfläche zeichnete sich bereits sehr früh in Form einer ca. 0,25 m breiten, dunklen Verfärbung ab (Planum 1; *Abb. 49; 50*: Quadrate XIV-E, XIII-H, XIII-G, XIII-D). Der ausgegrabene Bereich nimmt insgesamt eine Fläche von etwa 23 m² ein (Planum 3/4; *Abb. 53; 54*: Quadrate XII-D, XIII-C, XIII-G, XIII-H, XIV-E). Die West-Ost-Ausdehnung beträgt ca. 8,7 m (Profil 13; *Abb. 77,2*). Die größte Nord-Süd-Ausdehnung konnte mit 2,75 m unmittelbar hinter der Rückwand des Ofens dokumentiert werden (Planum 4). Die dunkle Färbung des mit kleinsten Ofenwandbruchstücken durchsetzten Laufhorizontes wird durch den hohen Anteil an Holzkohlebruchstücken hervorgerufen, die bei der Beschickung zu Boden fielen und festgetreten wurden. Direkt hinter der Rückseite des Ofens besitzt die feste und kompakte Schicht mit mehr als 0,20 m die größte Mächtigkeit (Profil 13). Im Randbereich dünnt sie demgegenüber stark aus. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung der Schichtstärke kann darauf geschlossen werden, dass man den Ofen von seiner Rückseite aus beschickte. Der Abstand zwischen Beschickungsfläche und Ofenwand beträgt etwa 1 m (Planum 4: Profile 4–6; *Abb. 67–69*). Daher kann vermutet werden, dass zusätzlich eine niedrige und schmale Rampe genutzt wurde, von der sich allerdings keinerlei Spuren mehr nachweisen lassen. Die horizontale Beschickungsfläche wurde künstlich angelegt und in den Hang hineingegraben. Sie steigt lediglich an ihrem hangaufwärts gelegenen Südrand stark an (Profile 4–6) und wird dort durch die Eintiefung des Obergrabens von Ofen 2 gestört. Anhand dieses Befundes wird deutlich, dass der Obergraben erst angelegt wurde, als die Beschickungsfläche von Ofen 1 bereits bestand. Seine Betriebszeit ging also derjenigen von Ofen 2 zeitlich voraus.

Pfostengrube (Pfosten 1)

Ofen 1 kann lediglich eine Pfostengrube (Pfosten 1) zugeordnet werden, die im Negativverfahren ausgeho-

ben wurde. Sie unterscheidet sich in Form und Größe deutlich von den wesentlich kleineren „Pfostensetzungen“ des Flechtwerkes auf der Blaseseite. Das Pfostenloch liegt in etwa 3,2 m Entfernung südöstlich des Ofens, zeigt eine annähernd kreisrunde Form und ist durch die Erosionswirkung leicht verdrückt (Planum 3; *Abb. 53*: Quadrat XIV-B). Die 0,35 m tiefe Grube mit einem Durchmesser von etwa 0,4 m ist mit rötlichem, von Holzkohle sowie kleinsten Ofenwandbruchstücken durchsetztem Sediment verfüllt. Das Pfostenloch wird von insgesamt sechs unbearbeiteten Sandsteinen eingefasst, von denen sich drei noch in situ befinden. Der größte Stein hat die Abmessungen 33 x 14 x 13 cm und wiegt etwa 15,5 kg.

Die Steine dienten dazu, einen Pfosten mit einem Durchmesser von etwa 0,3 m in der Grube zu verkeilen, von dem sich allerdings keinerlei organischen Reste erhalten hatten. Holzkohleproben vom Boden der Pfostengrube wurden zur 14C-Datierung entnommen und belegen ein Alter zwischen 1205 und 1300 n. Chr. (*Abb. 30*). Welchem Zweck der Pfosten diente, lässt sich nur vermuten. Aufgrund des großen Durchmessers der zusätzlich mit Keilsteinen verstärkten Grube kann davon ausgegangen werden, dass er ein hohes Gewicht tragen musste. Trotz der großen Entfernung zum Ofen könnte es sich z. B. um einen Teil eines an die Rückseite des Ofens angebauten Daches handeln. Auch ein Zusammenhang mit einem obertägigen hölzernen Gerinne zum Betrieb eines Wasserrades wäre denkbar.

Rohstofflager

Erzlager

Die Erzmenge war wie auch die Holzkohlemenge sehr gering. Lediglich elf Stücke Erz konnten westlich des Ofens gefunden werden (Quadrat VIII-P) *(Abb. 35*).

Holzkohlelager

Insgesamt konnten nur 970 g Holzkohle vor dem Ofenabstich und im Bereich der Beschickungsfläche geborgen werden (Quadrate VIII-M, VIII-Q, IX-N) (*Abb. 31*). Eine massive Konzentration innerhalb eines eng begrenzten Bereiches, wie sie für ein Rohstofflager typisch wäre, war in der geöffneten Fläche um Ofen 1 nicht festzustellen. Die Holzkohlen in den Quadraten vor der Ofenbrust fielen wahrscheinlich beim Abstich zusammen mit dem Roheisen und der Schlacke zu Boden. Die ausgesprochen geringen Holzkohlemengen im Bereich der Beschickungsfläche sind ungewöhnlich, da zahlreiche Befunde anderer Grabungen zeigen, dass die benötigte Holzkohle vorzugsweise oberhalb des Ofens gelagert wurde, um den Transportweg zur Gichtöffnung so kurz wie möglich zu halten.

Es bleibt festzuhalten, dass sich weder ein Holzkohlenoch ein Erzlager lokalisieren lassen. Obwohl diese sich möglicherweise außerhalb der Grabungsfläche befunden haben, muss eine solche These nicht die einzige Erklärungsmöglichkeit bleiben, da in diesem Fall die Entfernung der Rohstoffdepots zur Gichtöffnung des Ofens unverhältnismäßig groß gewesen wäre. Darüber hinaus lieferte auch die weitläufige archäologische Prospektion im Vorfeld der Grabung keinerlei Anhaltspunkte für ein Erz- bzw. Holzkohlelager außerhalb der ausgegrabenen Fläche. Aufgrund der ungewöhnlich geringen Fundmengen entstand vielmehr der Eindruck, als sei der gesamte Bereich um Ofen 1 nach dessen Stilllegung gesäubert worden. Die Vermutung, man habe die wertvollen Rohstoffe eventuell bei der Verhüttung im später erbauten Ofen 2 wiederverwendet, lässt sich archäologisch zwar nicht belegen, muss aber als sehr wahrscheinlich in Betracht gezogen werden.

Schlackenhalde (Halde 1)

In dem gesamten Grabungsbereich lagen lediglich 17 Stück glasige Schlacke (*Abb. 39*). Die in Quadrat III-J angeschnittene Halde ist aufgrund ihrer Position innerhalb des Hüttenplatzes wahrscheinlich ausschließlich Ofen 2 zuzuordnen. Da eine Ofen 1 zugehörige Schlackenhalde jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit vorauszusetzen ist, müsste sie sich demzufolge außerhalb der Grabungsfläche befinden. Einen Hinweis auf die mögliche Position dieser Halde lieferte die im Vorfeld der Grabung durchgeführte archäologische und geophysikalische Prospektion: Eine deutliche Fundhäufung zeichnete sich bei der Aufnahme der Oberflächenfunde nördlich des Ofens ab (Quadrate IV-E, IV-F, IV-G, IV-J, IV-K). Die Schlackenfunde aus diesem Bereich stammten überwiegend aus der hangabwärts gelegenen Abbruchkante des Geländes, die die Grabungsfläche zur Kerspe hin begrenzt (*Abb. 5*).

Die geophysikalische Untersuchung erbrachte Messwerte, die ebenfalls für das Vorhandensein einer Schlackenhalde in Großquadrat IV sprechen (*Abb. 11; 12*). Der durch die Prospektionen erfasste etwa 34 m^2 große Haldenbereich war bis zu 8 m breit und 5 m lang. Die etwa 10 m von Ofen 1 entfernte Halde dehnt sich mit großer Wahrscheinlichkeit noch über den durch die Prospektion erfassten Bereich nach Norden hin aus und erstreckt sich somit auch über die schlickreiche Uferzone der Kerspe.

14C-Datierung

An zwei Stellen des Ofens wurden Holzkohlen entnommen. Die 14C-Analysen der Holzkohleproben von Fundplatz Nr. 105 in der Kerspetalsperre wurden vom Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory, Miami (Florida, USA), durchgeführt (*Abb. 30*).

Die Probe-Nr. Beta-103852 stammt aus dem Bereich der Abstichgrube unmittelbar vor der Ofenbrust (Planum 13). Die Holzkohlen lagen in den untersten Bodenschichten und datieren eine der ältesten Phasen dieser Anlage. Die 14C-Analyse ergab ein konventionelles Alter (Jahre vor 1950) von 975 ± 50 Jahren BP und somit ein kalibriertes Alter von cal AD 1220–1310 bzw. 1365–1375. Ofen 1 wurde also sehr wahrscheinlich im 13. Jahrhundert bzw. in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhundert betrieben.

Die Probe-Nr. Beta-103853 wurde am Boden der einzigen Pfostengrube (Pfosten 1) im Umfeld von Ofen 1 entnommen (Quadrat XIV-B; Planum 3). Sie lieferte ein konventionelles Alter (Jahre vor 1950) von 760 ± 50 Jahren BP und somit ein kalibriertes Alter von cal AD 1205–1300. Konnte anhand der Probe-Nr. Beta-102852 noch nicht geklärt werden, ob Ofen 1 in das 13. oder 14. Jahrhundert datiert, so wird durch die Probe-Nr. Beta-103853 eine Datierung in das 14. Jahrhundert nahezu ausgeschlossen.

Ofen 2

Ofenschacht

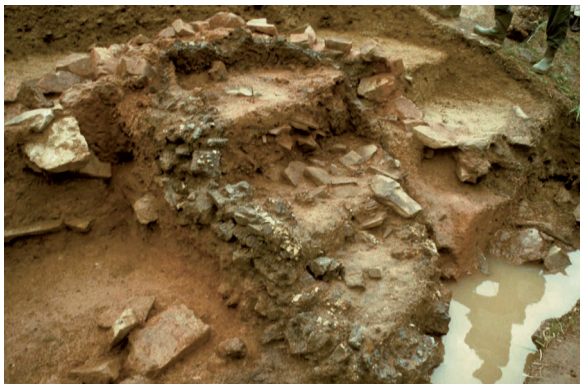
Der Ofen ist bis zu einer Höhe von 1,75 m in situ erhalten (*Abb. 18,3.4*).

Erste Teile vom Aufgehenden des Ofenschachtes konnten bereits in Planum 1 (*Abb. 57; 58*) freigelegt werden (*Abb. 4,2*). Die Verfärbung dieser Bodenschicht war noch nicht ausschließlich auf die Hitzeeinwirkung während des Schmelzprozesses zurückzuführen, sondern wurde hauptsächlich durch kleinste, nur wenige Zentimeter große Bruchstücke der rot gefärbten Ofenwand hervorgerufen, die den gesamten Befund überdeckten. In den unteren Plana verwiesen große Mengen Versturz auf die zerstörte Brustseite des Ofens (*Abb. 18,1*). Der Ofenschacht war aufgefüllt mit Ofenwandresten, Sandsteinen des Raugemäuers und weißem Ofenstein. Insgesamt lagen 72 kg Ofenwand, 124 kg Sandsteine und 61 kg weißer Ofenstein in seinem Inneren. Die Ofenwand ist im Bereich des Schachtes 0,65 m mächtig und besteht aus feuerfestem Lehm, der aufgrund der Hitzeeinwirkungen typische Verfärbungszonen aufweist (*Abb. 20,4*). Im Inneren ist die Wandung vollständig mit einer mächtigen Schlackenschicht überzogen. Der Gesamtdurchmesser des Ofenschachtes betrug in Planum 1 ca. 2,75 m (Planum 1: Quadrate I-H, I-M, II-E,II-J). Der innere Schachtdurchmesser misst an derselben Stelle etwa 1,25 m bei einer Tiefe von 1,2 m. Bis zur Oberkante des Ofengestells verengt sich der innere Schacht auf 0,8 m, während der Gesamtdurchmesser in etwa konstant bleibt (Planum 7; *Abb. 63,3*). Die Außenseite wird ausschließlich im Bereich der Ofenbasis durch eine große Anzahl unbearbeiteter Grauwackensandsteine begrenzt, die die Ofenwand in Form eines Raugemäuers umgeben (*Abb. 19,1.2*). Die größten dieser feuerfesten Grauwackensandsteine sind bis zu 0,4 m lang, 0,25 m breit und etwa 0,2 m hoch. Sie wurden mit ihren Rückseiten in den aus Lehm bestehenden Ofenschacht hineingebaut und auf diese Weise fest mit der Ofenwand verbunden.

Gestell

Das Ofengestell ist an mehreren Stellen stark beschädigt (*Abb. 18,3–6*). Die gesamte Brustseite des Ofens mit der(n) dazugehörigen Abstichöffnung(en) fehlt völlig. Blaseseite und Windseite sind jeweils etwa 2,0 m und die halbrunde Rückseite etwa 1,8–2,0 m lang. Die Oberkante des Gestells konnte in Planum 7 (*Abb. 63,3*) ergraben werden. Der Gesamtdurchmesser beträgt an dieser Stelle etwa 2,25–2,5 m (Planum 7) und verbreitert sich zur Ofenbasis auf 2,6–2,7 m (Planum 8/9; *Abb. 64,1.2*). Im Gegensatz dazu werden Weite und Tiefe des Schmelzraumes im Ofeninneren durch die abgeschrägte Rück- und Windseite kontinuierlich verengt. An der Oberkante des Gestells ist der Innenraum etwa 0,80 m weit und 1,2 m tief (Planum 7). An der tiefsten erhaltenen Stelle kann nur noch eine Weite von 0,6 m und eine Tiefe von etwa 1,0 m gemessen werden (Planum 8/9). Die untersten Bereiche des Herdes sowie der Herdboden selbst sind vollständig zerstört. Vergleicht man die Abmessungen der erhaltenen Teile mit denjenigen von Ofen 1 so fällt auf, dass sie sich in etwa entsprechen. Beide Öfen besitzen ein nahezu baugleiches Gestell mit einem Fassungsvolumen von etwa 182 Litern. Sehr wahrscheinlich lässt sich auch an Ofen 2 ein schmaler, rechteckiger Herdboden rekonstruieren, der in Richtung auf die Ofenbrust leicht geneigt war, um ein Abfließen des Roheisens und der Schlacke zu erleichtern (*Abb. 17*).

Die Stärke der vollständig mit Schlacke überzogenen Ofenwand ist im Bereich des Gestells deutlich größer als im aufgehenden Ofenschacht. An der Ofenbasis beträgt der Durchmesser der Blaseseite ca. 0,9–0,95 m. Wind- und Rückseite weisen eine Wandstärke von jeweils etwa 0,8–0,85 m auf. Um die Ofenwand zusätzlich zu stabilisieren wurde ein abschließendes, etwa 0,4 m mächtiges Raugemäuer aus unbearbeiteten Sandsteinen errichtet. Der untere Teil des Gestells besteht aus sog. Ofenstein und ist mit senkrecht gestellten Platten aus Sandstein verkleidet (*Abb. 18,2; 21; 22*). Vier Sandsteinplatten konnten auf der Blaseseite in situ freigelegt werden (*Abb. 20,3*). Sie zeigen keinerlei Bearbeitungsspuren und sind mit einer Höhe bis 0,5 m, einer Breite von 0,4 m und einer Stärke von 0,1 m auch die größten am Ofen verbauten Steine. Sowohl die Blase- als auch die Windseite sind über den Bereich des ehemaligen Abstichs hinaus verlängert worden. Auf diese Weise entstanden zwei „Wangen“ rechts und links der Ofenbrust, die an ihrer Basis zusätzlich mit schmalen rechteckigen Sandsteinen umstellt wurden (Planum 10/11; *Abb. 64,3; 65,1*) (*Abb. 19,3.4*).



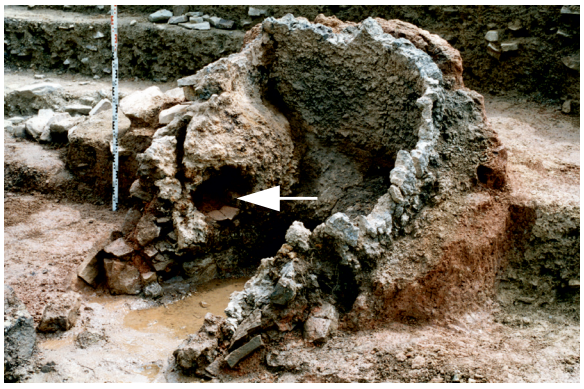
1



2



3



4



5



6

Abb. 18. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2. 1: Der Ofen während der Ausgrabung. Im Bereich der Stichseite überlagern große Mengen Versturz (Fragmente der Ofenwand, Ofenstein und Schlacke) die die in situ befindlichen Teile des Ofens; 2: Blick von Osten auf den vollständig freigelegten Ofen. Die äußere Ofenwand aus Lehm wurde im Zuge der Ausgrabungsarbeiten bereits vollständig abgetragen (siehe auch Abbildungen 3–6); 3: Blick von Norden auf die Stichseite. Die Ofenbrust und das Gestell waren nahezu vollständig zerstört; 4: Blick von Westen auf die Blaseseite. Der vollständig erhaltene Formkanal (Pfeil) markiert die ehemalige Position des Gebläses oberhalb des zerstörten Herdbodens; 5: Blick von Nordosten auf die äußere Blaseseite mit vollständig erhaltenem Formkanal (Pfeil) und senkrecht gestellten Steinplatten im Bereich der Ofenbasis. Der Stein links neben dem Maßstab markiert in etwa den ursprünglichen Durchmesser der Ofenwand; 6: Blick von Südosten auf die Rückseite. In diesem Bereich war die Ofenwand aus Lehm mit den eingearbeiteten Steinen (Pfeil) in situ am besten erhalten. Der ursprüngliche Durchmesser der Ofenwand sowie die unterschiedlichen durch Hitzeeinwirkung hervorgerufenen Verfärbungszonen sind in Abhängigkeit vom Grad der Verziegelung gut zu erkennen (Fotos R. Potyka, Chr. Willms).



1



2



3



4



5



6

Abb. 19. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 2.1: Blick aus Südost auf die Rückwand des Ofens (Quadrat I-M/ Quadrat II-J, Planum 4). Deutlich ist der Aufbau der Ofenwand aus Stein und Lehm zu erkennen; 2: Blick aus Nordwest auf die Windseite (Quadrat I-H). Der Innenraum ist mit Versturz und Sediment verfüllt; 3: Blick aus Nord auf die Stichseite. An der Ofenbasis liegen die Deckplatten der umlaufenden Abzucht offen; 4: Blick aus Nordwest auf die Stichseite; 5: Blick aus Nordwest auf die Abzucht (ohne Deckplatten) an der Ofenbasis (Quadrat II-E, Planum 13); 6: Blick aus Nordwest auf die Abzucht (ohne Deckplatten) an der Ofenbasis (Quadrat I-H, Planum 13) (Fotos R. Potyka, Chr. Willms).



1



2



3



4



5



6

Abb. 20. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 2. 1: Die dunkel verfärbte Fläche für Balggerüst und Antriebswelle wird hangseitig durch eine Steinsetzung begrenzt (Quadrat II-J/Quadrat II-K); 2: Fläche für Balggerüst und Antriebswelle (Quadrat I-M/Quadrat II-J/Quadrat II-K, Planum 5). Unmittelbar an der Steinsetzung ist Pfostengrube 7 zu erkennen (A). Im Vordergrund verläuft die mit dunklem Sediment verfüllte Drainage unmittelbar hinter der Rückwand des Ofens; 3: Blick von Westen auf die äußere Blaseseite mit Formkanal und den senkrecht gestellten Steinplatten an der Ofenbasis; 4: Blick aus Westen auf die Windseite. Die innere Ofenwand besteht ausschließlich aus Lehm, der aufgrund der Hitzeeinwirkung zonal unterschiedlich verfärbt und verziegelt ist; 5: Öffnung des Formkanals in der Blaseseite; 6: Blick aus Norden auf die Blaseseite. Die äußere Ofenwand aus Lehm ist im Zuge der Ausgrabungsarbeiten bereits abgetragen worden (Fotos R. Potyka, Chr. Willms).

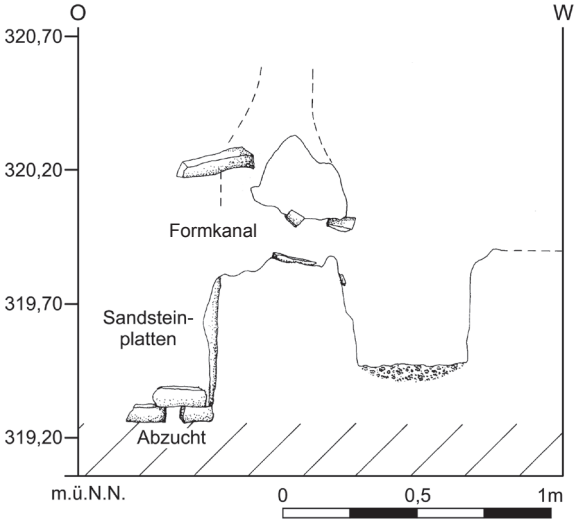


Abb. 21. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 2. Ost-West-Profil durch einen Teilbereich des Ofengestells.

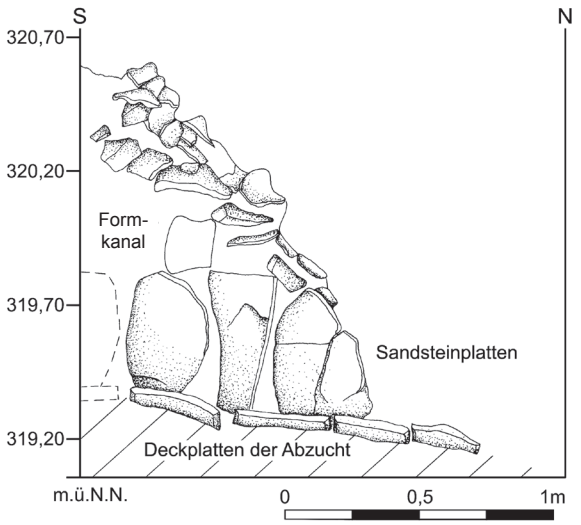


Abb. 22. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 2. Außenansicht der Einblasseite mit erhaltenem Formkanal.

Formkanal

Auf der Blaseseite ist der Formkanal beinahe vollständig erhalten (*Abb. 20,3.5*). Die Öffnung, in die wahrscheinlich eine Windform zur Aufnahme der Balgnasen eingeführt wurde, befindet sich auf der Ostseite des Ofens, etwa 0,6 m oberhalb der Ofenbasis (*Abb. 21; 22*). Der etwa 0,5 m lange Formkanal wurde unmittelbar oberhalb der großen, senkrecht stehenden Sandsteinplatten horizontal durch den ausschließlich aus Lehm konstruierten Teil des aufgehenden Ofenschachtes gelegt. Der Abstand zum Herdboden beträgt lediglich 0,25–0,3 m. Die Ränder sind vor allem an der Außenwand stark ausgebrochen, so dass sich der ursprüngliche Durchmesser der annähernd kreisrunden Öffnung mit etwa 0,2 m nur noch rekonstruieren lässt. Im Inneren des Formkanals befinden sich acht flache Sandsteine in situ, mit denen die Wände verstärkt wurden. Sechs der insgesamt acht Steine umgeben kreisförmig die Öffnung zum Herd und stabilisierten somit den Bereich der Einblasöffnung, der der größten Hitze während des Ofenbetriebes ausgesetzt war.

Abstichgrube

Die Ofenbrust ist nahezu vollständig zerstört. Eine vorgelagerte Abstichgrube konnte lediglich in Teilbereichen, unmittelbar an der Ofenbasis, erfasst werden. Die Dokumentation des Befundes wurde durch die Lage des Ofens in direkter Nähe zur Kerspe erschwert. Ständiger Wassereinbruch verhinderte in den Quadraten vor der Ofenbrust die Ausgrabung. Die auf Hitzeeinwirkung zurückzuführende Rotverfärbung des Bodens in diesem Bereich ist daher nur über eine Länge von etwa 0,2 m nachzuweisen (Quadrate I-H, II-E). Der lehmige Boden ist auf einer Breite von ca. 1,75 m verziegelt und aufgrund von Holzkohlerückständen stellenweise schwarz verfärbt.

Drainagen

Drainage 1

Es sind zwei unterschiedliche Drainagen vorhanden, von denen eine auf der Rückseite des Ofens entlang der äußeren Ofenwand verläuft. Bereits in Planum 2 (*Abb. 59*) waren einige Abschnitte dieser Eingrabung sichtbar. Der Boden war in diesem Stratum über eine Breite von ca. 0,2 m dunkelgrau verfärbt und durchsetzt mit Ofenwandbruchstücken und Holzkohle. Die grabenförmige Drainage erstreckt sich über eine Länge von etwa 4,5 m und reicht bis auf 0,3 m an die Ofenwand heran (Planum 7; *Abb. 63,3*: Quadrate II-J, I-M, I-H). Der Kanal ist stellenweise 0,5 m breit und endet neben der Blaseseite in einer großflächigen Verfärbung, die als Standort für das Balggerüst und die Antriebswelle gedeutet wurde. Auf der gegenüberliegenden Windseite endet die Drainage ohne einen erkennbaren Abschluss (Quadrat I-H). Ob damit auch ihr tatsächliches Ende erfasst wurde, oder ob dieses noch weiter in Richtung auf das hangabwärts gelegene Bachbett der Kerspe lag, konnte nicht abschließend geklärt werden. Mächtige tonige Seesedimentschichten machten zusammen mit dem rasch nachfließenden Wasser der Kerspe jede weitere Untersuchung in diesem Bereich unmöglich. Mit zunehmender Tiefe zeigte sich, dass die Menge an eingetragener Ofenwand und Steinen in Drainage 1 kontinuierlich zunahm (Planum 6; *Abb. 63,2*). Aus dem Bodenbereich konnten allein aus

dem Teilstück, das direkt entlang der Hinterseite des Ofens verläuft, 434 kg Steine und 126 kg Ofenwand geborgen werden (Plana 6–10). Der Drainagegraben muss jedoch nicht absichtlich verfüllt worden sein. Die große Menge dieses Materials auf der Rückseite des Ofens könnte auch nach der Stilllegung der Anlage als Versturz in den Graben gelangt sein. Bei einer Rekonstruktion als offene Drainage muss berücksichtigt werden, dass oberhalb des Grabens und im Bereich der Beschickungsfläche keinerlei Spuren einer Rampe oder Treppe vorhanden sind. Zur Überbrückung des bis zu 0,5 m breiten Drainagegrabens wäre eine derartige Konstruktion allerdings zwingend notwendig gewesen, um die Beschickung des Ofens zu ermöglichen. Ob der Drainagegraben zum Zeitpunkt des Ofenbetriebes offen lag, oder ob er bereits mit Steinen und Ofenwandresten vollständig verfüllt und somit begehbar war, lässt sich anhand des Befundes nicht mit Sicherheit klären.

Drainage 2 („Abzucht“)

Ein zweiter Kanal verläuft unterhalb der Ofenbasis und war von außen zunächst nicht sichtbar (*Abb. 21; 22*). Erst nach dem vollständigen Abtragen der Ofenwand konnte die hufeisenförmige Drainage mit einer Gesamtlänge von 3,75 m freigelegt werden (Planum 12/13; *Abb. 65,2.3*) (*Abb. 19,3.4*). Schmale rechteckige Sandsteine wurden genutzt, um einen 0,1–0,15 m breiten Kanal zu errichten, durch den das Wasser rechts und links vom Ofen abgeleitet wurde (*Abb. 19,5.6*). Diese „Kanalsteine“ sind etwa 0,2 m hoch und bis zu 0,4 m lang (Planum 13). Zusätzlich wurden bis zu 0,06 m starke Sandsteinplatten dazu verwendet, den Drainagekanal abzudecken. Die größte Platte misst 61 x 50 x 6 cm bei einem Gewicht von etwa 25 kg. Vor der Ofenbrust liegende ähnliche Platten weisen darauf hin, dass die Drainage ursprünglich über den Bereich des Ofenfundamentes hinausreichte, um das aufgefangene Wasser in ausreichend großem Abstand zur Brustseite abfließen zu lassen. Unterhalb dieser Steine befindet sich jedoch kein steingefasster Kanal, so dass fraglich bleiben muss, ob die Drainage tatsächlich eine derartige Länge besaß. Dieser Steinkanal, den G. Agricola 1556/57 in seinem Werk „De re metallica libri XII“ als „Abzucht“[14] bezeichnet, entwässerte noch während der Grabung 1996 das gesamte Gelände hinter dem Ofen 2, war also noch in voller Funktion!

Beschickungsfläche 2

Die Beschickungsfläche befindet sich auf der Rückseite des Ofens und liegt etwa 2,25 m oberhalb der Ofenbasis (Planum 1; *Abb. 57; 58*: Quadrate I-L, I-M, I-Q, II-J, II-K, II-N, II-O, II-P, II-Q, VI-P, VI-Q, VII-A, VII-B, VII-C). Sie erstreckt sich mit 11,5 m Breite und 3,5 m Tiefe über einen Bereich von etwa 46 m^2. Der ehemalige Laufhorizont ist durchsetzt von kleinen Holzkohle-, Erz- und Ofenwandbruchstücken und weist direkt hinter dem Ofen mit 0,3 m die größte Mächtigkeit auf, während er an den Rändern deutlich an Stärke abnimmt. Die Beschickungsfläche reicht nicht bis an die Rückseite des Ofens heran, sondern endet in einer Entfernung von etwa 0,5–0,6 m am äußeren Rand von Drainage 1. Auf der dem Hang zugewandten Seite wird die künstlich angelegte Beschickungsfläche durch eine einreihige Steinsetzung begrenzt (*Abb. 24; 25*). Entlang dieser Begrenzung zieht sich eine bis zu 1,25 m breite und bis zu 0,2 m mächtige Holzkohleschicht, die auf eine Lagerung dieses Rohstoffs innerhalb der Beschickungsfläche schließen lässt.

Frischherd

Am Nordostrand der Beschickungsfläche konnte ein Befund freigelegt werden, der als Rest eines Frischherdes interpretiert werden kann (Planum 2: Quadrat II-P) (*Abb. 23*).

Die hufeisenförmige Struktur ist 1,2–1,3 m breit, etwa 2,3 m lang und an den Rändern leicht erhöht. Eine bis zu 0,1 m mächtige, verbackene Schicht aus aufgeschmolzenen Resten von rötlichem Ofenlehm, kleinen Steinen und Resten von Roheisen lässt auf eine starke Hitzeeinwirkung schließen. Im Zentrum war der Befund zum Teil mit Holzkohlerückständen verfüllt. Stark eisenhaltige Schlacke, die bei einem Frischprozess in großen Mengen angefallen sein müsste, ließ sich jedoch nur in sehr geringer Stückzahl nachweisen (*Abb. 40*). Sie konnten leider nicht untersucht werden.

Steinsetzung

Auf der dem Hang zugewandten Seite wird die Beschickungsfläche durch eine von Nordwest nach Südost verlaufende Steinsetzung begrenzt (*Abb. 24; 25*).

Bei einer Länge von etwa 10 m ist die Steinreihe bis zu 0,5 m breit und lediglich 0,3 m hoch (Plana 1/2; *Abb. 57–60*: Quadrate VII-A, VII-B, VII-C, I-P, I-Q). Etwa 70 unbearbeitete Sand- und Kalksteine wurden für den Bau verwendet. Der größte Stein hat ein Gewicht von 55 kg und misst 59 x 30 x 19 cm. Das durchschnittliche Gewicht der Konstruktionssteine, die in Trockenmauerweise übereinandergeschichtet wurden, liegt bei etwa 9 kg. An seinem nordwestlichen Ende ist der ansonsten vollständig erhaltene Befund

[14] Prescher 1985 (Agricola, IX. Buch, CCXCVII).



Abb. 23. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Möglicher Frischherd (Quadrat II-P, Planum 2).



Abb. 24. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Hinter der Rückseite von Ofen 2 befand sich eine höher gelegene Beschickungsfläche. Deutlich ist die Steinsetzung (Pfeil) zu erkennen, die deren hangseitige Begrenzung bildet (Foto Aerophoto Meinerzhagen).

gestört (Planum 2: Quadrat I-P). Ein schmaler Graben, der als Radspur interpretiert werden kann, verläuft über die Kante der niedrigen Mauer. Steine, die



Abb. 25. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Steinsetzung im rückwärtigen Bereich der ehemaligen Beschickungsfläche (Ausschnitt).

aufgrund ihrer Größe und Position eindeutig der Steinsetzung zuzuordnen waren, wurden an dieser Stelle aus ihrer ursprünglichen Position heraus verlagert und befinden sich nicht mehr in situ. Aufgrund der geringen Höhe und der einfachen Konstruktionsweise stellt die schmale Steinsetzung kein echtes Hindernis dar und kann somit nicht dazu gedient haben, den Zugang zur Beschickungsfläche zu verhindern. Sicher wollte man diese aber deutlich gegen den Rest des Hüttenplatzes abgrenzen. Dafür spricht unter anderem, dass viele Radspuren vor der Steinsetzung enden und nicht in die Arbeitsfläche hineinreichen. Primär sollte die Konstruktion sehr wahrscheinlich ein Nachrutschen des Hanges verhindern und die bis zu 0,35 m tiefe Eingrabung der horizontalen Beschickungsfläche 2 hangseitig abstützen.

Fläche für Balggerüst und Antriebswelle

Neben der Blaseseite des Ofens wurde eine 4,5 m lange und 3,6 m breite horizontale Fläche angelegt, die etwa 1,5 m tief in den Hang eingegraben wurde (Quadrate II-E, II-F, II-J, II-K) (*Abb. 20,1.2*). Diese annähernd rechteckige Fläche bedeckte ein schwarzgraues Sediment, das mit Holzkohleresten und Ofenwandbruchstücken durchsetzt war. Ihre Basis liegt auf einer Höhe mit der Ofenbasis (Planum 13; *Abb. 65,3*). Entlang der hangseitigen Rückwand, die in etwa parallel zur Rückwand des Ofens verläuft, erstreckt sich eine 0,75 m breite und 3,5 m lange Steinsetzung aus kleinen bis mittelgroßen Sandsteinen, vermischt mit vereinzelten Schlackestücken (Plana 3–5; *Abb. 61–63,1*: Quadrate II-J, II-K). Insgesamt konnten aus diesem Bereich ca. 700 kg Steine geborgen werden, die ehemals in Trockenmauerweise übereinandergeschichtet den Hang stabilisieren sollten. In Quadrat II-F befanden sich zwei steinverkeilte Pfostensetzungen (Pfosten 5/6) innerhalb der Plana 10 (*Abb. 64,3*) und 11 (*Abb. 65,1*;

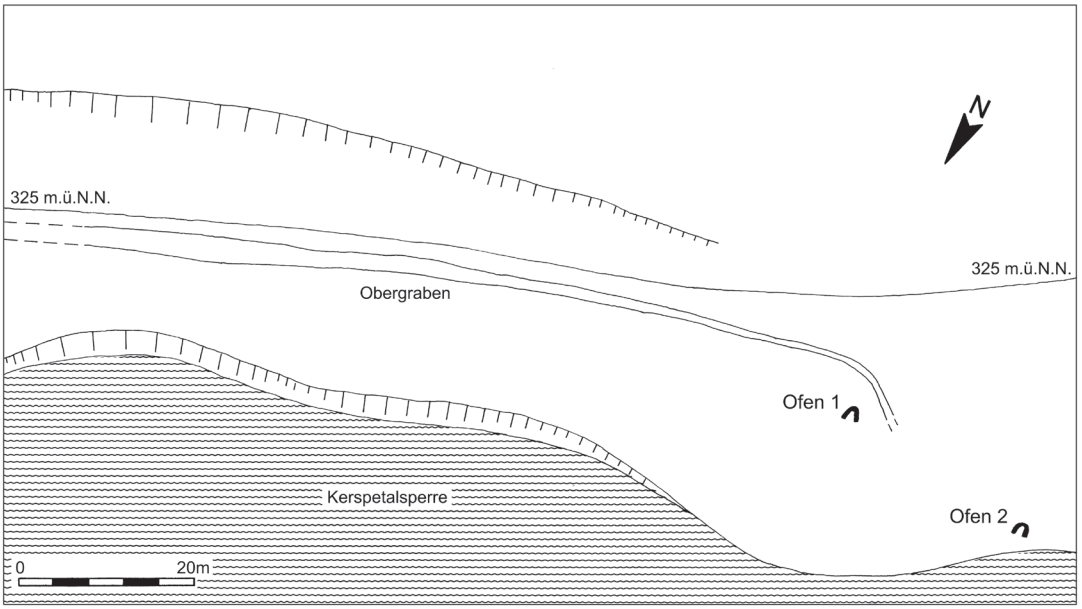


Abb. 26. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verlauf des Obergrabens.

27,3–4). Zusätzlich wurden Fragmente zweier Eisenstangen mit aufgeschobenem Ring gefunden (Plana 5/6; *Abb. 63,1.2*: Quadrat II-K) (*Abb. 41*). Da die ursprüngliche Höhe des Ofens wahrscheinlich etwa 3,0–3,5 m betrug, müssten im Verhältnis dazu die benötigten Blasebälge schätzungsweise mindestens 2,5–3,0 m lang gewesen sein, um ausreichend Wind liefern zu können. Sowohl die Pfostensetzungen als auch die Eisenteile gehören möglicherweise zu einem hölzernen Balggerüst oder einer Antriebswelle zum Betrieb der Blasebälge, die auf dieser 4,5 m langen Fläche neben der Blaseseite des Ofens untergebracht waren.

Obergraben

Ein Obergraben, durch den Wasser auf die Wasserräder von Ofen 1 und Ofen 2 geleitet wurde, konnte am südlichen Rand der Grabungsfläche oberhalb des Hanges erfasst werden (*Abb. 26; 41*).

Das Sediment, mit dem der Graben verfüllt war, wurde von schmalen Bändern horizontaler Kieslagen durchzogen. Ofenwandbruchstücke (*Abb. 37*) und Ofensteinfragmente (*Abb. 36*) waren vereinzelt ebenfalls enthalten (Plana 3/4; *Abb. 61; 62:* Quadrat XXIV-A), können aufgrund ihrer Fundlage allerdings weder von Ofen 1 noch von Ofen 2 stammen. Die Existenz mindestens eines weiteren Ofens außerhalb des ergrabenen Bereichs ist daher sehr wahrscheinlich. Innerhalb der untersuchten Fläche erstreckt sich der Obergraben über eine Länge von etwa 35 m (Quadrate XXIV-A, XIV-E, XIII-H, XIII-M, XIII-G, XIII-C, XIII-B, VIII-O, VIII-J). Obwohl sein Verlauf in östlicher Richtung anhand der Geländemorphologie noch über zusätzliche 72 m sichtbar ist, konnte ein zugehöriger Stauteich auch in einem Umkreis von 1 km nicht lokalisiert werden. Der als Spitzgraben angelegte Wasserzufluss hatte von Ost nach West ein Gefälle von 0,11 m (Profile 5–7, 12–14; *Abb. 68–70; 77; 78*). Er war an seiner Oberkante etwa 2,25 m breit und verengte sich bis zur Grabensohle auf etwa 0,7–1,0 m (Planum 4). Einbauten aus Holz oder Stein zur Stabilisierung der Seitenwände konnten nicht nachgewiesen werden. Der Obergraben stört die zu Ofen 1 gehörige Beschickungsfläche (Profil 5/6). Demzufolge wurde er erst angelegt, als diese bereits vorhanden war. Daraus ergibt sich eine chronologische Abfolge, nach der Ofen 1 älter ist als der Obergraben und der mit diesem verbundene Ofen 2. Der Graben verläuft in etwa 5 m Entfernung entlang der Rückseite von Ofen 1 und ist an seinem westlichen Ende lediglich 0,45 m breit (Quadrat VIII-J). Sehr wahrscheinlich wurde das Wasser im weiteren Verlauf mittels eines obertägigen Holzgerinnes über eine Distanz von etwa 14 m auf das Wasserrad von Ofen 2 geleitet. Zwei steinverkeilte Pfostenlöcher (*Abb. 27,2*) könnten mit einem solchen Gerinne in Verbindung gebracht werden. Da direkt im Anschluss an die Pfostensetzung in Quadrat II-O die Position der Radstube vermutet werden kann, ist die Rekonstruktion eines Obergrabens in Kombination mit einem obertägigem Gerinne durchaus denkbar (*Abb. 43; 45,1.2*). Weil sich auf der Rückseite von Ofen 1 ein Pfostenloch (Pfosten 1) in identischer Position befindet, scheint auch dort die Rekonstruktion eines obertägigen Gerinnes möglich zu sein. Ob man in diesem Fall das Wasser für beide Öfen aus demselben Obergraben ableitete, muss bezweifelt werden, da der Graben und Ofen 1 offensichtlich zu unterschiedlichen Zeiten errichtet und betrieben wurden.

Pfostengruben (Pfosten 2–8)

Sieben Pfostengruben, die sowohl im Negativverfahren ausgehoben als auch im Profil angeschnitten wurden, können Ofen 2 zugeordnet werden (*Abb. 27*). Die Standspuren der Pfosten waren mit einem dunkel gefärbten Sediment aus stark zerkleinerten Holzkohle- und Ofenwandresten verfüllt. Organische Reste der ehemaligen Pfosten sind nicht erhalten. Die Pfostengruben lassen sich anhand ihrer stratigrafischen Lage in zwei Gruppen mit unterschiedlicher Zeitstellung aufteilen. Die durch einen Kranz aus Keilsteinen eingefassten Gruben sind offensichtlich jünger als diejenigen, denen die Keilsteine fehlen.

Pfostenlöcher mit Keilsteinen

Fünf Pfostenlöcher werden von großen unbearbeiteten Sandsteinen eingefasst (Quadrate II-O, I-G, II-F). Zwei gegeneinander versetzte Pfostengruben sind 0,5 m voneinander entfernt (Quadrat I-G). Die südliche Grube (Pfosten 2) ist insgesamt besser erhalten und ca. 0,5 m tief (*Abb. 27,1*). Sämtliche der insgesamt sieben kreisförmig angeordneten Keilsteine befinden sich in situ (Planum 3; *Abb. 61*). Der größte hat ein Gewicht von 42 kg bei Abmessungen von 52 x 38 x 14 cm. Die übrigen sechs Keilsteine wiegen durchschnittlich jeweils etwa 6 kg. Der Gesamtdurchmesser des Pfostenlochs beträgt etwa 0,6 m, während sich der Innendurchmesser auf lediglich 0,3 m beläuft.

Die nördliche Pfostengrube (Pfosten 3) ist demgegenüber nicht kreisrund, sondern zeigt aufgrund ihrer Lage an der Abbruchkante des Geländes eine unregelmäßige Form (Quadrat I-G) (*Abb. 27,6*). Demzufolge befinden sich auch nur wenige der zugehörigen Keilsteine in situ. Der größte verbaute Stein hat die Abmessungen 33 x 23 x 16 cm und ein Gewicht von etwa 17 kg. Das ovale Pfostenloch ist inklusive der Keilsteine etwa 0,93 m lang und 0,5 m breit. Der Innendurchmesser der 0,45 m tiefen Pfostengrube beträgt an der weitesten Stelle etwa 0,4 m. Da vom Aufgehenden nichts erhalten ist, kann nur über die Position innerhalb der Grabungsfläche auf die ehemalige Funktion geschlossen werden. Die beiden Pfostenlöcher sind lediglich etwa 2,8 bzw. 2 m von der Windseite des Ofens entfernt. Die in ihnen gegründeten ca. 0,3–0,4 m starken Pfosten könnten demzufolge als tragende Elemente sowohl zu einem den Ofen überspannenden Dach mit einer Abzugsöffnung für den Rauch, einer Beschickungsrampe, einem Schutzbau für benötigte Rohstoffe oder zu einem an die Ofenwand angebauten Vordach gehört haben.

Ein weiteres, von sechs Keilsteinen eingefasstes Pfostenloch (Pfosten 4) konnte innerhalb der rückseitigen Beschickungsfläche ergraben werden (Quadrat II-O; *Abb. 61*) (*Abb. 27,2*). Der größte Stein misst 40 x 20 x 8 cm und wiegt etwa 18,5 kg. Der Außendurchmesser der Pfostengrube beträgt 0,6 m, während sich der Innendurchmesser auf lediglich 0,3 m beläuft. Das Pfostenloch ist etwa 0,4 m tief und grenzt unmittelbar westlich an den vermutlichen Frischherd. Da die Pfostensetzung diesen Befund stört, wurde sie erst errichtet, als der Frischherd bereits existierte bzw. bereits nicht mehr in Betrieb war. Darüber hinaus zeigen weder die Keilsteine noch das Sediment, mit dem die Pfostengrube verfüllt war, Spuren einer Hitzeeinwirkung. Das Pfostenloch befindet sich in 2,7 m Entfernung oberhalb der Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle. Der ehemalige Pfosten diente sehr wahrscheinlich dazu, ein hölzernes Gerinne zu tragen, über das ausgehend vom Obergraben Wasser geleitet wurde, um vermittels eines Wasserrades die notwendige Energie zum Betrieb der Blasebälge zu gewinnen.

Zwei weitere Pfostenlöcher (Pfosten 5/6) liegen innerhalb der Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle (Planum 10/11; *Abb. 64,3*: Quadrat II-F) (*Abb. 27,3.4*). Sie sind in einem Abstand von etwa 0,40 m parallel angeordnet und von jeweils vier Keilsteinen eingefasst. Der Außendurchmesser der Gruben beträgt inklusive der Keilsteine etwa 0,4 m, während sich der Innendurchmesser auf ca. 0,25–0,3 m beläuft. Da die Befunde unter den Wasserspiegel der Kerspe reichten, konnte ihre Tiefe aus grabungstechnischen Gründen nicht ermittelt werden. Die beiden Pfostenlöcher waren möglicherweise Teil einer hölzernen Konstruktion, an der die Antriebswelle für die Blasebälge angebracht war.

Pfostenlöcher ohne Keilsteine

Ein zusätzliches Pfostenloch (Pfosten 7) konnte am Übergang der Quadrate II-K/II-J in Planum 4/5 (*Abb. 62; 63,1*) freigelegt werden. Die Pfostengrube wurde etwa 0,5 m tief ausgehoben und hat einen Durchmesser von 0,42 m. Sie grenzt unmittelbar an die Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle (Profil 9; *Abb. 72*).

Ein zweites, 0,38 m langes und 0,6 m breites, unverkeiltes Pfostenloch (Pfosten 8) befindet sich zwischen den Quadraten I-M/I-L in Planum 3 (*Abb. 61*) (*Abb. 27,5*). Diese 0,3–0,4 m tiefe Pfostengrube zeigt als einzige eine quadratische Form. Sie wird von der Beschickungsfläche überlagert (Profil 11; *Abb. 76*) und geht dieser somit zeitlich voraus. Die beiden Pfostenlöcher ohne Keilsteine stammen möglicherweise aus einer Frühphase des Ofens. Mit Sicherheit sind sie jedoch älter als die Pfostenlöcher mit Keilsteinen.

Radspuren

Fünf grabenähnliche Vertiefungen verlaufen von Nordwesten nach Südosten über nahezu die gesamte Grabungsfläche (Planum 1/2; *Abb. 49–52*). Die sehr schmalen Gräben unterscheiden sich aufgrund ihrer wesentlich geringeren Ausmaße deutlich vom Drainagekanal (Drainage 1) und



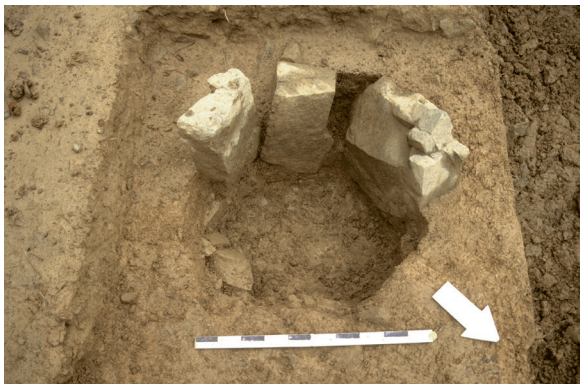
1



2



3



4



5



6

Abb. 27. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Pfostengruben. 1: Pfostengrube 2 (Quadrat I-G, Planum 3); 2: Pfostengrube 4 mit Spuren von Hitzeeinwirkung (Quadrat II-O, Planum 3); 3: Pfostengrube 5 (Quadrat II-F, Planum 10); 4: Pfostengrube 6 (Quadrat II-F, Planum 11); 5: Pfostengrube 8 (Quadrat I-M/Quadrat I-L, Planum 3); 6: Pfostengrube 3 (Quadrat I-G, Planum 3) (Fotos R. Potyka, Chr. Willms).

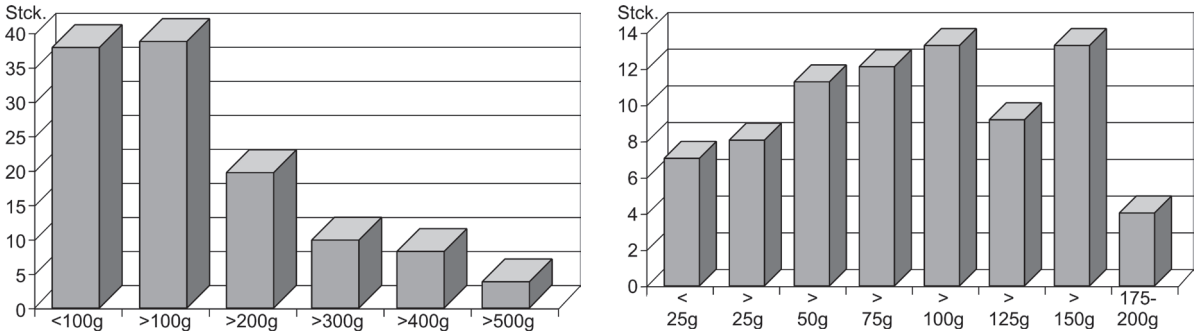


Abb. 28. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: Verteilung der Erze auf Gewichtsklassen; 2: Gewichtsklasse bis 200 g.

dem als Wasserzuleitung dienenden Obergraben. Die Befunde wurden über eine Länge von etwa 12 m dokumentiert, wobei Breite und Tiefe eines jeden Grabens in seinem Verlauf variiert. Aufgrund der geringen Tiefe und Breite von wenigen Zentimetern sind die schmalen Gräben sehr wahrscheinlich als Radspuren zu deuten. Sie könnten z. B. von Wagen oder Schubkarren stammen, mit denen die notwendigen Rohstoffe zum Hüttenplatz transportiert bzw. innerhalb des Hüttenplatzes bewegt wurden. Im Süden reichen die Radspuren über die Grenze der Grabungsfläche hinaus, ohne dass Aussagen über ihren weiteren Verlauf getroffen werden konnten. Auffällig ist, dass keine der Spuren in die Beschickungsfläche hineinreicht, die durch eine Steinsetzung gegen den restlichen Bereich des Hüttenplatzes abgegrenzt wurde. Alle Radspuren führen an der Beschickungsfläche vorbei in Richtung auf das im südwestlichen Bereich des Grabungsplatzes vermutete Erzlager.

Rohstofflager

Holzkohlelager

Insgesamt konnten 14.310 g Holzkohle geborgen werden (*Abb. 31*). Davon entfallen etwa 3.330 g auf die ebene Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle (Quadrate II-E, II-F). Auch im Randbereich der Schlackenhalde ließen sich erwartungsgemäß Rückstände von Holzkohlen, die den abgekippten Schlacken nach der Ofenreise anhafteten, in einer Menge von etwa 610 g nachweisen. Die größte Holzkohlekonzentration pro Quadratmeter liegt jedoch im Bereich der Beschickungsfläche. Aus den Quadraten I-M, II-J, II-K, VI-Q, II-N und II-O stammen mit 9.400 g nahezu zwei Drittel aller Holzkohlen der gesamten Grabungsfläche. Sehr wahrscheinlich sind viele Kohlen aus diesem Bereich im Zuge der Beschickung des Ofens zu Boden gefallen. Diese Begründung allein reicht allerdings noch nicht aus, um die großen Fundmengen in einigen Teilbereichen zu erklären. Im Planum 1/2 sowie in den Profilen 9/10/11 war zu erkennen, dass sich eine stellenweise bis zu 0,15 m mächtige Schicht aus Holzkohlerückständen entlang der Steinsetzung erstreckt, welche die Beschickungsfläche nach Süden begrenzt. Der Befund lässt darauf schließen, dass die Kohlen entlang dieser Steinsetzung gelagert wurden, bevor sie von der Beschickungsfläche aus auf kürzestem Weg durch die Gicht in den Ofen aufgegeben wurden. Da die Holzkohle jedoch vor allem gegen Feuchtigkeit geschützt werden musste und keinerlei Spuren eines entsprechenden Schutzbaus im Bereich der Beschickungsfläche nachweisbar waren, ist es durchaus möglich, dass der Rohstoff an dieser Stelle lediglich kurzzeitig zwischengelagert wurde, während sich das eigentliche, wahrscheinlich von einem Schutzbau umgebene Holzkohledepot außerhalb der Grabungsfläche befindet.

Erzlager

Nach Aussage der geophysikalischen Messdaten (*Abb. 11; 12*) konzentrieren sich Erze im südwestlichen Bereich der untersuchten Fläche. Dieses zunächst vorläufige Ergebnis wurde durch die Ausgrabung bestätigt. Innerhalb der Quadrate I-N und I-O konnten auf einer Fläche von etwa 12,5 m^2 insgesamt 132 Erzstücke dokumentiert werden (*Abb. 35*). Diese hohe Fundkonzentration spricht dafür, an dieser Stelle ein Erzdepot zu rekonstruieren. Wahrscheinlich wurde jedoch nur der Randbereich des Erzlagers erfasst. Im anschließenden Bereich verhinderte der im Rahmen der Talsperrensanierung aufgeschobene und mehrere Meter mächtige Aushub (*Abb. 6*) weitere archäologische Untersuchungen. Nahezu die gesamten Erze der Quadrate I-N und I-O stammten aus Planum 1/2 und lagen etwa 0,2–0,3 m unterhalb der tonigen Seesedimentschicht. Das größte Erzstück wiegt etwa 1.400 g, während die leichtesten noch kartierten Erze lediglich etwa 10 g wiegen. Die überwiegende Menge ist jedoch zwischen 10 und 200 g schwer (*Abb. 28,1*).

Eine nähere Untersuchung in der Gewichtsklasse bis 200 g ergab, dass die meisten Erze dieser Katego-

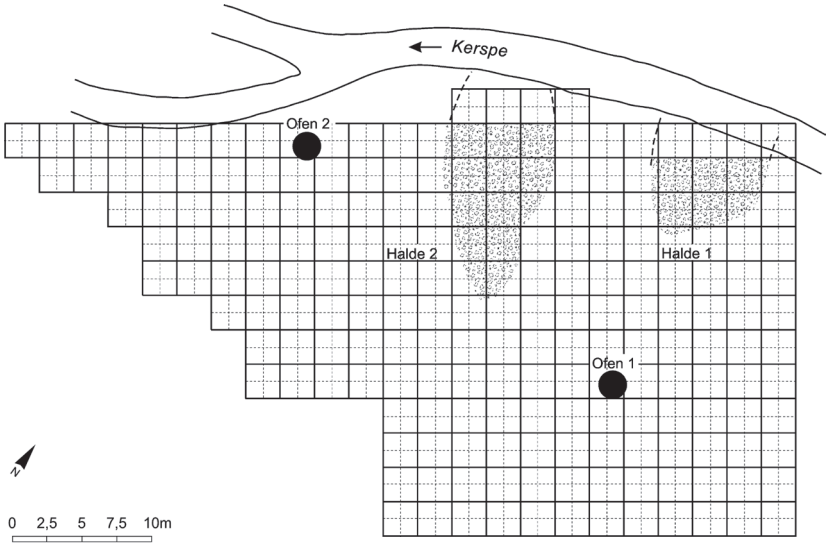


Abb. 29. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Position der Schlackenhalden.

rie zwischen 50 g und 150 g wiegen (*Abb. 28,2*). Die einzigen Stücke zwischen 5–20 g stammen vom Boden der Radspuren, die in Richtung auf das Erzlager verlaufen. Allerdings ließ sich anhand der wenigen aufgefundenen Stücke nicht nachweisen, ob diese Erze bereits gepocht waren, bevor sie zu Boden fielen, oder ob sie erst nachdem sie bereits zu Boden gefallen waren durch das Gewicht z. B. der Transportkarren zerkleinert wurden. Wahrscheinlich sind diese aufgefundenen Erze jedoch noch nicht zerkleinert, so dass in den Quadraten I-N und I-O lediglich der Randbereich des Depots für eventuell bergfrisches Erz erfasst wurde. Dieses Depot wurde am Hang oberhalb des Ofens angelegt und befindet sich etwa auf der gleichen Höhe mit der Beschickungsfläche. Der Abstand zum Ofen beträgt ca. 6 m. Die zugehörige Pochstelle liegt sehr wahrscheinlich weiter westlich unterhalb des im Rahmen der Talsperrensanierung aufgeschobenen Aushubs und konnte daher nicht näher untersucht werden.

Schlackenhalde (Halde 2)

In unmittelbarer Nähe von Ofen 2 lagen nur 123 Stück glasige Schlacke (*Abb. 39*). An zwei Stellen lassen sich jedoch zumindest relative „Fundhäufungen" feststellen. Innerhalb der Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle wurden 49 glasige Schlacken geborgen (Quadrate II-E, II-F, II-K). Diese Fundkonzentration steht in Zusammenhang mit der Nähe zum Ofenabstich. Weiter östlich konnten in Quadrat III-J insgesamt 37 glasige Schlacken kartiert werden, womit in diesem Bereich die höchste Schlackenkonzentration pro Quadratmeter innerhalb der ausgegrabenen Fläche um Ofen 2 vorliegt. Diesen Eindruck bestätigte auch Profil 20, an dessen östlichem Rand eine entsprechende, mit Schlacke durchsetzte Schicht erfasst werden konnte. Diese dunkle, fast schwarze Schicht, die stark mit Grus glasiger Schlacken durchsetzt war, erschien außerdem in den Plana 2/3. Die Färbung wurde vor allem durch stark zerkleinerte Holzkohlen hervorgerufen, die sehr wahrscheinlich zusammen mit der Schlacke aus dem Ofen abgestochen wurden und im Anschluss ebenfalls auf die Halde gelangten. Wie anhand der relativ geringen Schlackenkonzentration zu erkennen war, wurde in Quadrat III-J lediglich der äußerste Rand der Halde erfasst. Bereits durch die zu Beginn der Grabung durchgeführte Oberflächenprospektion konnte jedoch ihre gesamte Ausdehnung annäherungsweise ermittelt werden. Die Halde reicht demnach vom nordöstlichen bzw. nordwestlichen Ende der Quadrate II bzw. III bis in Quadrat VII, wo das südliche Ende der Halde zu lokalisieren war (Quadrate VII-C, VII-D). Sie erreicht somit eine West-Ost-Ausdehnung von etwa 10 m und eine Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 13 m (*Abb. 29*).

Weg

Bereits während der Prospektion im Vorfeld der Ausgrabung wurde ein ehemaliger Weg im Süden der Grabungsfläche lokalisiert (*Abb. 6*). Er verläuft hinter der Rückseite der beiden Öfen, von Nordwest nach Südost diagonal über den Rand der Grabungsfläche hinaus (*Abb. 43*). In nordwestliche Richtung konnte der Weg aufgrund des aufgeschobenen Aushubs nicht weiter verfolgt werden. In südöstlicher Richtung verhinderte starker Bewuchs oberhalb der ehemaligen Uferkante der Kerspe sowie die Anlage eines modernen Weges die weitere Dokumentation. Auch im Rahmen der geophysikalischen Untersu-

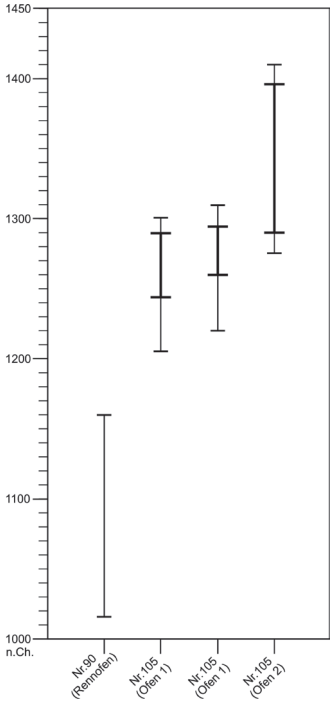


Abb. 30. Kierspe, Kerspetalsperre. Ergebnisse der 14C-Datierung von Verhüttungsplatz Nr. 90 und Nr. 105 (vgl. S. 45 Anm. 7).

chung wurde der Befund sichtbar und zeigt sich durch mittelhohe Meßwerte in der dreidimensionalen Darstellung (*Abb. 12*). Besonders gut zu erkennen ist der Wegeverlauf in der Falschfarbendarstellung, bei der er sich in Form einer weißen Linie im linken unteren Bildbereich deutlich abzeichnet (*Abb. 11*). In den Quadraten VII-N und XII-A war der Weg bereits in Planum 1/2 sichtbar. Zuerst wurde das bis zu einem Meter mächtige, tonige Seesediment abgetragen. Dieses unmittelbar auf dem Weg aufliegende tonige Sediment zeigte stellenweise eine rote bis braunrote Färbung, die nachweislich nicht durch Hitzeeinwirkung entstanden ist, sondern auf die Korrosion von einzelnen Eisen- bzw. stark eisenhaltigen Schlackestücken zurückgeführt werden kann, die sehr wahrscheinlich beim Transport zu Boden fielen. Der ca. 4,2 m breite Weg wird durch eine kompakte und ausgesprochen feste Steinlage gebildet, die mit den üblichen Grabungswerkzeugen nicht durchdrungen werden konnte. Ob er den beiden Öfen und dem Verhüttungsplatz zuzuordnen ist, muss letztendlich fraglich bleiben, da sich keinerlei Anhaltspunkte, zum Beispiel in Form von Keramik finden ließen, die eine chronologische Einordnung dieses Befundes ermöglicht hätten. Dass der Weg jedoch auf einem stratigrafischen Niveau mit der Beschickungsfläche von Ofen 2 liegt, spricht zusammen mit den Korrosionsspuren dafür, ihn in Zusammenhang mit dem Verhüttungsplatz zu bringen.

14C-Datierung

Unmittelbar am Ofen wurde eine Holzkohlenprobe (Proben-Nr. Beta-103851) vom Grund der Drainage 1 entnommen (Planum 13: Quadrat II-J). Die 14C-Analyse ergab ein konventionelles Alter (Jahre vor 1950) von 650 ± 50 Jahren BP und somit ein kalibriertes Alter von cal AD 1275–1410. Demnach wurde Ofen 2 sehr wahrscheinlich zwischen Ende des 13. und dem Beginn des 14. Jahrhundert betrieben (*Abb. 30*).

FUNDE

Holzkohle

Die Gesamtmenge der Holzkohlen (größer als 0,5 cm) innerhalb der Grabungsfläche beträgt 15.520 g (*Abb. 31*).

Betrachtet man die Verteilung auf das unmittelbare Umfeld beider Öfen, so wird deutlich, dass die Holzkohlenmenge mit 14.310 g an Ofen 2 etwa zwölfmal größer ist als an Ofen 1, an dem lediglich 1.210 g verzeichnet wurden. Die wenigen Holzkohlen im Umfeld von Ofen 1 lassen es nicht zu, von einem Rohstofflager zu sprechen. Aus dem Abstichbereich vor der Ofenbrust stammen lediglich 970 g, die den Quadraten VIII-Q, VIII-M und IX-N zuzuordnen sind. Auch im Bereich der zugehörigen Beschickungsfläche konnte mit 200 g verhältnismäßig wenig Holzkohle dokumentiert werden. Die restliche Grabungsfläche um Ofen 1 war in Bezug auf Holzkohle nahezu fundleer. Es entsteht der Eindruck, als sei der gesamte Bereich nach der Stilllegung gereinigt worden, um nutzbare Rohstoffe bei der Verhüttung in Ofen 2 wiederzuverwenden.

Ein anderes Bild bietet sich an Ofen 2. Die stärksten Konzentrationen traten mit insgesamt 10.150 g in den Plana 1–4 der hangaufwärts gelegenen Beschickungsfläche auf. Da dies etwa 80 % der Gesamtmenge entspricht, kann man davon ausgehen, dass sich an dieser Stelle ein zu Ofen 2 gehöriges Holzkohlelager befunden hat. Der Bereich vor dem Ofenabstich lieferte 1.650 g (Quadrate I-H, I-E), während aus der Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle (Quadrat II-F) 1.850 g Holzkohle entnommen werden konnten. Die wahrscheinlich zusammen mit anderen Verhüttungsrückständen auf der Schlackenhalde (Quadrat III-J) abgekippten Holzkohlen machen demgegenüber mit lediglich 200 g eine verschwindend geringe Menge aus.

Einige Holzkohleproben wurden zur Makrorestanalyse an das Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster übergeben, wo entsprechende anthrakologische Untersuchungen von Prof. Dr. Focke Albers und Dipl.-Biol. Christiane Hoffmann vorgenommen worden sind.[15] Dabei zeigte sich,

[15] Die im Folgenden zusammengefassten Ergebnisse der anthrakologischen Untersuchungen sind dem Arbeitsbericht von Prof. Dr. Focke Albers und Dipl.-Biol. Christiane Hoffmann entnommen.

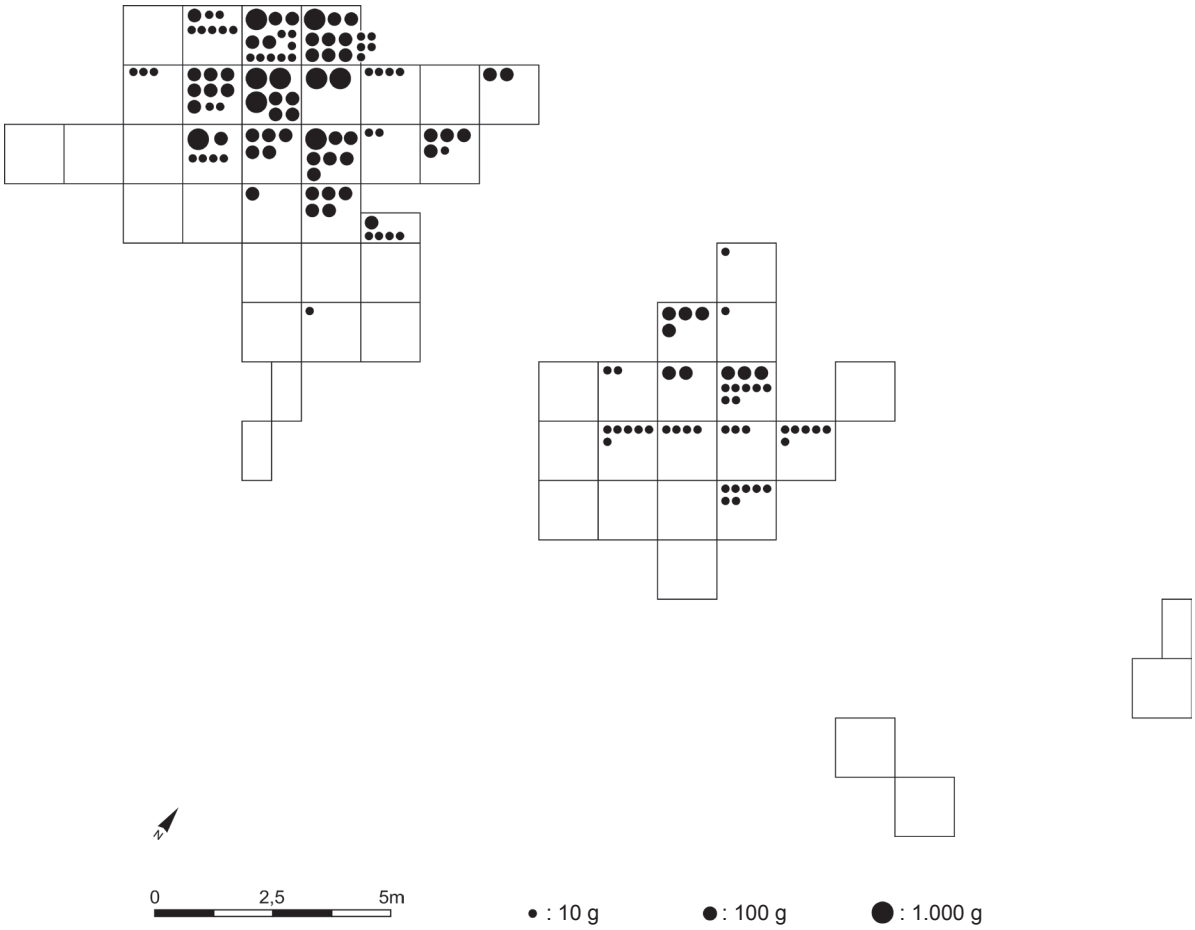


Abb. 31. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von Holzkohle in der Grabungsfläche.

dass für den Betrieb des älteren Ofens 1 ausschließlich Laubholzarten und keine Nadelhölzer vermeilert wurden (*Abb. 32*).

Das Artenspektrum ist mit neun nachgewiesenen Laubhölzern relativ umfangreich (*Abb. 32–34*).

Neben Eiche (*Quercus spec.*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Hainbuche (*Carpinus betulus*) wurden auch Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), Birke (*Betula spec.*), Weide (*Salix spec.*), Linde (*Tilia spec.*), Haselnuss (*Corylus avellana*) und Faulbaum (*Frangula alnus*) vermeilert. Ohne zusätzliche pollenanalytische Untersuchungen ist jedoch kaum zu entscheiden, ob tatsächlich eine bewusste Auswahl aus den zur Vermeilerung genutzten Beständen getroffen worden ist. Sicher ist jedoch, dass sowohl Eiche und Hainbuche als auch Rotbuche als sogenannte „Harthölzer" mit einem Gesamtanteil über 76,2 % über besonders gute Brenneigenschaften verfügen. Der Anteil der sogenannten „Weichhölzer" wie Birke, Schwarz-Erle und Weide macht ca. 22 % der gesamten Holzkohlemenge im Probenmaterial aus. Die übrigen Holzarten lassen sich nur anhand weniger Holzkohlen belegen.

Erz

In der gesamten Grabungsfläche wurden lediglich 176 Stücke Erz gefunden (*Abb. 35*) deren Gewicht überwiegend zwischen 100 und 200 g liegt (*Abb.28,1*).

Nahezu die gesamten Erze des Fundplatzes waren über das Planum 1/2 verstreut. Lediglich in Planum 9/10 konnte zusätzlich eine geringe Menge innerhalb der Fläche für das Balggerüst und die Antriebswelle dokumentiert werden. In unmittelbarer Ofennähe lagen dagegen nur wenige Erze. Anscheinend war man zur Zeit des Hüttenbetriebes äußerst sorgsam im Umgang mit diesem Rohstoff. Beinahe drei Viertel der gesamten Fundmenge konnten im Randbereich der Grabungsfläche innerhalb der Quadrate I-N und I-O geborgen werden. In diesem Bereich ist ein ehemaliges Erzlager zu vermuten, dass aufgrund der räumlichen Nähe wohl Ofen 2 zugeordnet werden muss. Bei den verhütteten Erzen handelt es sich überwiegend um manganhaltige Brauneisenerze (Limonit) (freundliche Mitteilung Prof. Dr. Ingo Keesmann). Der Eisengehalt der Brauneisenerze in der Untersuchungsregion liegt bei

Probenkomplex	BBB-2 29.07.96	BBB-3 01.07.96	BBB-6	Σ
Anzahl der untersuchten Holzkohlenstücke	97	110	49	256
Anteil in %				
Quercus spec. (Eiche)	53,6	49,1	32,6	47,7
Fagus sylvatica (Buche)	16,5	22,7	22,4	20,3
Betula spec. (Birke)	9,3	7,3	16,3	9,7
Carpinus betulus (Hainbuche)	8,2	9,1	6,1	8,2
Salix spec. (Weide)	2,0	8,2	10,2	6,2
Alnus glutinosa (Schwarz-Erle)	5,2	2,7	6,1	4,3
Frangula alnus (Faulbaum)	5,2	—	2,0	2,3
Corylus avellana (Haselstrauch)	—	—	4,1	0,8
Tilia spec. (Linde)	—	0,9	—	0,4

Abb. 32. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ergebnis der Holzartenbestimmung (Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster).

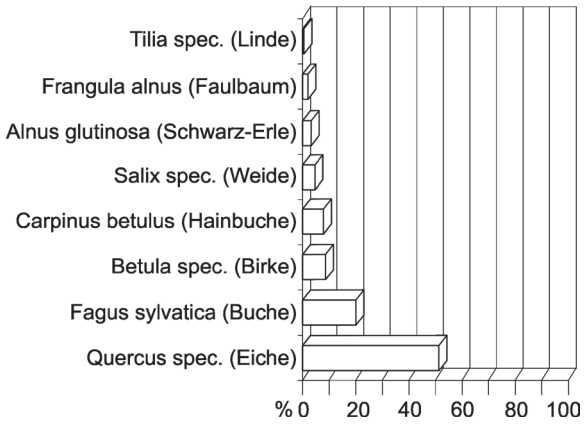


Abb. 33. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Zusammensetzung des Probenmaterials aus Planum 7/8 nach Holzarten.

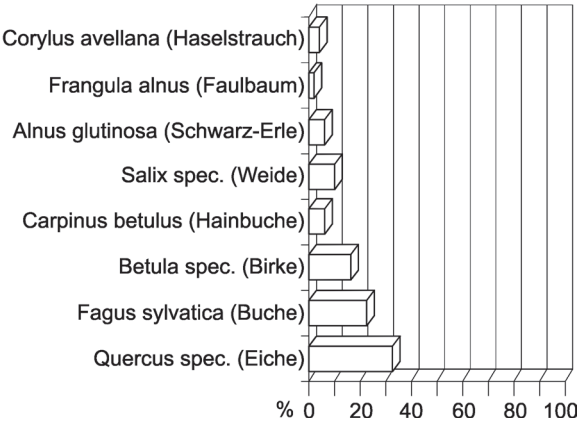


Abb. 34. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Zusammensetzung des Probenmaterials aus Planum 11 nach Holzarten.

max. 50 % Fe im Erz.[16] Entsprechende Brauneisenstein führende Gangausfüllungen kommen nordwestlich in etwa 5 km Entfernung zur Kerspetalsperre kleinräumig in der Umgebung der Ortschaften Hardenbicke, Ritterslöh und Wöste vor. Mehrere Quadratkilometer große Felder, auf denen Brauneisensteine als Lesefunde kartiert werden konnten, umgeben darüber hinaus die gesamte Talsperre.

[16] Sönnecken/Knau 1994, 439.

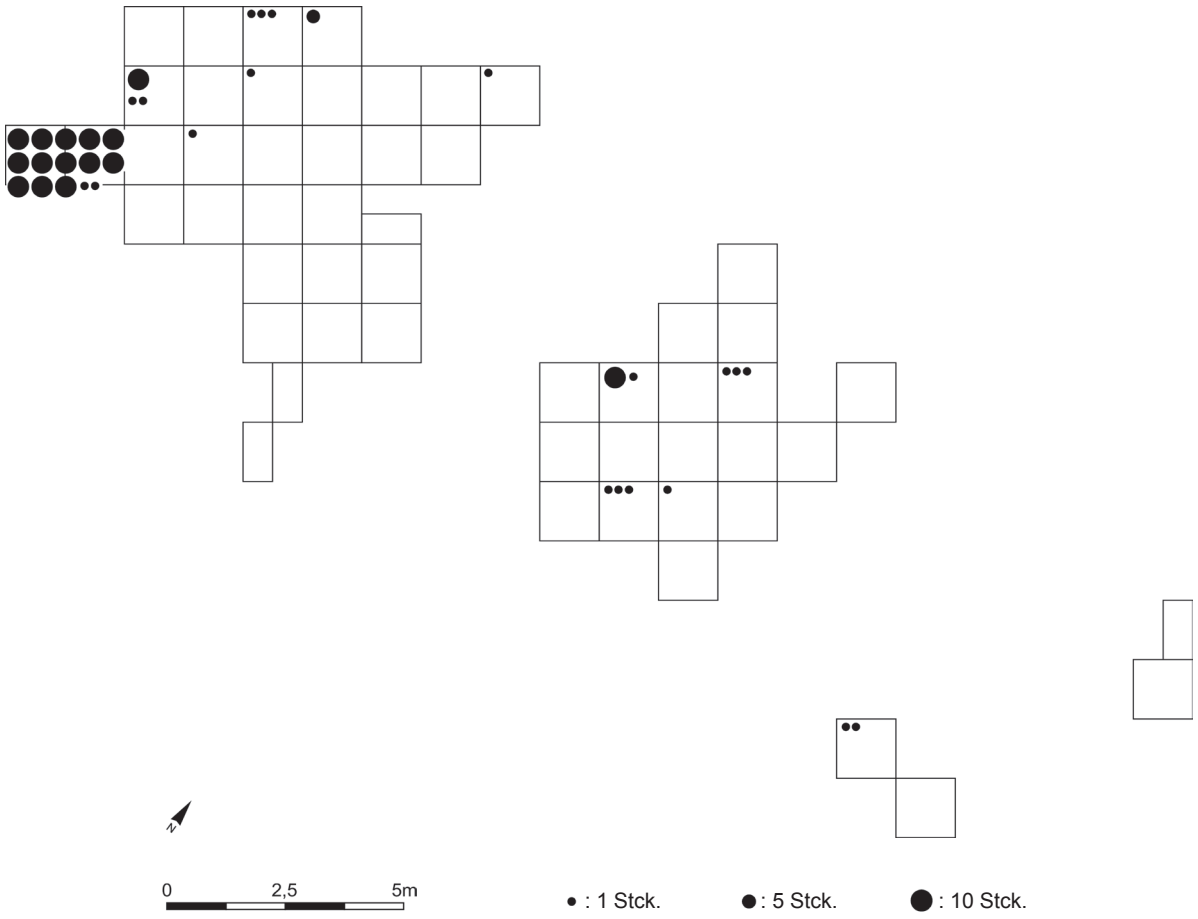


Abb. 35. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von Erz in der Grabungsfläche.

Ofenstein

Als Ofenstein wird der ausschließlich im Gestell verbaute, fein- bis mittelkörnige Grauwackensandstein bezeichnet. Es handelt sich um einen sehr harten paläozoischen Sandstein, der neben einem hohen Anteil Quarz auch verschiedenartige weitere Gesteinsreste enthält. Dank ihrer Zusammensetzung besitzt Grauwacke eine ausgesprochen hohe Hitzebeständigkeit. Aus diesem Grund war sie sehr gut als Gestellstein geeignet. Dieses Gestein erfüllte offenbar an den frühen Floßöfen im Wesentlichen den gleichen Zweck, wie die zum Bau neuzeitlicher Hochöfen verwendeten Schamottsteine. Die unterschiedlichen Farbschattierungen resultieren aus der Hitzeeinwirkung während des Ofenbetriebes und reichen von einem natürlichen Graubraun über ein Dunkelrot bis hin zu Weiß. Die weißen Ofensteine treten gehäuft in den Bereichen des Gestells auf, die den höchsten Temperaturen ausgesetzt waren. Die rote Verfärbung wurde demgegenüber offensichtlich durch niedrigere Temperaturen verursacht und konnte vor allem an denjenigen Ofensteinen beobachtet werden, die oberhalb des Gestells im Bereich des Ofenschachtes verbaut worden waren.

Insgesamt wurden ca. 549 kg Ofenstein geborgen (*Abb. 36*).

Im Verhältnis zu Ofen 1 ist die im Umfeld von Ofen 2 dokumentierte Fundmenge etwa dreimal größer. Eine Ursache für diese Mengenverteilung liegt darin, dass das Gestell von Ofen 1 nahezu vollständig erhalten ist, während Ofen 2 in diesem Bereich starke Beschädigungen aufweist. Im Umfeld von Ofen 1 lagen insgesamt 128 kg Ofenstein, wobei unmittelbar vor der teilweise zerstörten Brustseite 70 kg dieses Materials kartiert wurden. Die übrigen 58 kg waren über eine Fläche von etwa 25 m^2 hangabwärts verstreut. Bei nahezu dem gesamten Ofenstein handelt es sich um Versturz der vollständig zerstörten Brustseite.

In der Fläche um Ofen 2 fanden sich 428,4 kg Ofenstein. Aufgrund der Lage des Ofens an der Abbruchkante des Geländes konnten Teile des gemauerten Gestells bereits in Planum 1 freigelegt werden. Aus dem Schmelzraum stammen 70 kg verstürzter Ofenstein, während 224 kg hangabwärts verlagert waren. Auch bei diesem Material wird es sich überwiegend um Versturz aus der vollständig zerstörten Brustseite des Ofens handeln. Darüber hinaus lagen Ofensteinfragmente in dem hangaufwärts gelegenen Bereich auf der Rückseite des Ofens.

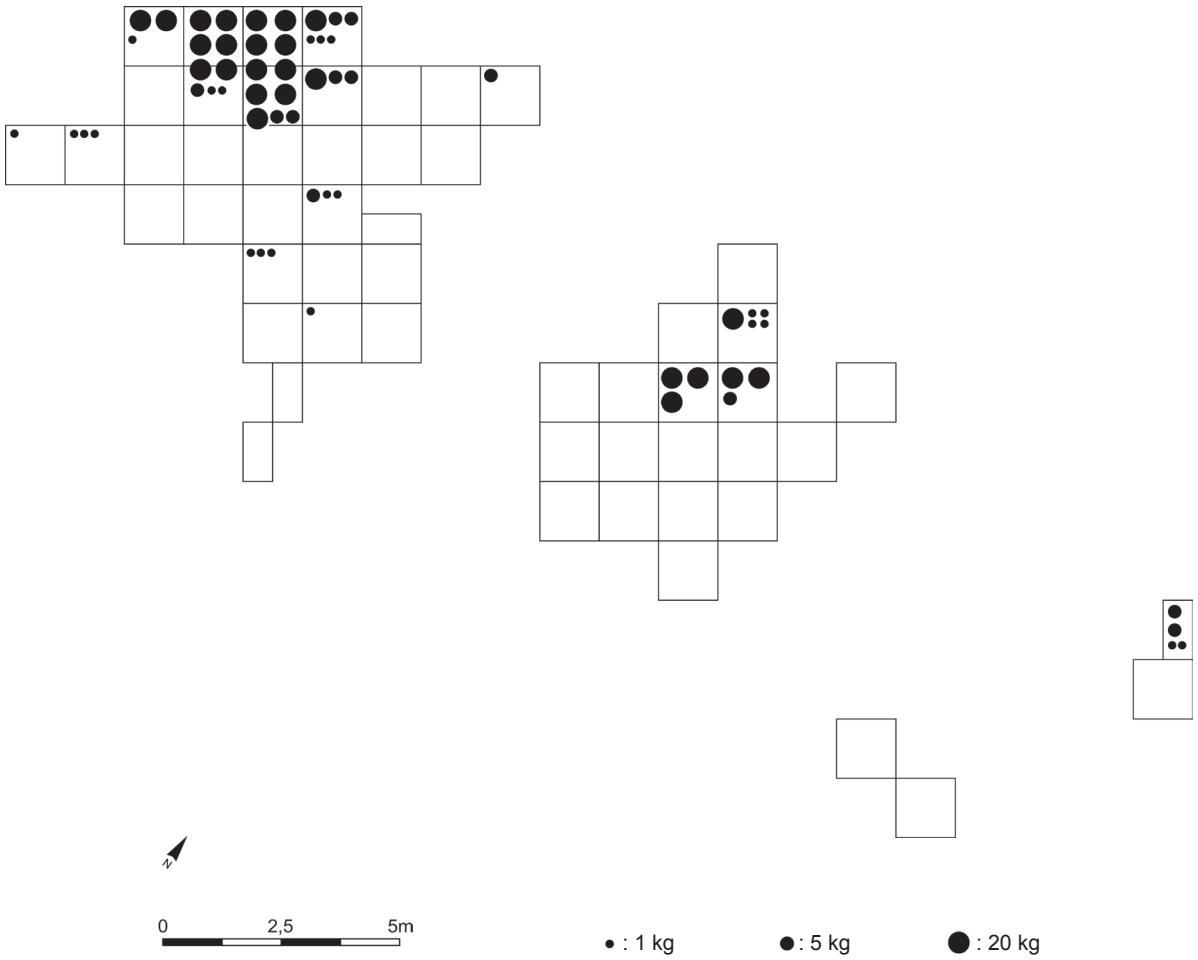


Abb. 36. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von Ofenstein in der Grabungsfläche.

Sie stammen aus dem Drainagegraben, der entlang der äußeren Ofenwand verläuft (Quadrate I-L, II-J, II-K). Weitere 15,4 kg Ofenstein waren über die übrige ausgegrabene Fläche verteilt und traten gehäuft im Bereich des südwestlich gelegenen Erzlagers und der von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Radspuren auf.

Ofenwand

Unter dem Begriff „Ofenwand" werden die ausschließlich aus Lehm bestehenden Bruchstücke der Ofenwand zusammengefasst. Den Ofenwandbruchstücken haften zum Teil Verunreinigungen in Form von Schlackeresten und weiteren Verhüttungsrückständen an. Die Innenseite der Fragmente aus dem Bereich von Ofenschacht und Ofenrast ist bei beiden Öfen vollständig mit einer Schlackenschicht überzogen, deren raue Oberfläche Fließstrukturen der für Floß- bzw. Hochöfen typischen glasigen Schlacke erkennen lässt. Unter dieser, stellenweise bis zu einem Zentimeter dicken Schlackenschicht ist die Ofenwand aufgrund der Hitzeeinwirkung beim Betrieb des Ofens vollständig zu einer mit kleinsten Entgasungsblasen durchsetzten kompakten Masse verziegelt. Im unmittelbaren Kontaktbereich mit der Schlacke zeigt die Ofenwand die größte Festigkeit und ist überwiegend braunrot bis schwarz gefärbt. Der als Baumaterial verwendete Lehm ist in dieser Zone aufgeschmolzen und hat sich mit Schlacke-, Holzkohle- und kleinsten Roheisenresten zu einer äußerst kompakten und sehr harten Masse verbunden. Im Anschluss an diese Schicht folgt eine braunrote, von Rissen durchzogene Verfärbungszone, die eine weitaus geringere Festigkeit besitzt. Der äußere Bereich der Ofenwand ist intensiv rot bis hellrot gefärbt und lediglich unvollständig verziegelt. Wandungsfragmente aus diesem Bereich lassen sich leicht brechen, wobei kleinere Fragmente sogar zwischen den Fingern zerrieben werden können.

Insgesamt wurden ca. 1.098 kg Ofenwand geborgen (*Abb. 37*).

Weil Ofen 1 von einer bis zu 0,5 m mächtigen Sedimentschicht bedeckt war, konnte in den ersten vier Plana relativ wenig Ofenwand verzeichnet werden. Erst in Planum 5/6 stieg die Fundmenge deutlich an. Die meis-

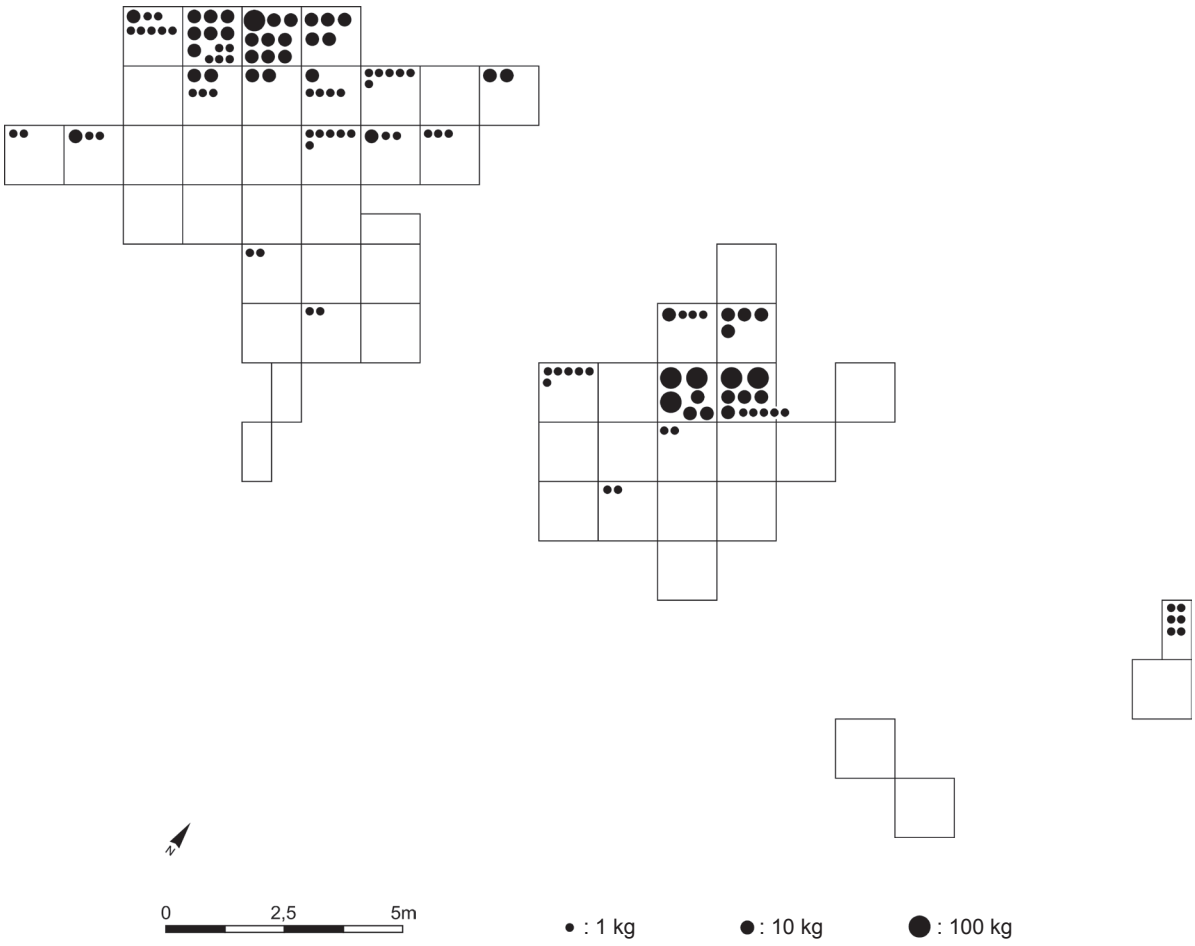


Abb. 37. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von Ofenwand in der Grabungsfläche.

ten Fragmente fanden sich jedoch in den Plana 7–13, da die Ofenwand in diesem Bodenhorizont aus Versturz des aufgehenden Ofenschachtes gebildet wurde und den mittelalterlichen Laufhorizont bedeckte. Vor der verstürzten Brustseite von Ofen 1 lagen 654 kg Ofenwand, wobei von dieser Menge allein 575 kg auf den Bereich direkt vor dem Abstich (Quadrate VIII-Q, IX-N) entfallen. Auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Ofens ließ sich erwartungsgemäß kaum Ofenwand dokumentieren.

Ofen 2 liegt in der Abbruchkante des Geländes, wobei Teile des Ofenschachtes bereits in den ersten Plana freigelegt werden konnten. Aus diesem Grund war die Menge an Ofenwand bereits in den oberen Bodenschichten entsprechend hoch und blieb bis in Planum 13 hinein in etwa konstant. Im Umfeld von Ofen 2 konnten insgesamt etwa 444 kg Ofenwand kartiert werden. Von dieser Menge wurden 322 kg aus der dem Ofen vorgelagerten bzw. seitlich angrenzenden Fläche vor der Ofenbrust (Quadrate I-G, I-H, II-E, II-F) geborgen. Der Drainagegraben (Drainage 1) auf der Rückseite des Ofens (Quadrate I-M, II-J) enthielt 40 kg Ofenwand. Weitere 82 kg waren in bis zu 7 m Entfernung zum Ofen verstreut.

Ungewöhnlich ist der Fund von etwa 6 kg verschlackter Ofenwand aus der Verfüllung des Obergrabens (Quadrat XVI-N) am südwestlichen Rand der Grabungsfläche. Der räumlich abgelegene Obergraben befindet sich hangaufwärts in etwa 10 m Entfernung zu Ofen 1 und etwa 40 m Entfernung zu Ofen 2. Aus diesem Grund muss fraglich bleiben, ob dieses Ofenwandfragment von einem der beiden untersuchten Öfen stammt oder einem bisher unbekannten zusätzlichen Ofen außerhalb der Grabungsfläche zuzuordnen ist.

Schlacke

Die Gesamtmenge der stark eisenhaltigen Schlacken ist etwa sechsmal größer als diejenige für die Roheisenproduktion typischen glasigen Schlacken. Dieses Mengenverhältnis von 6:1 ist ausgesprochen ungewöhnlich, da an allen bisher bekannten Floßöfen aus der Untersuchungsregion die Menge der glasigen Schlacken die-

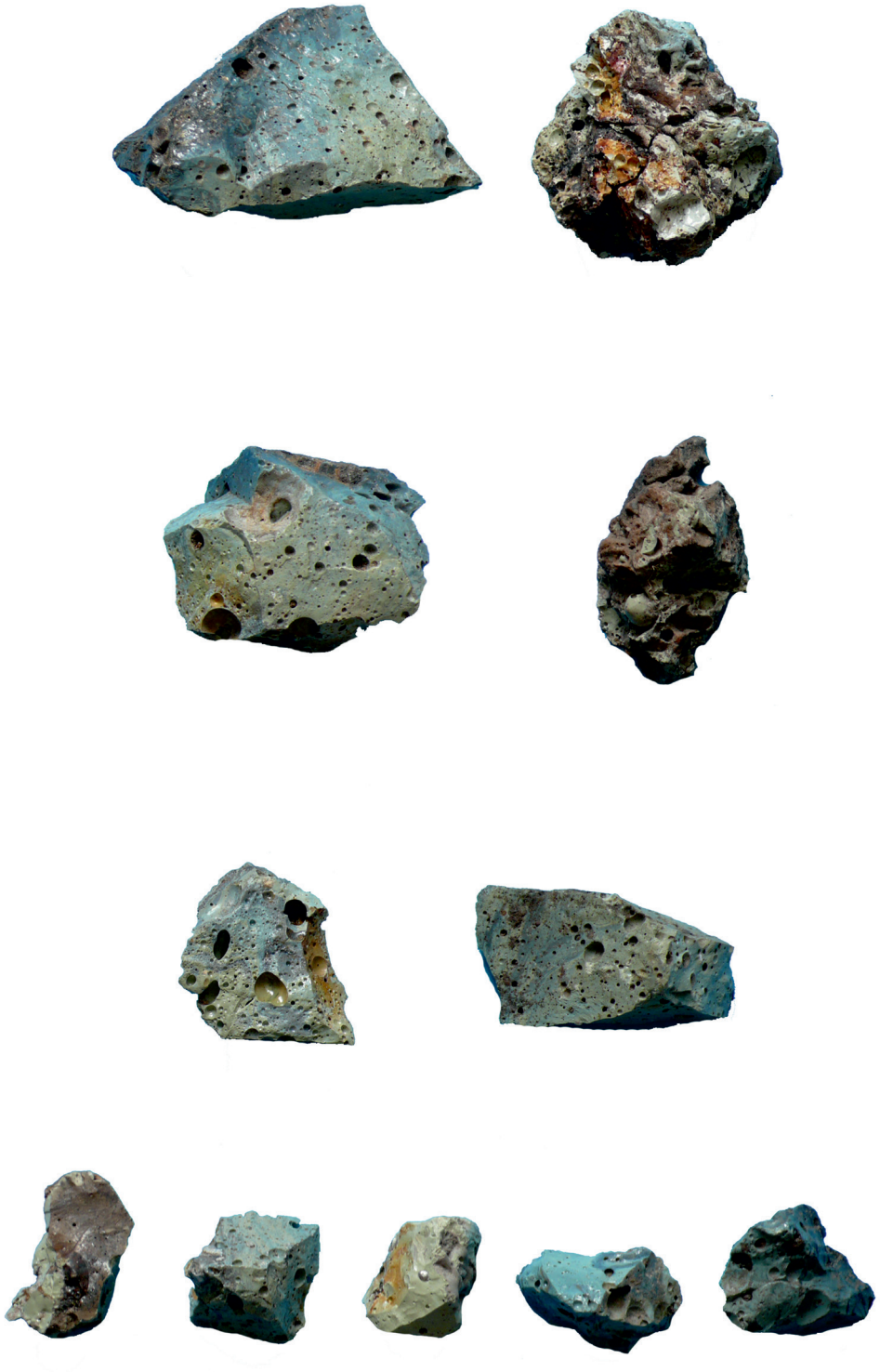


Abb. 38. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Glasig erstarrte Schlacke aus unterschiedlichen Bereichen der Ausgrabungsfläche (Fotos M. Overbeck).

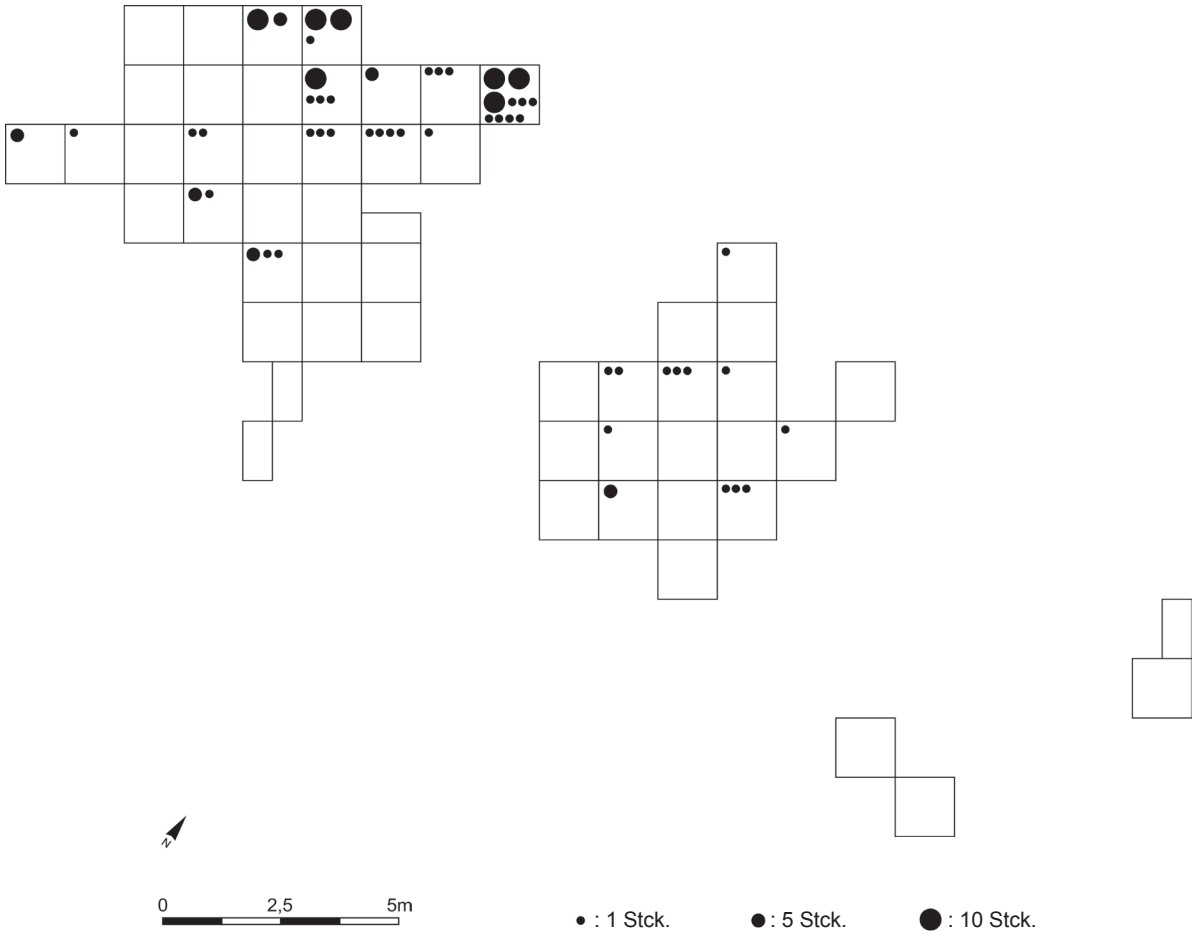


Abb. 39. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von glasiger Schlacke in der Grabungsfläche.

jenige der stark eisenhaltigen Schlacken bei weitem übersteigt.[17] Bei einem mengenmäßigen Vergleich der beiden Schlackentypen muss allerdings berücksichtigt werden, dass die glasigen Schlacken sehr wahrscheinlich nur deshalb in einer so scheinbar geringen Anzahl vertreten sind, weil bewusst auf eine eingehende Untersuchung der jeweiligen Schlackenhalden verzichtet wurde. Die hohen Fundkonzentrationen im Bereich der beiden Beschickungsflächen weisen darauf hin, dass die stark eisenhaltige Schlacke sehr wahrscheinlich wieder in die Öfen aufgegeben wurde. Ob es sich bei diesen Schlacken eventuell sogar um Frischschlacke handelt, ist ohne metallurgische Analysen nicht zu beantworten, zumal innerhalb der Grabungsfläche lediglich ein Hinweis auf einen möglichen Frischherd vorhanden ist. Da in Planum 7/8 große Mengen stark eisenhaltiger Schlacke direkt vor der Ofenbrust von Ofen 2 lagen, ist einwandfrei belegt, dass dieser Schlackentyp aus dem Ofen abgestochen wurde und beim Schmelzprozess offensichtlich in nicht unbeträchtlicher Menge anfiel.

Glasige Schlacke

Die überwiegend mikroskopisch kleinen Entgasungsblasen erreichen bei einigen Schlacken dieses Typs eine Größe bis zu einem Zentimeter (*Abb. 38*).

Derartige Hohlräume haben einen wesentlichen Einfluss auf die innere Struktur und das Gewicht der Schlacken, das je nach Ausprägung der Entgasungsblasen zwischen ca. 3–4 g/cm^3 schwankt. Die Färbung reicht von blau über grün bis zu grauweiß. Vereinzelt wurden auch dunkelbraune bis gänzlich schwarze Exemplare gefunden. Die derartig gefärbten Schlacken wiesen eine inhomogene Zusammensetzung auf, wobei ihre untypische Färbung jedoch sehr wahrscheinlich ausschließlich durch die unterschiedlichen Verhüttungsrückstände, Holzkohle- und Mineraleinschlüsse sowie durch Verwitterung hervorgerufen wurde.

Da bewusst auf eine eingehende archäologische Untersuchung der Schlackenhalde(n) verzichtet wurde, ist

[17] Knau/Sönnecken 1994, 408.

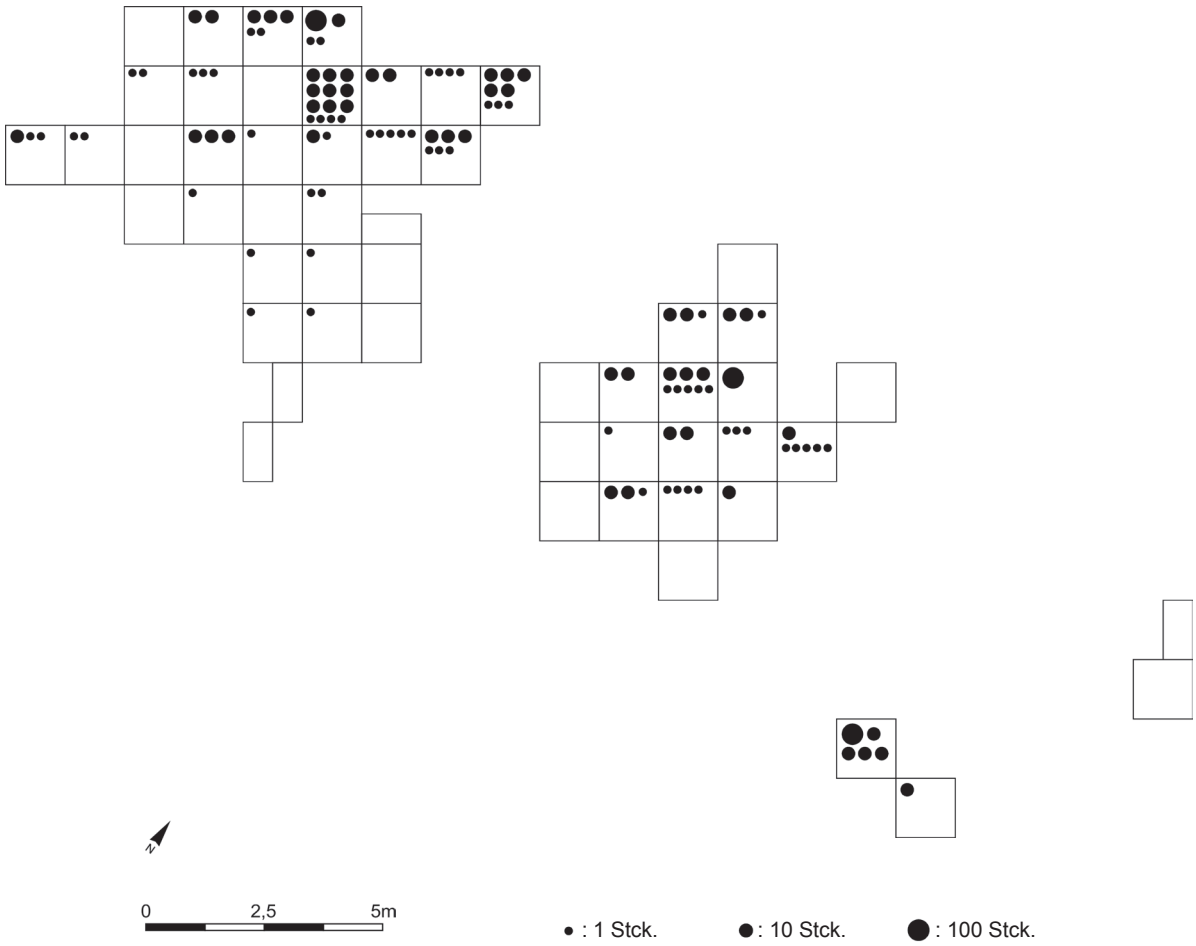


Abb. 40. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Verteilung von stark eisenhaltiger Schlacke in der Grabungsfläche.

die Anzahl der glasigen Schlacken aus dem übrigen Bereich der Grabungsfläche mit lediglich 140 Exemplaren sehr gering. Die größten Mengen enthielten die Plana 1–4, während in den Plana 11–13 überhaupt keine Schlacken dieses Typs dokumentiert werden konnten. Im Bereich um Ofen 1 wurden 17 Stücke erfasst, während Ofen 2 demgegenüber 123 Stück glasige Schlacken lieferte (*Abb. 39*).

Die größten Schlacken des gesamten Fundplatzes fanden sich im Bereich der Abstichgrube vor Ofen 2. In Quadrat I-H lag zusätzlich ein großer Schlackenklotz von mehreren Kilogramm Gewicht. Warum sich im unmittelbaren Umfeld von Ofen 1 derart wenig Schlacken erfassen ließen, konnte nicht geklärt werden. Besonders in den dem Abstich vorgelagerten Quadraten wären wesentlich größere Mengen zu erwarten gewesen. Die Fläche um Ofen 1 macht auch in Bezug auf die Schlacken den Eindruck, als sei sie nach der Stilllegung des Ofens gereinigt worden. Eventuell wurde die Schlacke aus diesem Bereich wiederverwendet und diente als Zuschlag bzw. Flussmittel für einen späteren Ofen.

Stark eisenhaltige Schlacke

Insgesamt wurden 892 stark eisen- bzw. metallhaltige Schlacken gefunden. In der unmittelbaren Umgebung von Ofen 1 lagen 271 Exemplare (*Abb. 40*).

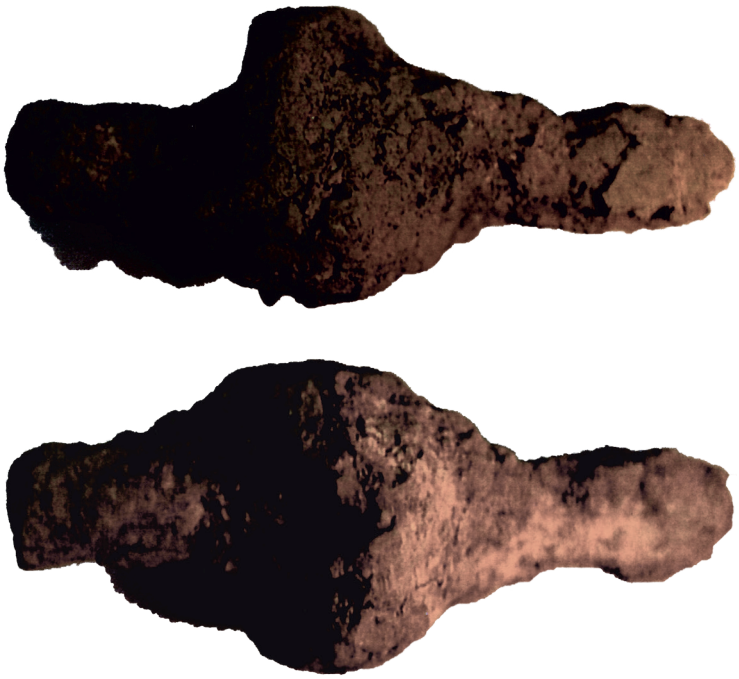
Die Schlacke war in einem Umkreis von zehn Metern um den Ofen herum verteilt und ließ sich vor allem im Bereich des Ofenabstichs und der hangseitig gelegenen Beschickungsfläche kartieren. Die größte Fundhäufung konnte in der westlich des Ofens gelegenen Arbeitsfläche (Quadrat IX-N) verzeichnet werden, wo innerhalb von etwa 6,5 m^2 ca. 100 stark eisenhaltige Schlacken gezählt wurden.

In der Grabungsfläche um Ofen 2 konnten 471 stark eisenhaltige Schlacken geborgen werden. Fundhäufungen waren vor allem im Bereich des Ofenabstichs, der hangseitig gelegenen Beschickungsfläche und im Randbereich der voraussichtlich zum Ofen gehörenden Schlackenhalde zu beobachten.

Die größte Anzahl stark eisenhaltiger Schlacken wurde mit 112 Exemplaren im Bereich der westlich des Ofens gelegenen Arbeitsfläche dokumentiert. Die



1



2

Abb. 41. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1, 2: Eisenstangen aus Quadrat II-K mit aufgeschobenem Eisenring.

höchste Funddichte liegt im Bereich des Weges am Südrand der Grabungsfläche mit 150 Stücken pro Quadratmeter (Quadrate XXII-G, XXII-M). Wie die Schlacken dorthin gelangten, ist unklar. Die meisten Stücke lagen zusammen mit einem modernen Messingring und ebenfalls modernen Eisennägeln aus dem 19./20. Jahrhundert in derselben Bodenschicht. Möglicherweise wurden die Halden aufgrund des hohen Metallgehaltes in der Neuzeit teilweise abgefahren, um die Schlacken als Rohstoff erneut zur Verhüttung zu nutzen oder sie beim Straßenbau zu verwenden. Ein solches Abfahren der Halden ist an vielen Hüttenplätzen im Märkischen Sauerland belegt.[18]

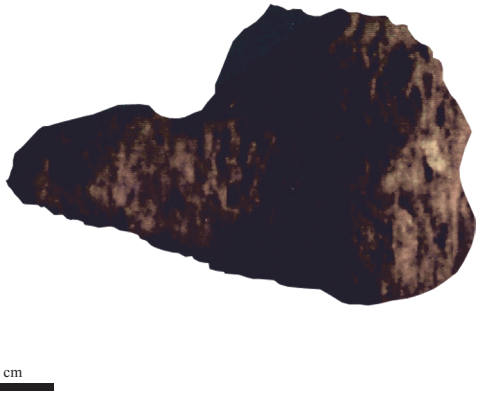


Abb. 42. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Nagel (unrestauriert).

Eiserne Konstruktionsteile

Eisenstangen

In der Verfüllung der Fläche für das mutmaßliche Balggerüst und die Antriebswelle neben Ofen 2 (Quadrat II-K) lagen innerhalb von Planum 5/6 ca. 0,5 m voneinander entfernt zwei stark korrodierte Eisenstangen mit jeweils einem aufgeschobenen Ring (*Abb. 41*).

In der mehrere Millimeter starken Korrosionsschicht, die beide Fundstücke überzieht, sind Holzkohlebruchstücke und kleine Steine eingeschlossen. Die Länge der Eisenstangen beträgt 18 cm (Eisenstange 1) (*Abb. 41,1.2*) und 17 cm (Eisenstange 2) (*Abb. 41,3.4*) bei einer Breite von jeweils 2,5 cm. Der Eisenring, der sich nahe der Mitte der Stangen befindet, hat in beiden Fällen einen äußeren Durchmesser von etwa 7,5 cm und eine Breite von etwa 1,5–2,5 cm. Die Ringe wurden lediglich aufgeschoben und waren ursprünglich beweglich. Sichtbar wird dies anhand von Eisenstange 2, bei der der aufgeschobene Ring zur Seite kippte, bevor er durch die Korrosion fest mit dieser verbunden wurde. Stange und Ring haben zusammen ein Gewicht von etwa 600 g (Eisenstange 1) und 440 g (Eisenstange 2).

Die ursprüngliche Funktion dieser massiven und verhältnismäßig großen Eisenteile kann allein anhand ihrer Position innerhalb der Radstube nicht ermittelt werden. Sie könnten am Wasserrad, an den Blasebälgen, an den Antriebswellen und auch am Balggerüst Verwendung gefunden haben. Die komplette Ausstattung an eisernen Geräten und Werkzeugen einer Eisenhütte findet sich z. B. auf einer Zeichnung von 1497 von Jacopo Tachetto.[19]

Auch Agricola erwähnt eiserne Ringe und Stangen in Zusammenhang mit der Konstruktion von Blasebälgen und Balggerüsten.[20] Eine Zuweisung zu einer bestimmten technischen Konstruktion im Umfeld des Ofens muss jedoch Spekulation bleiben. Man kann aufgrund der Fundlage und der Tatsache, dass keine weiteren Exemplare im näheren Umkreis geborgen wurden, allerdings mit einiger Sicherheit davon ausgehen, dass sie jeweils paarweise verwendet wurden.

Eisennagel

Neben der Blaseseite von Ofen 2 (Quadrat II-K) wurde in Planum 6 ein eiserner Nagel gefunden (*Abb. 42*).

Er lag etwa 0,6 m entfernt von den beiden Eisenstangen mit aufgeschobenem Ring. Der Nagel ist stark korrodiert, so dass seine ursprüngliche Form kaum noch zu erkennen ist. Mit der mehrere Millimeter starken Korrosionsschicht sind vereinzelte Holzkohlereste fest verbunden. Die Gesamtlänge des Nagels beträgt ca. 4,7 cm, der Nagelkopf ist etwa 1 cm breit. Aufgrund der Fundlage kann davon ausgegangen werden, dass der Nagel zwischen Radstube und Blasebalg verwendet wurde. Eine genauere Zuweisung ist nicht möglich. Dass eine große Anzahl von Eisennägeln im Bereich von Wasserrad, Antriebswellen, Blasebalg und Balggerüst verwendet wurde, zeigen Befunde vergleichbarer Öfen.[21]

PLATZSTRUKTUR

Ofen 1

Ofen 1 befindet sich im südöstlichen Bereich der Grabungsfläche und ist bis zu einer Höhe von 1,25 m in situ erhalten (*Abb. 43*).

[18] Knau/Sönnecken 1994a, 268.
[19] Baraldi/Calegari 2001, 172 ff. sowie Taf. 4.
[20] Agricola 1556/1994, 318 ff.
[21] Crossley 1975, 88.

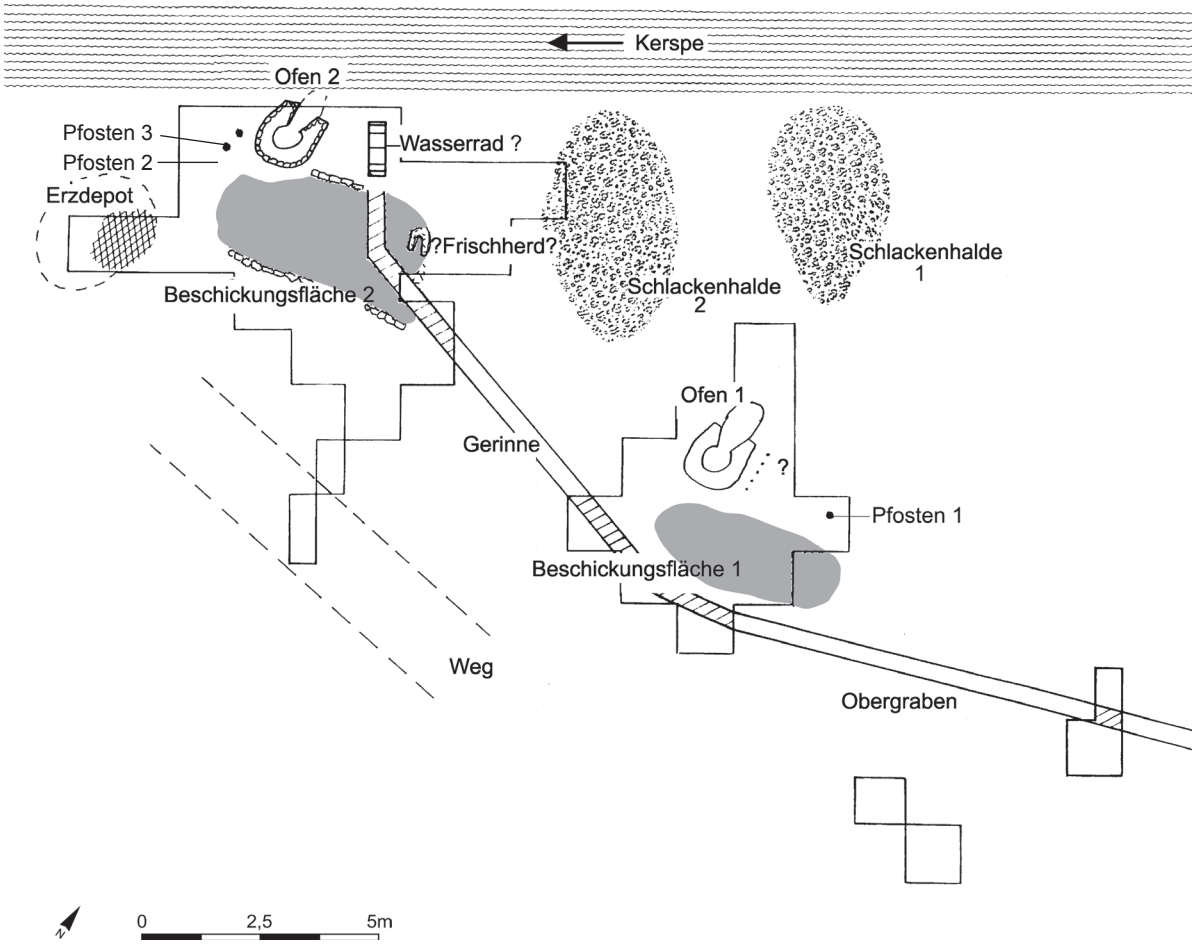


Abb. 43. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Platzstruktur.

Der Grundriss ist bei einem maximalen Außendurchmesser von 1,85 m annähernd hufeisenförmig. Im Gegensatz zur jeweils halbrunden Rück- und Windseite wurde die Blaseseite gerade gemauert und rechtwinklig an die Rückseite angebaut. Beide Seitenwände sind jeweils etwa 1,8–2,0 m lang, während die Länge der Rückwand etwa 1,8 m beträgt. Die Brustseite des Ofens ist vollkommen zerstört und weist in nordöstliche Richtung. Der annähernd kreisrunde, vollständig verschlackte Ofenschacht wurde ausschließlich aus feuerfestem Lehm errichtet und hat einen maximalen Innendurchmesser von 1,5 m. Das Gestell ist demgegenüber nahezu komplett erhalten. Als Baumaterial wurde neben Lehm vor allem besonders hitzebeständiger Grauwackensandstein genutzt, dessen Verwendung sich ausschließlich auf diesen Bereich des Ofens beschränkt. Der aus Grauwackensandstein aufgebaute Teil des Gestells wird an seiner Basis von einer zusätzlichen Reihe senkrecht gestellter Sandsteinplatten eingefasst. Im Anschluss wurde die gesamte Konstruktion nach außen mit einer abschließenden Schicht aus Lehm verkleidet. Ein zusätzliches Raugemäuer, wie es an allen anderen bisher bekannten Floßöfen aus dem Untersuchungsgebiet nachzuweisen war, fehlte demgegenüber völlig. Die Innenwand des Schmelzraumes wurde im Bereich des Gestells vollständig mit einer Schicht Gestübbe überzogen. Aufgrund dieser Verkleidung zeigt die nahezu glatte Oberfläche kaum Rückstände von anhaftendem Roheisen oder Schlacke. Während die Herdwand an der Einblasseite nahezu senkrecht gemauert ist, wurde sie auf der gegenüberliegenden Windseite in Richtung auf den Herdboden abgeschrägt. Dadurch verringert sich die Weite des Herdes zum Boden hin. Der Herdboden, auf dem sich das Roheisen während des Schmelzprozesses sammelte, ist nur noch etwa 0,8 m tief, 0,25–0,30 m weit und zeigt eine schmale langrechteckige Form. Zusätzlich ist er leicht in Richtung der Abstichöffnung geneigt, um ein Abfließen des flüssigen Roheisens und der Schlacke zu erleichtern. Lediglich eine Drainage ist in Form eines kreisrunden Kanals mit etwa 0,1–0,15 m Durchmesser vorhanden und diente dazu, Feuchtigkeit vom Ofen fernzuhalten. Der Kanal verläuft nahe der Ofenbasis entlang der senkrecht gestellten Steinplatten und wurde durch den aus Lehm bestehenden äußeren Teil der Ofenwand geführt. Das Schmelzprodukt wurde in eine direkt vor der Brustseite angelegte und nahezu vollstän-



Abb. 44. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105, Ofen 2. Rekonstruktionsversuch (Foto D. Geyer).

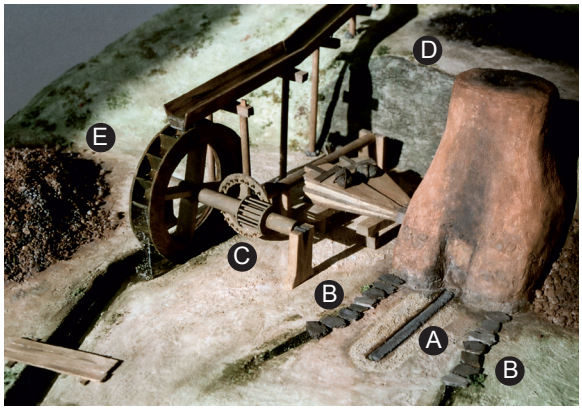
dig mit Lehm verfüllte Grube abgestochen. Die Oberfläche der Lehmschicht ist zusätzlich muldenförmig eingetieft, um die Aufnahme des flüssigen Roheisens bzw. der Schlacke zu erleichtern. Ob Roheisen und Schlacke beim Abstich durch dieselbe Öffnung den Herd verließen oder aber separat abgestochen wurden, konnte aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes der Brustseite nicht geklärt werden. Aus diesem Grund musste auch ungeklärt bleiben, ob es sich um eine Anlage mit offener oder geschlossener Brust handelte. Der Ofen wurde mit seiner Rückseite in den Hang gebaut. Einerseits konnte aufgrund dieser Bauweise die Hitze besser im Schmelzraum gehalten werden, andererseits wurde die Stabilität der gesamten Konstruktion erhöht. Zusätzlich konnte die Anlage leichter vom Hang aus durch die vermutlich offene Gicht beschickt werden. Dies geschah von einer künstlich angelegten, horizontalen, bühnenartigen Arbeitsfläche aus, die sich an der Rückseite des Ofens nachweisen ließ. Geht man davon aus, dass die Rohstoffe eventuell unter Verwendung einer niedrigen Rampe aufgegeben wurden, dann lässt sich die Höhe des Ofens mit 3–3,5 m rekonstruieren. Neben der Blaseseite wurde eine horizontale Fläche in den Hang gegraben, die sehr wahrscheinlich dazu diente, das Balggerüst und die beiden paarig eingesetzten Blasebälge zu tragen. Die Radstube befand sich einige Meter weiter östlich dieser Fläche und konnte aus grabungstechnischen Gründen nicht untersucht werden. Eine steinverkeilte Pfostengrube deutet darauf hin, dass man Wasser ausgehend vom Obergraben über ein obertägiges, hölzernes Gerinne auf das vermutlich oberschlächtige Wasserrad leitete. Die zugehörige Halde mit floßofentypischer glasiger Schlacke lag in etwa 12 m Entfernung nordwestlich des Ofens.

Ofen 2

Ofen 2 befindet sich im nordwestlichen Bereich der Grabungsfläche und ist bei einem maximalen Außendurchmesser von 2,80 m bis zu einer Höhe von 1,75 m in situ erhalten (*Abb. 43–45*).

Der hufeisenförmige Grundriss ist nahezu identisch mit demjenigen von Ofen 1. Die ebenfalls vollkommen zerstörte Brustseite weist in nordöstliche Richtung. Beide Seitenwände waren jeweils etwa 2 m lang, während die Länge der Rückwand etwa 1,8–2,0 m betrug. Der vollständig verschlackte Ofenschacht wurde ausschließlich aus Lehm errichtet und zeigte außen wie innen eine annähernd kreisrunde Form bei einem maximalen Innendurchmesser von 1,25 m. Während das Ofengestell in den äußeren Bereichen weitgehend erhalten war, wies der Herd starke Beschädigungen auf. Der Herdboden war sogar vollständig herausgebrochen. Trotz des schlechten Erhaltungszustands kann man davon ausgehen, dass der Herd in Form, Größe und Konstruktionsweise demjenigen von Ofen 1 entsprochen hat. Das Gestell wurde aus Lehm und Grauwackensandstein aufgebaut. Senkrecht gestellte Sandsteinplatten umfassten das Ofengestell an der Basis und waren ihrerseits mit Lehm verkleidet. Den äußeren Abschluss der Ofenwand bildete ausschließlich im Bereich der Ofenbasis ein etwa 0,5 m breites Raugemäuer aus unbearbeiteten Sandsteinen. Aufgrund dieser Konstruktionsweise erhielt die Ofenwand besonders im Aufgehenden zusätzlich Stabilität und zeigte demzufolge auch eine größere Resistenz gegen Hitze.[22] Zwei Drainagen dienten dazu, schädliches Hang- und Grundwasser vom Ofen fernzuhalten. Drainage 1 ist etwa 0,5 m breit, 1,4–1,5 m tief und erstreckt sich

[22] Schaur 1929, 493.



1



2



3



4



5



6

Abb. 45. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Rekonstruktionsversuch. 1–4: Ofen 2 mit seinen verschiedenen Anbauten und Arbeitsflächen. Masselbett (A), Abzucht (B), Wasserrad mit Balggerüst und Blasebälgen (C), hangseitige Beschickungsfläche (D), Schlackenhalde (E); 5–6: hangseitige Beschickungsfläche mit Erz und Holzkohle (Fotos D. Geyer; das Modell befindet sich heute im Museum der Grafschaft Mark, Burg Altena).



Abb. 46. Darstellung der sog. „Abzucht“ (aus Agricola 1556/1994).

entlang der Außenwand des Ofens. Eine weitere, als „Abzucht“ (*Abb. 46*) bezeichnete Drainage 2 wurde in Form eines aus Sandsteinen errichteten etwa 0,1–0,15 m breiten Kanals angelegt, der hufeisenförmig unterhalb des Raugemäuers verlief und mit Sandsteinplatten abgedeckt worden war. Der rückseitig in den Hang eingebaute Ofen wurde von einer künstlich angelegten horizontalen Arbeitsfläche aus beschickt, von der aus Erze, Holzkohlen und Zuschläge aufgrund der erhöhten Position leichter durch die vermutlich offene Gicht des ehemals etwa 3–3,5 m hohen Ofens aufgegeben werden konnten. Auf einer ebenen Fläche neben der Blaseseite wurden wahrscheinlich das Balggerüst und die Antriebswelle(n) errichtet. Obwohl keinerlei hölzerne Bestandteile erhalten sind, weisen mehrere steinverkeilte Pfostensetzungen sowie eiserne Konstruktionsteile auf die ehemalige Existenz derartiger Aufbauten hin. Obwohl auch von den aus Holz und Leder zusammengesetzten Blasebälgen keine Teile gefunden wurden, kann man aufgrund schriftlicher und bildlicher Quellen davon ausgehen, dass diese in Relation zum Ofen durchaus eine Länge von etwa 2,5–3,0 m besaßen. In der Blaseseite ist darüber hinaus das etwa 0,20 m weite Einblasloch nahezu vollständig erhalten, in das die Nasen der paarig eingesetzten Blasebälge mündeten, oder in die eine (metallene?) Windform eingesetzt wurde.[23] Durch den Obergraben im Süden der Grabungsfläche wurde Wasser, ausgehend von einem nicht mehr fassbaren Stauteich, über eine Entfernung von mehreren hundert Metern an den Hüttenplatz herangeführt. Anschließend wurde es über ein obertägiges Gerinne, dessen Verlauf anhand von steinverkeilten Pfostengruben rekonstruiert werden kann, direkt auf das vermutlich oberschlächtige Wasserrad geleitet. Innerhalb der Beschickungsfläche ließ sich eine Struktur dokumentieren, die bis zur Durchführung entsprechender archäometallurgischer Analysen lediglich unter Vorbehalt als vermutlicher Frischherd angesprochen werden kann.[24]

Rohstofflager für Erz und Holzkohle wurden in unmittelbarer Nähe von Ofen 2 im westlichen Bereich der Grabungsfläche dokumentiert. Die zuzuordnende Schlackenhalde lag in etwa 15 m Entfernung östlich des Ofens (*Abb. 43*).

[23] Overbeck 2011, 159–168.

[24] Zu verifizierten Frischschlacken von der Kerspetalsperre vgl. Kronz 2005, 454 ff.

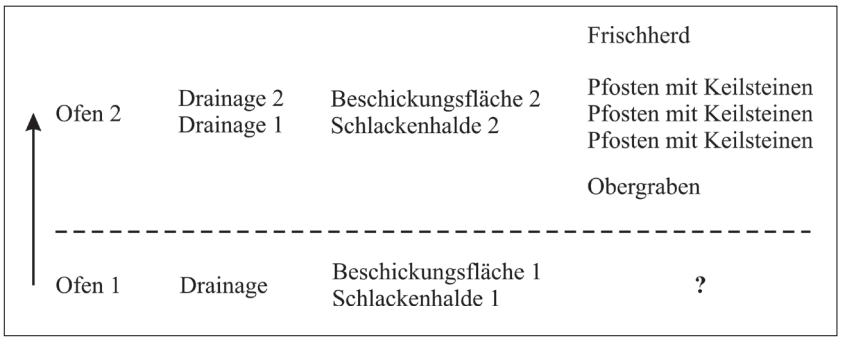


Abb. 47. Kierspe, Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Relativchronologische Abfolge der Strukturen.

Auf Basis der Befundanalyse ergibt sich in Zusammenhang mit der 14C-Datierung folgende relativchronologische Abfolge der Strukturen an Verhüttungsplatz Nr. 105 (*Abb. 47*): Der ältere Ofen 1 ist technisch einfacher aufgebaut. Ein durch Wasserkraft getriebenes Gebläse mit Obergraben ist ebensowenig vorhanden wie eine Drainage in Form eines umlaufenden Steinkanals (sog. „Abzucht"). Derartige konstruktionstechnische Details sind als technische Weiterentwicklungen zu verstehen und sind erst an dem etwas jüngeren Ofen 2 nachweisbar.

Weitere Hüttenstandorte im Bereich der Kerspetalsperre

Da das Staubecken und die umliegende Landschaft seit dem Bau der Kerspetalsperre im Jahr 1912 als Wasserschutzgebiet ausgewiesen sind, blieben sämtliche Anlagen innerhalb des weiträumig eingezäunten Geländes vor Eingriffen in den Boden verschont. Im Rahmen des MSL-Projektes sind besonders die spätmittelalterlichen/frühneuzeitlichen Floßöfen und Frischhütten der Region von Interesse. Im Verlauf der durch Knau und Sönnecken mehrfach durchgeführten Begehungen in der zu Sanierungszwecken abgelassenen Kerspetalsperre konnten neben neuzeitlichen Hämmern und Mühlen zahlreiche Plätze dokumentiert werden, an denen Floßöfen und vermutlich auch Frischhütten betrieben wurden (*Abb. 48*).[25]

Die Prospektionen lassen auf mindestens acht Floßofenstandorte innerhalb der Talsperre schließen. Sieben Öfen reihen sich entlang des ehemaligen Hauptbaches der Kerspe auf, während sich ein weiterer etwas abseits am Blankenbach befindet. Insgesamt konnten zwei lokal eng begrenzte Häufungen von Ofenstandorten auf einer Fläche von jeweils einem Quadratkilometer festgestellt werden. Die Roheisenproduktion konzentrierte sich demnach in der Nähe der untergegangenen ehemaligen Ortschaften Nieder-Hersbach (Fundplätze Nr. 96, 97, 99, 121)[26] und an der in etwa 1,5 km Entfernung gelegenen Kerspe (Fundplätze Nr. 103, 104, 105, 125) mit jeweils vier Floßöfen. Von diesen waren nach Knau und Sönnecken vermutlich vier an Frischherde gekoppelt (Fundplätze Nr. 96, 99, 105, 121).

Die lokale Häufung von insgesamt sieben gesicherten Floßöfen und mutmaßlich neun Frischhütten innerhalb des heutigen Talsperrenbereiches ist bisher einmalig im Märkischen Sauerland. Es fällt auf, dass im gesamten Gebiet der Talsperre bisher keine Rennöfen nachgewiesen werden konnten. Sie finden sich erst in ca. 2 km Entfernung an den zahlreichen Bächen und Zuflüssen am Oberlauf der Kerspe. Die topografischen Fundmuster von Floßöfen und Rennöfen im Bereich der Talsperre zeigen somit deutlich die Standortverlagerung nach Einführung des indirekten Prozesses und der wasserradbetriebenen Öfen im 13. Jahrhundert, die auch andere „Eisenlandschaften" prägt.[27]

Die Datierung der im Rahmen der Geländeprospektionen entdeckten Anlagen in der Kerspetalsperre war lediglich anhand von (in geringer Anzahl aufgefundener) Keramik möglich, die allerdings einen sehr langen Zeitraum vom 11.–16. Jahrhundert abdeckt. Der Fund von Keramik aus dem 13. Jahrhundert ließ bereits im Vorfeld der Grabung ein außergewöhnlich hohes Alter der Öfen an Platz Nr. 105 vermuten. Vergleichbare Keramik fand sich auch an Fundplatz Nr. 99 östlich vom ehemaligen Nieder-Hersbach, in etwa 2 km Entfernung südwestlich von Verhüttungsplatz Nr. 105 gelegen. Insgesamt können mit einiger Sicherheit sämtliche Floßöfen nach Aussage der Keramik in die Zeit zwischen dem 13. und 15. Jahrhundert datiert werden. Hier fügen sich auch die 14C-Datierungen für beide Floßöfen von Verhüttungsplatz Nr. 105 ein (*Abb. 30*).

[25] Knau/Sönnecken 1994c, 489.
[26] Dies. 1993c; 1994c.
[27] Jockenhövel/Willms 2005, 395 ff. 558 ff.

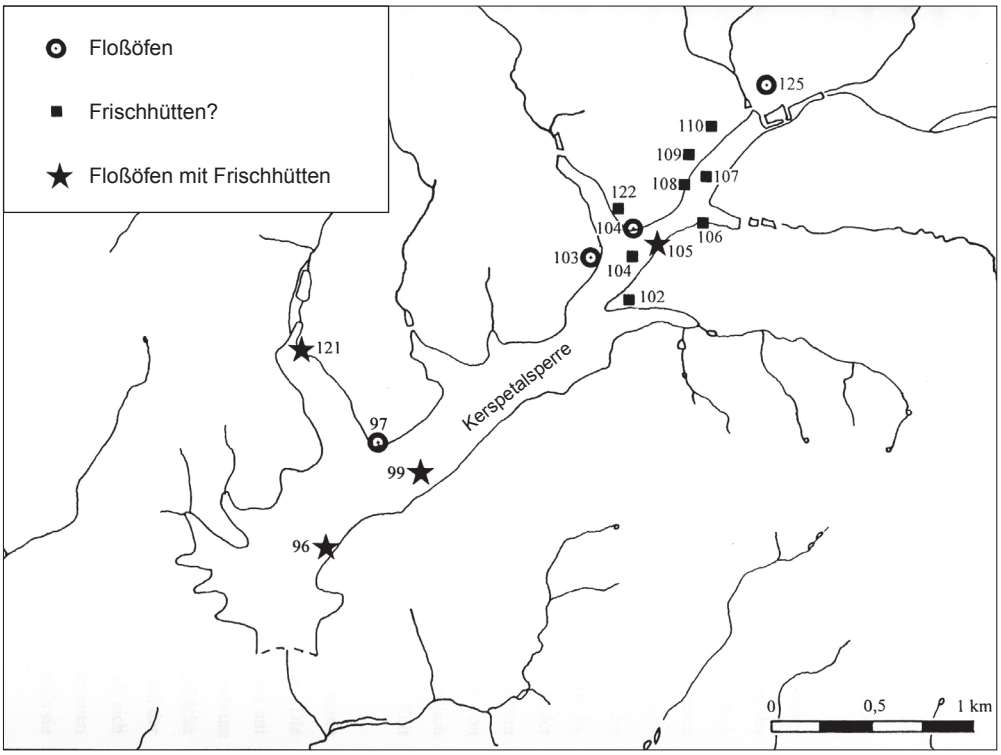
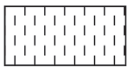


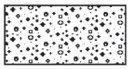
Abb. 48. Verhüttungsplätze im Bereich der Kerspetalsperre nach H. L. Knau und M. Sönnecken. Die Nummerierung der Fundplätze entspricht den Bezeichnungen auf der Schlackenplatzkarte von H. L. Knau und M. Sönnecken.[28]

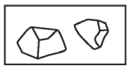
Wie die Grabung an Platz Nr. 105 verdeutlicht, erlaubt die Oberflächenprospektion allein keine unbedingt verlässlichen Aussagen über die tatsächliche Anzahl der Hütten bzw. der ehemals betriebenen Öfen in der Talsperre. Musste man zunächst von einem Ofen am Fundplatz Nr. 105 ausgehen, so stellte sich im Rahmen der Ausgrabung heraus, dass es sich um zwei Floßöfen handelt, wobei darüber hinaus die Existenz eines dritten Ofens außerhalb der Grabungsfläche als wahrscheinlich angesehen werden muss. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass die Anzahl der Floßöfen und Frischherde im Bereich der Talsperre deutlich höher gewesen sein kann, als sich aufgrund der bisher im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten durchgeführten Prospektionen vermuten lässt.

[28] Knau/Sönnecken 1994c, 467 ff.

LEGENDE FÜR DIE PLANA- UND PROFILZEICHNUNGEN

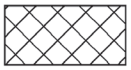

Mutterboden/See-Sediment

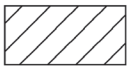

Verfüllung, Füllschicht
(in Gräben/Kanälen, Pfostenlöchern)

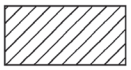

Steine


Holz


größeres Wurzelwerk/Wurzeln


Störung

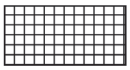

lockere Schlacke

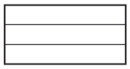

dichte Schlacke

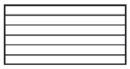

vereinzelte Schlacke

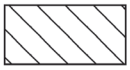

Erz

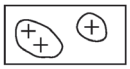

Holzkohle


verschlackte Ofenwand


Ofenrot


Ofenrot intensiv

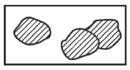

Rotfärbung
(Hitze, kleinste Erzstücke)


Ofenlehm, unverschlackte Ofenwand


Arbeitsfläche(?)
Beschickungsfläche

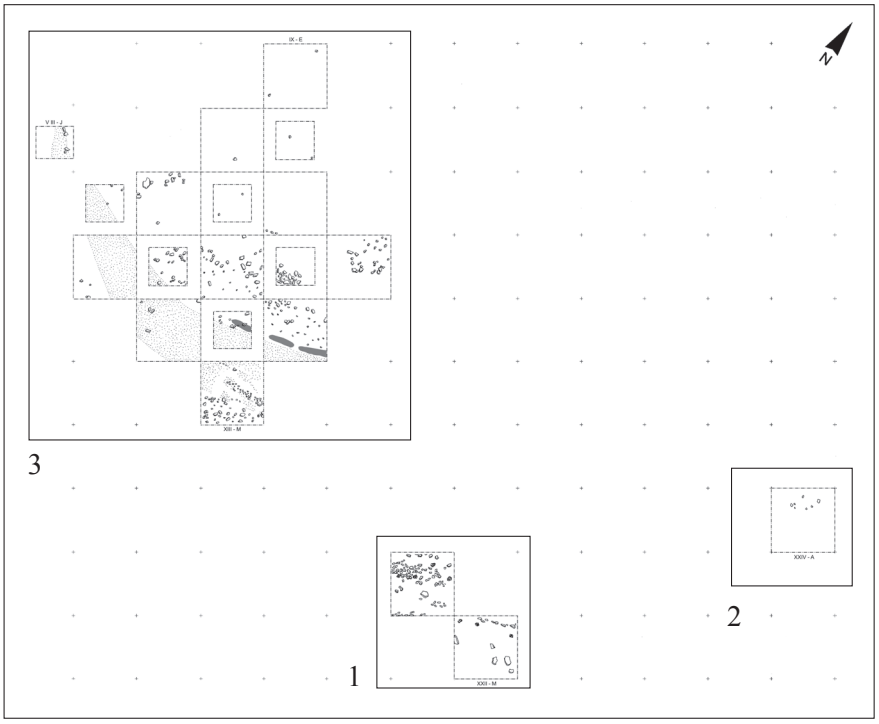

eisenhaltige Schicht

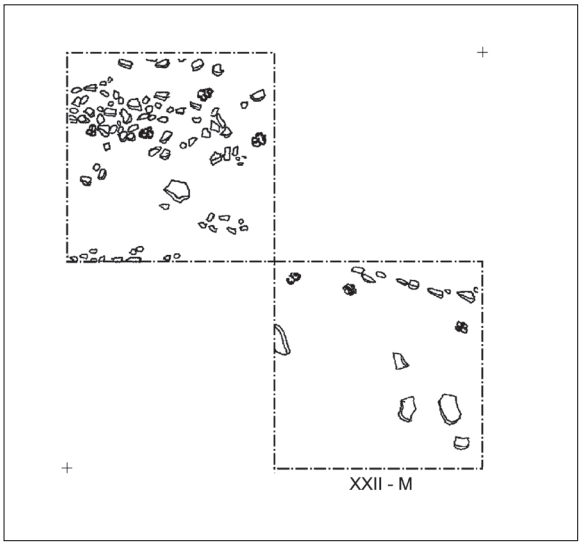

schwarz-graue Zone
am Ofen


Schlackenkalotten

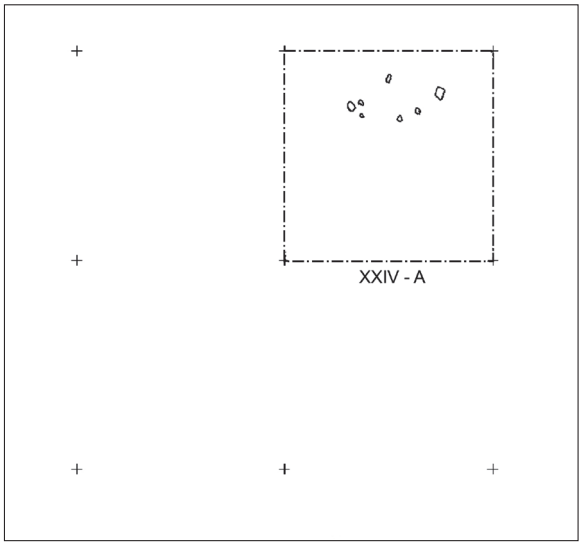

Keramik


Eisen



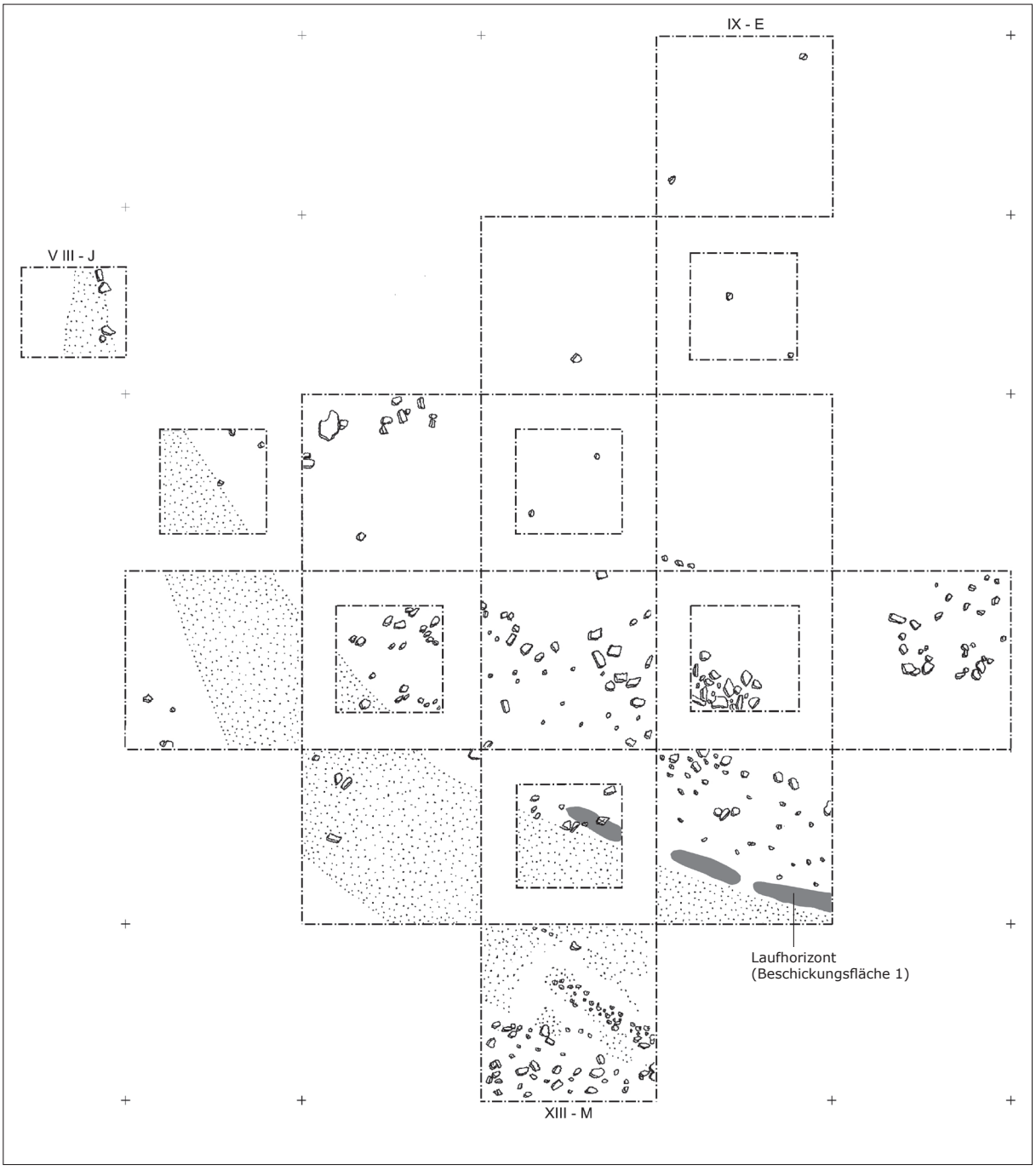


1



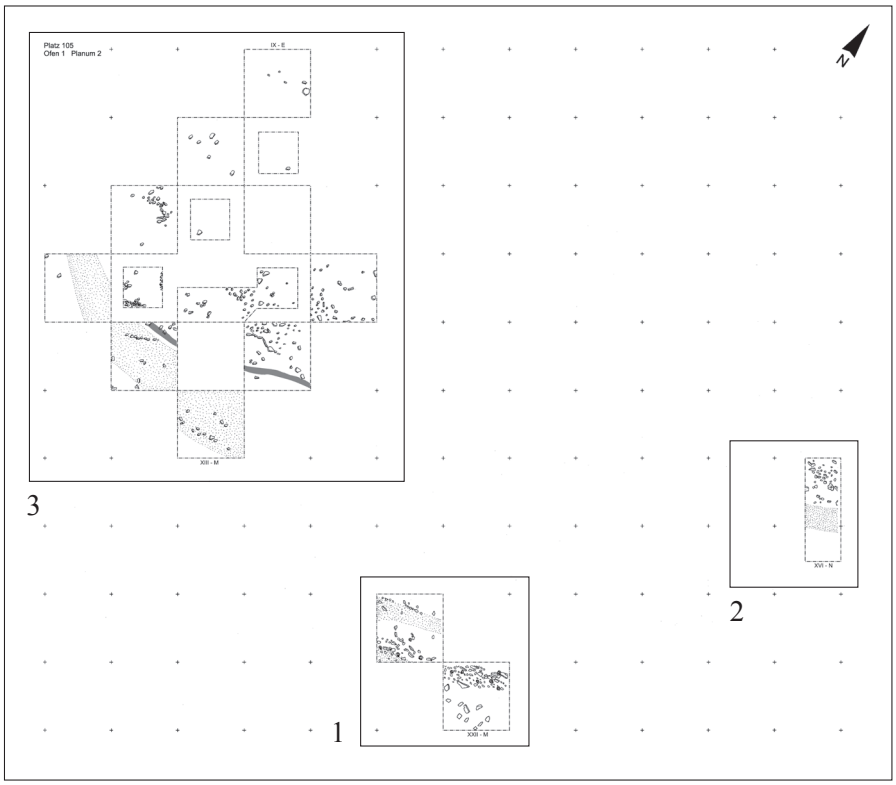
2

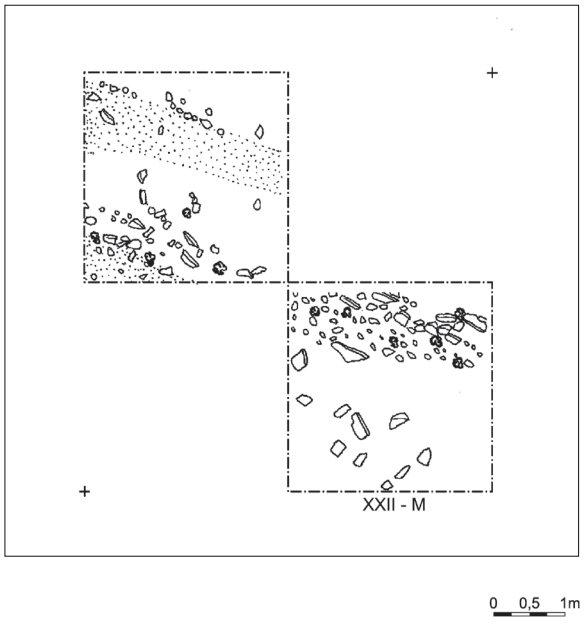
Abb. 49. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 1.

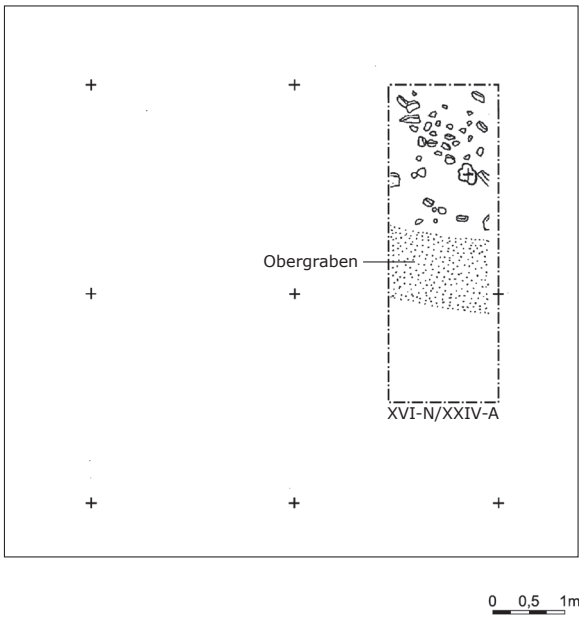


3

Abb. 50. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 1.

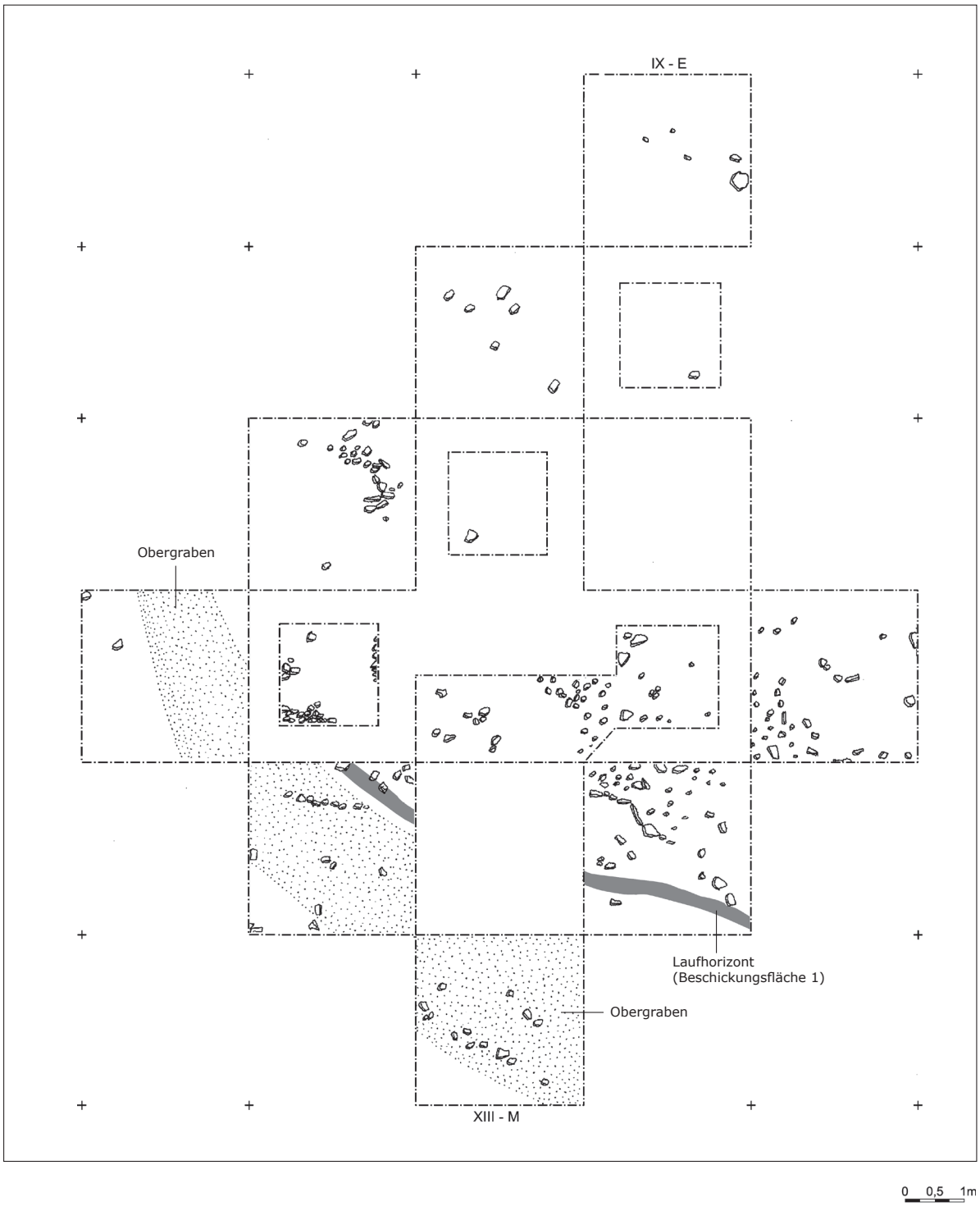






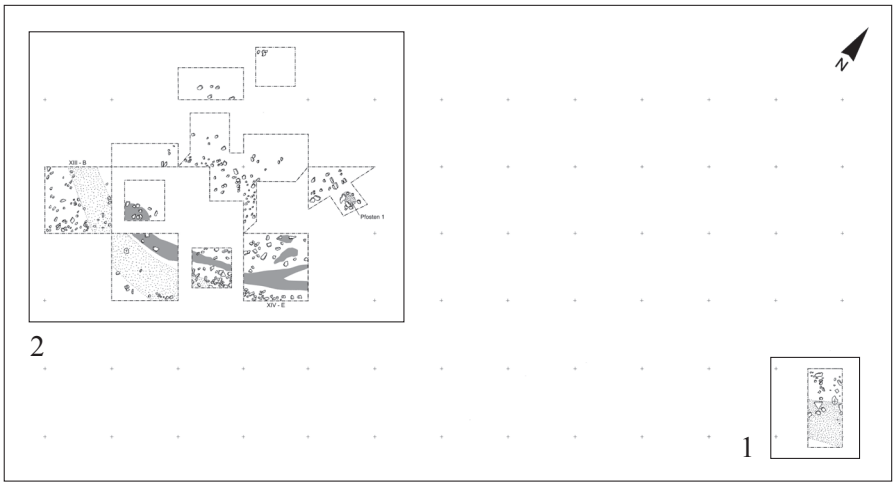
1 2

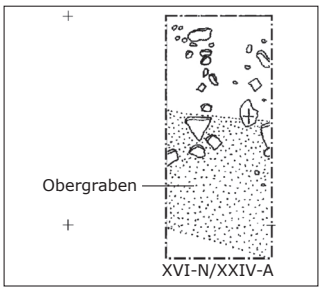
Abb. 51. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 2.



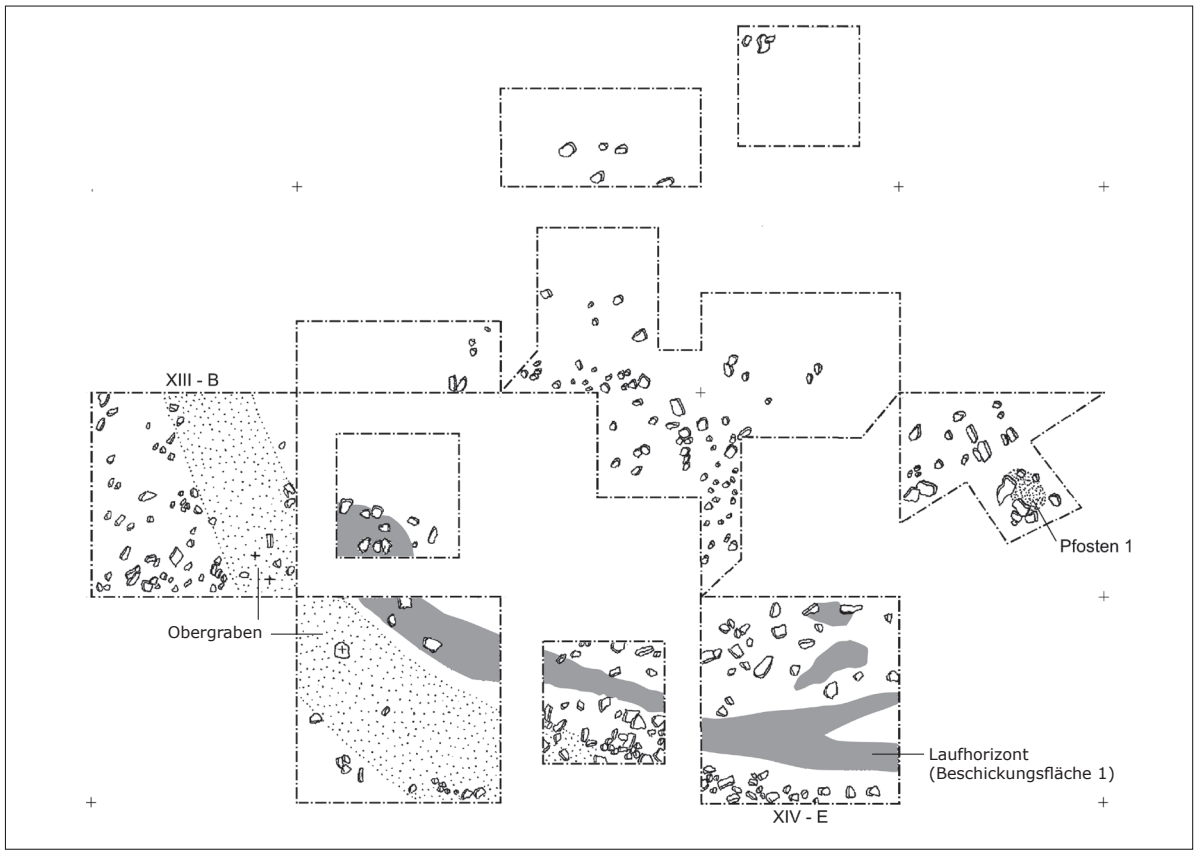
3

Abb. 52. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 2.





1 0 0,5 1m



2 0 0,5 1m

Abb. 53. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 3.

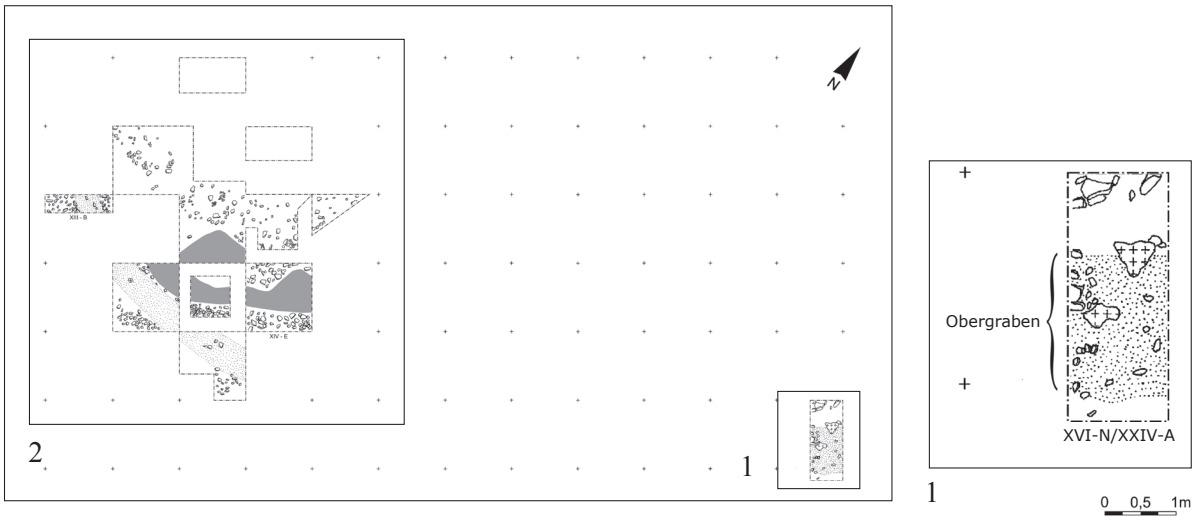




Abb. 54. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1, Planum 4.

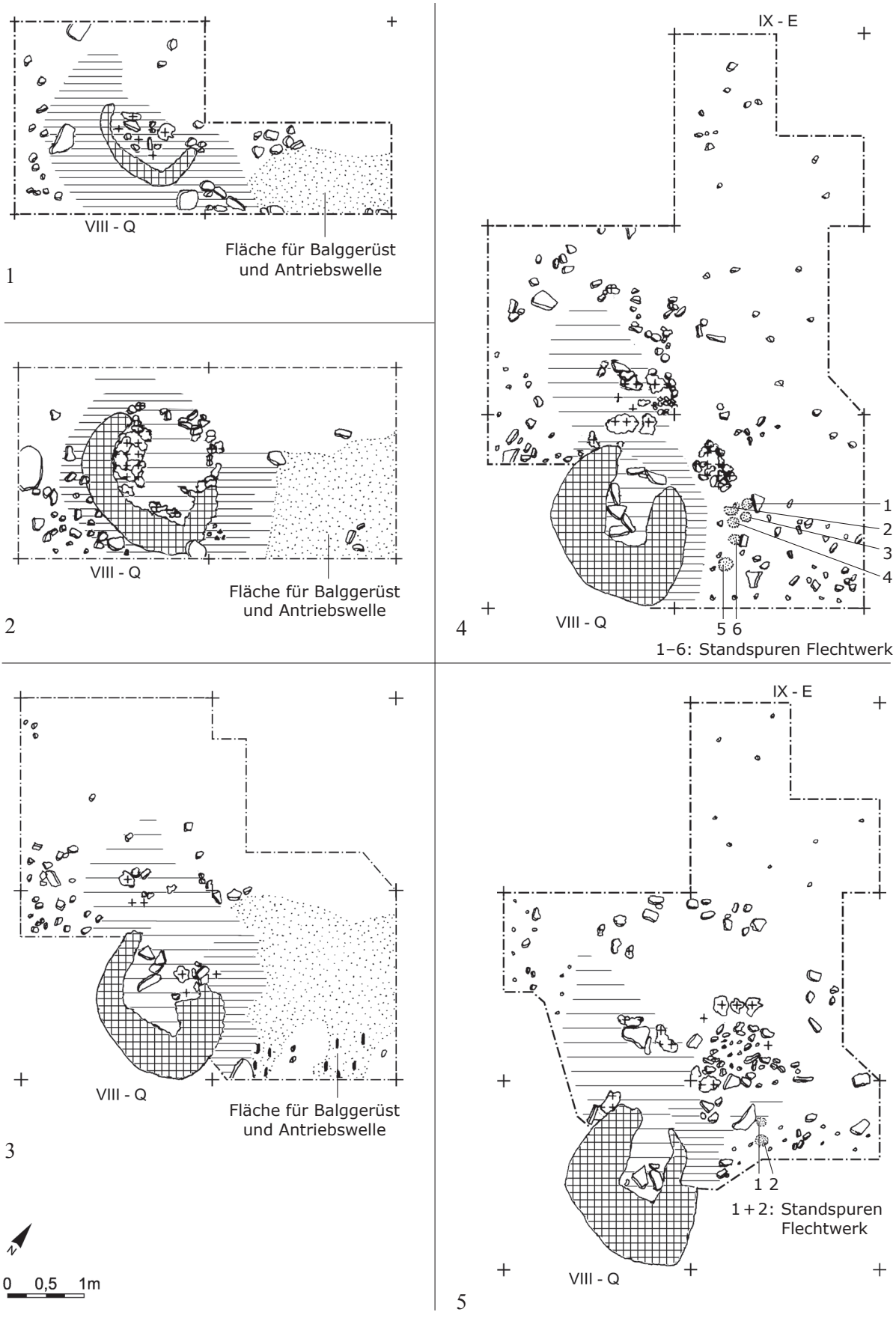


Abb. 55. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1. 1: Planum 5/6; 2: Planum 7; 3: Planum 8; 4: Planum 9; 5: Planum 10.

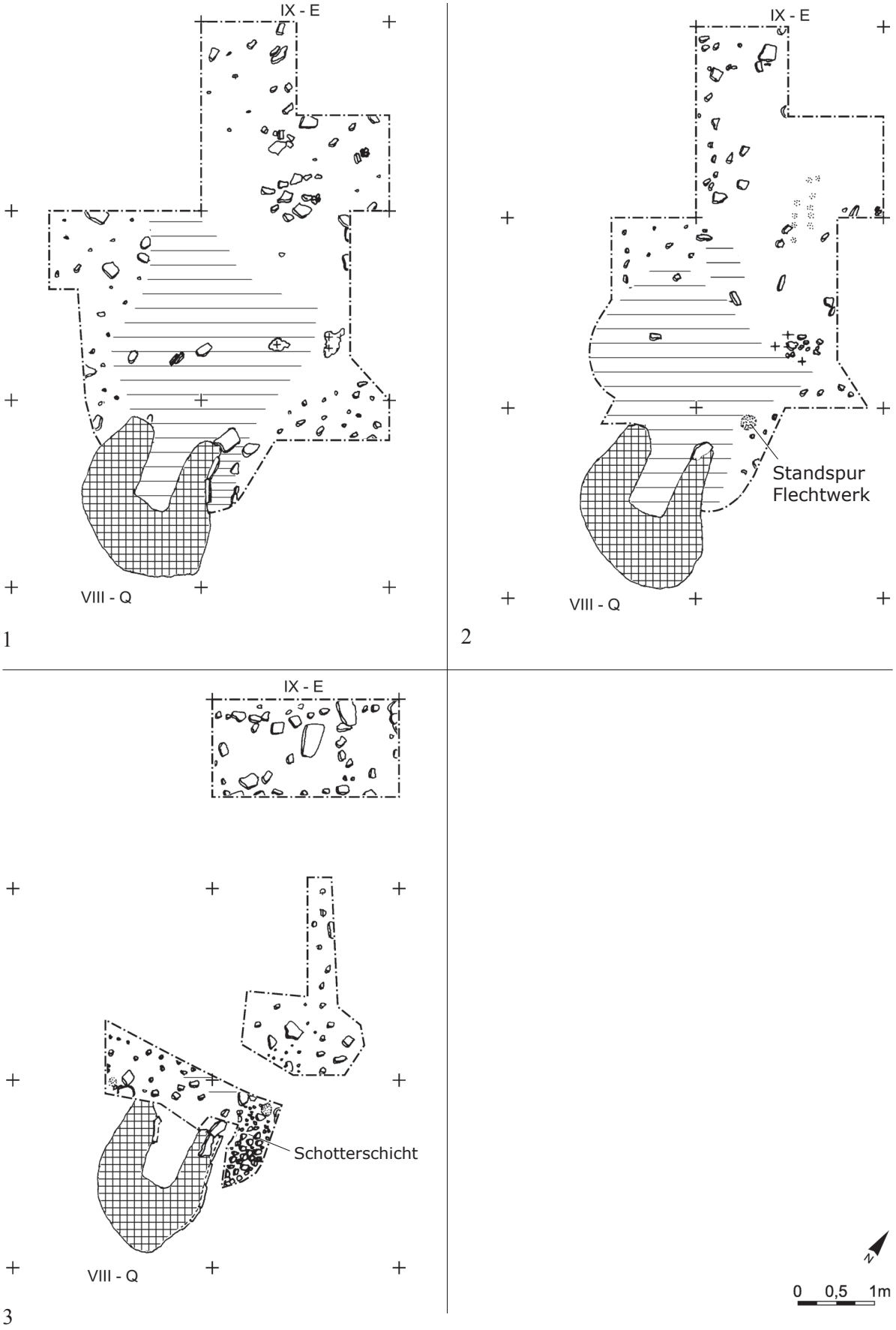


Abb. 56. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 1. 1: Planum11; 2: Planum 12; 3: Planum 13.

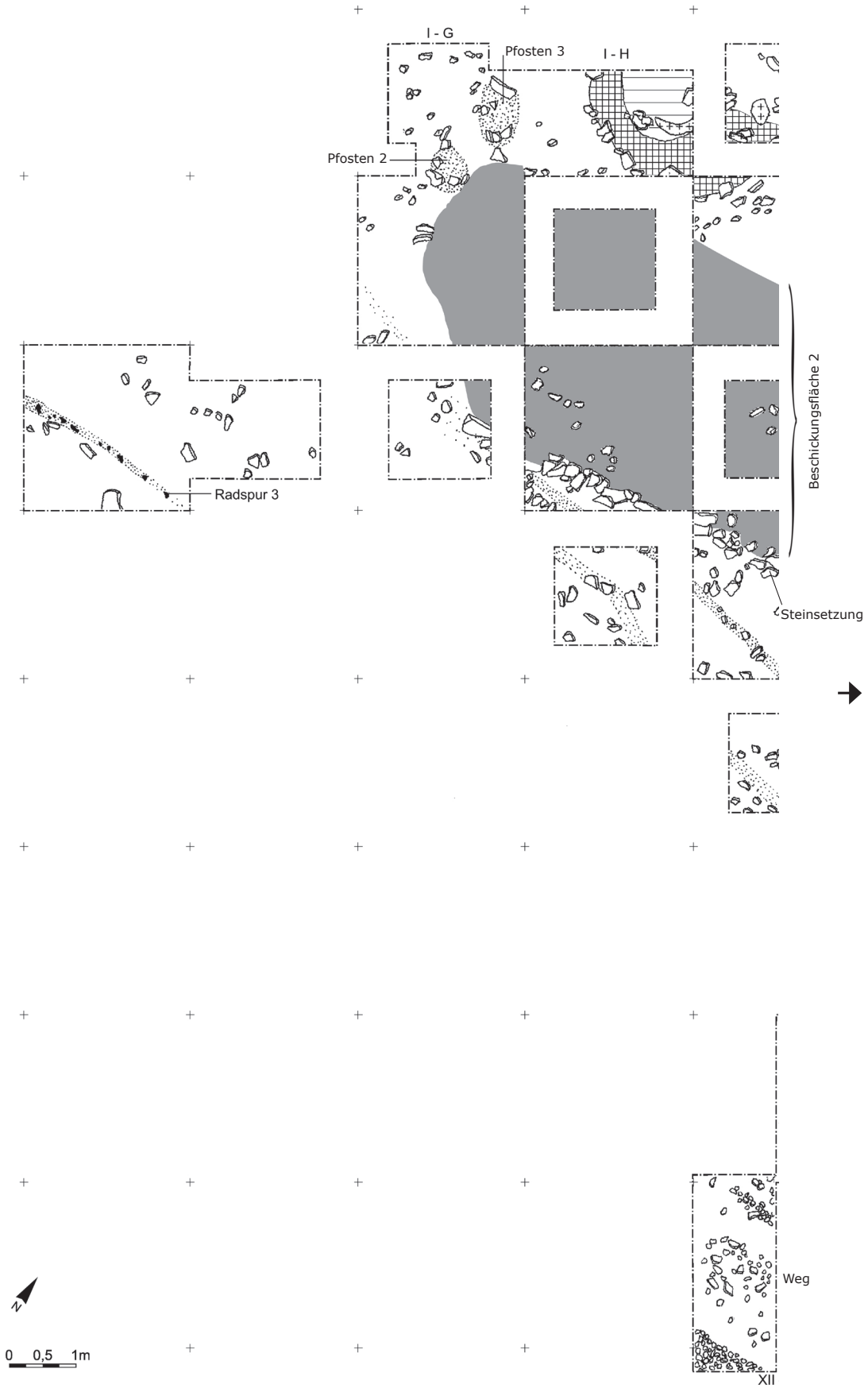


Abb. 57. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 1.

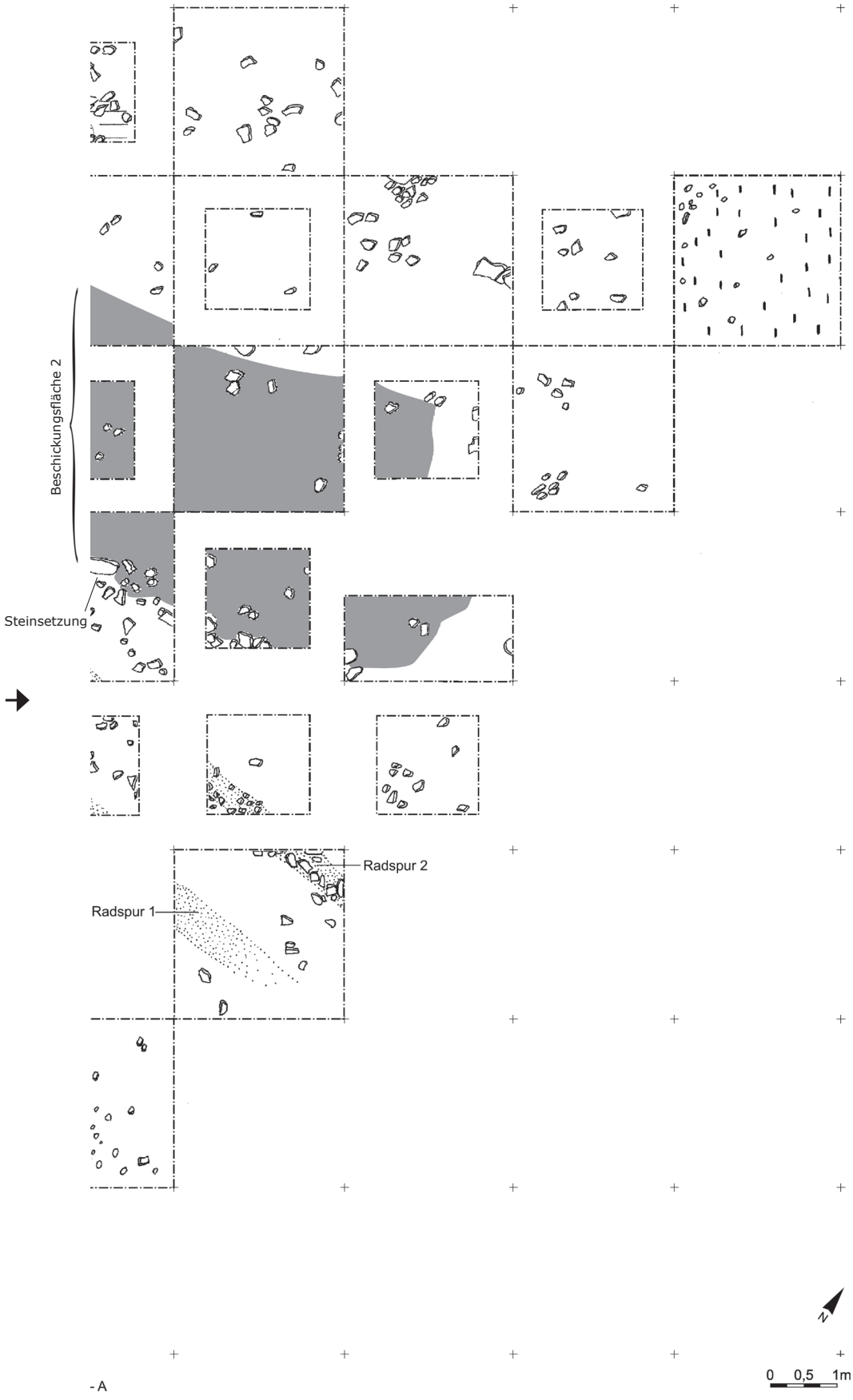


Abb. 58. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 1.

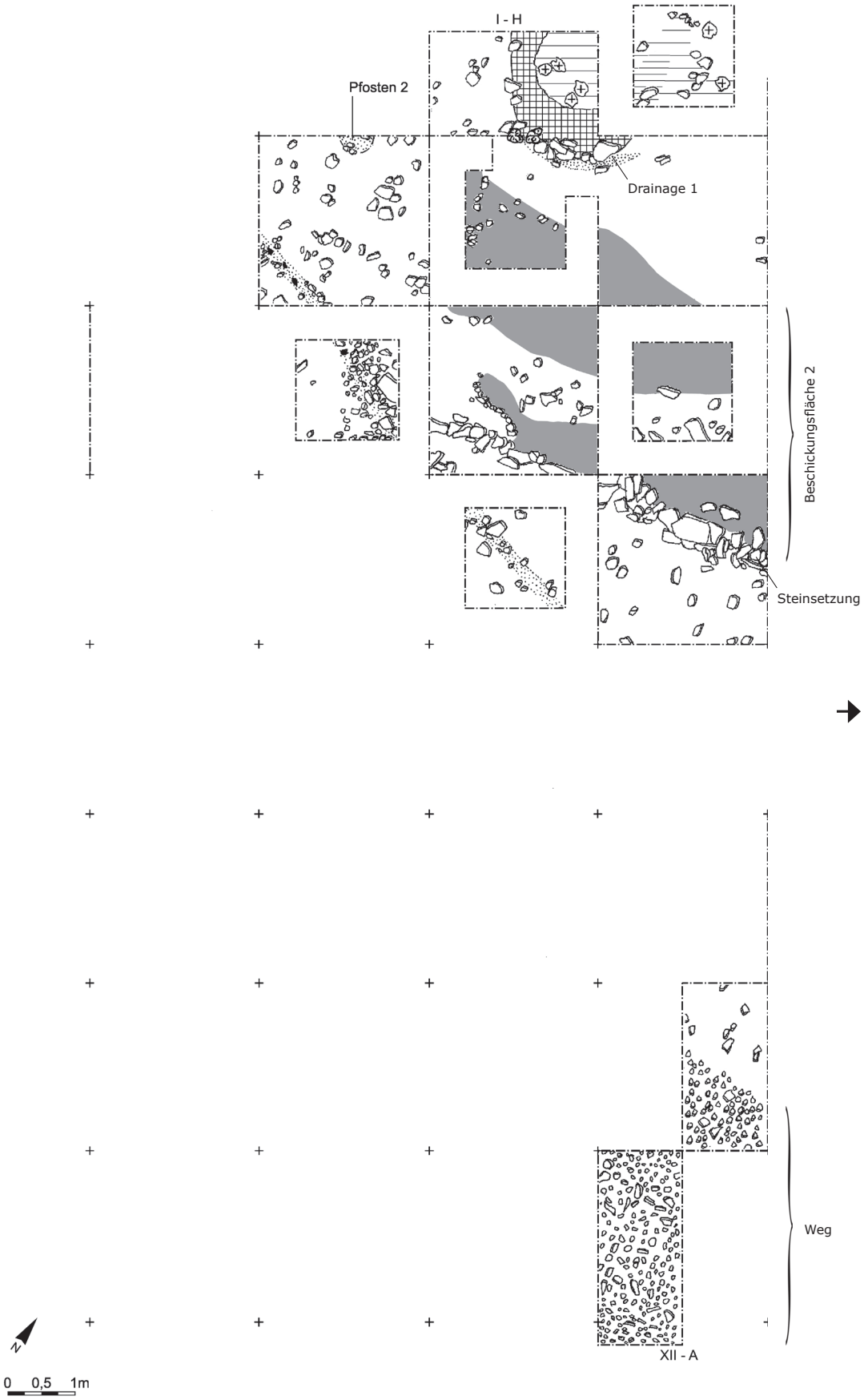


Abb. 59. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 2.

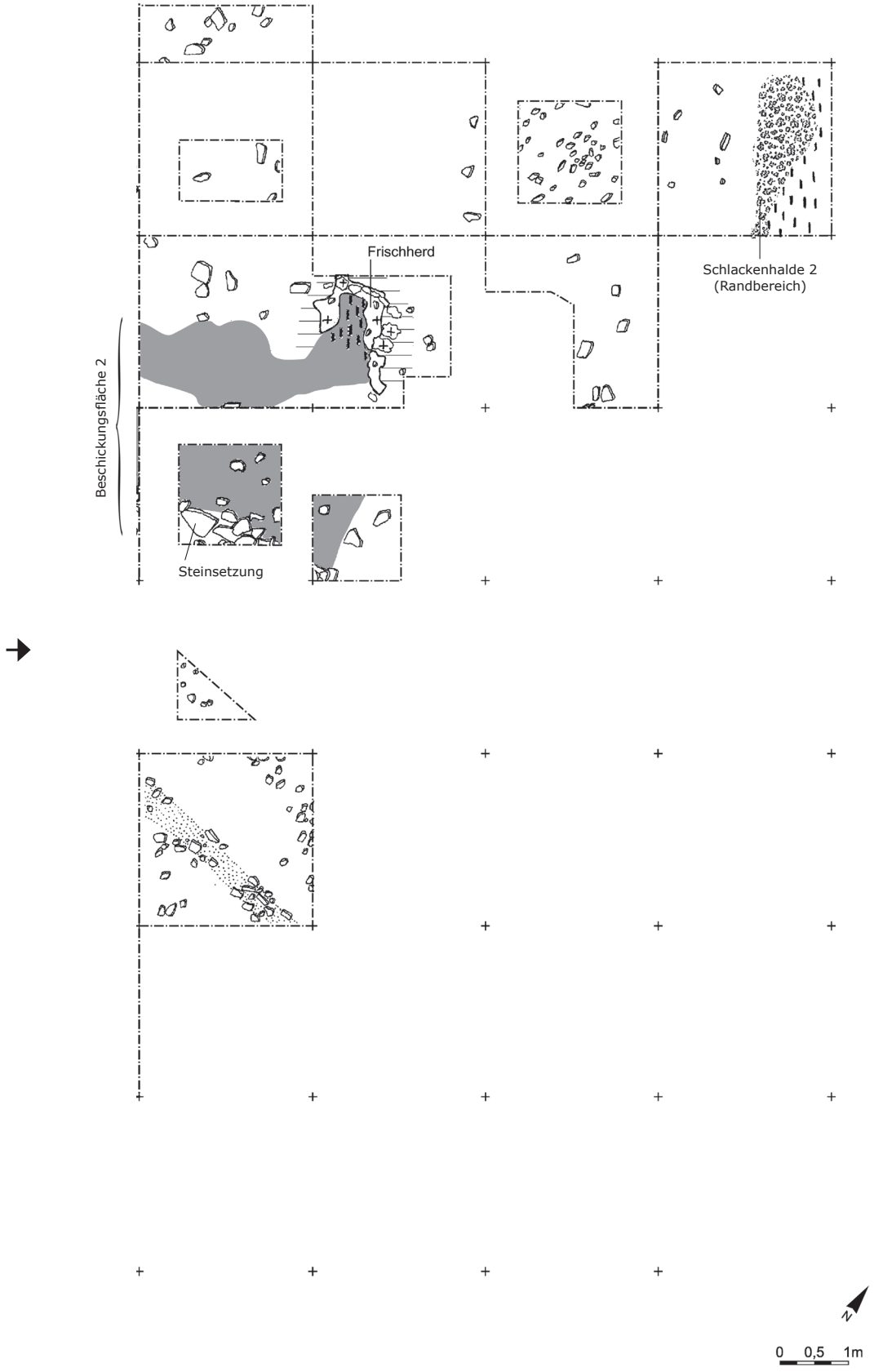
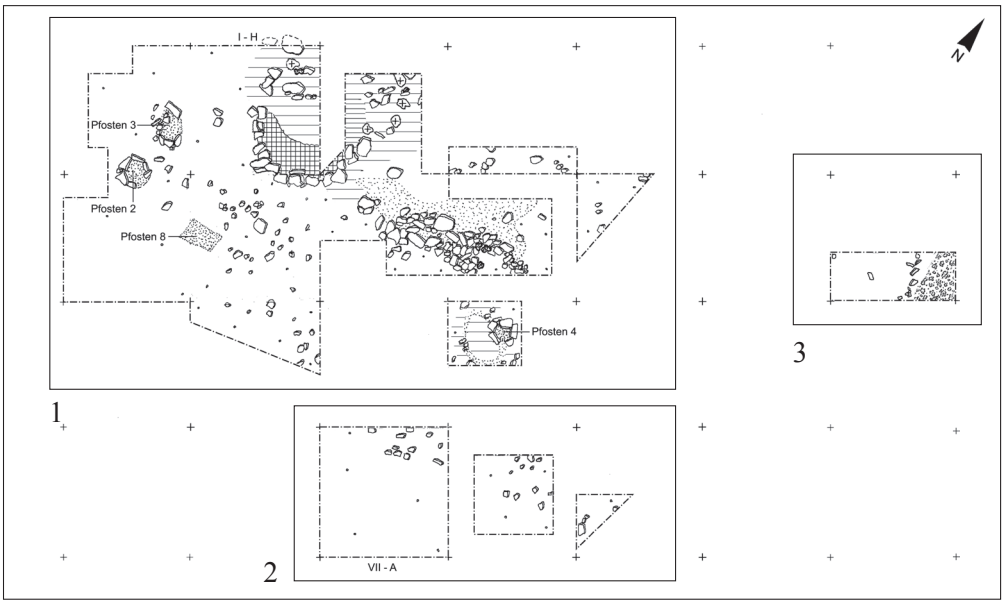


Abb. 60. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 2.



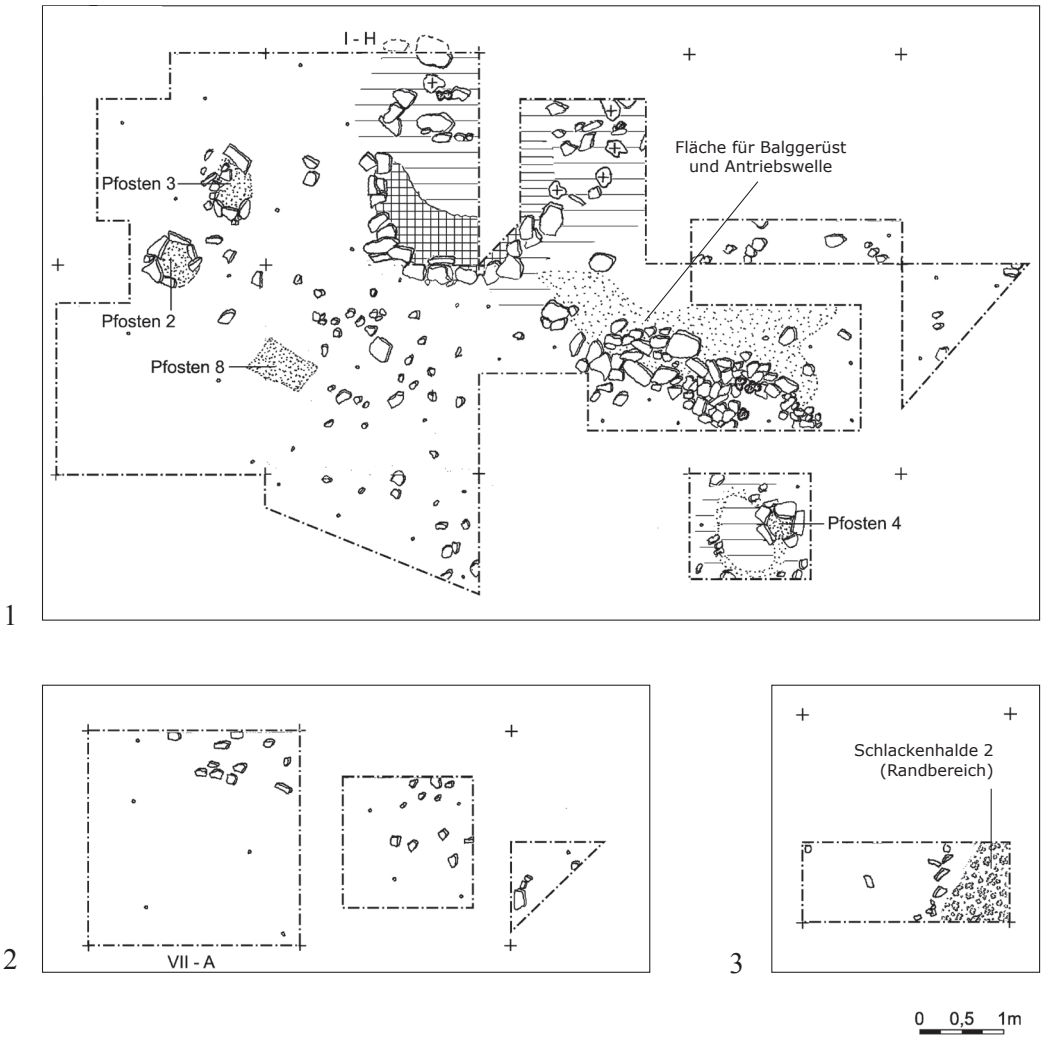
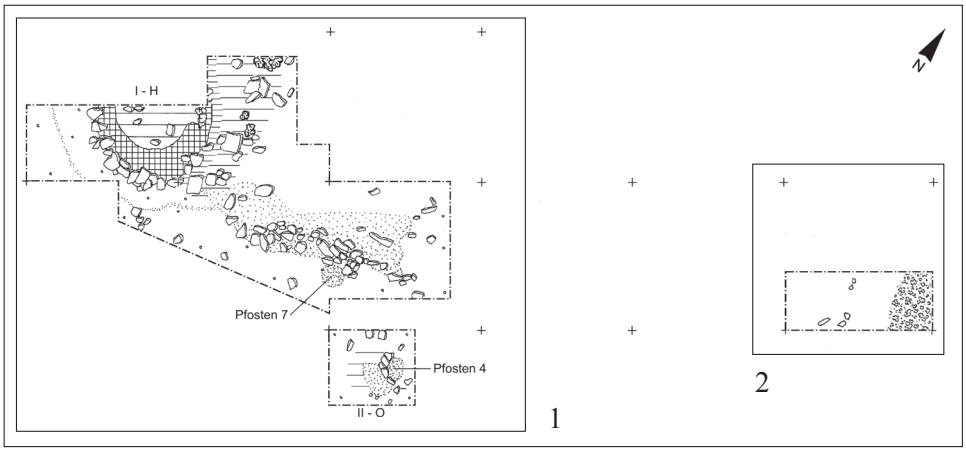
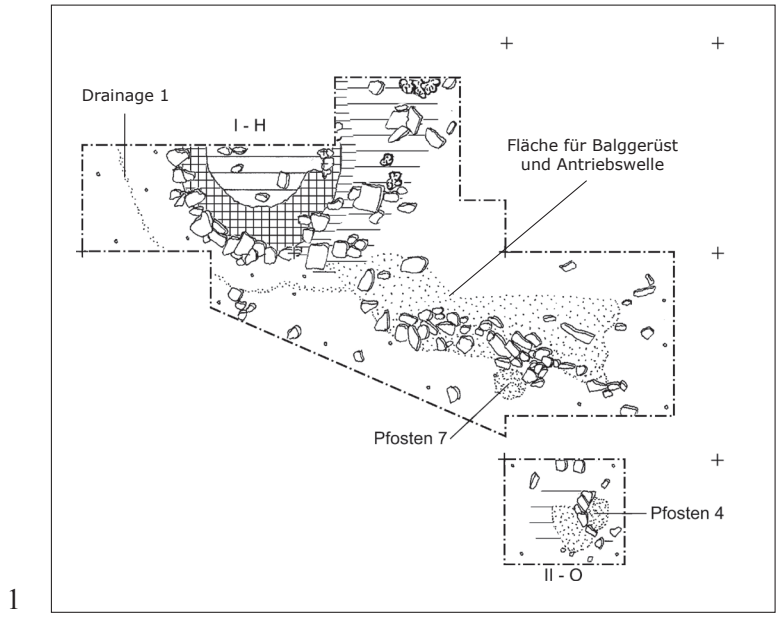


Abb. 61. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 3.





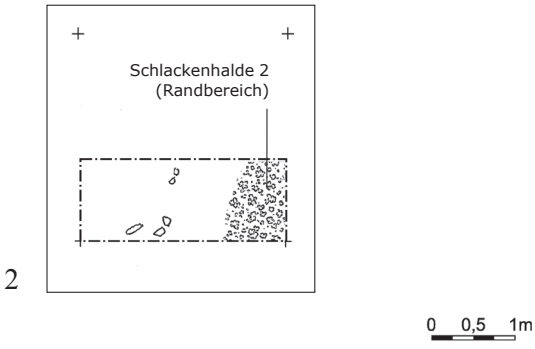
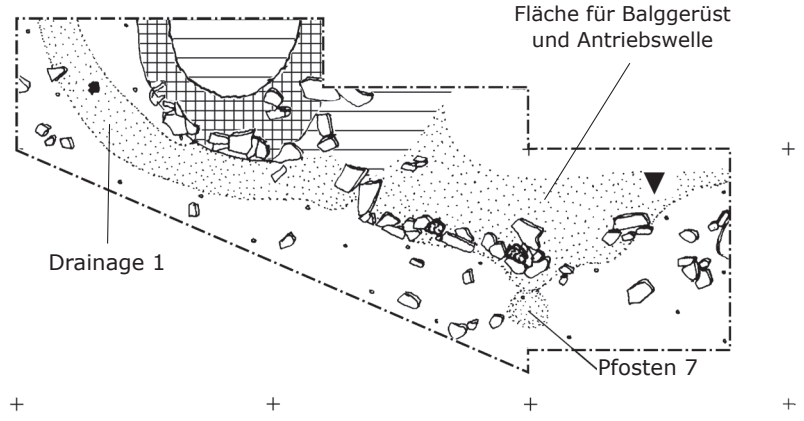
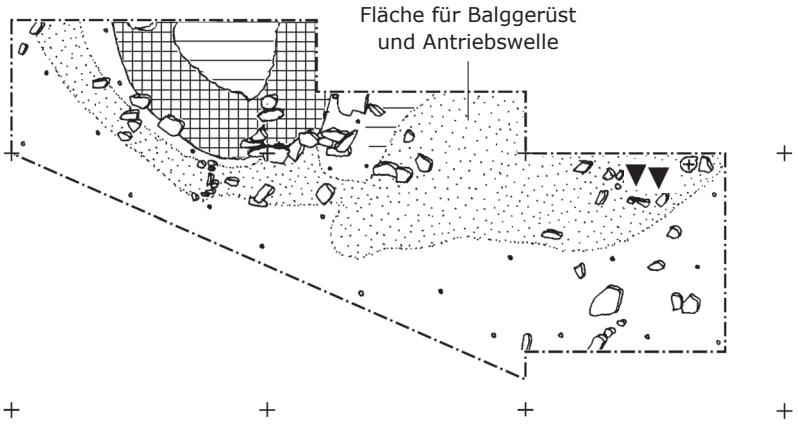


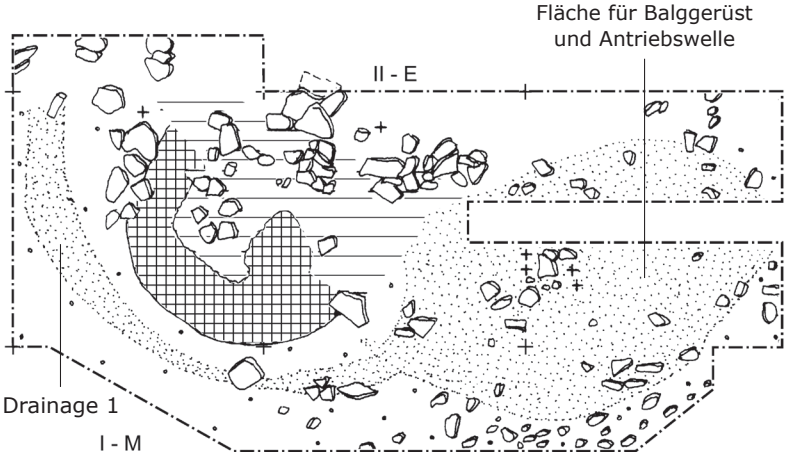
Abb. 62. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2, Planum 4.



1



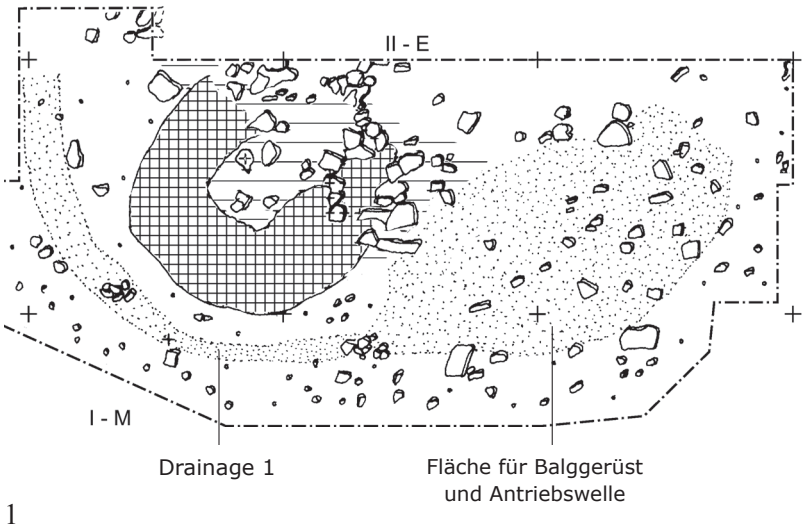
2



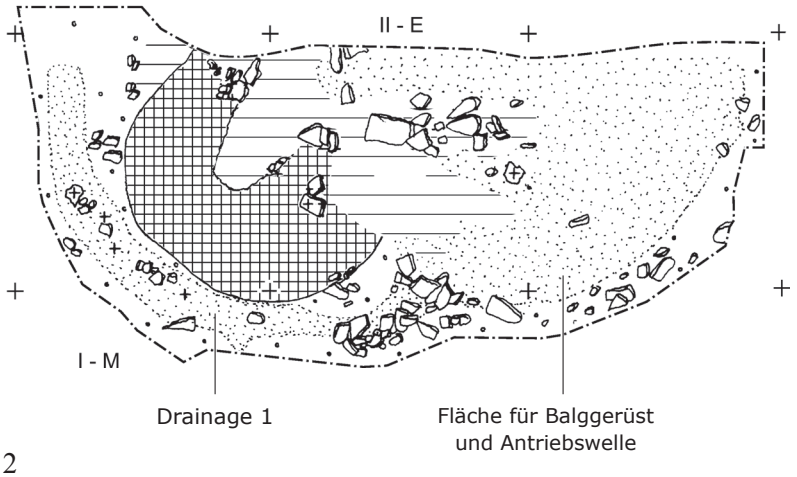
3



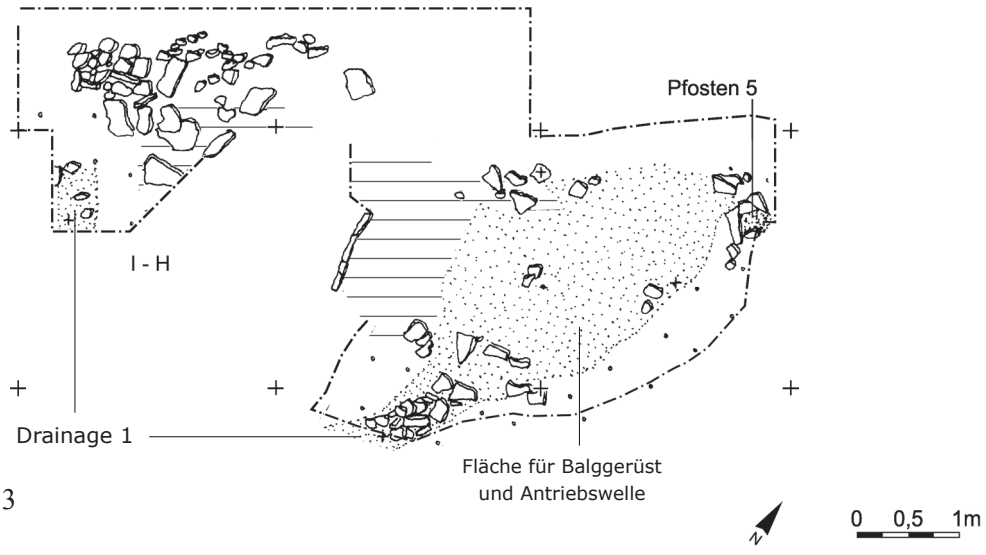
Abb. 63. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2. 1: Planum 5; 2: Planum 6; 3: Planum 7.



1

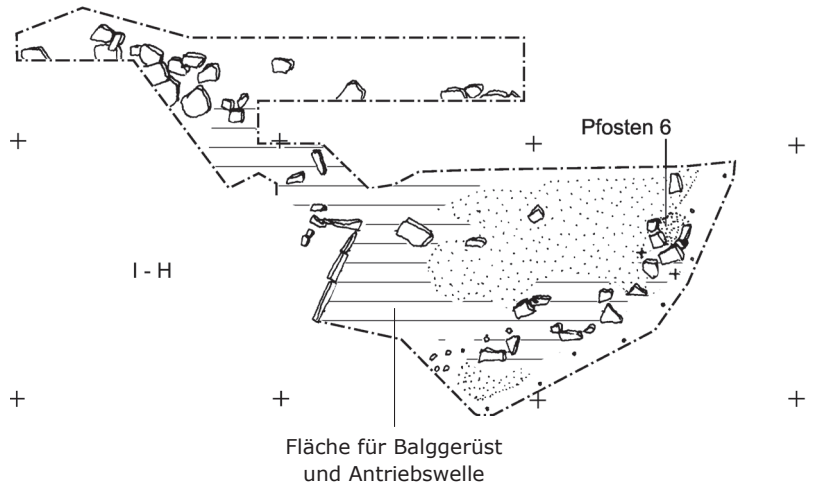


2

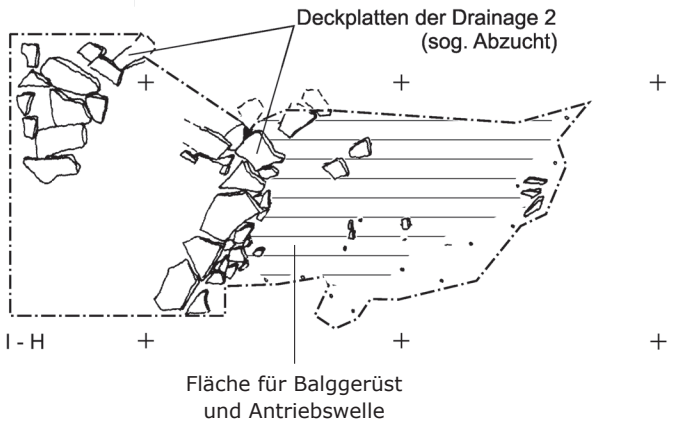


3

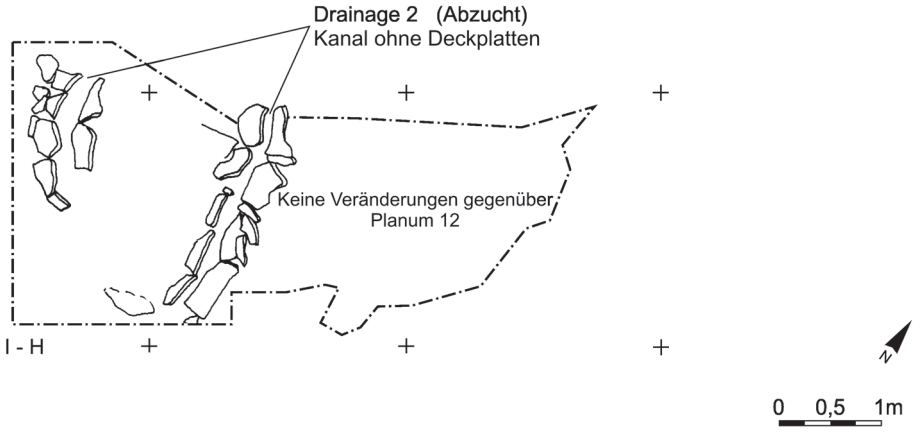
Abb. 64. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2. 1: Planum 8; 2: Planum 9; 3: Planum 10.



1

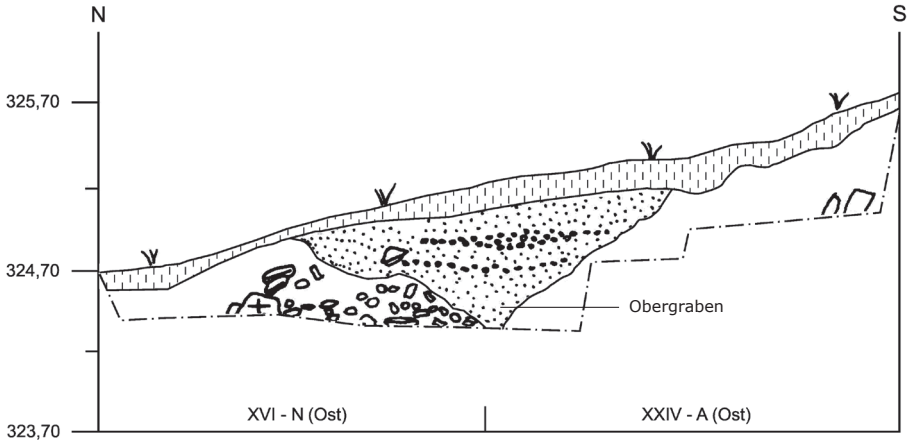


2

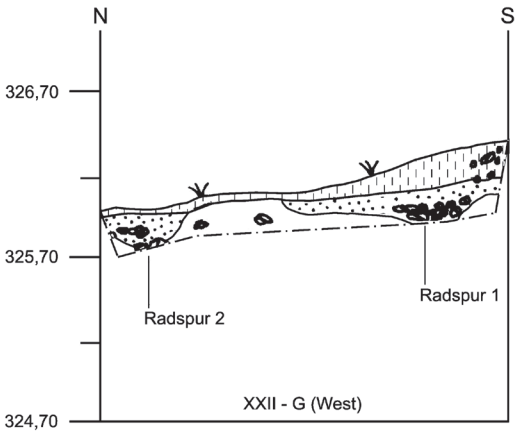


3

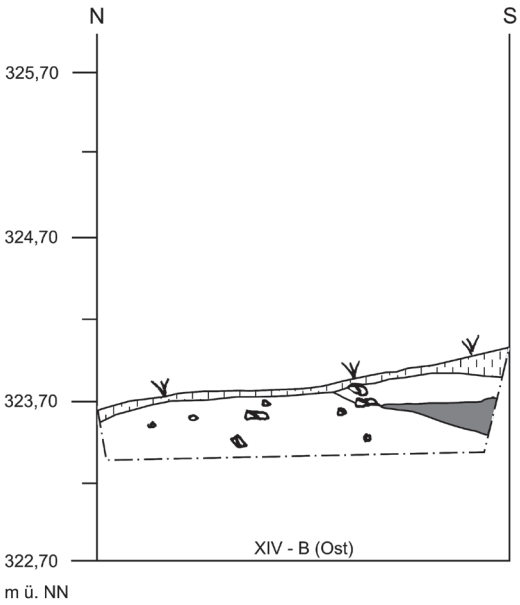
Abb. 65. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. Ofen 2. 1: Planum 11; 2: Planum 12; 3: Planum 13.



1



2



3

Abb. 66. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: N-S-Profil 1; 2: N-S-Profil 2; 3: N-S-Profil 3.

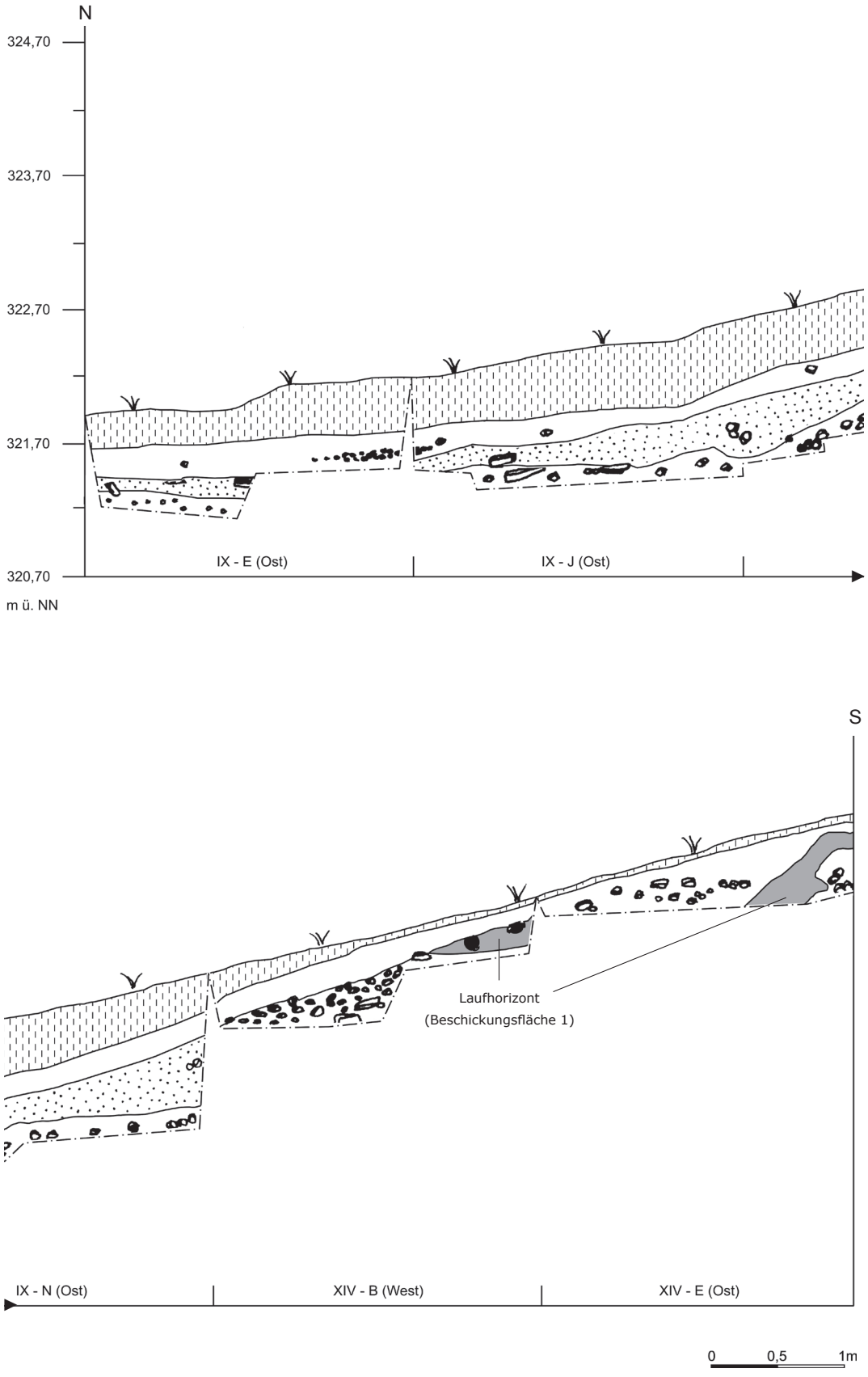


Abb. 67. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 4.

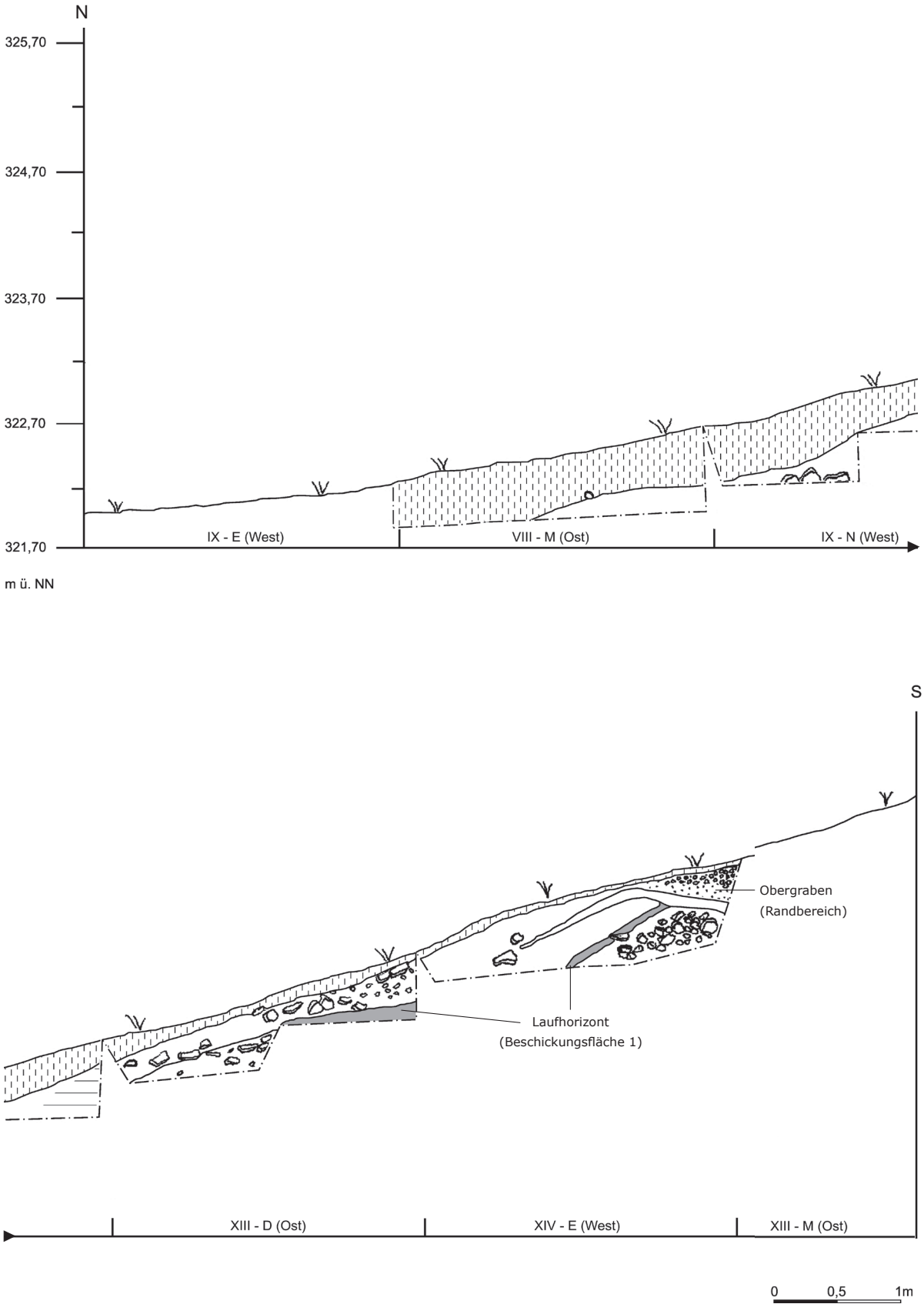


Abb. 68. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 5.

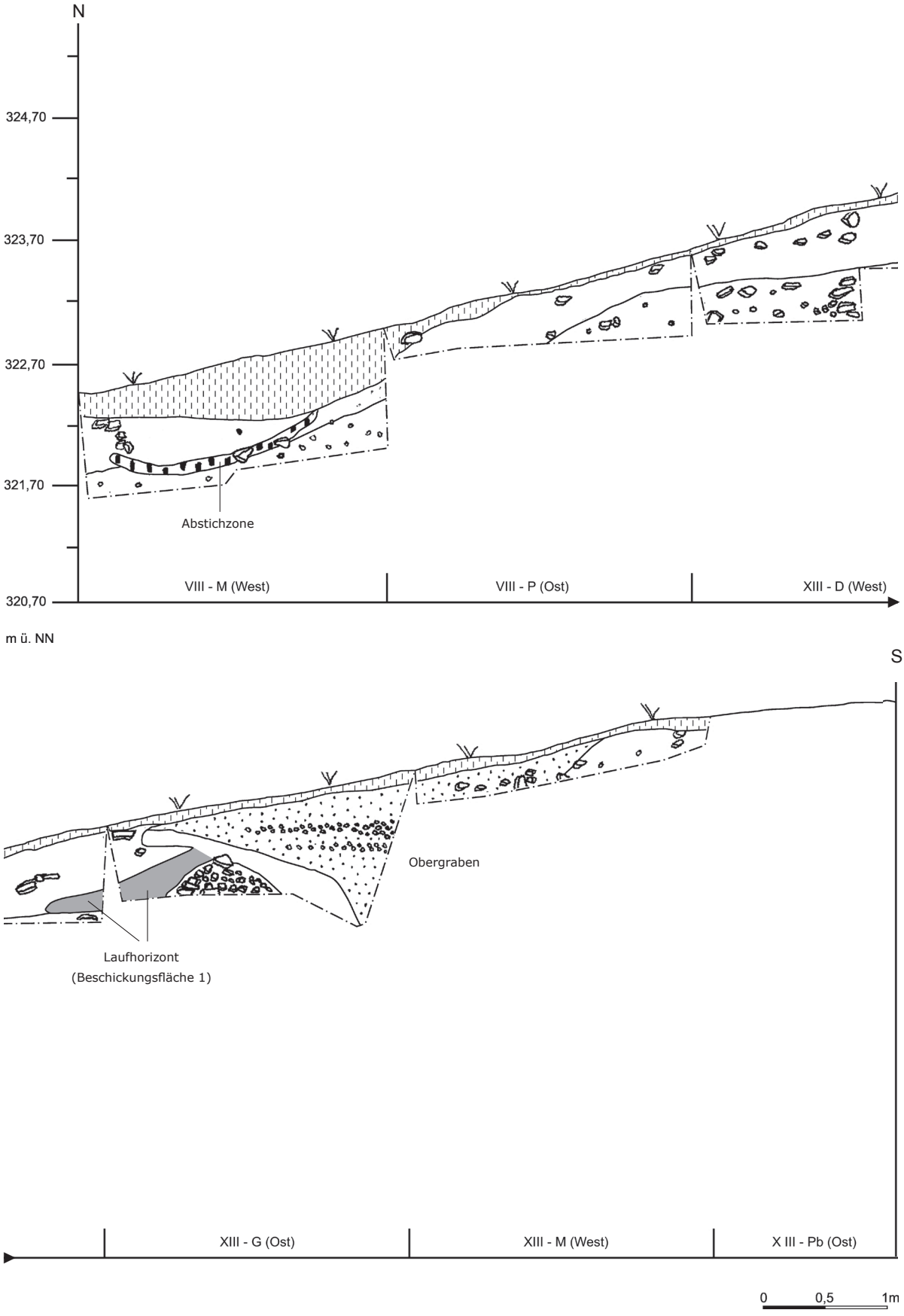


Abb. 69. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 6.

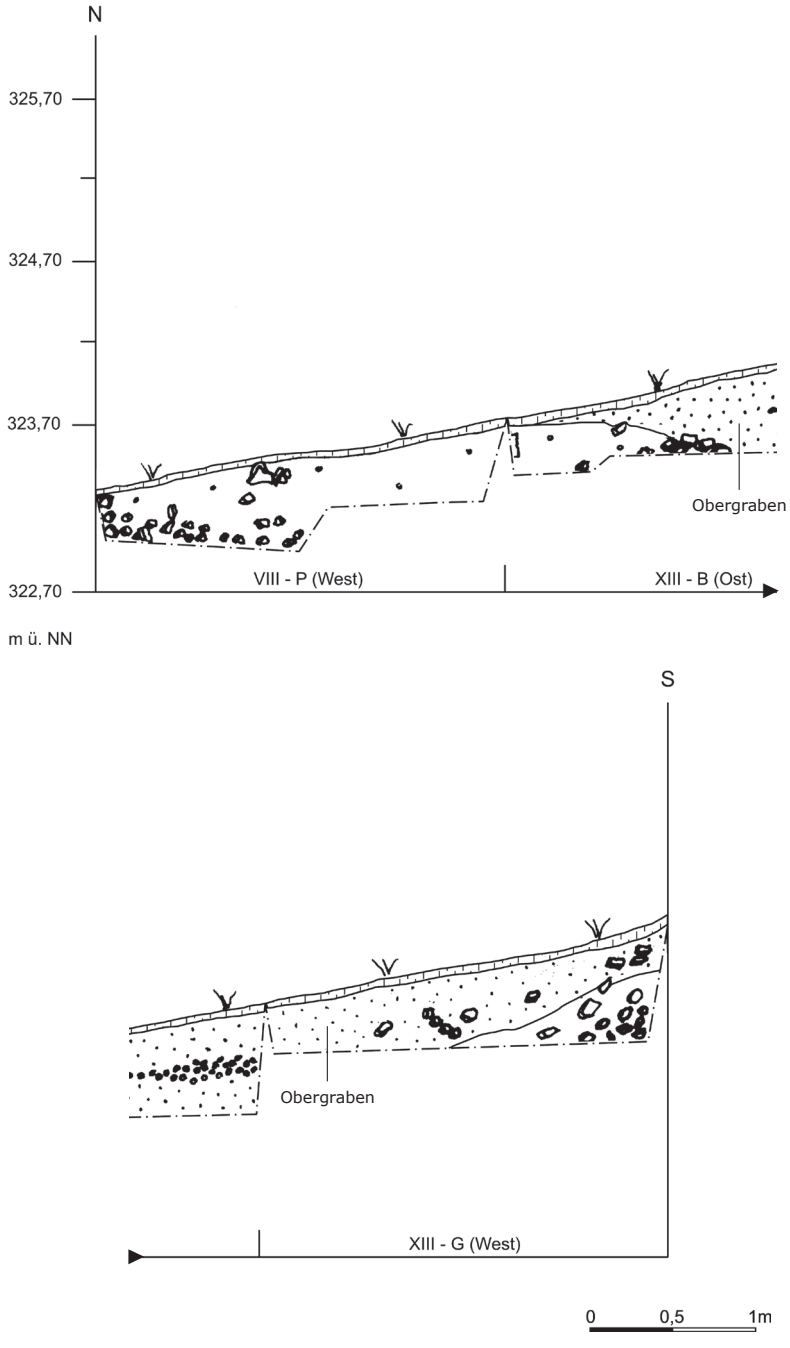


Abb. 70. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 7.

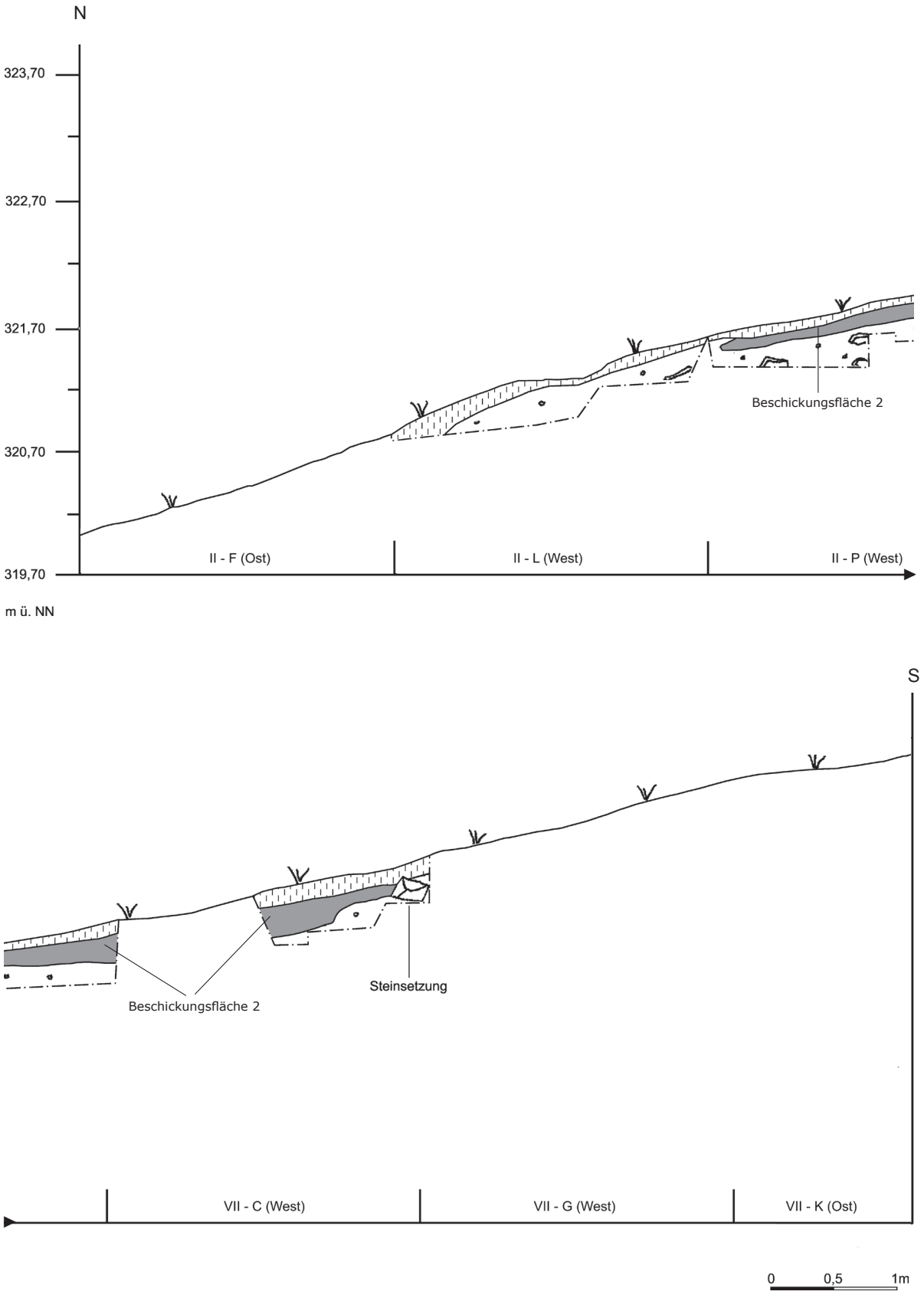


Abb. 71. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 8.

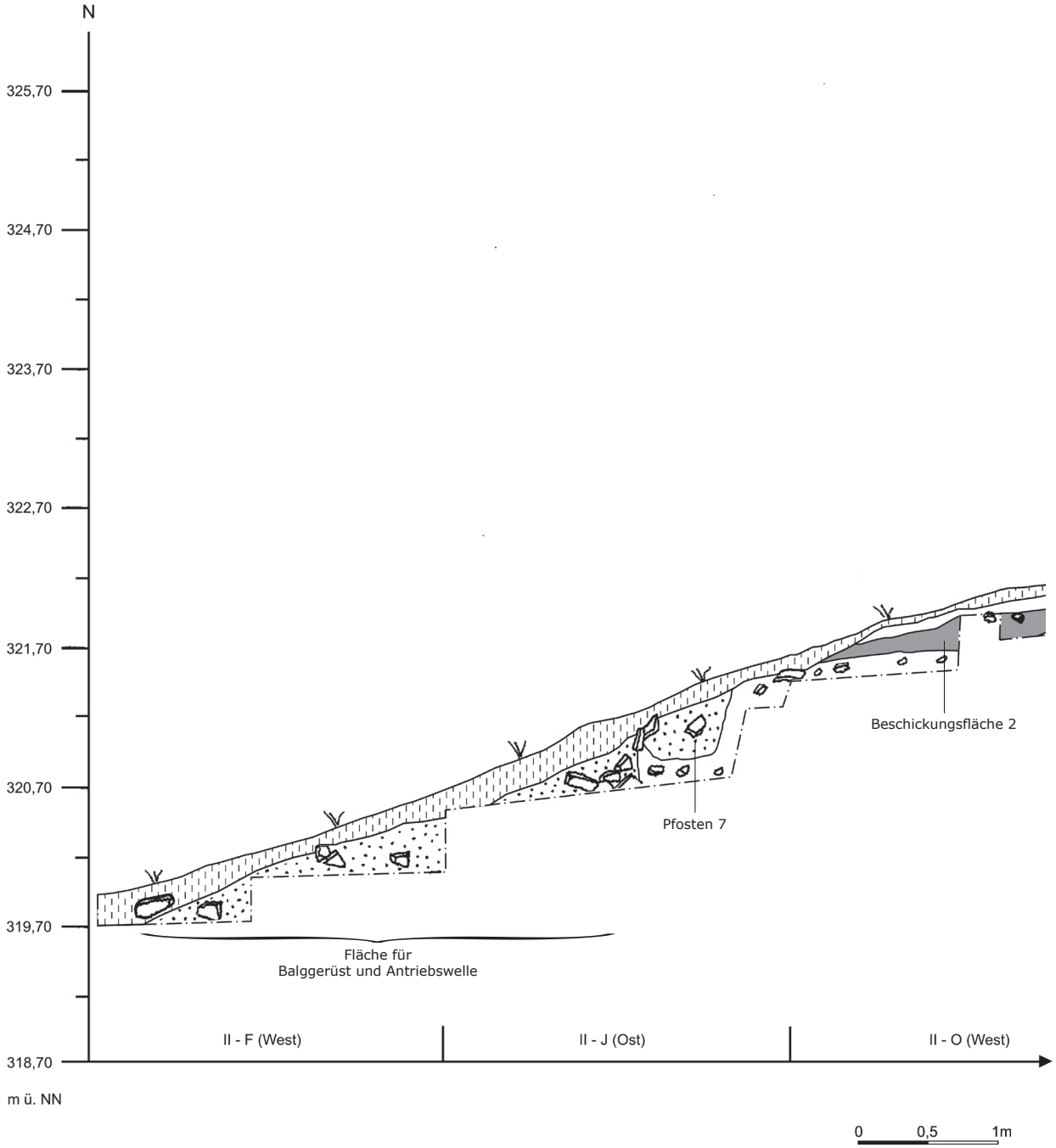


Abb. 72. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 9.

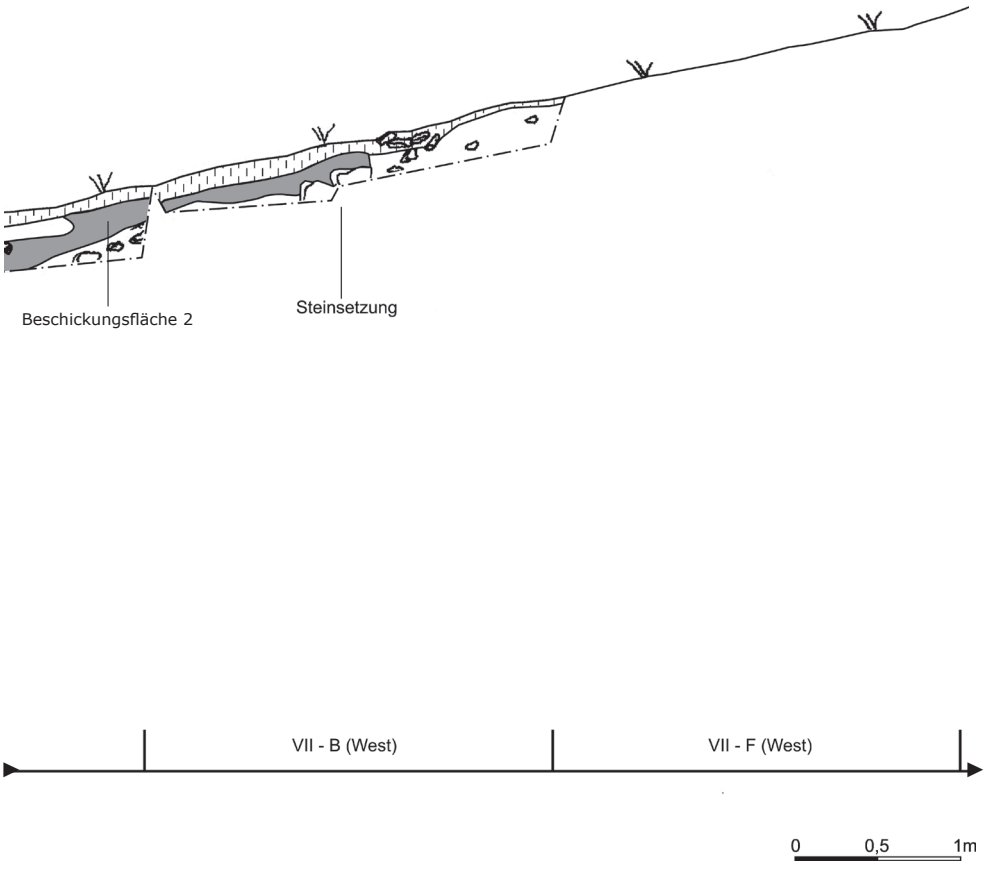


Abb. 73. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 9.

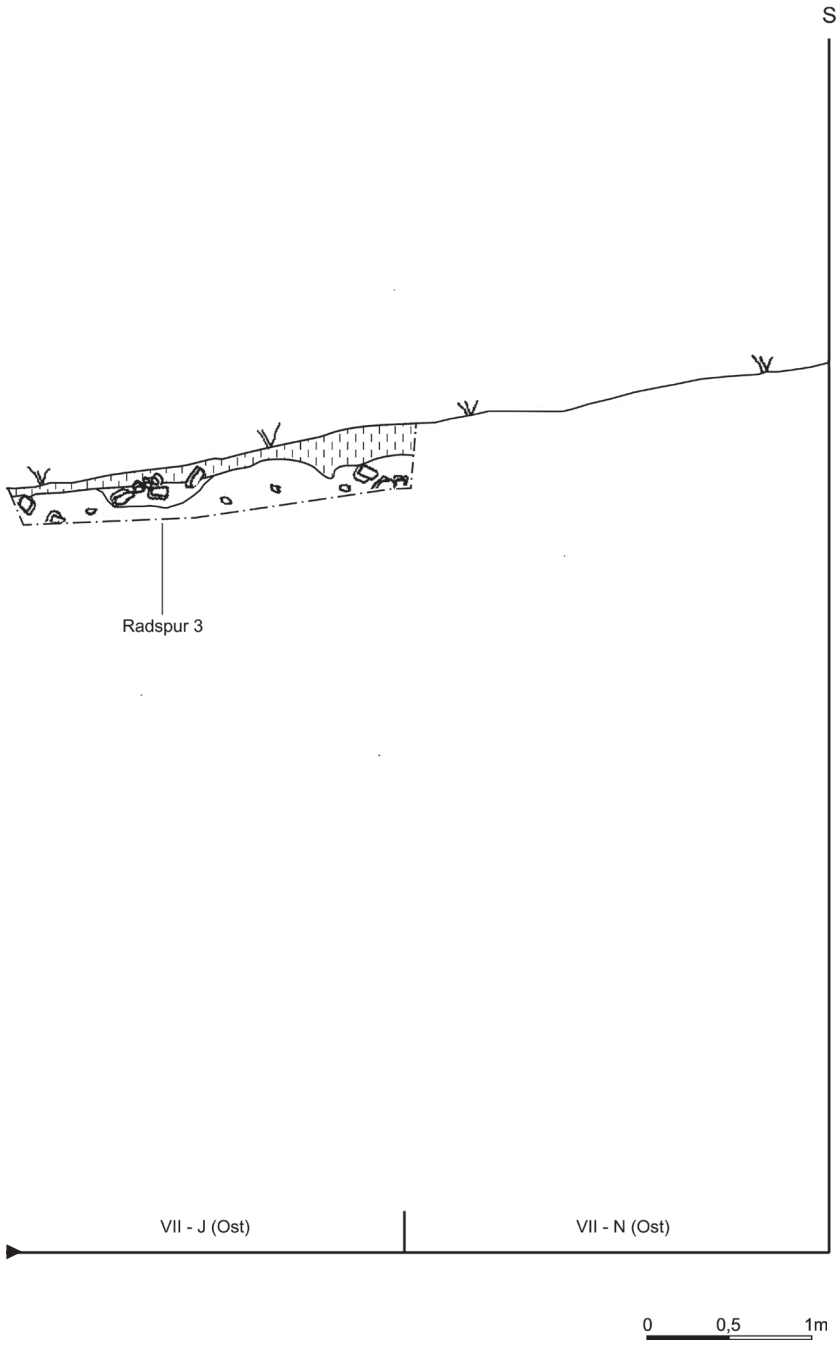


Abb. 74. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 9.

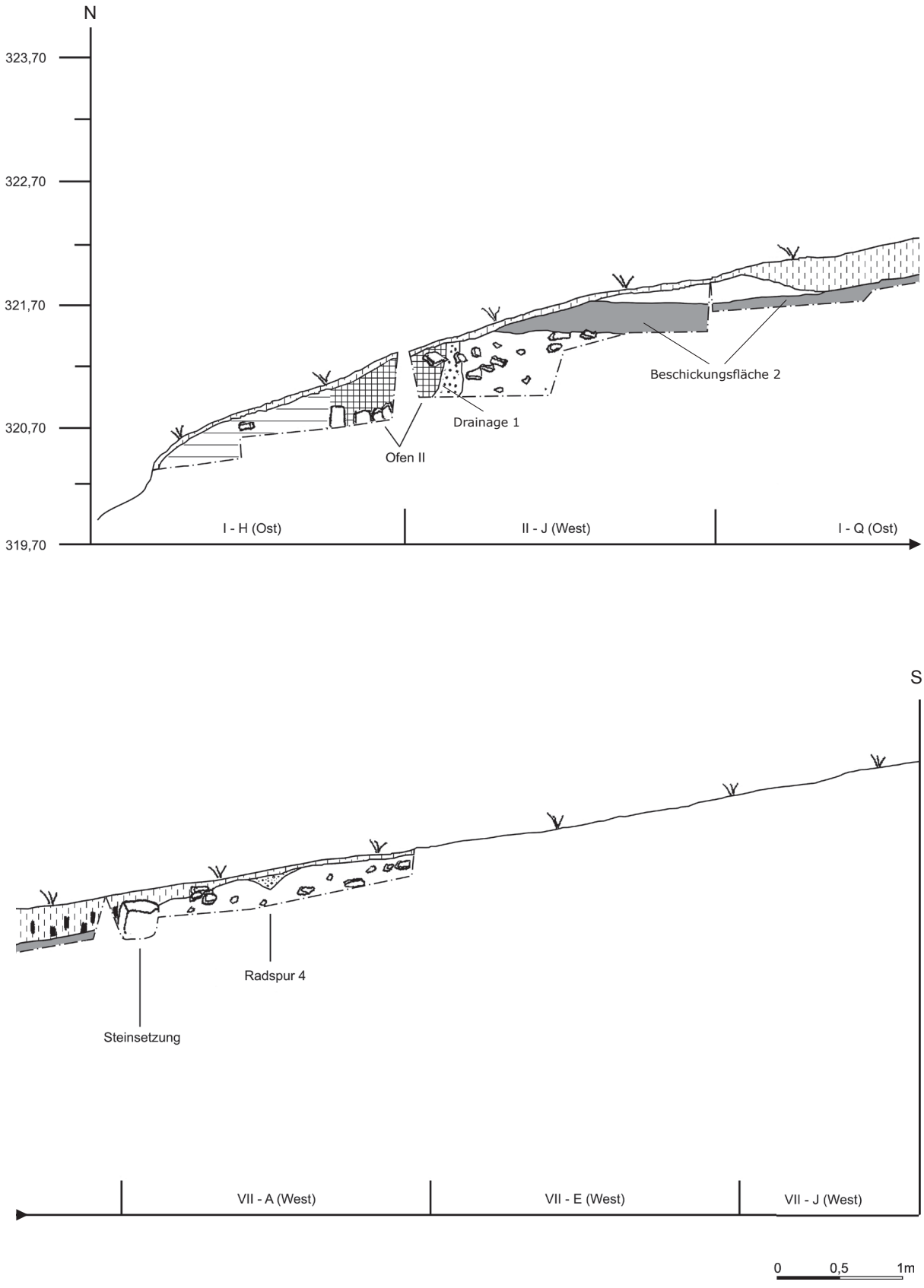


Abb. 75. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 10.

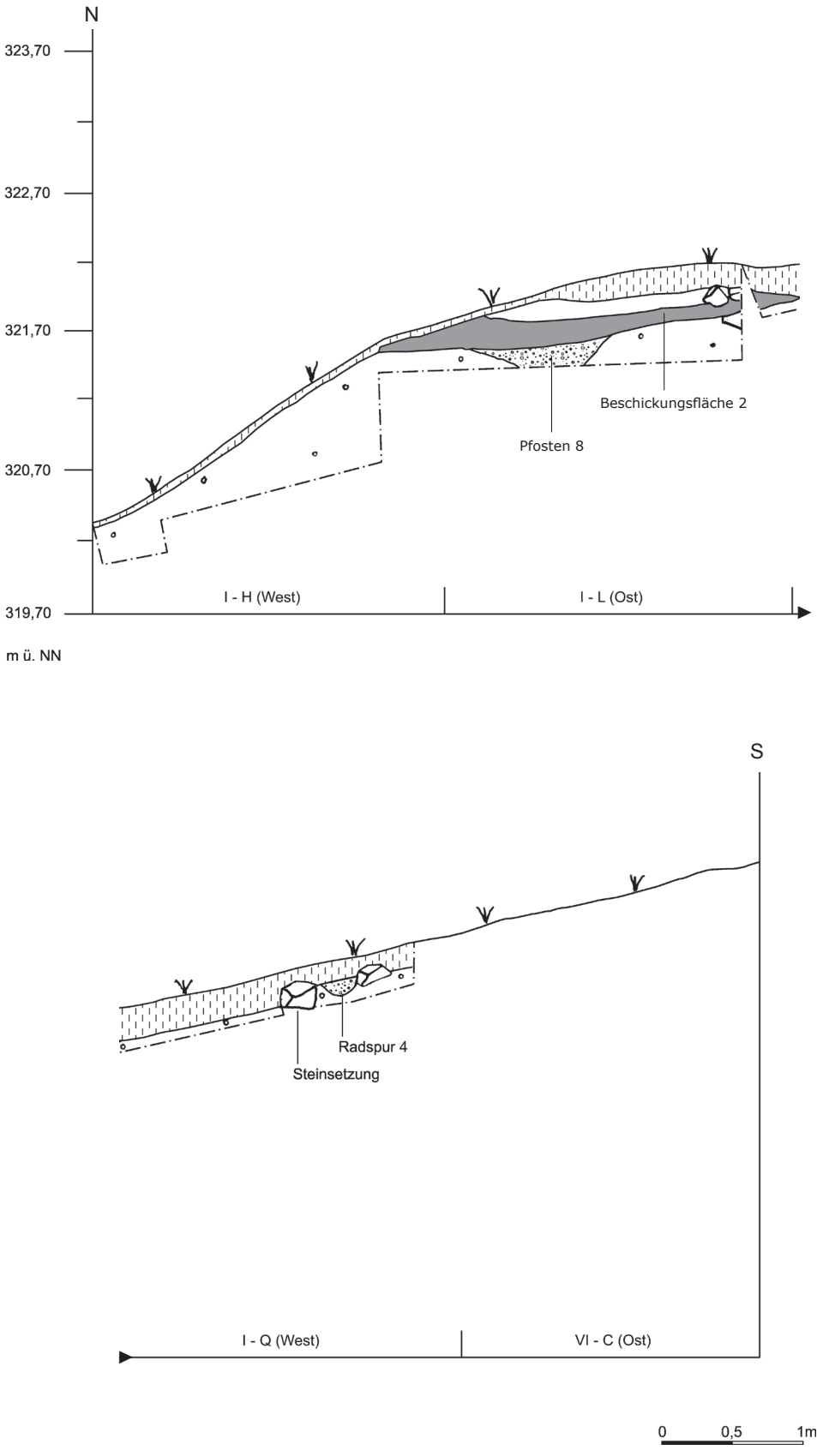
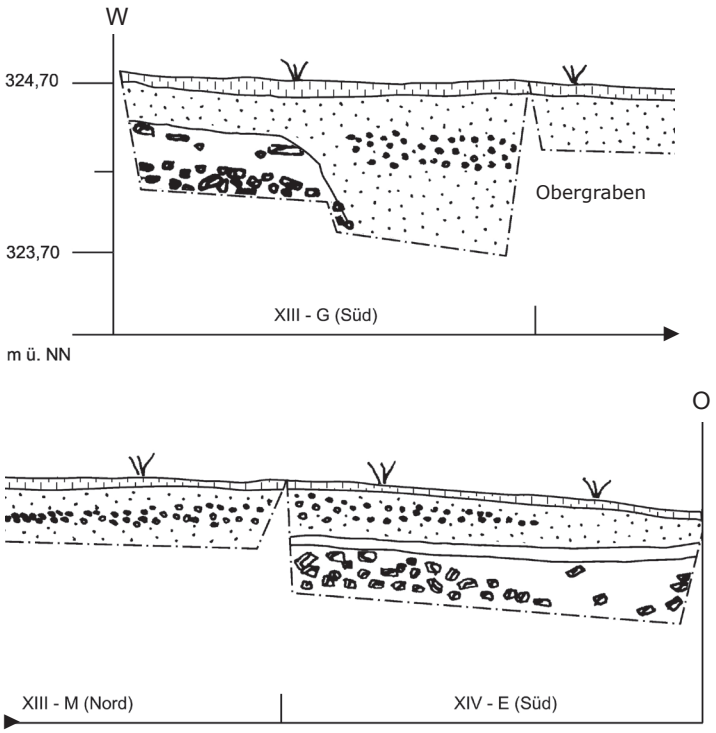
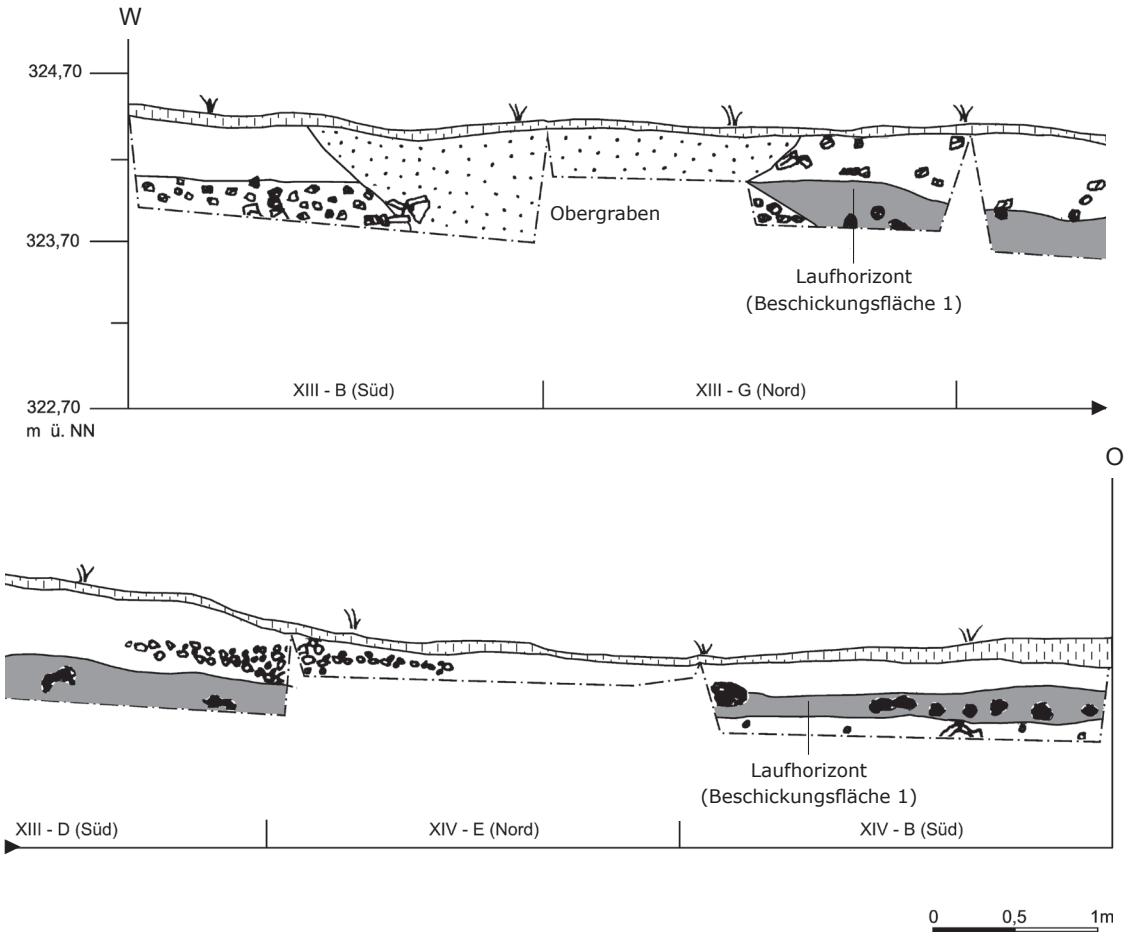


Abb. 76. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. N-S-Profil 11.



1



2

Abb. 77. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: W-O-Profil 12; 2: W-O-Profil 13.

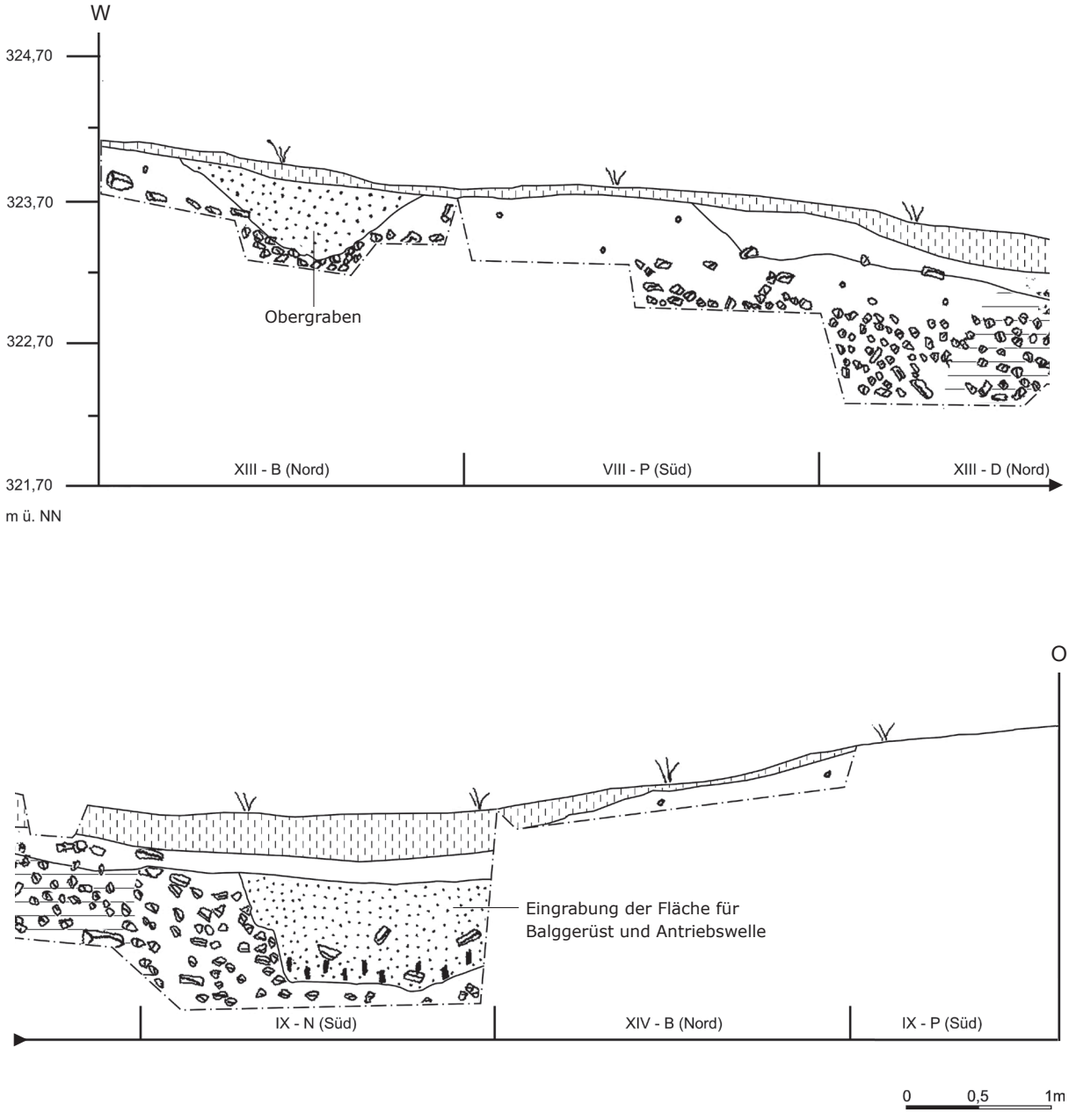


Abb. 78. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. W-O-Profil 14.

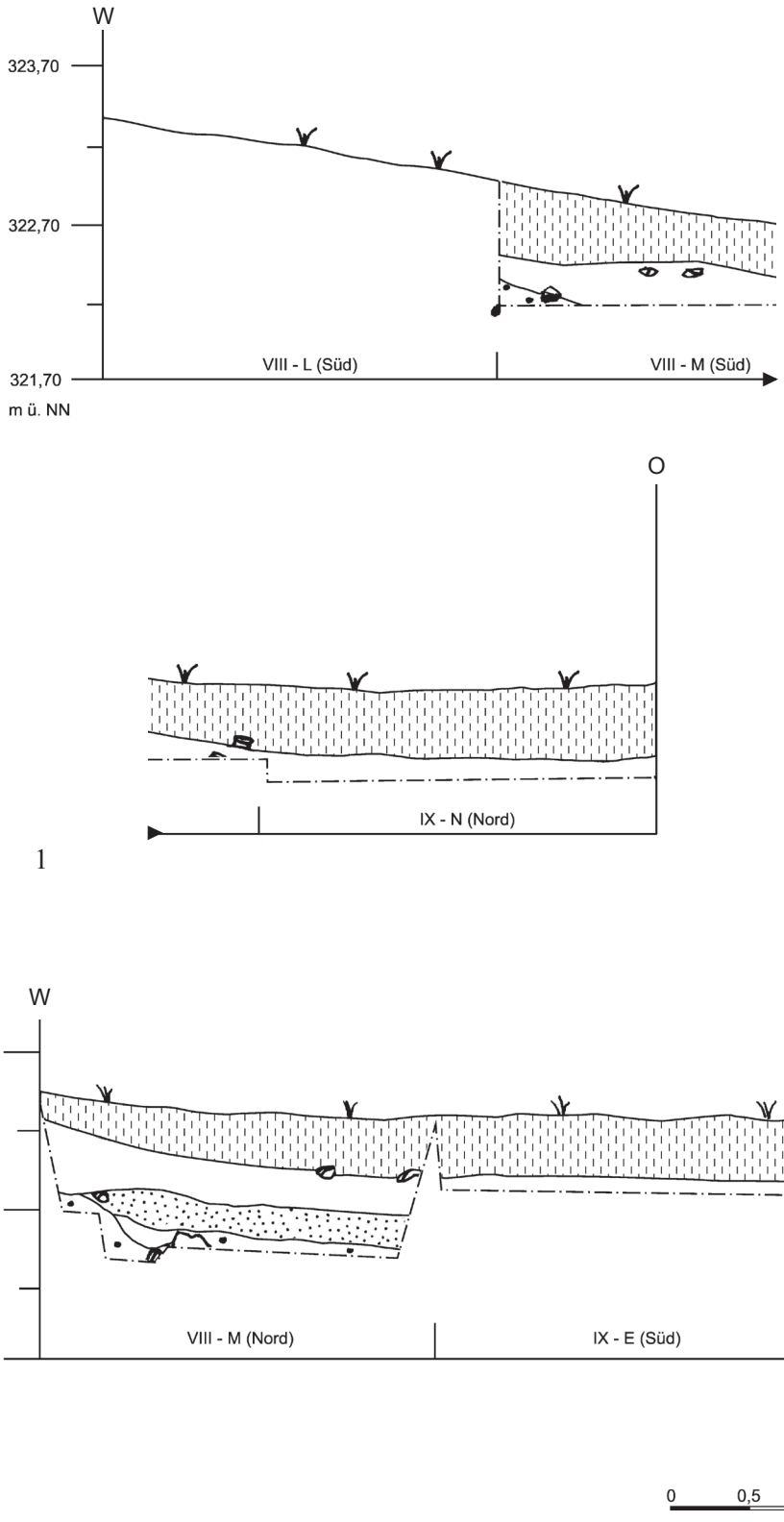
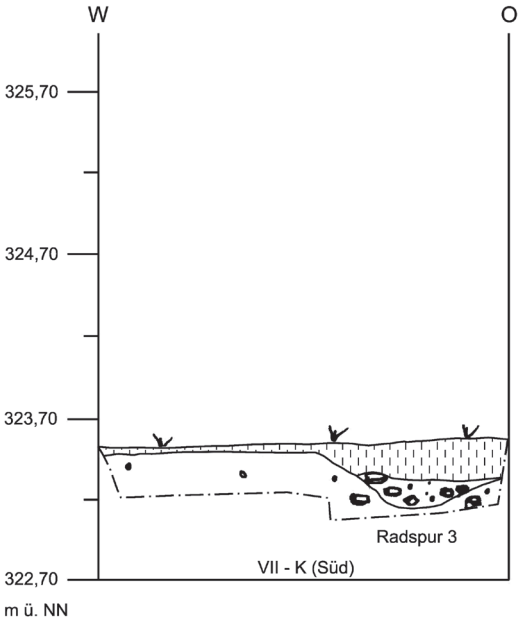
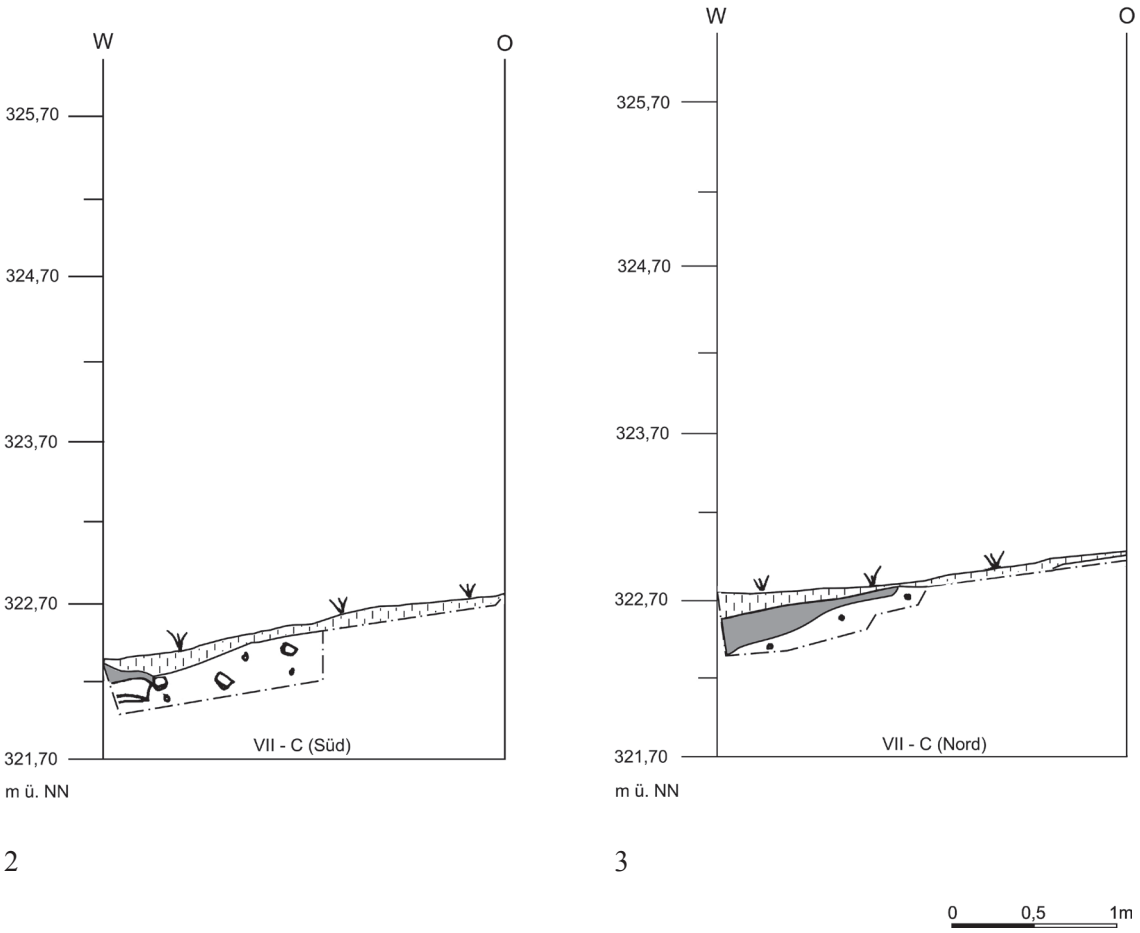


Abb. 79. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: W-O-Profil 15; 2: W-O-Profil 16.



1



2 3

Abb. 80. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. 1: W-O-Profil 17; 2: W-O-Profil 18; 3: W-O-Profil 19.

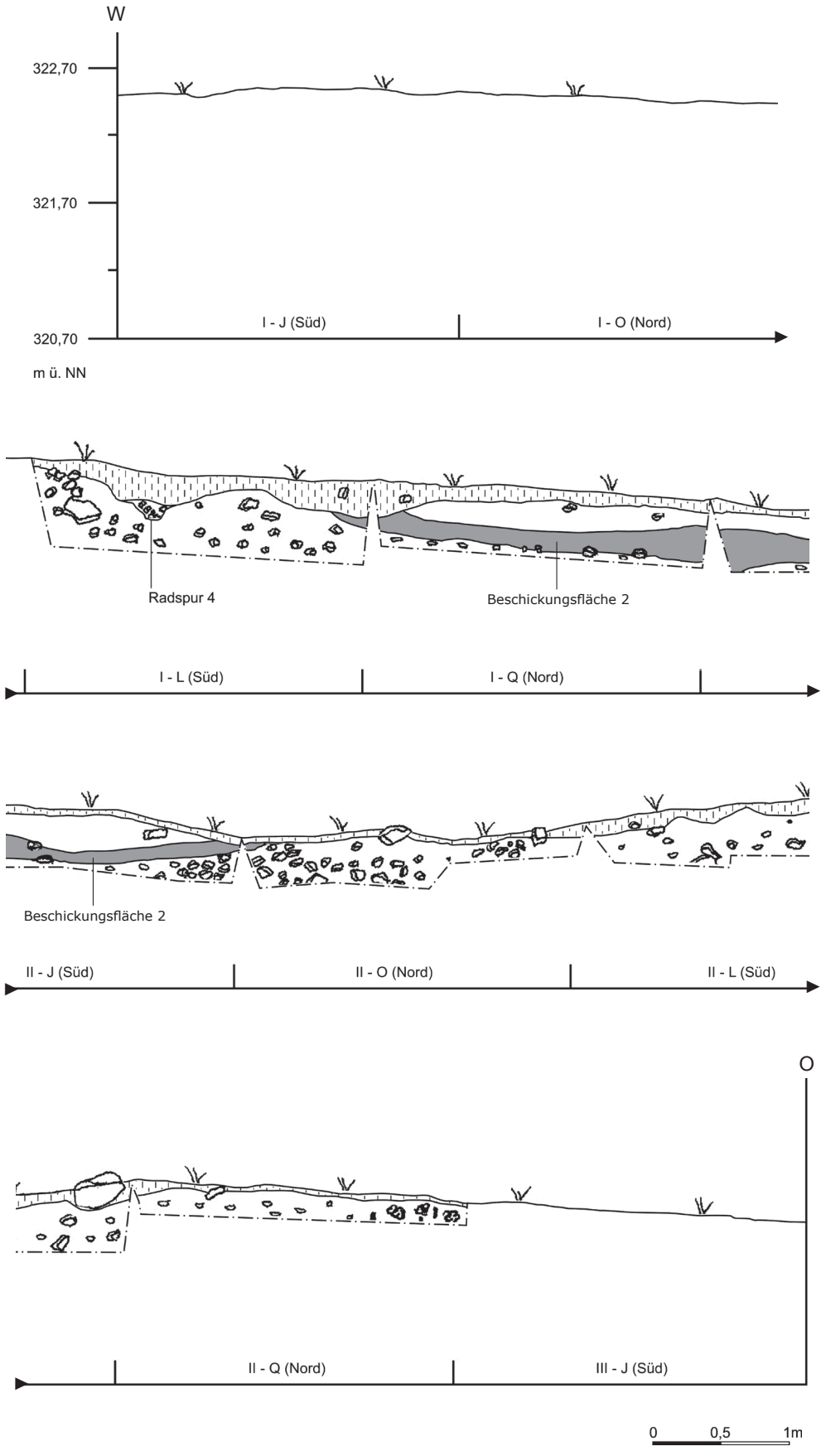


Abb. 81. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. W-O-Profil 20.

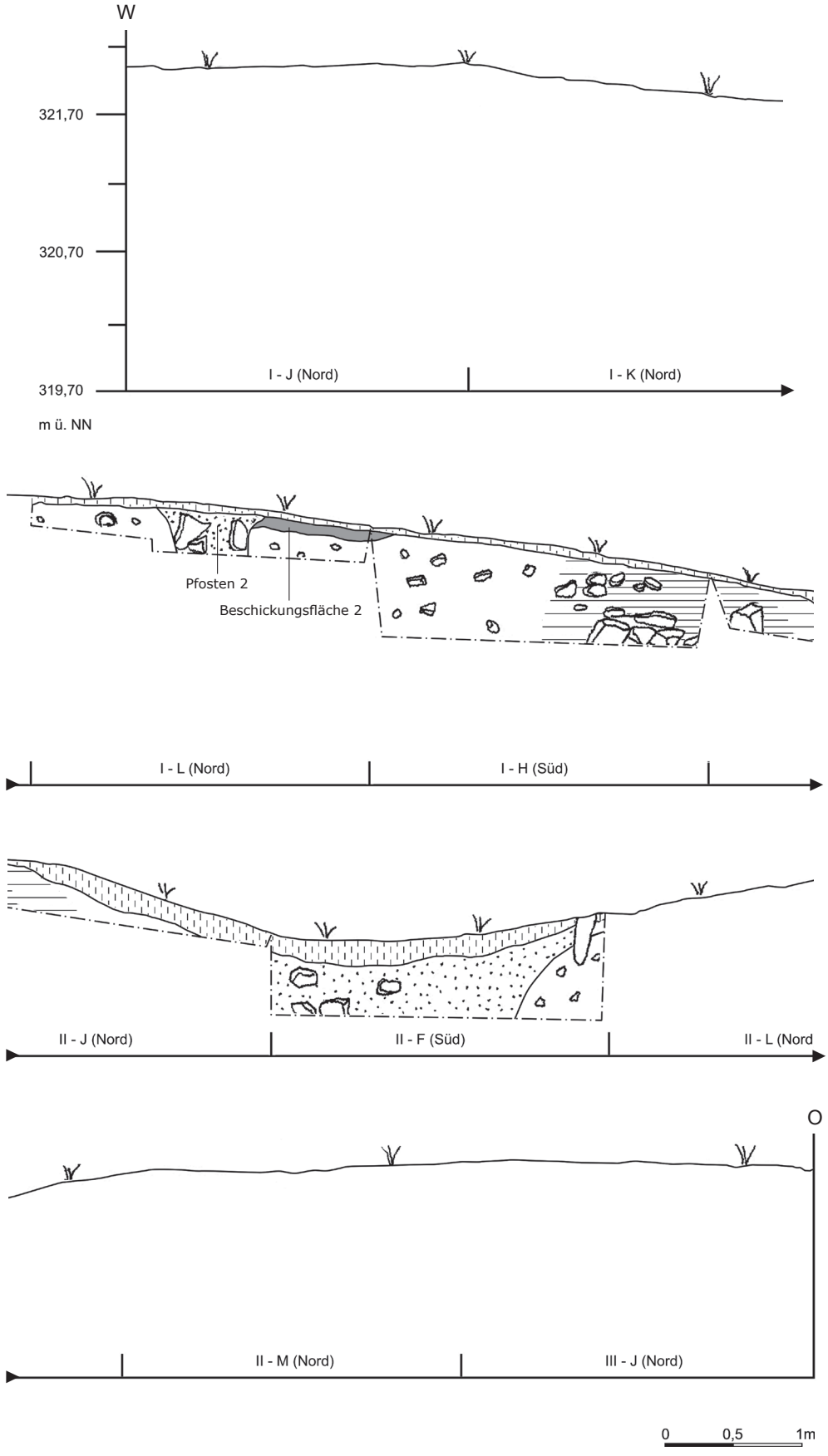


Abb. 82. Kerspetalsperre, Verhüttungsplatz Nr. 105. W-O-Profil 21.

OBERES WIPPERTAL (OBERBERGISCHER KREIS), VERHÜTTUNGSPLATZ NR. 90

Thorsten Abdinghoff

Der Verhüttungsplatz (Nr. 90) liegt im Nordosten des Oberbergischen Landes, das hier an das Märkische Sauerland angrenzt (Gemeinde Marienheide, Oberbergischer Kreis, Rheinland) (r 3399300; h 5662600) im oberen Wippertal (*Abb. 1*).

Die wichtigsten Entwässerungsgebiete dieser Region sind die Wipper, die unterhalb von der Stadt Wipperfürth ab der Mündung ihres rechten Nebenflusses Kerspe ihren Namen zur bekannteren Wupper wechselt, und auf der südlich gegenüberliegenden Seite der Wasserscheide die Agger, die bei Siegburg in die Sieg mündet.[1] Beide Flüsse gehören demnach zum Einzugsgebiet des Rheins. Platz Nr. 90 liegt linksseitig am Fuße eines nach Norden zur Wipper hin abfallenden Hanges am südlichen Rand des Uferbereichs (*Abb. 2*).

Nahezu die gesamte Fundstelle ist heute mit Wald bedeckt, der forstwirtschaftlich genutzt wird (*Abb. 3*).

Die Wipper fließt an dieser Stelle zwischen zwei geologischen Schichten: den Remscheider Schichten des oberen Unterdevons im Norden und dem Ebbesandstein des unteren Unterdevons im Süden (s. S. 13 *Abb. 5*). Bei den jüngeren, von Quarzadern durchzogenen Remscheider Schichten handelt es sich überwiegend um grauen Schiefer mit Bänken von Grauwackensandstein und Rotschiefer. Die lokalen Schichten des Ebbesandsteins bestehen hingegen zu einem großen Teil aus Grauwackensandstein mit einigen Schieferlagen.[2]

Die Lage von Platz Nr. 90 an einem mit Fichten dicht bestandenen Hang sowie seine unmittelbare Nähe zur Wipper nahm erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Grabung, denn einige Bereiche der Fläche konnten aus forstwirtschaftlichen Gründen und eines zu hohen Grundwasserspiegels nicht geöffnet werden.

PROSPEKTION UND GRABUNGSMETHODIK

Archäologische Prospektion

Für die ersten Oberflächenbegehungen zur Vorbereitung der Ausgrabung wurde die Fläche in 22 Großquadrate (I-XXII) aufgeteilt, die jedes 10 x 10 m messen. Sie beinhalten 16 jeweils mit A-Q bezeichnete Quadrate von 2,5 x 2,5 m Kantenlänge (*Abb. 4*).

Anhand von Oberflächenfunden konnte bereits die Lage der Schlackenhalden festgestellt werden. Der Hochofen hingegen war vor allem aufgrund zahlreicher Bruchsteine aus dem ehemaligen Raugemäuer zu erkennen. Eine muldenartige Senke deutete das Ofenzentrum an. Zwei Hohlwege konnten im Süden der späteren Grabungsfläche anhand der Geländemorphologie identifiziert werden (*Abb. 21*).

Geophysikalische Prospektion

An Platz Nr. 90 wurden mit Hilfe der magnetischen Gradiometrie etwa 2000 m² Fläche (*Abb. 4*) mit einem Messabstand von 0,5 m geophysikalisch untersucht (*Abb. 6,1*). Auf diese Weise konnten etwa 7.500 Messwerte genommen werden. Zwei von insgesamt sechs Positivmaxima wurden als wahrscheinliche Ofenstandorte ausgewählt (*Abb. 6*).

Positivmaximum 1 gibt sich im Gelände durch einen halbkreisförmigen Geländeeinschnitt zu erkennen (Quadrat X-F-d, X-G-c, X-K-b, X-K-d, X-L-a, X-L-c). Positivmaximum 2 fällt durch einen extremen Messwert und eine geringe Ausdehnung auf (Quadrat IV-J-c). Aufgrund der geophysikalischen Messungen konnte die spätere Ausgrabungsfläche auf ca. 120 m² eingegrenzt werden.

An Fundplätzen mit einer großen flächenmäßigen Ausdehnung empfiehlt es sich daher, das geophysikalisch zu untersuchende Areal durch die Ergebnisse einer zuerst durchzuführenden Oberflächenbegehung einzugrenzen. An Platz Nr. 90 hat sich gezeigt, dass sich die Ergebnisse gut miteinander kombinieren und in Übereinstimmung bringen ließen. Die geophysikalischen Daten konnten dabei zur Korrektur der durch die topografische Situation bedingten, hangabwärts gerichteten Fundverlagerung herangezogen werden.

Grabungstechnik

Aufgrund der Ergebnisse der Oberflächenbegehung, bei der sowohl Funde als auch die Geländemorphologie (Hohlwege, Gräben etc.) berücksichtigt wurden, sowie der anschließenden geophysikalischen Vermessung wurde das spätere Grabungsareal festgelegt.[3] Den Planquadraten wurde entsprechend den vorausgegangenen Grabungen im Forschungsprojekt eine Größe von 2,5 x 2,5 m Kantenlänge zugewiesen (Abb. 3,5.6).

[1] Fuchs/Schmidt 1928, 3; Müller-Wille 1981, 1 ff.
[2] Fuchs/Schmidt 1928, 9.
[3] Vgl. Willms 1993a; 1994b, 133; 1996b, 29.

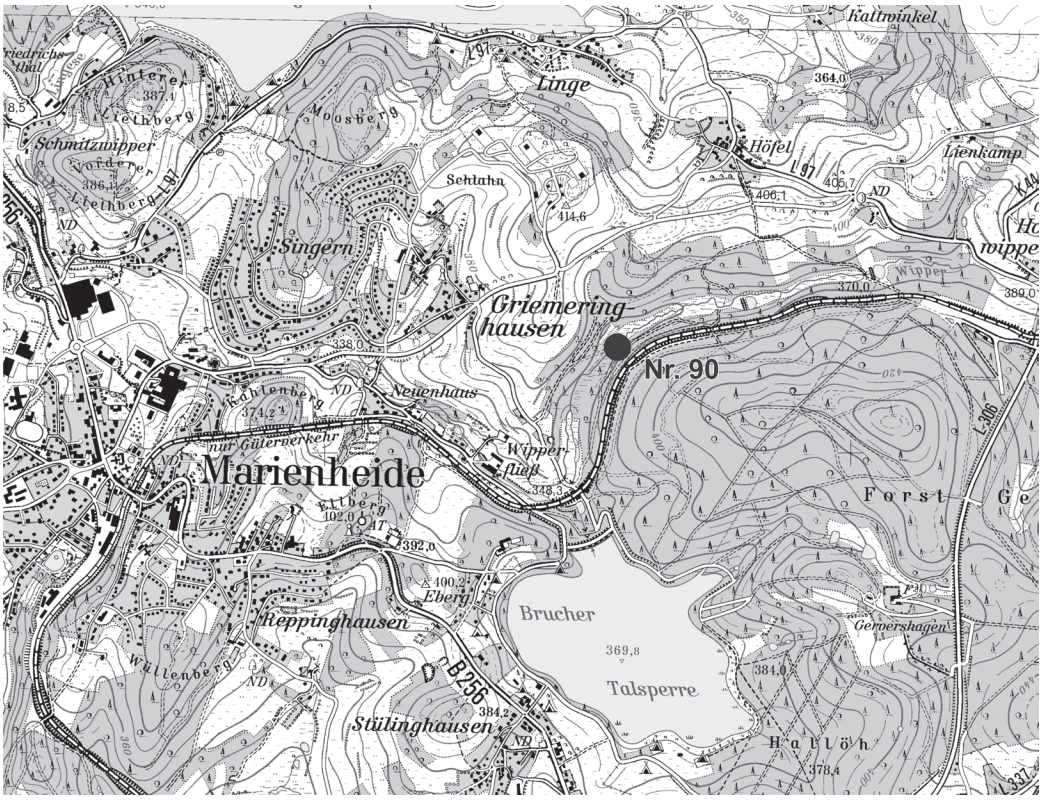


Abb. 1. Marienheide, Oberes Wippertal. Lage des Verhüttungsplatzes Nr. 90. Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1:25.000, Blatt 4911 (Gummersbach).



Abb. 2. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Blick in das obere Wippertal zwischen Wipperfließ und Holzwipper (Foto M. Overbeck 1994).



1



2



3



4



5



6

Abb. 3. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1, 2: Landschaft im Umkreis der Fundstelle; 3: Oberflächenprospektion. Die Position der hügelartigen Schlackenhalden 2 und 3 ist deutlich im Gelände zu erkennen; 4: Blick auf den Standort von Ofen 1 (Pfeil) vor Beginn der Ausgrabung. Rechts und links der Bäume (Bildmitte) erstreckt sich die zweigeteilte Schlackenhalde 1, die über dem Ofen aufgeschüttet wurde; 5: Ausgrabungen nach dem sog. „Schachbrettsystem“ im Bereich von Ofen 2; 6: Ausgrabungen und Befunddokumentation im Bereich von Ofen 2 (Fotos M. Overbeck und Chr. Willms).

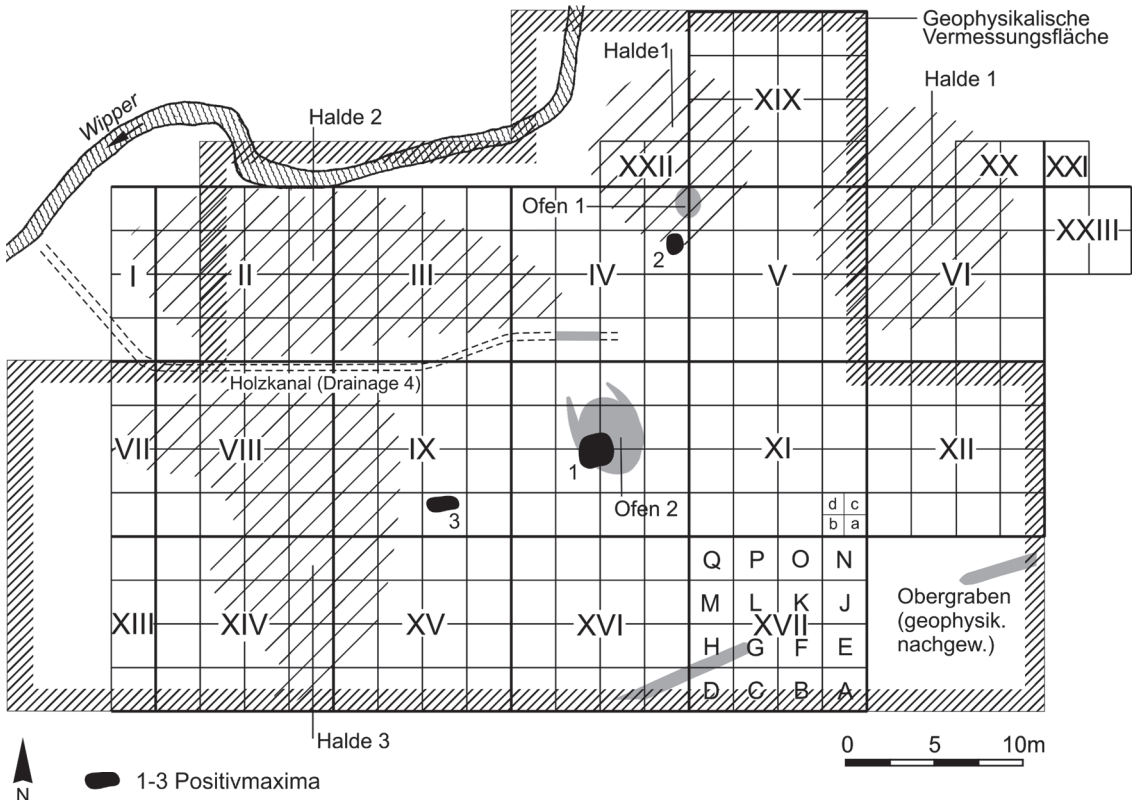


Abb. 4. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Gesamtausdehnung der geophysikalisch untersuchten Fläche mit Position der Schlackenhalden 1–3.

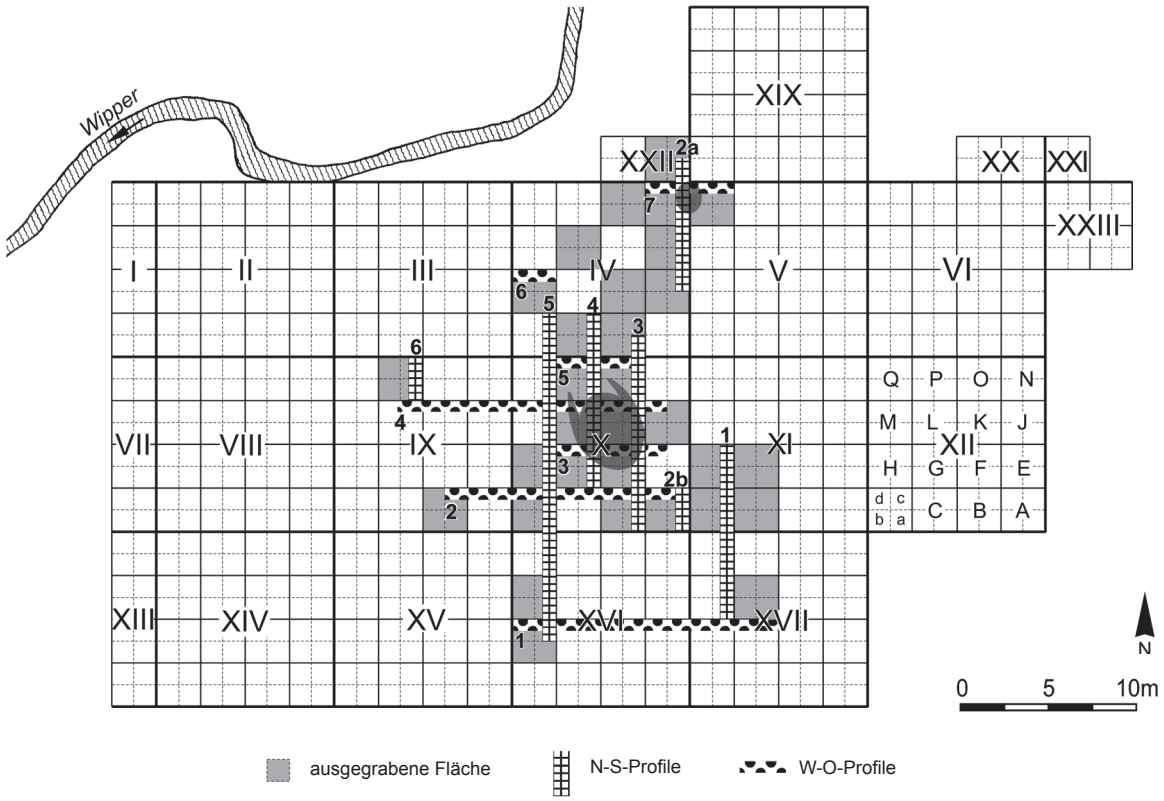


Abb. 5. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Lage und Bezeichnung der Grabungsflächen und Profile.



Abb. 6,1. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Geophysikalische Vermessung im Nordteil des Fundplatzes (Großquadrat XIX) (Foto Chr. Willms).

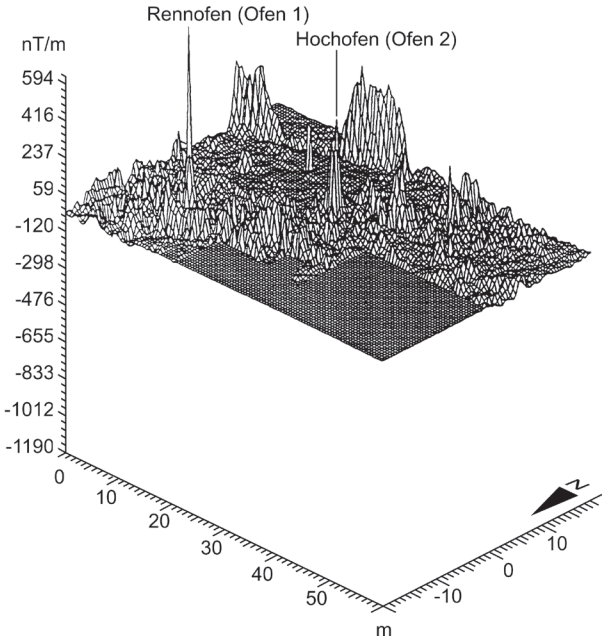


Abb. 6,2. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Prospektion, dreidimensionale Darstellung der geophysikalischen Messdaten.



1



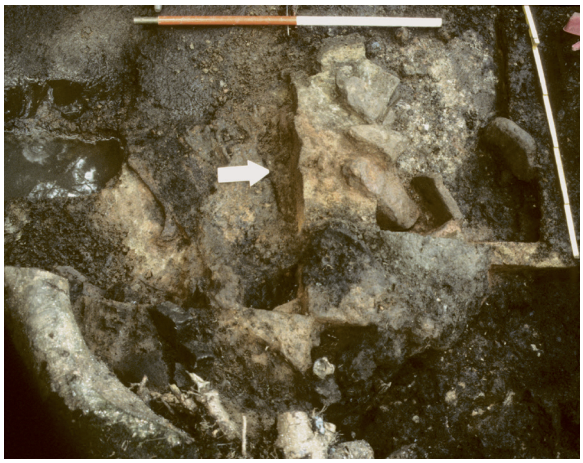
2



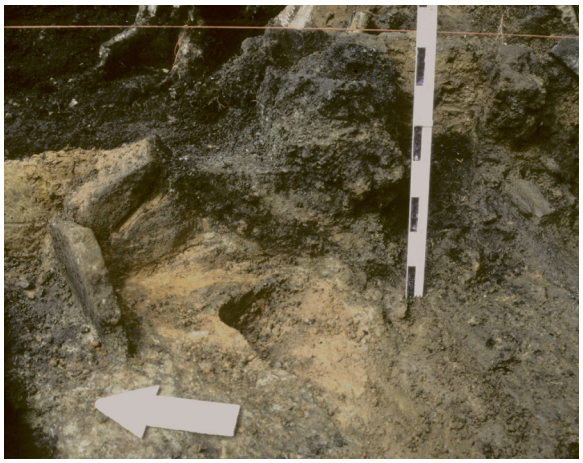
3



4



5



6

Abb. 7. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 1. 1: Ausgrabungen im Bereich von Ofen 1. Oberhalb des Befundes ist die mächtige Schlackenpackung (Halde 1) zu erkennen; 2: Schnitt durch die Schlackenpackung von Halde 1: Die Zusammensetzung der Schüttung aus zwei unterschiedlich strukturierten Schlackenschichten ist klar sichtbar; 3: Planum 3/4 unterhalb von Halde 1, Blick von Süden; 4: Planum 3/4, Blick von Westen; 5: Der Ofenbefund in der Draufsicht, Planum 5/6; 6: Der Ofenbefund in Planum 6/7, Blick von Westen (Fotos Chr. Willms).

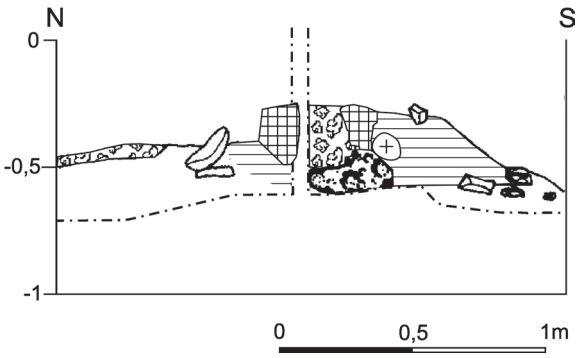


Abb. 8. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Nord-Süd-Profil durch Ofen 1 (Zur Lage des Profils im Planum siehe *Abb. 44,3*).

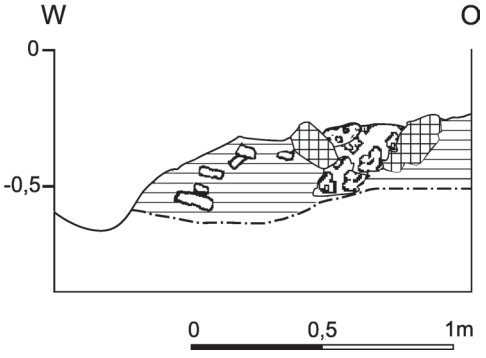


Abb. 9. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. West-Ost-Profil durch Ofen 1 (Zur Lage des Profils im Planum siehe *Abb. 44,3*).

Ausgegraben wurde überwiegend im sog. „Schachbrettsystem". Wenn es geboten war, größere Strukturen im Planum zu erfassen, wurde der Befund nach Dokumentation der Profile (*Abb. 5*) und Abtragen der Stege flächig ergraben. Die Großquadrate wurden nochmals in je vier Unterquadrate (a-d) mit jeweils 1,25 x 1,25 m Seitenlänge unterteilt (*Abb. 4*). Zu jedem dieser in 0,1–0,15 m Schritten abgetragenen Unterquadrate wurde ein Fundzettel[4] erstellt, auf dem alle Funde nach Menge und Position dokumentiert wurden. In unmittelbarer Nähe wichtiger Befunde wurde der Schichtabtrag auf 0,05 m reduziert.

Die Grabungen wurden vom 26. August bis 16. Oktober 1994 sowie vom 28. Juni bis 14. Juli 1995 unter Leitung von Dr. Christoph Willms durchgeführt.

BEFUNDE

Insgesamt wurden auf der Untersuchungsfläche ein älterer Rennofen (Ofen1), sowie ein jüngerer raugemauerter, früher Hochofen (Ofen 2) ergraben.

Rennofen (Ofen 1)

Der Rennofen am nördlichen Rand der Grabungsfläche wurde von einer fast 0,5 m starken Schicht (Randbereich Schlackenhalde 1) überlagert (*Abb. 7,2*), die sich hauptsächlich aus glasiger Schlacke des jüngeren Hochofens (Ofen 2) zusammensetzte (*Abb. 7,1–3;59*).

Erst im dritten Planum wiesen Zonen von grauschwarz verfärbtem Lehm und rötlich verfärbtem Boden (Quadrat V-Q) auf eine Hitzeeinwirkung hin und markierten ab diesem Planum deutlich den Standort des Rennofens (*Abb. 43,1*). Vom vierten Planum an wurde der Bereich um Ofen 1 flächig ergraben, wobei erste *in situ* befindliche Teile der rötlich verfärbten und verschlackten Ofenwand freigelegt werden konnten (*Abb. 7,4; 43,2*). In unmittelbarer Nähe des nahezu kreisrunden Ofens war die Rotfärbung des Bodens am intensivsten. Die verfärbte Fläche dehnte sich nach Westen bis auf eine Länge von 1,25 m aus. Verstürzte Stücke unverschlackter hellroter Ofenwand aus dem äußeren und oberen Ofenbereich deuteten auf den Verfall der Anlage. Die Plana 5–7 zeigen, dass die Wand mehrmals aufgebrochen wurde, um Schlacke aus dem Herd abzulassen (*Abb. 44,1–3*). Zusätzlich ist die etwa 0,08–0,15 m starke Ofenwand von einer etwa 0,25 m mächtigen grauschwarzen Zone umgeben, die als Rest der außenliegenden Schicht der Ofenwand interpretiert werden kann. Weil diese aufgrund der geringeren Temperaturen nicht vollständig verziegelt war, wurde sie beim Verfall des Ofens weitestgehend abgetragen. In den Plana 6/7 (*Abb. 44,2.3*) nimmt die Ofenwand an Stärke zu, was durch das Anschneiden der aufeinander zulaufenden Wandseiten erklärt werden kann (*Abb. 8; 9)*.

Der noch bis in eine Höhe von 0,25 m erhalten gebliebene Ofen wurde aus grob gemagertem Lehm in einer ca. 0,15–0,19 m tiefen Grube errichtet, die einen Durchmesser von ca. 0,6 m besitzt. Bei einem Innendurchmesser von ca. 0,45 m (*Abb. 44,1*) beträgt der maximale Außendurchmesser des Ofens ca. 0,65 m, die Stärke der Ofenwandung demnach ca. 0,2 m (*Abb. 44,3*).

Abstich

Zwei Befunde im Ofenbereich markieren die ursprüngliche Lage der Abstichöffnungen. An diesen Stellen wurde die glutflüssige Schlacke aus dem Herd abgelassen. Abstich 1 liegt auf der südwestlichen Seite des Ofens

[4] Jockenhövel/Willms 2005, 57 Abb. 2.

und konnte in Form eines flachen Kanals mit U-förmigem Querschnitt nachgewiesen werden, der dem Ofen vorgelagert war (*Abb. 44,1*). Die in diesem Kanal erkaltete Schlackenzunge mit charakteristischen Fließstrukturen auf der Oberfläche befindet sich *in situ* und ist an manchen Stellen bis zu 0,06 m stark und etwa 0,5 m breit. Sie wird nach ca. 0,7 m von einer grabenartigen Eintiefung abgeschnitten und setzt sich nicht weiter fort (*Abb. 44,3*). Eine mögliche Ursache für die große Ausdehnung dieser Schlackenzunge ist ein mehrmaliges Abstechen der flüssigen Schlacke während des Schmelzprozesses. Zu diesem Zweck wurde die Ofenwand auf einer Länge von etwa 0,25 m aufgebrochen. Dieses Einreißen von Teilen der Wandung markiert den letzten Abstich am Ende der Verhüttung, bei dem durch eine möglichst große Öffnung auch die Luppe entnommen werden sollte.

Abstich 2 befindet sich auf der Nordseite des Ofens und ist durch eine 0,03 m starke und 0,25 m breite Schlackenzunge belegt, die ebenfalls in einem speziell zu diesem Zweck angelegten Kanal erkaltete (*Abb. 44,2*). Sie ist mit einer Länge von 0,57 m deutlich kleiner als die Schlackenzunge aus Abstich 1. Allerdings fehlt eine zugehörige Öffnung in der Ofenwand. Aus diesem Grund kann davon ausgehen werden, dass es sich um einen älteren Abstich handelt, in dessen Folge der Ofen ausgebessert und erneut zur Verhüttung genutzt wurde.[5]

Arbeitsflächen

Im unmittelbaren Umfeld des Rennofens konnten zwei sehr harte und kompakte Bodenschichten dokumentiert werden (*Abb. 44,1.2; 59*). Die etwa 0,05 m starken Laufhorizonte sind schwarz-bräunlich gefärbt und zeigen Einsprenkelungen rostrot korrodierten Eisens, die auf dunkle, schwere, teils noch stark eisenhaltige Schlacken des Rennofens zurückzuführen sind. Die mit Rennofenschlacken und Holzkohlestücken durchsetzten Laufhorizonte bzw. Arbeitsflächen lassen sich nahezu ausschließlich in den Bereichen vor der Ofenbrust nachweisen, in denen auch der Schlackenabstich vorgenommen wurde. Schlacken und Holzkohlen fielen wahrscheinlich im Laufe des Ofenbetriebes zu Boden und wurden festgetreten.

Die ältere der beiden Schichten dehnt sich in südliche und südöstliche Richtung auf einer Länge von max. 3,3 m aus. Sie wird teilweise von Resten des Ofens überlagert und ist daher an den Beginn der Nutzung dieser Anlage zu stellen. Möglicherweise ist sie mit einer entsprechenden stark verdichteten Bodenschicht zu verbinden, die sich über eine Länge von ca. 2,70 m nordwestlich an den Ofen anschließt.

Ein jüngerer Laufhorizont überlagert den älteren, wobei beide durch eine Bodenschicht aus Rennofenschlacken und Ofenwandfragmenten voneinander getrennt werden. Dieser Befund zeigt an, dass der Ofen mindestens zweimal genutzt wurde, bevor man ihn vor dem erneuten Anfahren ausgebessert oder vollständig neu errichtet hat. Der jüngere Laufhorizont liegt auf einem Höhenniveau mit der jüngeren Schlackenzuge und lässt sich so sehr wahrscheinlich mit dem letzten Abstich in Verbindung bringen.

Holzkohlelager

Unmittelbar nördlich des Rennofens (Ofen 1) befindet sich ein stark mit Holzkohlen durchsetzter Bereich in Form einer bis zu 0,09 m mächtigen Holzkohleschicht (*Abb. 44,1.2*). Sie liegt auf dem jüngeren Laufhorizont auf und wird von Schlacken des Hochofens (Ofen 2) überlagert (*Abb. 59*). Die Nähe zum Rennofen macht die Ansprache des Befundes als Rest eines Holzkohlelagers wahrscheinlich. Da die holzkohleführende Schicht nicht flächig freigelegt werden konnte, können über die ursprüngliche Ausdehnung und das Volumen dieses vermutlichen Rohstofflagers keine genaueren Angaben gemacht werden. Weitere Holzkohlen im Bereich von Ofen 1 (*Abb. 24*), schlagen sich nicht in eindeutigen und depottypischen Konzentrationen nieder, sondern verteilen sich in entsprechend geringen Stückzahlen auf mehrere Plana (Quadrat IV-J, IV-N). Die Holzkohlen im Umfeld von Halde 1 nördlich des Ofens (Quadrat XXII-A) könnten zudem aufgrund ihrer stratigrafischen Lage durchaus der zeitlich späteren Schlackenhalde des Hochofens (Ofen 2) zuzuordnen sein.

Schlackenhalde

Im unmittelbaren Umfeld von Ofen 1 wurden zwar zahlreiche Schlacken des Rennfeuerprozesses gefunden, eine zugehörige Halde konnte jedoch nicht lokalisiert werden (*Abb. 32*). Zahlreiche stark eisenhaltige Schlacken fanden sich allerdings in Verbindung mit glasigen Schlacken des Hochofens (Ofen 2) in den stratigrafisch jüngeren Bodenschichten (Schlackenhalde 1). Es könnte sich dabei um Frischschlacken handeln, die zusammen mit den glasigen Schlacken des Hochofens entsorgt wurden. Denkbar ist auch, dass diese Schlacken einer bisher unbekannten, dem Ofen 1 zuzurechnenden Halde entnommen wurden und zur Verhüttung im Hochofen wiederverwendet werden sollten. In diesem Fall wurden die geeigneten stark eisenhaltigen Schlacken als Rohstoff genutzt, während

[5] Zu den entsprechenden Arbeitsvorgängen siehe: Lammers 2005, 290–325.

die aussortierten eisenarmen Stücke mit der glasigen Schlacke des Hochofenbetriebs auf der Halde entsorgt wurden, die den zu dieser Zeit bereits aufgegebenen Rennofen überdeckte.

Datierung

Eine 14C-Analyse wurde an Holzkohlen des älteren Schlackenabstichs (Planum 6) vorgenommen. Die Probe (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover [Prof. Dr. M. A. Geyh]: Hv 20881) ergab ein konventionelles 14C-Alter (Jahre vor 1950) von 975 ± 55 Jahren und ein kalibriertes Alter von cal AD 1015–1160. Die Nutzungsphase von Ofen 1 liegt damit noch im 11./12. Jahrhundert (vgl. auch S. 132 *Abb. 30*).

Hochofen (Ofen 2)

Hinweise auf einen zweiten Ofen im zentralen Bereich der Grabungsfläche (Quadrate X-G, X-K, X-L, X-O, X-P) finden sich in Form von verstürzten und hangabwärts verlagerten Steinen eines ehemaligen Raugemäuers (*Abb. 47; 60,2–64,1*). Fragmente der rot verziegelten Ofenwand markieren den Standort des Ofens (Quadrate X-L, X-O). Die große Ausdehnung der rötlich verfärbten Bodenschicht auf einer Fläche von etwa fünf Quadratmetern zeigt den Versturz der aufgehenden Ofenwand an (*Abb. 47–54; 61,2–62,1*). *In situ* befindliche Teile der Ofenmauer konnten erst in Planum 10 freigelegt werden (*Abb. 10; 68;* X-F-c).

Der Grundriss des mit seiner Rückseite in den Hang gebauten Ofens ist hufeisenförmig (*Abb. 57,1*). Die nach Norden weisende Brustseite misst ca. 3,45 m, die Rückseite nur ca. 2,75 m. Blase- und Windseite haben eine Länge von jeweils ca. 3,6 m. Da die beiden Seitenwände leicht bogenförmig angelegt wurden, ergibt sich eine maximale Breite des Ofens von 3,85 m. Beide Seitenwände sind zudem wangenförmig ausgezogen, so dass ein seitlicher Schutz für den Arbeitsbereich vor der Brustseite entstand. Die in Richtung Nordwesten weisende Ofenbrust ist hingegen weitgehend zerstört. Obwohl daher nicht eindeutig entschieden werden kann, ob es sich um eine Anlage mit *geschlossener* oder *offener* Brust handelt, scheint die Rekonstruktion einer offenen Ofenbrust wahrscheinlich zu sein. Für eine solche Interpretation sprechen das Fehlen einer Mauerung im Bereich der Ofenfront und das wangenförmige Einziehen der Seitenwände zu einer geschützten Arbeitsfläche vor dem Abstich. Ausgehend von den Ausmaßen der Ofenbasis betrug die ehemalige Höhe des Ofens etwa 3,5 m. Die ursprüngliche Stärke des Raugemäuers lässt sich mit ca. 1,2 m nur an der nach Westen weisenden Windseite vollständig erfassen (*Abb. 10,1.4.5*). Es ist aus unbearbeiteten Grauwacken- und quarzitischen Sandsteinen der Region aufgebaut worden, wobei eine bevorzugte spezifische Verwendung eines der beiden Gesteine für unterschiedliche Teile des Ofens nicht festgestellt werden konnte. Außen- und Innenseite des Raugemäuers bestehen aus großen tragenden Quadern (*Abb. 10,2.4*), während der Zwischenraum mit kleinen, maximal handgroßen Bruchsteinen und Lehm aufgefüllt wurde (*Abb. 57,1*). Die Abmessungen des eingefassten Ofeninnenraumes betragen etwa 1,25 x 1,5 m (Quadrate X-L-a, X-L-c). Reste eines Gestells, die eine weitere Differenzierung in Herd, Herdboden usw. zuließen, waren nicht vorhanden. Nur wenige Steine auf der Mauerinnenseite wiesen Lehmspuren auf. Möglicherweise sollte der offenbar vollständig ausgeräumte Ofen mit einem neuen Gestell versehen und erneut betrieben werden.

Abstich

Unmittelbar vor dem Ofen erstreckt sich über den gesamten westlichen Bereich der Brustseite eine sehr harte rostige Schicht (*Abb. 57,1; 62,1*). Ihr hoher Eisengehalt deutet auf eine durch den Roheisenabstich entstandene Ablagerung. Die große Ausdehnung könnte auf eine lange Betriebsdauer des Ofens und eventuell auf mehrmalige Verlagerungen des Abstichs zurückzuführen sein. Da es ausreichend war, das Roheisen in einfache Vertiefungen abzustechen, war deren Lage durchaus variabel. Ein klar erkennbares Masselbett ist archäologisch jedoch ebenso wenig nachweisbar wie ein separierter Schlackenabstich.

Gräben und Kanäle

Steingefasste Drainagen (Drainagen 1–3)

Hinter der Rückseite und entlang der Blaseseite des Hochofens konnten drei steingefasste Drainagekanäle freigelegt werden (*Abb. 56; 57; 60,2–62,1; 67,2–68*). Obwohl der Ofen in den Hang gebaut wurde, verblieb zwischen Rückwand und Hangkante ein etwa 0,5–0,7 m breiter Graben (Drainage 1) (*Abb. 10,2; 11*), aus dessen Sohle zahlreiche Ofenwandbruchstücke geborgen wurden.

Da sich diese Verfüllung eindeutig auf den Graben beschränkt, ist davon auszugehen, dass es sich hier um eine intentionelle Auffüllung und nicht um verstürztes Material handelt (*Abb. 56; 57,1*). Auf diese Weise entstanden Hohlräume zwischen den dicht gepackten, kantigen Ofenwandfragmenten, die gewährleisteten, dass der Graben auch bei Verschüttung Wasser ableitete. Woher das eingefüllte Ofenwandmaterial stammt, ist unklar. Denkbar wäre z.B. die Verwendung von ausgeräumtem Material einer früheren Ofenreise. Eine



1



2



3



4



5



6

Abb. 10. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2. 1: Abschnitt des Raugemäuers (Windseite) in Quadrat X-L; 2: Abschnitt des Raugemäuers auf der Rückseite des Ofens (Quadrat X-F, Planum 11) mit Drainage 1 (unterer Bildrand); 3: Abschnitt des Raugemäuers (Blaseseite) in Quadrat X-K und Quadrat X-O mit abgedeckter Drainage 1 (linker Bildrand); 4: Abschnitt der wangenförmig ausgezogenen Seitenwände vor der Ofenfront (Quadrat X-L); 5: Abschnitt des Raugemäuers (Windseite) in Quadrat X-L; 6: Abschnitt des Raugemäuers (Blaseseite) in Quadrat X-K und Quadrat X-O mit abgedeckter Drainage 1 (linker Bildrand) (Fotos Chr. Willms).

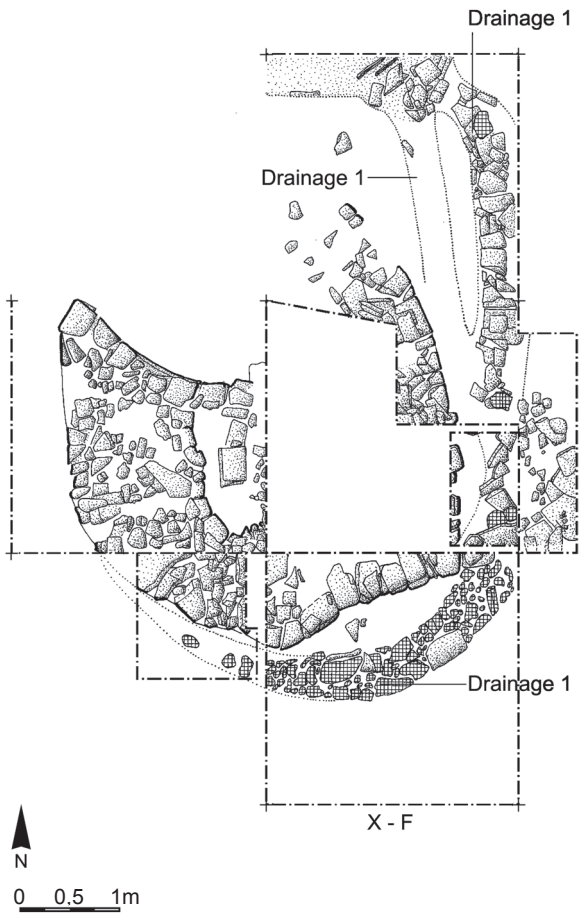


Abb. 11. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2 mit Position und Verlauf von Drainage 1.

Überbrückung der offenen Drainage, z. B. in Form einer hölzernen Rampe muss zwar existiert haben, konnte aber archäologisch nicht nachgewiesen werden. Auf der Windseite des Ofens läuft der Graben flach und schmal aus, bevor er schließlich endet (*Abb. 56; 57,1*). Das aufgefangene Wasser wird auf der gegenüberliegenden Blaseseite in einen steingefassten Kanal geleitet, bei dem senkrecht stehende Seitensteine mit Platten aus anstehenden quarzitischen Sandsteinen abgedeckt wurden (*Abb. 10,3; 12,5*).

Diese Drainage verläuft nahe der Ofenmauer (*Abb. 56; 57; 61,1; 67,2–68*) und ist zwischen 0,25 und 0,45 m breit sowie etwa 0,3 m tief (*Abb. 57; 68,1*). Die verwendeten Steine sind unterschiedlich groß und unbearbeitet. Etwa in der Mitte der Blaseseite teilt sich der Kanal und ein zusätzlicher Kanalarm verläuft unmittelbar entlang der Ofenmauer (*Abb. 57,2*) Beide Kanäle knicken nach Nordwesten ab und laufen wieder zusammen. Der Befund scheint an dieser Stelle gestört zu sein, da die sonst deutlich erkennbare Steineinfassung fehlt. Eine ehemalige Verbindung von Drainage 1 mit dem von ihr etwa einen Meter entfernten, holzarmierten Kanal (Drainage 4) ist wahrscheinlich, konnte aber aufgrund einer Störung im östlichen Teil des Holzkanals nicht zweifelsfrei belegt werden.

Zwei weitere steingefasste und baugleiche Drainagekanäle (Drainage 2, Drainage 3) verlaufen auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Ofens (Quadrate X-A, X-B, X-C, X-D, X-H, XI-C, XI-D, XI-G, XI-H) (*Abb. 12,6*). Da sich beide Kanäle kreuzen, lassen sie sich zeitlich voneinander trennen (*Abb. 13; 14*).

Die ältere, etwa 0,35 m breite und max. 0,2 m tiefe Drainage 2 ist auf einer Länge von 8 m erhalten und vollständig mit flachen Sandsteinplatten abgedeckt (Quadrate XI-D/XI-H, X-A-c/X-A-d, X-B, X-C, X-D/X-H) (*Abb. 12,2.3.6; 56–54; 60,2–61,1; 62,2*). Angesichts ihrer Lage im Beschickungsbereich war dies höchstwahrscheinlich notwendig, um Verstopfungen durch herabfallendes Beschickungsmaterial vorzubeugen. Die Entfernung zum Ofen variiert und beträgt mindestens 2,5 m.

Im Quadrat X-B ist zu erkennen, dass Drainage 2 von der jüngeren Drainage 3 gestört wird (*Abb. 13;14*). Die etwa 0,35 m breite und 0,15-0,2 m tiefe Drainage 3 hat eine Länge von etwa 10 m und verläuft in einer Entfernung von mindestens 1,5 m hinter der Rückseite des Ofens (Quadrate XI-C/XI-G, XI-D, X-A, X-B, X-F-b, X-D/X-H)(*Abb. 47–54; 60,1; 60,2–64,1*). Auch in diesem Fall ist der Kanal mit Steinplatten abgedeckt (*Abb. 12,1.2*). Sie fehlen allerdings in Quadrat X-D/X-H (*Abb. 12,3.4*). Entweder wurde eine Abdeckung an dieser Stelle nicht mehr für nötig erachtet oder die Abdeckplatten wurden später entfernt. Drainage 3 kreuzt die ältere Drainage 2 und macht sie dadurch unbrauchbar. Dieser Befund deutet auf mindestens zwei zeitlich getrennte Nutzungsphasen des Ofens. Die Kanäle wurden von West nach Ost so angelegt, dass zur Ableitung des Wassers ein natürliches Gefälle von etwa 0,5 m vorhanden war. Damit ist auf der östlich gelegenen Blaseseite des Ofens wahrscheinlich der tatsächliche Beginn der Drainagen erfasst worden. Sie enden in Quadrat X-H, in das sie, dem Verlauf der Ofenwand folgend, Richtung Norden abknicken. Das aufgefangene Regen- und Grundwasser ließ man an den jeweiligen offenen Enden der Kanäle hangabwärts abfließen.

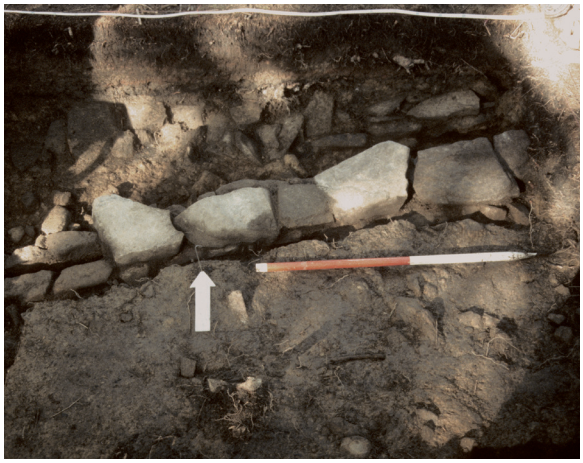
Holzkanal (Drainage 4)

Ein mit Eichenholzbrettern verschalter Kanal verläuft in etwa 3,5 Metern Entfernung vor dem Ofenabstich über die gesamte Breite der Brustseite des Ofens (Quadrat IV-C) (*Abb. 57,1; 61,2–64,1; 69,1*). Aufgrund des hohen Grundwasserspiegels waren die etwa zwei Meter langen, leicht gekrümmten und grob bearbeiteten Schalbretter gut erhalten (*Abb. 15–19*).

Die ehemaligen Astansätze wurden nicht entfernt und weisen darauf hin, dass Holz vom äußeren Stamm verwendet wurde. Zur Stabilisierung wurden zwei recht-



1



2



3



4



5



6

Abb. 12. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Drainagen. 1: Deckplatten von Drainage 3 im Planum (Quadrat X-A, Planum 7); 2: Drainage 2 (oberer Bildrand) und Drainage 3 (Quadrat X-A); 3: Drainage 2 (Pfeil) und Drainage 3 (ohne Deckplatten) (Quadrat X-D); 4: Drainage 3 (Quadrat X-D); 5: Drainage 1 mit Deckplatten und angrenzendes Raugemäuer der Blaseseite von Ofen 2 (unterer Bildrand) in Quadrat X-K; 6: Drainage 2 (Pfeil) und Drainage 3 (ohne Deckplatten) (Quadrat X-A) (Fotos Chr. Willms).

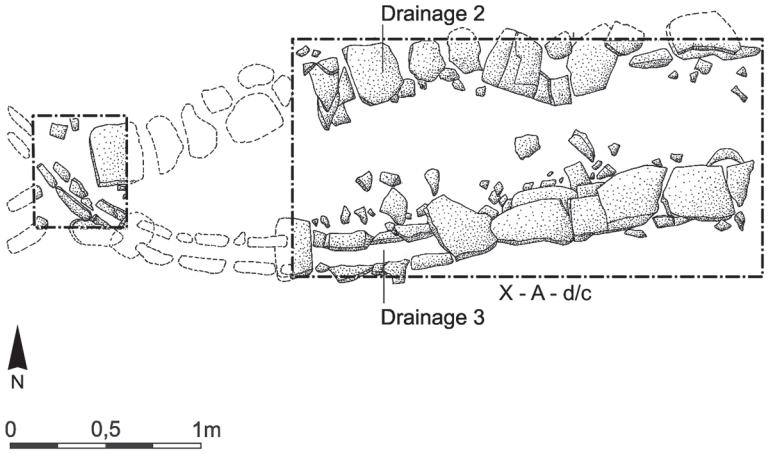


Abb. 13. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Schnittpunkt der Drainagen 2 und 3 (Ausschnitt Abb. 14).

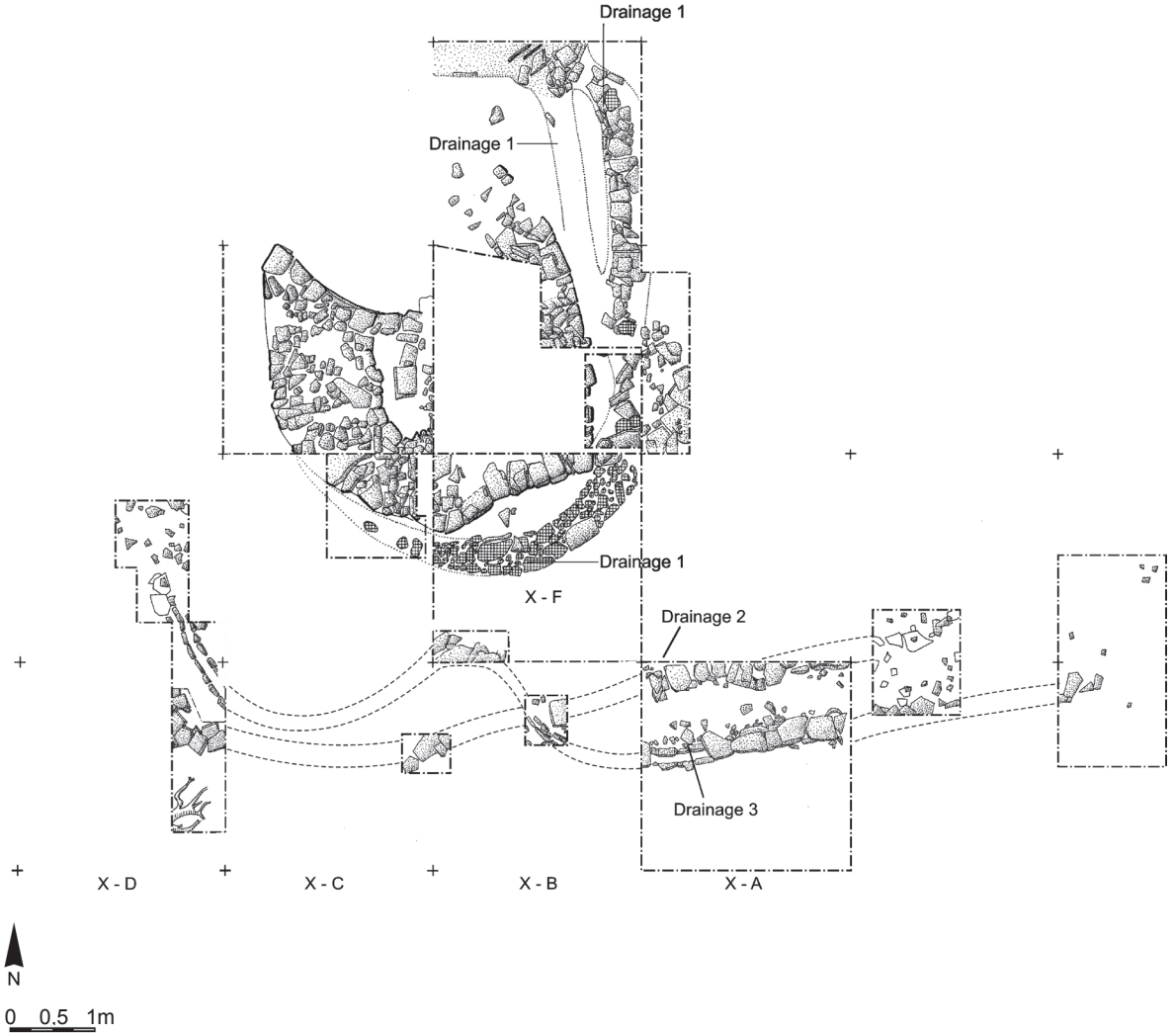


Abb. 14. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Position und Verlauf der Drainagen 2 und 3.

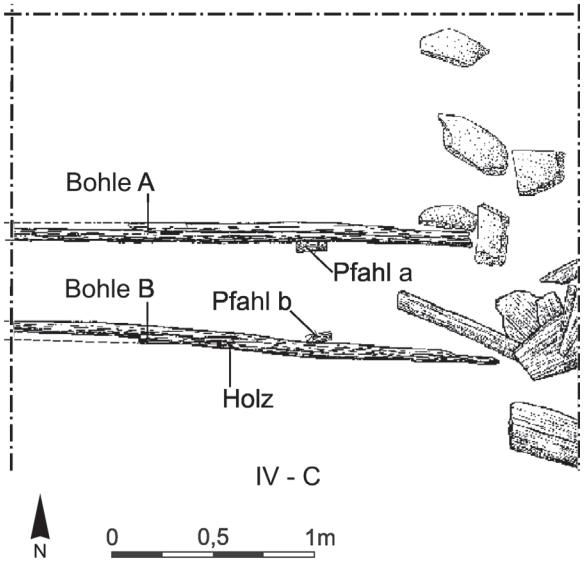


Abb. 15. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Holzverschalter Drainagekanal (Drainage 4) in Quadrat IV-C.

eckige Eichenholzpfähle auf der Innenseite des Kanals in den Boden eingeschlagen. Sie sind an ihrem vorderen Ende grob auf einer Länge von jeweils 18–20 cm angespitzt und messen 14 x 4 x 87,5 cm bzw. 11 x 4 x 70 cm. Im östlichen Bereich des holzverschalten Grabens ist der Befund gestört (Quadrat IV-C) (*Abb. 17*). Steine und Hölzer konnten lediglich in ungeordneter Lage dokumentiert werden. Die verstürzten quarzitischen Sandsteine innerhalb des Holzkanals stammen von der steingefassten Drainage 1, die in nördliche Richtung entlang der Blaseseite des Ofens verläuft und im Bereich der Störung mit dem Holzkanal zusammentrifft. Wahrscheinlich mündete sie ursprünglich in den Holzkanal, der in seinem Verlauf noch weiter nach Westen zu verfolgen war. Ein 2,25 m westlich von Quadrat IV-C durchgeführter Suchschnitt erbrachte Holzreste und die Verfärbung einer entsprechenden Eingrabung. Folgt man diesem Verlauf (Quadrat IX-P), so ist in der Geländemorphologie (*Abb. 64,2*) eine grabenartige Eintiefung erkennbar. Sie verläuft zwischen den Schlackenhalden 2 und 3 und knickt nach etwa 20 m nach Nordwesten ab, um nach weiteren ca. 12 m in die Wipper zu münden (*Abb. 4*). Diese recht weitläufige Ableitung erklärt sich aus der Notwendigkeit, den Ofen auch bei hohem Wasserstand gegen rückstauendes Wasser zu schützen. Der Holzkanal führte zwar auch das Wasser von Drainage 1 ab, doch die Hauptaufgabe dürfte aufgrund seiner erheblichen Breite von ca. 0,53 m in der Ableitung des für den Betrieb der Blasebälge genutzten Wassers aus der Radstube bestanden haben. Position und Verlauf des hölzernen Drainagekanals sind somit auch ein Hinweis darauf, dass sich die Blasebälge sehr wahrscheinlich auf der Ostseite des Ofens befanden.

Beschickungsflächen

Auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Hochofens (Quadrate X-A, X-F) verlaufen fünf rotverfärbte und mit Holzkohle durchsetzte Bodenschichten (*Abb. 46–49; 60,2–61,1; 66–67,1)*, die auf einer künstlich begradigten Fläche aufliegen (*Abb. 60,2–61,1*). Sie reichen nicht bis an den Ofen heran, sondern enden an der Eingrabung für den offenen Drainagekanal 1. Die größte Nord-Süd-Ausdehnung des bis zu 0,35 m dicken Schichtpaketes liegt bei ca. 2,5 m, während die größte Ost-West-Ausdehnung ca. 5 m beträgt. Die intentionelle Planierung des Hanges auf der Ofenrückseite unterstützt die Interpretation als Rest einer ehemaligen Beschickungsfläche. Die Rotfärbung ist wahrscheinlich auf eine Durchmengung des Bodens mit feinsten Erzpartikeln zurückzuführen, die ebenso wie die Holzkohle während der Beschickung zu Boden fielen und festgetreten wurden. Insgesamt lassen sich fünf Straten gegeneinander abgrenzen (*Abb. 60,2–61,1; 66–67,1*). Sie unterscheiden sich vor allem durch die enthaltene Menge an Holzkohle und Erzpartikeln sowie ihre spezifische Verfärbung. Da die beiden zeitlich voneinander getrennten Drainagekanäle 2 und 3 von einigen Schichten der Beschickungsfläche überlagert werden, ergibt sich eine chronologische Abfolge. Die älteste Schicht verläuft unterhalb der beiden Kanäle. Die darauffolgende überlagert hingegen nur die ältere Drainage 2, wird aber von der jüngeren Drainage 3 gestört (*Abb. 67,1*). Die letzten drei Schichten liegen darüber und lagerten sich also mit Sicherheit erst nach dem Bau von Drainage 3 ab.

Rohstofflager

Erzlager

An vier Stellen westlich und südlich des Ofens konnten Erzkonzentrationen festgestellt werden. Es ist wahrscheinlich, dass sich hangaufwärts neben seiner Windseite (Quadrat IX-B) aufgrund der großen Menge aufgefundener Erze ein entsprechendes Rohstofflager befunden hat (*Abb. 45–47*). Auch auf der Rückseite (Quadrate XVI-H/XVI-M) konnten Erzfragmente in einer großen Stückzahl dokumentiert werden (*Abb. 46–53; 62,2–64,1; 65*). Zusätzlich lagen in diesem Bereich einige Schlacken, Holzkohle, Steine und Bruchstücke verziegelten Lehms. Es könnte sich um die Reste einer ehemaligen Pochstelle handeln, wobei die gefundenen Holzkohlen und der verziegelte Lehm darüber hinaus ein Rösten der Erze vermuten lassen.

Unmittelbar neben der Windseite des Ofens wurden einige kleine Erze geborgen (*Abb. 47*, Quadrat X-H), die in eine rote, harte Schicht eingebettet waren (*Abb. 47; 62,2–64,1*). Die Fundmenge ist al-



Abb. 16. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Drainage 4. Mit Eichenholzbrettern verschalter Kanal in situ vor der Ofenbrust (Quadrat IV-C) (Foto Chr. Willms).

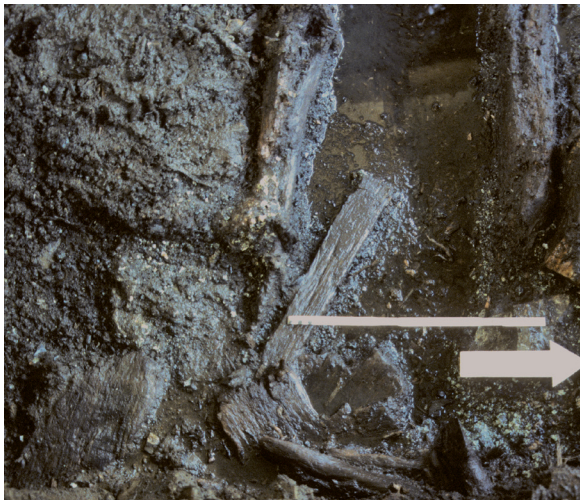


Abb. 17. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Drainage 4. Im östlichen stark gestörten Bereich von Drainage 4 mündet Drainage 1 in den holzverschalten Graben (Foto Chr. Willms).



Abb. 18. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Drainage 4. Bergung der Schalbretter (Foto Chr. Willms).



Abb. 19. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Drainage 4. Zwei vollständig erhaltene Schalbretter (Eichenholz) (Foto Chr. Willms).

lerdings zu gering, um an dieser Stelle ein weiteres Rohstofflager rekonstruieren zu können. Es wird sich viel eher um Erze handeln, die im Zuge der Ofenbeschickung zu Boden fielen.

Als unbrauchbare Abfallprodukte (u. a. taubes Gestein) sind diejenigen Erzstücke zu sehen, die zwischen den beiden großen Schlackenhalden 2 und 3 westlich des Ofens gefunden wurden (Quadrat IX-P). Das Nord-Süd-Profil 6 zeigt deutlich die von Süden einfallenden Schichten der Halde, die folglich nicht nur zur Entsorgung von Schlacke diente, sondern auch andere Abfälle enthält.

Holzkohlelager

Die Holzkohle wurde oberhalb des Ofens gelagert und war vor allem auf dessen Rückseite in einer Schichtstärke bis 0,2 m zu finden (Quadrate X-H, XI-C, XI-D, XI-G, XI-H, XVII-L) (*Abb. 46–49; 58*). Ein Teil der Holzkohlen in Quadrat X-A ist dem Schichtpaket der Beschickungsfläche zuzuordnen und fiel während des Ofenbetriebes zu Boden. Nord-Süd-Profil 2b zeigt jedoch eine ausgeprägte Holzkohlenschicht im südöstlichen Teil des Quadrats, die von den Ausläufern der Beschickungsfläche durch die Steine des jüngeren Drai-

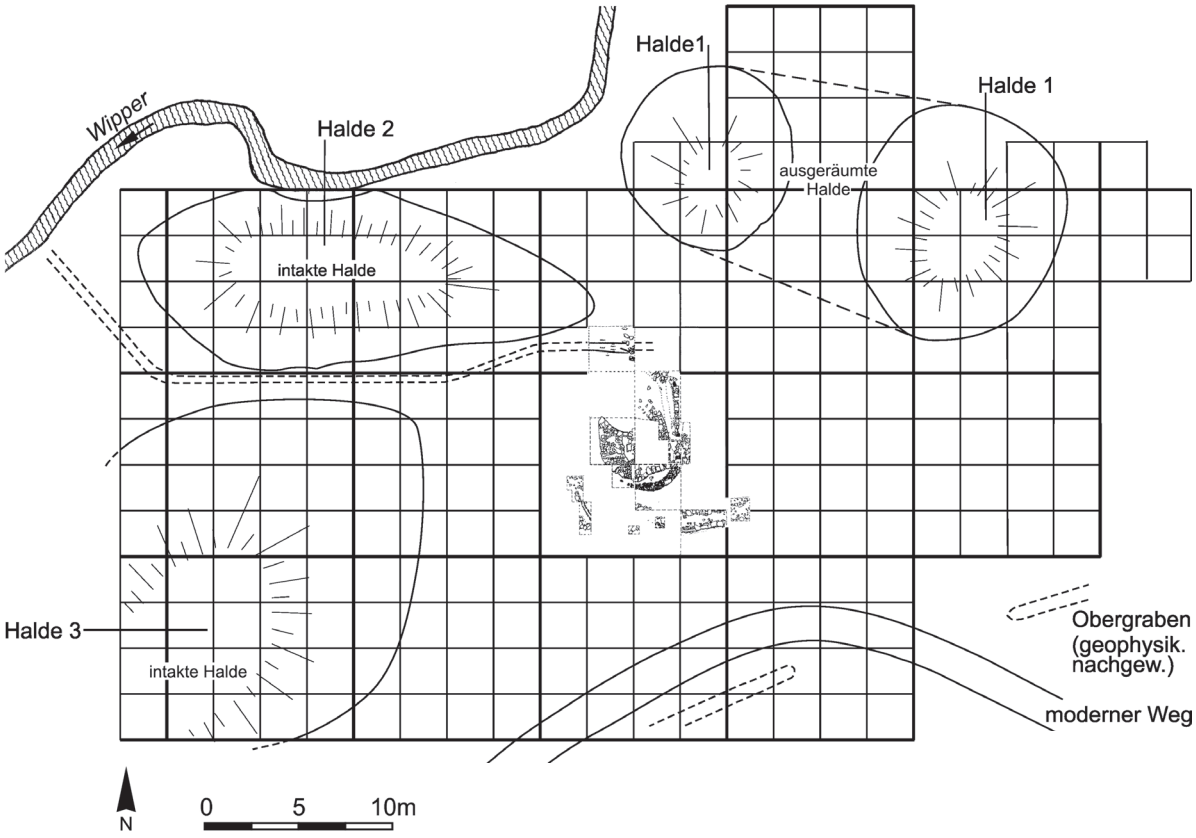


Abb. 20. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Position der Schlackenhalden 1–3.

nagekanals 3 getrennt wird (*Abb. 60,1*). Der Befund lässt nicht klar erkennen, ob man den Drainagekanal eher zufällig in die beiden Schichten eingetieft hat, oder ob er absichtlich als Grenze zwischen zwei Arbeitsbereichen angelegt wurde. Östlich der Ofenrückseite liegt die etwa 0,05–0,07 m starke Holzkohleschicht auf der rötlich verfärbten und begradigten Beschickungsfläche auf (Quadrat XI-C/XI-G)(*Abb. 58*). Begrenzt werden die beiden Schichten im Norden durch Steine, die ebenfalls der jüngeren Drainage 3 zuzuordnen sind.

Schlackenhalden (Halden 1-3)

Drei lokal voneinander getrennte Halden von unterschiedlicher Größe und nahezu ausschließlich glasigen Schlacken können dem Hochofen (Ofen 2) zugeordnet werden (*Abb. 20*).

Die am besten dokumentierte Halde 1 liegt vor der Brustseite, nordöstlich des Abstichs und ist mit einem Durchmesser von ca. 10 m noch obertägig sichtbar (Quadrate IV-J, IV-N, V-Q, XXII-A)(*Abb. 3,4*; *42; 43)*. Obwohl sie in der Neuzeit teilweise ausgeräumt und dadurch in zwei Hälften zerschnitten wurde, überlagern ihre Ausläufer den älteren Rennofen (Ofen 1) (*Abb. 7,1*). Halde 1 zeigt einen Aufbau aus zwei unterschiedlich strukturierten Schlackenschichten (*Abb. 59*). Die ältere Schicht weist eine größere Schlackendichte auf und konnte ausschließlich nördlich des Rennofens, durch dessen Rückwand sie begrenzt wird, nachgewiesen werden. Eine weniger dichte Schlackenlage überdeckt sie und deutet auf eine zweite Verhüttungsperiode hin, bei der die Entsorgung der Schlacke zunächst weiterhin auf die bereits existierende Halde erfolgte (*Abb. 7,2*).

Die beiden größeren Halden 2 und 3 mit einem maximalen Durchmesser von ca. 20 m (Halde 2) bzw. 30 m (Halde 3) wurden nur in ihrem Randbereich erfasst (*Abb. 3,3; 4*). Qualitativ schlechte Erze gelangten ebenso als Abfall auf die Halden (Quadrat IX-P) wie Ofensteine und verziegelter Lehm, die auf eine Ausbesserung schadhafter Teile des Ofens schließen lassen. Der Verlauf des holzarmierten Kanals (Drainage 4) zwischen den Halden (*Abb. 4*) lässt vermuten, dass er während der Entstehungszeit der beiden Halden bereits existierte und somit ein ursprüngliches konstruktionstechnisches Detail dieses Hochofens ist. Lediglich Ausläufer von Halde 2 und Halde 3 überlagern ihn dennoch (Quadrate IV-H, IV-C-c/IV-C-d) (*Abb. 48–54; 62,2–64,1; 69,2)*. Es handelt sich jedoch sehr wahrscheinlich um eine natürliche Verlagerung einiger Schlacken durch Erosion, die erst erfolgte, als der Hochofen bereits nicht mehr betrieben wurde (*Abb. 62,2–64,1*). Halde 3 zeigt demgegenüber eine stärkere Durch-

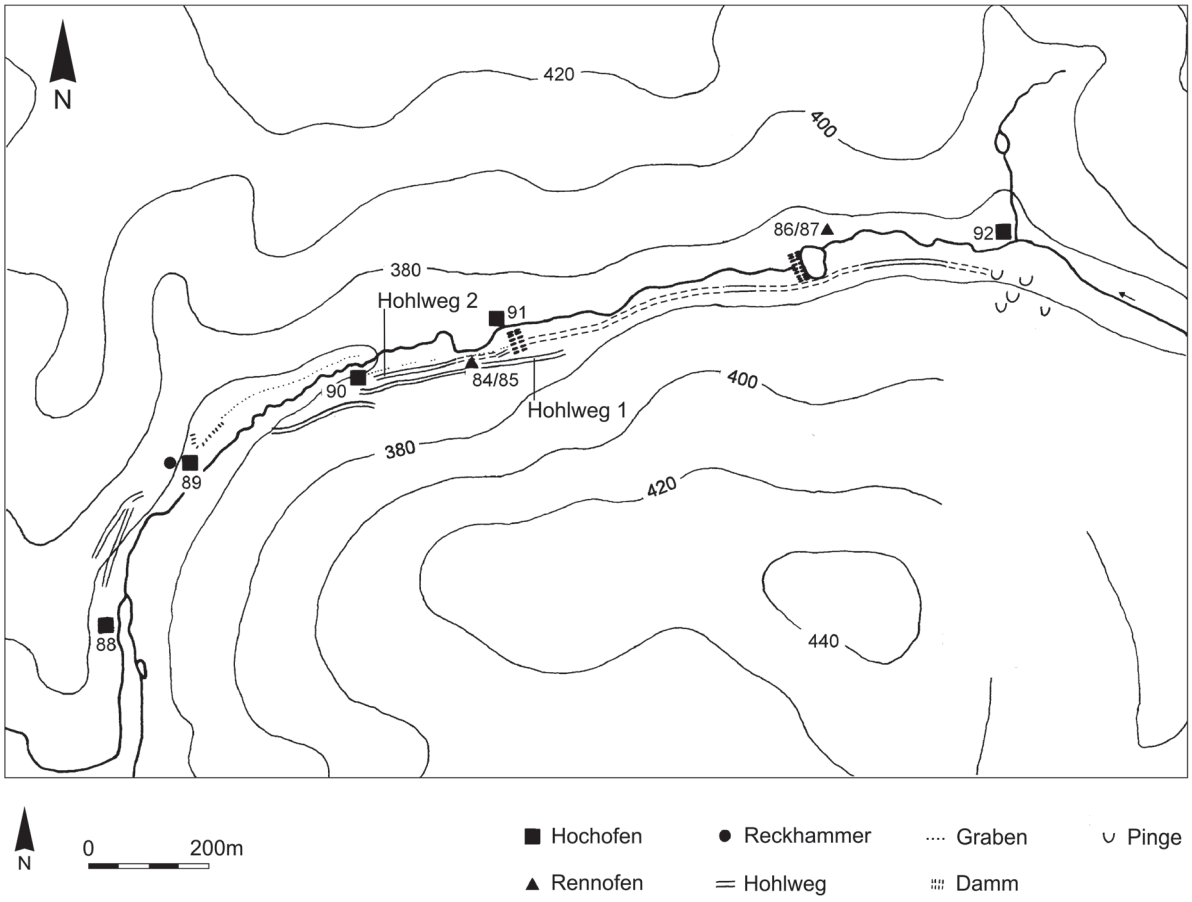


Abb. 21. Marienheide, Oberes Wippertal. Das Obere Wippertal zwischen Wipperfließ und Holzwipper.

mischung mit Holzkohleschichten, die zum Beispiel als Rückstände einer Ofenreise aus dem Gestell entfernt und anschließend auf die Halde verbracht wurden (Quadrat IX-P) (*Abb. 48–57,1; 64,2*). Da sie arbeitsökonomisch ungünstig hangaufwärts und seitlich des Ofens angelegt wurde, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Halde 3 einem weiteren, bisher unbekannten Ofen zuzuordnen ist, der außerhalb der Grabungsfläche liegt.

Pfostengrube

Eine vermutliche Pfostenspur befindet sich auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Hochofens (Planum 6; Quadrat XI-D-d) (*Abb. 51–52,1*). Die Verfärbung war nur wenige Zentimeter tief, so dass sich kein eindeutiges Pfostenprofil ergab. Das Verfüllmaterial unterschied sich jedoch aufgrund seiner hellen Färbung deutlich von Wurzelspuren oder Tiergängen. Die runde Verfärbung hat einen Durchmesser von 0,15 m und liegt zwischen dem Ende des älteren (Drainage 2) und Spuren des jüngeren Drainagegrabens (Drainage 3). Möglicherweise ist die Pfostenspur Teil eines hölzernen Gerinnes, dessen Lage im nördlich anschließenden Bereich zu vermuten ist. Ein solches Gerinne könnte mit Pfosten unterbaut worden sein, um das Wasser, ausgehend vom Obergraben, oberschlächtig auf das Wasserrad zu leiten. Auf diese Weise hätte eine Überschneidung mit den Drainagekanälen 2 und 3 vermieden werden können. Die Hanglage des Ofens schließt andere Rekonstruktionsmöglichkeiten nahezu aus.

Steinlage

Auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Ofens befindet sich eine mit Holzkohle durchsetzte Steinlage unmittelbar neben Schlackenhalde 3 (Quadrat IX-B) (*Abb. 54; 66–67,1*). Holzkohlen deuten auf ein Brandereignis hin. Auch die geophysikalischen Messungen unterstützen diese Interpretation und belegen eine Veränderung des Magnetfeldes durch Hitzeeinwirkung (Quadrat IX-B). Der archäologisch untersuchte Ausschnitt ist jedoch zu klein, um gesicherte Aussagen bezüglich ihrer ursprünglichen Funktion treffen zu können. Die Holzkohleschicht kann über Keramikfunde in das 15. Jahrhundert datiert werden und ist somit zeitgleich mit Ofen 2.

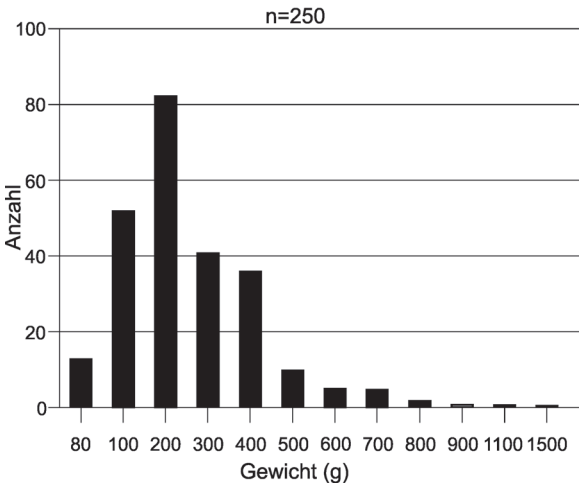


Abb. 22. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Erzlager, Verteilung der Erze auf Gewichtsklassen.

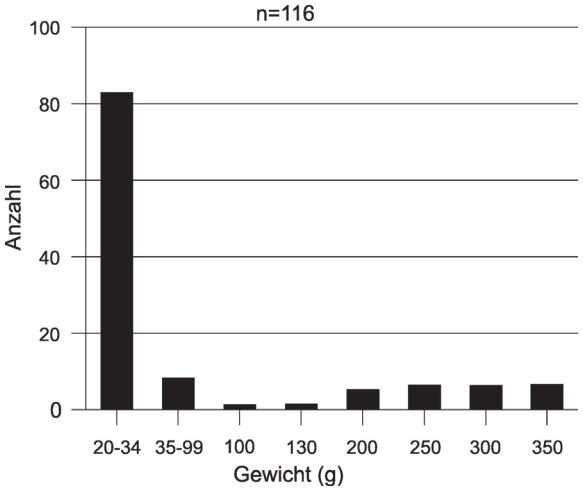


Abb. 23. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Pochstelle, Verteilung der Erze auf Gewichtsklassen.

Obergraben und Hohlwege

Der Obergraben und die Hohlwege wurden am Platz Nr. 90 nicht ergraben, sind jedoch noch obertägig anhand der Geländemorphologie gut zu erkennen. Der aus östlicher Richtung kommende Obergraben ist mit einigen Unterbrechungen noch auf ca. 245 m Länge im Gelände zu verfolgen (*Abb. 21*) und konnte in Teilabschnitten auch durch die geophysikalischen Messungen sichtbar gemacht werden (*Abb. 6*).

Der Grabenverlauf geht vom Damm einer kleinen Teichanlage aus, die den Standort der Massenhütte Nr. 91 stört.[6] Da über diesen Teich der Wasserzufluss zur Hochofenanlage hätte reguliert werden können, ist ein Zusammenhang mit Fundplatz Nr. 90 nicht auszuschließen. Eingehende archäologische Untersuchungen oder Datierungsmöglichkeiten liegen für den Stauteich jedoch nicht vor. Der Obergraben wurde im Bereich der Teichanlage von der Wipper abgezweigt. Weil der Ofen in den Hang gebaut wurde, liegt die Rekonstruktion eines oberschlächtigen Wasserrades nahe. Oberhalb des Ofens weist der Graben eine Unterbrechung auf, die mit der Überprägung durch einen modernen Weg zu erklären ist. Auch sein weiterer Verlauf in westliche Richtung wird durch den modernen Weg gestört. Die Ableitung des Wassers konnte daher nicht geklärt werden. Im Bereich der Störung ist auch mit dem Beginn eines hölzernen Gerinnes zu rechnen, über das Aufschlagwasser zur Radstube geleitet wurde. Da innerhalb der ausgegrabenen Fläche kein entsprechender Graben vorhanden ist, handelte es sich wahrscheinlich um eine hochgelegte Konstruktion.

Zwei obertägig sichtbare Hohlwege führen von Osten zum Platz Nr. 90 (*Abb. 21*). Der nördliche Hohlweg 1 scheint seinen Ausgangspunkt an den nahegelegenen Halden des Platzes Nr. 84/85 zu nehmen.[7] Dieser Befund gibt einen möglichen Hinweis auf die Verwendung von dort stammender eisenhaltiger Rennfeuerschlacken am Platz Nr. 90. Eine mögliche Hohlwegspur vor dem Damm der Teichanlage bei Platz Nr. 91 könnte auf eine unbestimmte Weiterführung des Weges deuten. Der einige Meter hangaufwärts gelegene Hohlweg 2 führt an den Schlackenhalden vorbei. Ob die weiter östlich gelegenen Hohlwegstücke mit diesem zusammenlaufen, ist ungewiss. Eine Verbindung zu dem etwas über 1 km entfernten Pingenfeld bei Platz Nr. 92 erscheint darüber hinaus jedoch ebenfalls möglich.[8]

FUNDE

Erz

Insgesamt wurden 447 Stücke Erz mit einem Gesamtgewicht von ca. 103 kg gefunden (*Abb. 24*). Es handelt sich vor allem um Brauneisenerze, die in der Region anstehen.[9] Sie wurden nach Farbe und Gewicht unterschieden. Dunkel gefärbte Erze stellen die größte Gruppe und fanden sich nahezu ausnahmslos in den südwestlich, oberhalb von Ofen 2 gelegenen Bereichen (Quadrate IX-B, X-H, XVI-H/XVI-M). Hellere braunrötlich gefärbte Erze waren deutlich seltener aufzufinden. Auffällig ist die Gewichtsverteilung in den Quadraten IX-B und XVI-H/XVI-M auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Ofens (*Abb. 22; 23*).

[6] Knau/Sönnecken 1994c, 488.
[7] Dies. 1994b, 465.
[8] Stursberg 1964, 20; Knau/Sönnecken 1994c, 488.
[9] Keesmann/Kronz 2003, 153–162, 291–297.

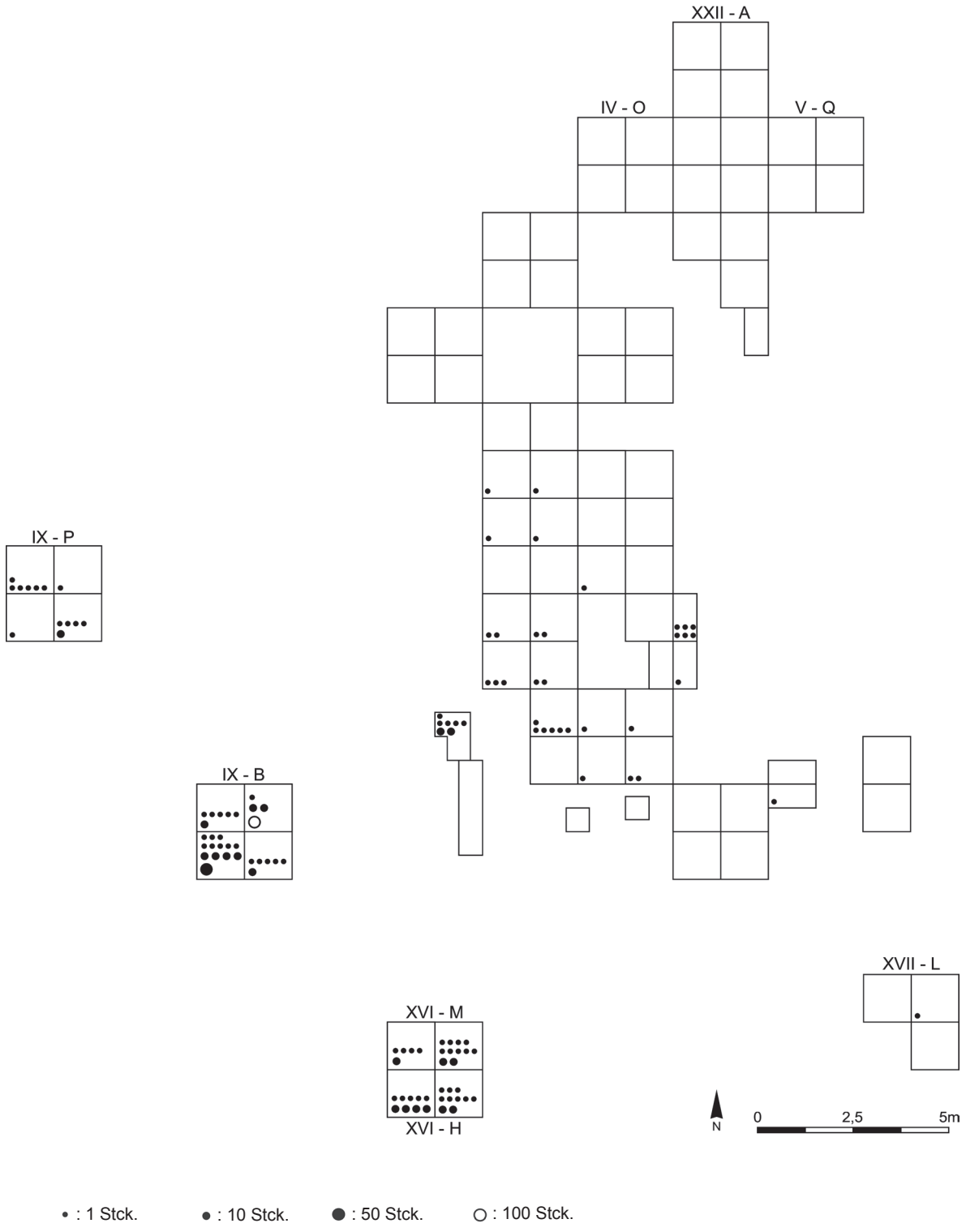


Abb. 24. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Erz in der Grabungsfläche.

Im Quadrat IX-B konnten 250 vor allem großstückige Erze mit einem Gewicht zwischen 80–500 g aufgefunden werden. Da einzelne Stücke sogar ein Gewicht von 1.500 g aufweisen, kann man an dieser Stelle ein Depot für die unzerkleinerten Erze vermuten. Im Gegensatz dazu fanden sich 116 kleine („nussgroße") und daher für die Beschickung optimal geeignete Erzstücke im Quadrat XVI-H/XVI-M. Dieser Bereich kann aufgrund der deutlich kleineren Erzstücke wahrscheinlich als Pochstelle angesprochen werden, an der die Gewichtsklasse bis

Probenkomplex	X-A-2/3-c/d 06.09.94	X-F-8 19.09.94	X-F-10-c 21.09.94	V-Q-d2-8/9 30.06.95	Σ
Anzahl der untersuchten Holzkohlenstücke	464	131	67	26	688
Anteil in %					
Quercus spec. (Eiche)	24,6	29,0	28,4	26,9	25,9
Betula spec. (Birke)	15,7	12,2	16,4	11,5	15,0
Fagus sylvatica (Buche)	12,3	23,6	16,4	3,8	14,5
Carpinus betulus (Hainbuche)	15,1	6,0	1,5	19,2	12,2
Alnus glutinosa (Schwarz-Erle)	9,9	11,4	22,4	11,5	11,5
Corylus avellana (Haselstrauch)	11,9	3,8	—	—	8,7
Salix spec. (Weide)	6,2	8,3	—	19,2	8,0
Frangula alnus (Faulbaum)	2,2	2,3	—	7,7	2,2
Evonymus europaeus (Spindelbaum)	1,1	2,3	—	—	1,1
Tilia spec. (Linde)	0,6	0,8	—	—	0,6
Cornus sanguinea (Roter Hartriegel)	0,4	—	—	—	0,3

Abb. 25. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Anthrakologische Analysen, Ergebnis der Holzartenbestimmung (Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster).

34 g mengenmäßig am stärksten vertreten ist. Die helleren Erze sind aufgrund ihres geringeren spezifischen Gewichts von den übrigen als minderwertig abzugrenzen (Quadrat IX-P). Zwölf der zweiundzwanzig geborgenen Erze konzentrierten sich auf Planum 7. Die Stücke haben ein Gewicht, das mit einigen Abweichungen überwiegend im Bereich von 150 g liegt. Die übrigen Erze aus diesem Quadrat wiegen 75 g und weniger. Sie fanden sich jedoch nur in den beiden ersten Plana, sind also nicht mit den größeren Stücken zusammen gelagert worden. Alle Erze dieses Quadrats lagen im Verbund mit glasigen Schlacken, die als Ausläufer der nordwestlich gelegenen Schlackenhalde (Halde 2) anzusprechen sind. Es ist daher anzunehmen, dass die Erze wegen ihrer schlechten Qualität als Abfall auf die Halde gelangten.

Holzkohle

Etwa 7 kg Holzkohle konnten insgesamt geborgen werden. Die einzelnen Stücke hatten unterschiedliche Größen bis hin zu fingerdicken Exemplaren. Insgesamt ist die Holzkohlenmenge im Umfeld des Rennofens deutlich geringer als diejenige im Umfeld des Hochofens. Die Kohlen aus der restlichen Fläche sind wahrscheinlich verlagert worden. Die botanische Untersuchung ergab die ausschließliche Vermeilerung von Laubhölzern. Das Gutachten wurde erstellt von Prof. Dr. Focke Albers und Dipl.-Biol. Christiane Hoffmann vom Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster. Die nachgewiesenen Arten umfassen *Quercus spec*. (Eiche) mit 25,9 %, *Betula spec*. (Birke) 15,0 %, *Fagus sylvatica* (Buche) 14,5 %, *Carpinus betulus* (Hainbuche) 12,2 %, *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) 11,5 %, *Corylus avellana* (Haselstrauch) 8,7 %, *Salix spec*. (Weide) 8,0 %, *Frangula alnus* (Faulbaum) 2,2 %, *Evonymus europaeus* (Spindelbaum) 1,1 %, *Tilia spec*. (Linde) 0,6 % und *Cornus sanguinea* (Roter Hartriegel) 0,3 % (*Abb. 25*).

Eiche und Birke stellen den größten Anteil an den Holzkohleproben, gefolgt von Buche. Eiche und Buche haben als sogenannte Harthölzer besonders gute Brenneigenschaften. Der geringe Durchmesser der untersuchten Holzkohlestücke lässt auf die Vermeilerung von Astholz schließen. Die Abweichungen zwischen den Zusammensetzungen der dem Rennofen (Quad-

rat V-Q-d Planum 8/9) und dem Hochofen (Quadrat X-A-c/X-A-d Planum 2/3, Quadrat X-F Planum 8, Quadrat X-F-c Planum 10) zuweisbaren Proben sind gering. Auffällig ist der niedrige Anteil Buche in den Schichten des Rennofens (3,8 %) und der dafür höhere Anteil der Weide (19,2 %), die zusammen mit der Hainbuche (19,2 %) und der Eiche (26,9 %) den Hauptteil der vermeilerten Hölzer aus diesen Schichten stellt. Haselstrauch, Spindelbaum, Linde und Roter Hartriegel konnten in diesen Bodenschichten nicht nachgewiesen werden. Die signifikanten Abweichungen deuten wohl auf eine unterschiedliche Waldzusammensetzung in den Zeiten der Rennfeuer- und der Hochofenverhüttung in der Umgebung dieses Hüttenplatzes hin.

In den unteren Hochofenschichten ist der Anteil an Schwarz-Erle (22,4 % gegenüber 9,9 %) erhöht, während der Hainbuchenanteil (1,5 % gegenüber 15,1 %) verringert ist. Auch dieser Gegensatz könnte ein Hinweis auf eine unterschiedliche Zusammensetzung des Waldes sein. Die Vermeilerung von vier zusätzlichen Holzarten zur Zeit der Hochöfen und die nachgewiesenen Mengenunterschiede bei einzelnen Baumarten deuten auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Wälder, die zum Beispiel auch durch die menschliche Nutzung hervorgerufen worden sein können. Hölzer, die nicht mehr zur Verfügung standen, wurden eventuell durch erhöhte Mengen anderer Arten ersetzt.

Kalk

Kalk, der als Flussmittel auf den Ofenprozess einwirkt, lässt sich in Form mehrerer kleiner Stücke nachweisen, die, von leicht glasiger Schlacke umgeben, weißen glasigen Ofensteinen anhafteten (Quadrat X-P-c). Jedoch erfolgte nach den repräsentativ durchgeführten Analysen von Schlacken keine Zugabe von Kalk als „Flussmittel“ (s. S. 251 ff.).

Ofenwand

Die Ofenwand wurde hauptsächlich aus anstehendem Ton und Lehm aufgebaut und kommt in unterschiedlichen Ausprägungen vor. Insgesamt wurden 1.375 Ofenwandfragmente geborgen (*Abb. 26*).

Die Zuordnung der Fragmente zu differenzierten Bereichen der Ofenwandung erfolgte vor allem nach Farbe und dem Grad der Verziegelung. 410 rötlich gefärbte und sehr fragile Stücke stammen aus den Bereichen der Ofenwand, die am weitesten von der Einwirkung des Feuers entfernt waren. Aus dem mittleren Bereich der Wandung stammen weitere 321 Stücke. Diese sind ebenfalls rot gefärbt, jedoch wesentlich härter gebrannt. 644 Stücke grau-roter verschlackter Ofenwand stammen aus der inneren Ofenwand. Die Fragmente aus der Kontaktzone zwischen Ofenwand und Beschickungsmaterial sind mit einer teils glasigen und mit Hohlräumen durchsetzten Schicht aus Lehm und Schlacke überzogen. Die Ofenwand, die während der Verhüttung im Renn- und Hochofen teilweise aufschmilzt, hat auf diese Art einen wesentlichen Anteil am chemischen Prozess der Verhüttung.[10] Die Verbindung von aufgeschmolzener Ofenwand mit Teilen des Beschickungsmaterials zeigt sich auch an einem Stück Ofenwand mit Holzkohle von der Brustseite des Ofens (Quadrat X-P-b). Zwei weitere Stücke mit anhaftender glasiger Schlacke lagen in unmittelbarer Nähe (Quadrate X-L-c, X-P-b). Das in die Randbereiche der Grabungsfläche verlagerte Material lässt sich ohne chemische Analyse keinem der beiden Öfen einwandfrei zuordnen. Lediglich Ofenwandstücke aus der Kontaktzone mit charakteristisch ausgeprägten Schlackenzonen erlauben eine sichere Zuordnung (u. a. zwei Fragmente aus Quadrat X-L-c, X-P-b). Darüber hinaus wurden vor der Brustseite von Ofen 2 Ofenwandstücke geborgen, die mit Ofensteinen verbunden sind (Quadrate X-O, P). Sie stammen alle aus der Wandung des Hochofens.

Die Ofenwandfragmente unterhalb von Schlackenhalde 1 (Quadrate V-Q, XXII-A) konnten dem älteren Rennofen (Ofen 1) zugeordnet werden, da sie nahezu ausschließlich in den unteren Plana geborgen werden konnten und von Schichten mit glasiger Hochofenschlacke überlagert waren. Die in der übrigen Fläche vorgefundene Ofenwand ist als Versturz des jüngeren Hochofens (Ofen 2) anzusehen, der sich erwartungsgemäß vor allem in unmittelbarer Ofennähe und vor der verstürzten Ofenbrust finden ließ. Die Ofenwandfunde aus Quadrat IX-P zwischen den Schlackenhalden 2 und 3 wurden wahrscheinlich im Zuge des Verhüttungsprozesses entsorgt.

Ofenstein

Die geborgenen Ofensteine wurden in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Zunächst wurde zwischen verglasten und unverglasten Steinen unterschieden. 117 Steine (40,1 kg) mit einer oder mehreren verglasten Seiten stammen wahrscheinlich aus dem Kontaktbereich der inneren Ofenwand (*Abb. 27; 28*).

1.599 unverglaste Steine (675,9 kg) sind demgegenüber als innenliegende Bestandteile der Ofenwand anzusprechen, die der Hitze nicht so stark ausgesetzt waren (*Abb. 29; 30*).

[10] Bachmann 1978, 71; Keesmann/Kronz 2003, 229; Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 315 f.; Kronz 1997, 179; Kronz/Keesmann 2005, 445 ff.

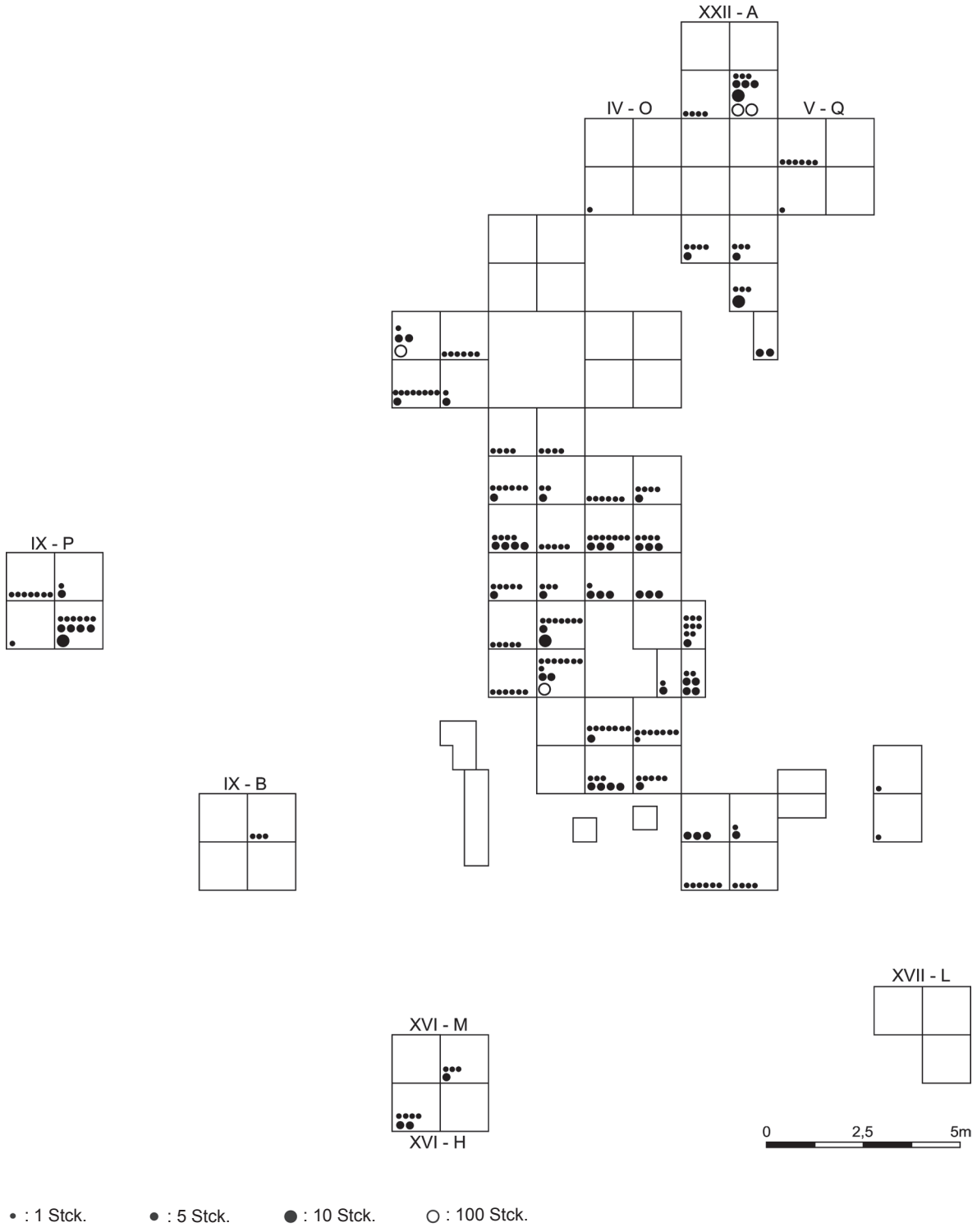


Abb. 26. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Ofenwandfragmenten (verziegelter Lehm) in der Grabungsfläche.

Zum Bau des Ofens wurden Grauwackensandstein aus dem Umland und ein in den Zwischenlagen anstehender quarzitischer Sandstein eingesetzt. Beide Gesteine besitzen eine Feuerfestigkeit von über 1580–1610 °C.[11] Bearbeitungsspuren konnten nicht festgestellt werden. Die Ofensteine können anhand ihrer Verfärbung in weiß-

[11] Fuchs/Schmidt 1928, 10.

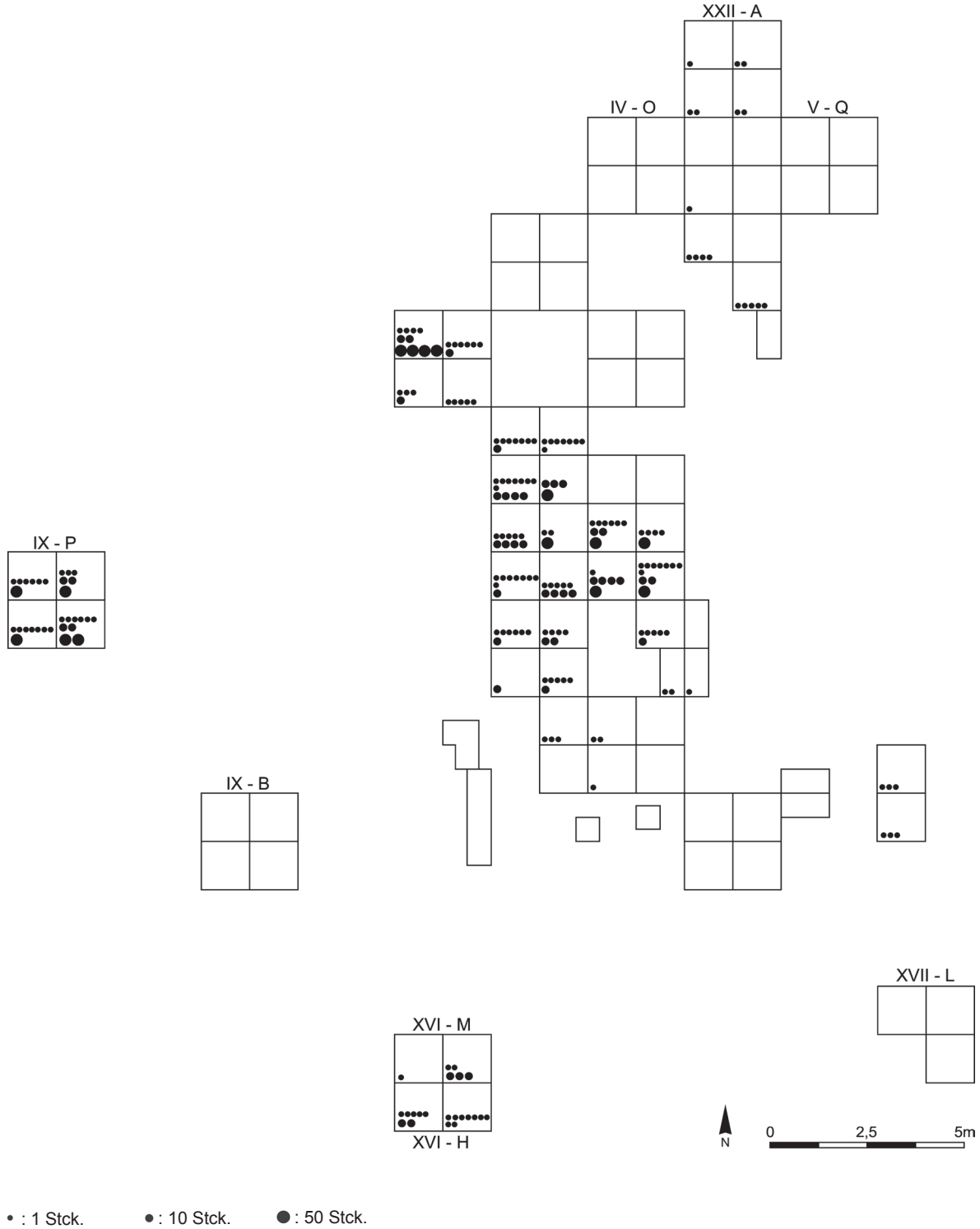


Abb. 27. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Ofenstein (weiß, glasig) in der Grabungsfläche.

liche und rötliche Exemplare unterteilt werden. Beide Färbungen scheinen gleichfalls ein Ergebnis der Hitzeeinwirkung auf das Gestein zu sein.[12] Der weiß gefärbte Ofenstein stammt aus dem unteren Bereich des Ofens und war der größten Hitzeeinwirkung ausgesetzt. Demgegenüber war der rötlich gefärbte Ofenstein eher im auf-

[12] Goldenberg 1996, 75.

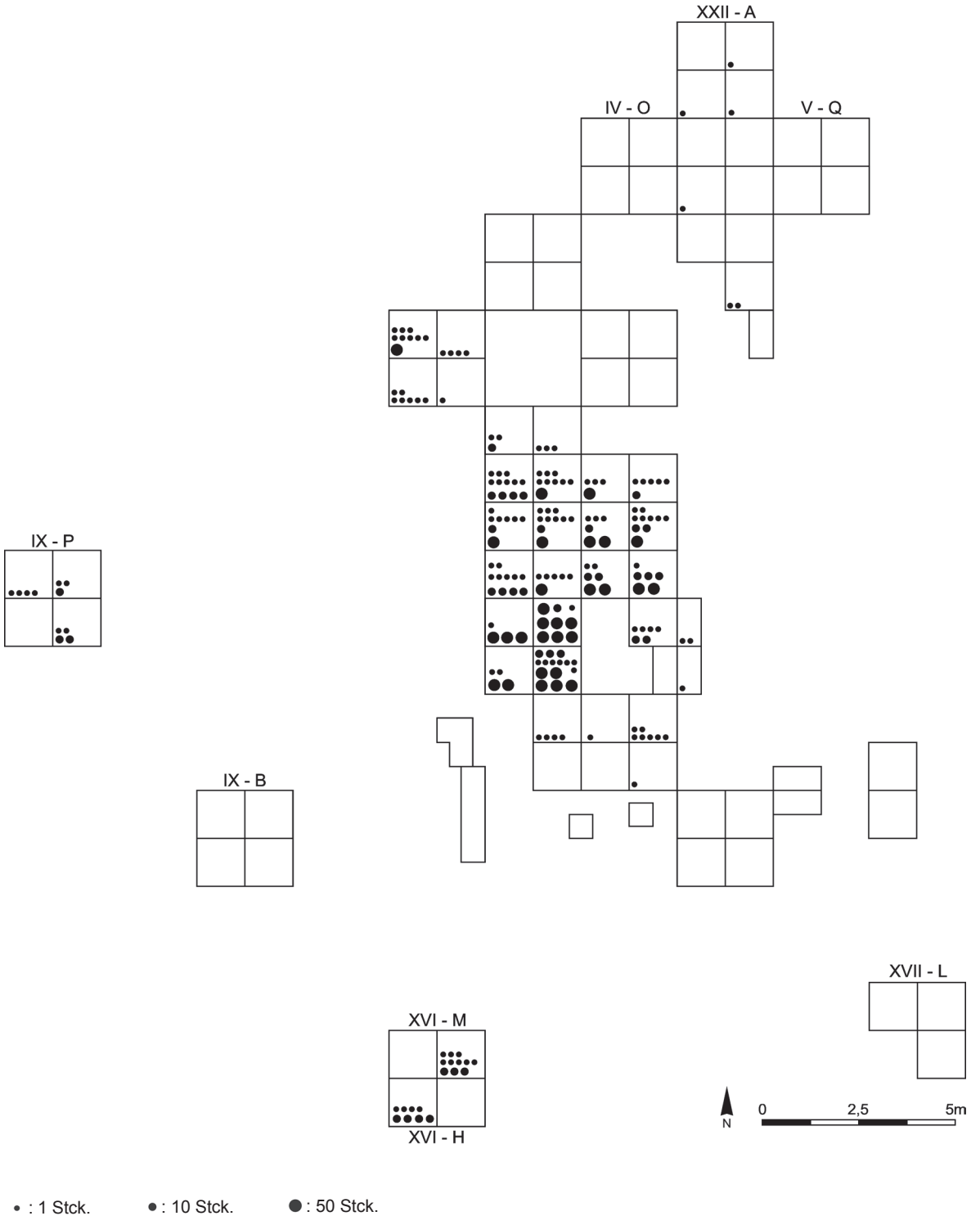


Abb. 28. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Ofenstein (rot, glasig) in der Grabungsfläche.

gehenden Bereich der Ofenwand verbaut, in dem kein Reduktionsprozess mehr stattfand. Auch bei den roten und weißen Ofensteinen kamen verglaste und unverglaste Exemplare vor.

Insgesamt fanden sich 13.451 (5.358,18 kg) unverglaste rote Ofensteine, 2.006 (826,475 kg) verglaste rote Ofensteine, 7.667 (1.634,03 kg) unverglaste weiße Ofensteine und 1.361 (218,51 kg) verglaste weiße Ofensteine (*Abb. 31*).

Hinzu kommt eine mit 12 Exemplaren (14,65 kg) zahlenmäßig kleine Gruppe mit anhaftender Ofenwand. Die Steine dieser Gruppe stammen offensichtlich di-

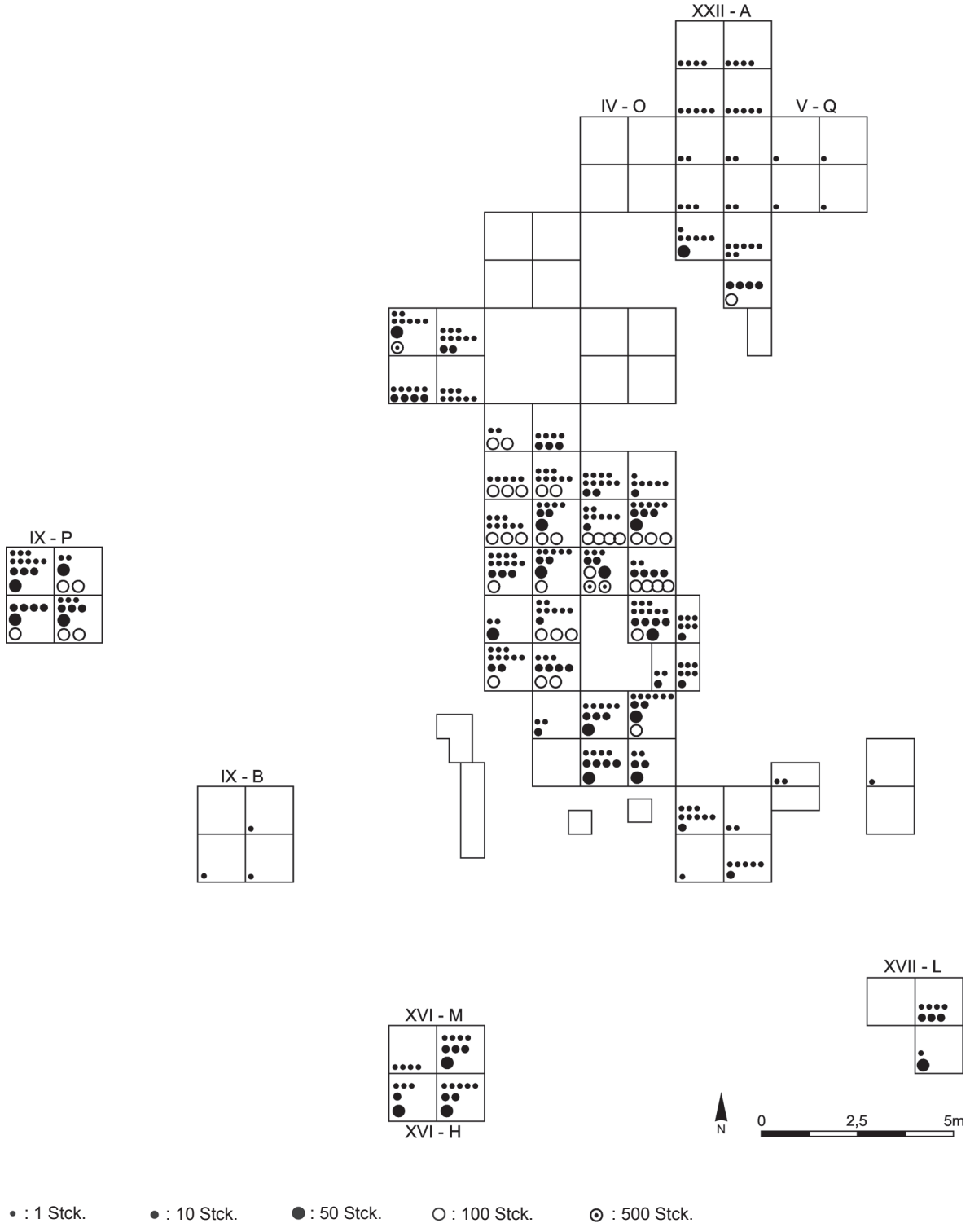


Abb. 29. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Ofenstein (weiß, nicht glasig) in der Grabungsfläche.

rekt aus dem Übergangsbereich von Ofenmauer zum Gestell beziehungsweise dem inneren mit Lehm ausgestrichenen Reduktionsbereich des Ofens. Dazu zählt ein verglaster weißer Ofenstein mit anhaftenden Resten brüchiger roter Ofenwand, der im Randbereich der nördlich des Hochofens (Ofen 2) gelegenen Halde 2 gefunden wurde (Quadrat IV-H). Eine kleine Anzahl weißer Ofensteine war teilweise mit glasiger Schlacke überzogen. Diese Stücke deuten an, dass die Auskleidung des Ofens wohl an einigen Stellen bis auf

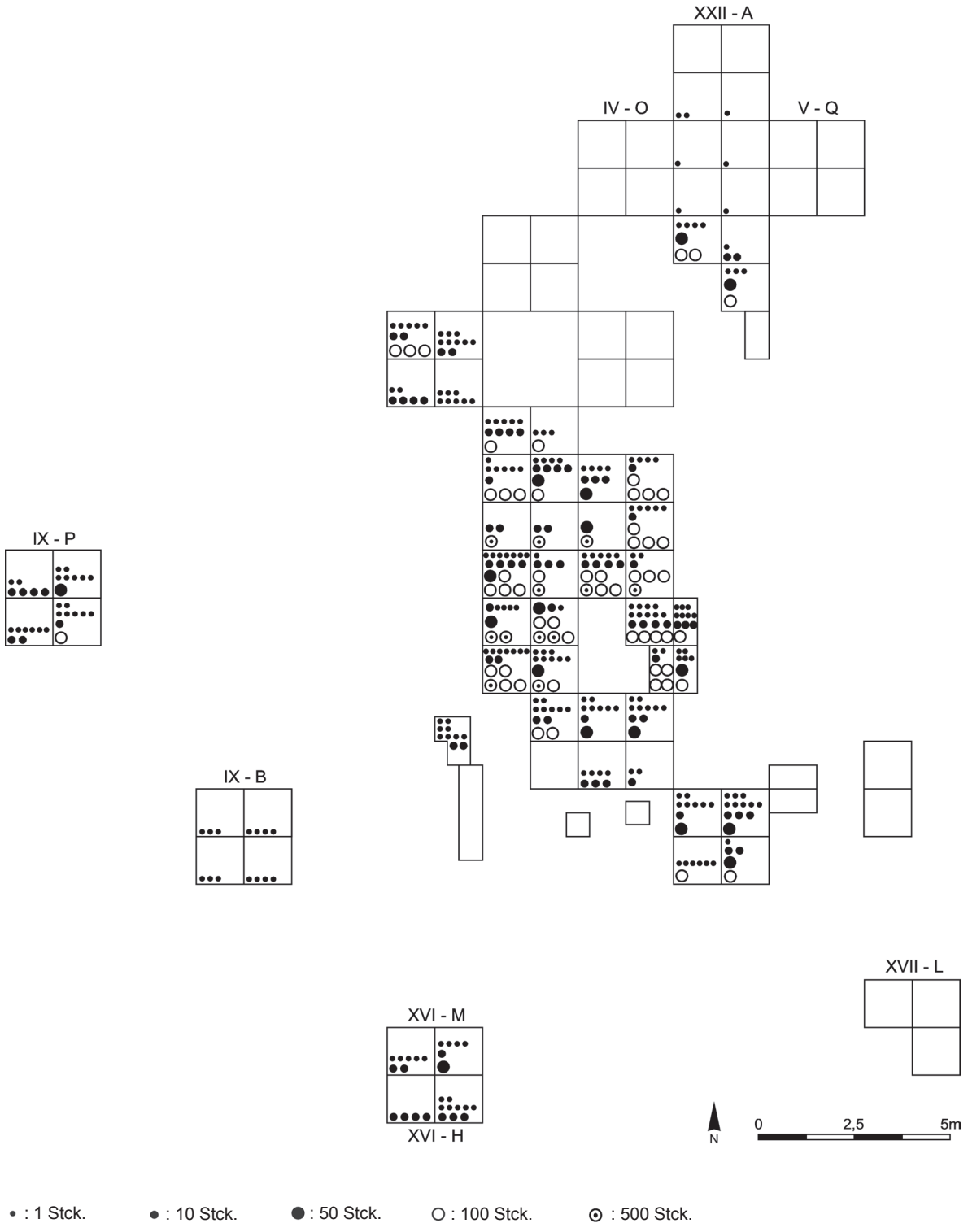


Abb. 30. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von Ofenstein (rot, nicht glasig) in der Grabungsfläche.

die Mauersteine durchgebrannt war. Ein Ofenstein mit wenigen Resten verschlackter Ofenwand (Quadrat X-O-d), deutet auf eine fast durchgebrannte Stelle hin. Alle dokumentierten Stücke stammen aus der Versturzmasse des Ofens.

Die Verteilung der Ofensteine ergibt ein klares Bild. Die Fläche vor der verstürzten Ofenbrust (Quadrate X-L, X-O, X-P) weist erwartungsgemäß die größten Mengen auf. Auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Ofens (Quadrate X-A, X-F, X-G, X-H) stam-

men die Ofensteine ebenfalls aus der Versturzmasse des Ofenschachtes. Es fällt auf, dass in diesem Bereich fast ausschließlich rote und weiße, unverglaste Ofensteine aufgefunden wurden, also Steine, die wahrscheinlich aus dem weniger hitzebeeinflussten oberen Ofenbereich stammen. Hangabwärts und mit zunehmender Entfernung vom Hochofen werden die Fundmengen deutlich kleiner. Vereinzelt finden sich jedoch auch im nördlichsten Grabungsquadrat (Quadrat XXII-A) noch Ofensteine, die hangabwärts verlagert wurden.

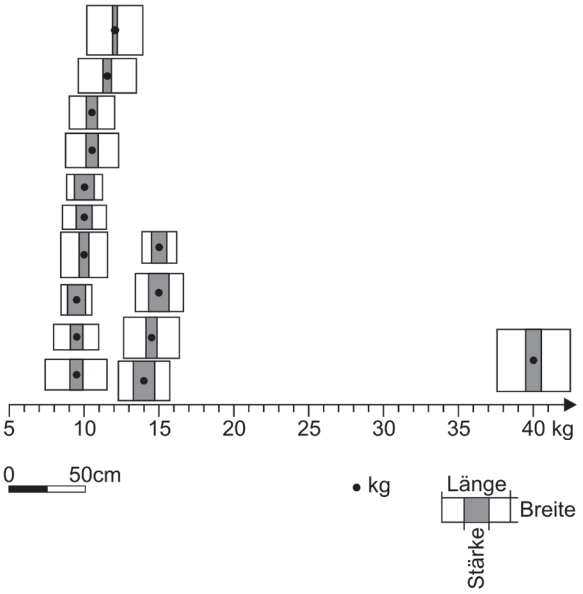


Abb. 31. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Zusammenfassende Darstellung der Ofensteinfunde nach Länge, Breite und Stärke.

Schlacke

Insgesamt wurden 2.858,27 kg Schlacke geborgen. Die kompakten Schlacken zeigen zumeist eine bräunliche oder schwärzliche Färbung und weisen teilweise Fließstrukturen und stark korrodierte Eiseneinschlüsse auf. Ihr hohes Gewicht lässt auf einen hohen Eisenanteil in der Schlacke schließen. Der Großteil der Fundmenge ist daher wohl dem Rennofen (Ofen 1) zuzuordnen, in dessen Umfeld die meisten dieser Schlacken gefunden wurden (Quadrate IV-E, IV-J, IV-N, IV-A, V-Q, XXII-A). Wenige nicht eindeutig zuweisbare Schlacken lagen vor der Ofenbrust von Ofen 2 und stammen aufgrund ihrer leichten Verglasung sehr wahrscheinlich aus der Hochofenverhüttung (Quadrate IV-B, IV-H). Bei diesen Schlacken ist auch an Frischschlacken zu denken, die sich in ihrem Aussehen nicht oder nur schwer von Rennofenschlacken unterscheiden lassen, die aber sehr wohl als Zeugen der Weiterverarbeitung des nicht schmiedbaren, indirekt gewonnenen Roheisens im Bereich eines Hochofens zu vermuten wären.[13]

Eine auffällige Konzentration, die einen möglichen Frischherdstandort anzeigt, war allerdings nicht festzustellen. Auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite von Ofen 2 (Quadrate XVI-H, XVI-M, IX-B) findet sich die Schlacke zusammen mit Erzen in einer ähnlichen Gewichtsverteilung. In Quadrat IX-B lagen Schlackenstücke mit einem Gewicht von 40–400 g. In den Quadraten XVI-H und XIV-M kommen ähnlich wie bei den Erzen geringere Gewichte vor, die sich zwischen 30–100 g bewegen. Aufgrund dieser Gewichtsverteilung zeichnet sich eine Wiederverwendung der eisenreichen Schlacken aus der Rennfeuerverhüttung ab.[14] Die eisenreichen Rennfeuerschlacken könnten zusammen mit den Erzen als wiederverwertbarer Rohstoff gelagert und genutzt worden sein.

Stark eisenhaltige Schlacke

Dieser Schlackentyp ist mit ca. 1.070 Exemplaren (36 kg) im Fundmaterial vertreten (*Abb. 32*). Äußerlich unterscheidet sich die stark eisenhaltige Schlacke kaum von dem vorangegangenen Schlackentyp der „normalen“ Schlacke. Besonders hervorgehoben wird sie aber durch ihr hohes Gewicht,[15] das einen hohen Eisengehalt anzeigt. Stark eisenhaltige Schlacke ist ein typisches Produkt der Rennfeuerverhüttung. Aufgrund der unvollständigen Reduktion des Eisenerzes während der Verhüttung verbleibt verhältnismäßig viel Eisen in der Schlacke.

Die größte Menge stark eisenhaltiger Schlacke konnte aus den unteren Plana (Planum 5–7) in unmittelbarer Nähe des Rennofens geborgen werden (Quadrate IV-J, IV-N, XXII-A). Eine größere Anzahl stammt auch aus dem Bereich direkt vor der verstürzten Ofenbrust des Hochofens (Quadrate X-O, X-P, X-L). Da eine Lagerung der evtl. im Hochofenprozess wiederverwendeten Schlacken an dieser Stelle nicht sinnvoll ist, muss eine andere Ursache für die Fundhäufung angenommen werden. Vielleicht handelt es sich bei diesen Schlacken tatsächlich um Produkte der Roheisenproduktion.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit wäre eine Verlagerung durch Arbeitsvorgänge im Zuge der Beschickung von Ofen 2, zumal eine Wiederverwendung eisenhaltiger Schlacke im Hochofenverfahren nicht auszuschließen ist. Im Zusammenhang mit einer solchen Wiederverwertung wird wohl das Vorkommen auf der hangaufwärts gelegenen Rückseite des Hochofens zu sehen sein (Quadrate XVI-H, XVI-M). Die stark eisenhaltigen Schlacken sind in diesem Bereich mit Erzen vergesellschaftet und finden sich in Größen, die eine Pochung wahrscheinlich machen (bis ca. 100 g). Eine

[13] Knau/Sönnecken 1994a, 268.
[14] Craddock 1997, 4.
[15] Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 311.

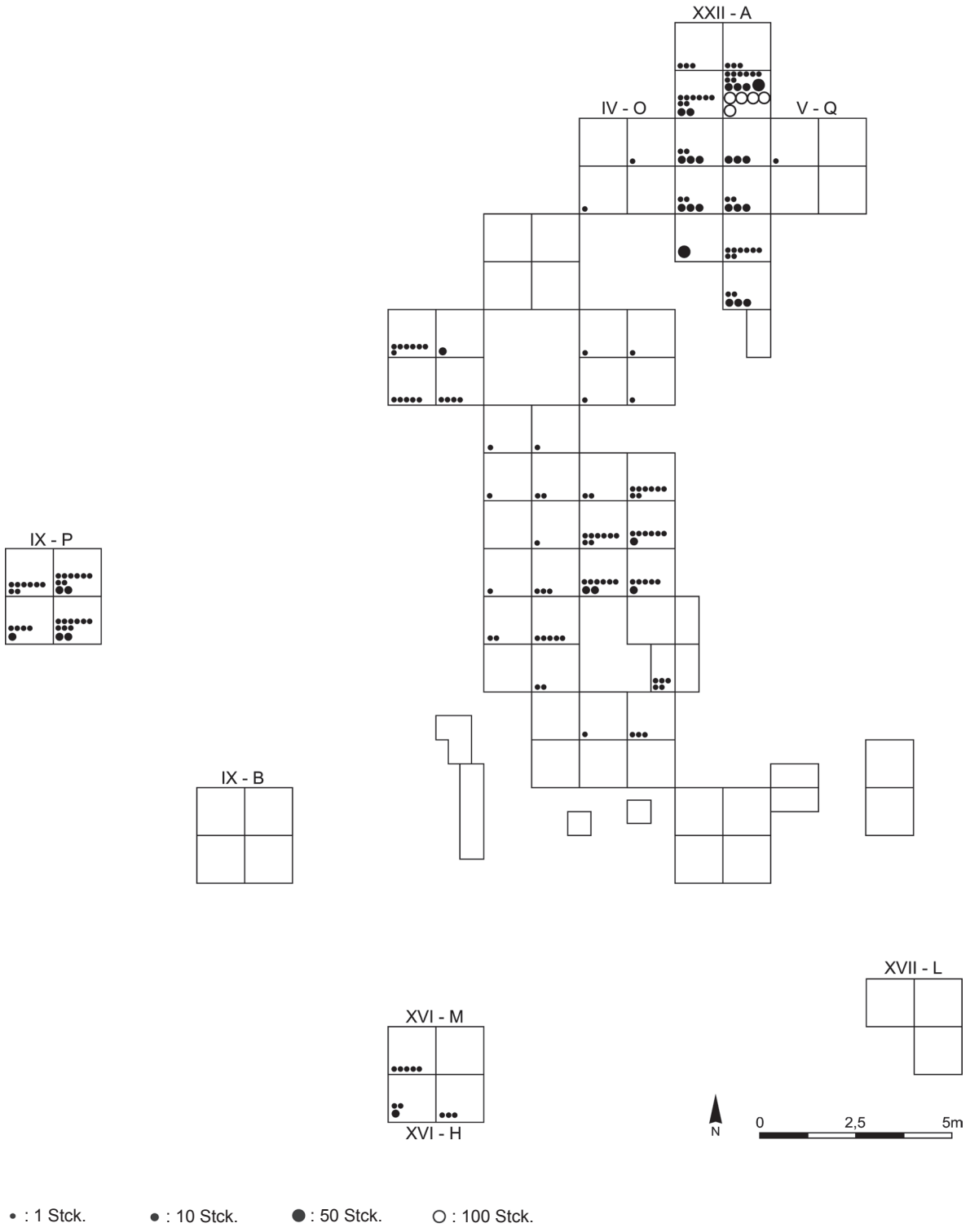


Abb. 32. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von stark eisenhaltiger Schlacke in der Grabungsfläche.

weitere Häufung liegt westlich des Ofens 2 zwischen den Halden 2 und 3 vor (Quadrat IX-P). Innerhalb der restlichen Fläche kommen die stark eisenhaltigen Schlacken lediglich in geringen Stückzahlen und nahezu ausschließlich in den oberen Plana vor.

Glasige Schlacke

540 kg glasige Schlacken wurden gefunden (*Abb. 33*). Dieser Schlackentyp hat eine sehr dichte Struktur und weist wenige, meist nur kleine Hohlräume auf. Die

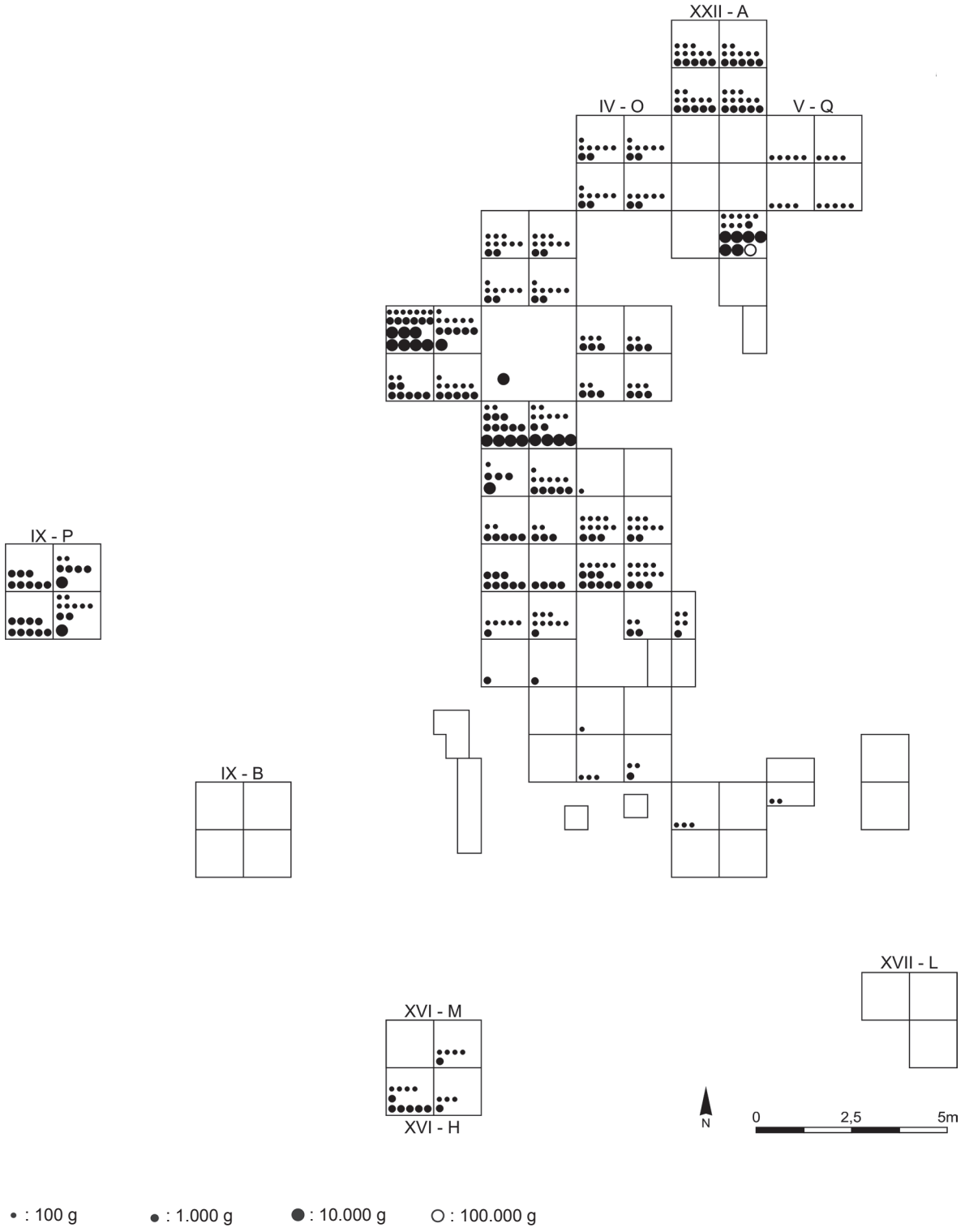


Abb. 34. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Verteilung von glasig erstarrter Schlacke in der Grabungsfläche.

vorherrschende Färbung ist blau und grau-weiß, wobei Schlacken mit einer bläulichen Farbgebung überwiegen (*Abb. 35*).

Einige Stücke aus dem Bereich vor der Ofenbrust zeigen Fließstrukturen (Quadrat IV-C). Die glasigen Schlacken konzentrieren sich in den Bereichen der Grabungsfläche, die der Ofenbrust des Hochofens (Ofen 2) vorgelagert sind. Die größten Mengen konnten in den Randbereichen der dem Hochofen zuzuordnenden Halden verzeichnet werden (Quadrate IV-C,



Abb. 34. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Glasig erstarrte Schlacke (Foto M. Overbeck).

IV-H, IX-P, IV-J). Auf der Rückseite des Hochofens wurden glasige Schlacken im Bereich der vermutlichen Pochstelle zusammen mit Erzen gefunden (Quadrat XVI-H, XVI-M). Vielleicht sind diese Schlacken zerkleinert und als Zuschlag (Flussmittel) in den Ofen eingebracht worden.[16] Denkbar ist auch, dass die Hüttenleute besonders stark eisenhaltige Schlacken zerschlagen haben, um die darin enthaltenen Eiseneinschlüsse zu gewinnen.

Roheisen

Zwei amorphe Stücke von zusammen etwas mehr als 1,5 kg Gewicht wurden als Roheisen angesprochen. Sie stammen aus dem Bereich vor der verstürzten Ofenbrust von Ofen 2 (Quadrate X-O, X-P).

Keramik

Die in mehreren Quadraten aufgefundenen Scherben von Steinzeug stammen von Gefäßen und ließen sich teilweise zu solchen ergänzen:

1. Quadrat X-K-a-5 (1 Scherbe), Quadrat X-K-a-6 (1 Scherbe). Steinzeug (*Abb. 35*):

Die zwei Scherben ließen sich zu einer Hälfte eines Gefäßfußes mit einem rekonstruierten ehemaligen Durchmesser von 20,5 cm zusammenfügen. Der breite Fuß ist wellenförmig gestaltet. Der erhaltene Teil des Gefäßkörpers weist Wandungswellen auf. Die Außenseite ist mit einer rötlich-dunkelbraunen Eisenengobe versehen. Innen ist nur ein unregelmäßiger, teilweise bis zum Gefäßboden reichender Überzug mit der Engobe festzustellen. Die klingend hart gebrannte Keramik besitzt eine weiß-gelbliche Farbe und zeigt einige graue Zonen an den äußeren Rändern.

2. Quadrat X-K-a-8 (2 Scherben), Quadrat X-P-b-5 (1 Scherbe). Steinzeug (*Abb. 36*):

Die drei Scherben lassen sich zu einem Gefäßfuß mit Wellenprofil zusammensetzen, der mit einem ehemaligen Gesamtdurchmesser von ca. 11 cm rekonstruiert werden kann. Der Gefäßkörper ist mit Wandungswellen versehen. Sechs Zentimeter oberhalb des Fußes setzen Drehrillen ein. Die Außenseite der Scherben ist mit einer ungleichmäßigen rot-braunen Eisenengobe überzogen. Die Innenseite zeigt demgegenüber lediglich einige Spuren der verlaufenen Engobe. Die klingend hart gebrannte Keramik besitzt eine weißgelbliche Farbe.

3. Quadrat IX-B-c-7 (18 Scherben). Steinzeug (*Abb. 37*):

Die 18 gefundenen Scherben lassen sich zu einem fragmentarisch erhaltenen Gefäß von ursprünglich 28–29 cm Höhe zusammenfügen. Der Fuß zeigt ein Wellenprofil und besitzt einen ehemaligen Durchmesser von 12 cm. Der gebauchte Gefäßkörper ist mit Wandungswellen versehen und leicht eiförmig. Der einziehende Hals ist mit einer flachen Drehstufe abgesetzt. Die Keramik ist sowohl auf der Innen- als auch auf der Außenseite gleichmäßig mit einer rot-braunen Eisenengobe überzogen. Die Scherben sind weiß-gelblich gefärbt und klingend hart gebrannt. Die Keramik stammt aus einer Schicht, die mit keinem der beiden Öfen in Verbindung gebracht werden kann. Die Relevanz des Gefäßrestes für die chronologische Einordnung der Platzstrukturen wurde bei der Befundbeschreibung von Ofen 2 bereits erläutert.

Die Keramik des Fundplatzes lässt sich allgemein als Ware nach Art des Siegburger Steinzeugs einordnen.[17] Die dunkle Farbe der Engobe erinnert allerdings auch an die Duinger Ware.[18] Das Steinzeug war ab dem späten 13. Jahrhundert ein Massenprodukt vor allem rheinländischer Töpfereien, das als einfache Haushaltsware über den Handel weite Verbreitung fand.[19] Der genaue Herkunftsort der am Verhüttungsort Nr. 90 aufgefundenen Keramik ist nicht bestimmbar. Das größte Keramikfragment ist nur mit Mühe einer

[16] Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 316; Bachmann 1978, 74.
[17] Beckmann 1963, 475; 1975, 11; Hähnel 1987, 19 ff. 162 ff.; Stephan 1988, 96 ff.; Lüdtke/Schietzel 2001.
[18] Busch 1981.
[19] Hähnel 1987, 25; Fehring 1996, 74.

Formengruppe eindeutig zuzuordnen. Aufgrund des rekonstruierten Durchmessers von 16 cm ist jedoch an eine Flasche zu denken.[20] Die beiden anderen Gefäße lassen sich wahrscheinlich der Formgruppe der Fußflaschen zuordnen.[21] Alle drei Gefäße datieren in das 15. Jahrhundert.[22] Diese zeitliche Einordnung entspricht auch vergleichbaren Keramikfunden an anderen Hüttenstandorten der Region, so von Haus Rhade, vom Wehe-Bach und dem direkt benachbarten Platz Nr. 91 im oberen Wippertal.[23]

STRUKTUR DES VERHÜTTUNGSPLATZES NR. 90 UND ABSCHLIESSENDE BEUERTEILUNG

Die während der Grabung gesicherten Strukturen auf dem großen Verhüttungsplatz Nr. 90 verteilen sich auf zwei Zeitphasen: eine ältere Rennfeuerverhüttung (Ofen 1 mit seiner Infrastruktur) und eine jüngere Hochofenverhüttung (Ofen 2 mit seiner Infrastruktur).

Rennofen (Ofen 1)

Der Rennofen (Ofen 1) des 11./12. Jahrhunderts entspricht in Form und Maßen dem von Sönnecken als flachen Rennfeuerherd[24] bezeichneten Ofentyp dieser und benachbarter Regionen.[25] Der innere Durchmesser des Ofens beträgt 0,4–0,5 m, die ehemalige Höhe ließ sich allerdings nicht mehr gesichert rekonstruieren. Die Hypothese, dass diese nur 0,5–0,7 m betragen hat,[26] ist daher nicht zwingend. Auch eine Höhe von 0,7–1,0 m, wie sie für vergleichbare Öfen anderer Regionen angenommen wird, scheint grundsätzlich möglich.[27] Aufgrund der schlechten Erhaltungsbedingungen ist diese Frage jedoch nicht abschließend zu klären. Da eine höhere Bauweise den Reduktionsprozess unterstützt,[28] ist durchaus mit höheren Schächten zu rechnen. Die höheren Öfen wer-

[20] Beckmann 1975, 51.
[21] Hähnel 1987, 162 ff.
[22] Ebd. 23 ff. 162 ff.
[23] Knau/Sönnecken 1994b, 427 f. 437 f. 440.
[24] Sönnecken 1971, 118.
[25] Ders. 1978, 161–172; 1982; 1994, 391–405; Siegerland: Krasa 1931, 49–55; Lahn-Dill-Region: Jockenhövel 1996, 23; Jockenhövel/Willms 2005; Bergisches Land: Rech 1991, 127; Norddeutsches Tiefland: Jöns 1993, 69; 1997.
[26] Sönnecken 1971, 118.
[27] z. B. Lahn-Dill-Region, Westliches Mittelhessen: Jockenhövel 1996, 23; Willms 1995, 78. Inntrøndelag, Norwegen: Prestvold 1996, 45 f.; Pleiner (1996, 253) geht von einer Höhe von 1,0–1,2 m aus; Gassmann/Hübner (1998, 8 f.) gehen von max. 2 m und darüber aus.
[28] Bachmann 1993, 40. Afrikanische Rennöfen haben z. B. eine Höhe von max. etwas über 2 m. Siehe dazu: Celis 1991, 56 ff.

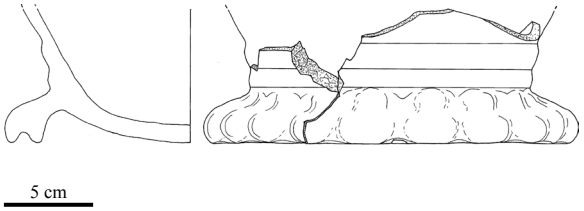


Abb. 35. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Keramik (Steinzeug) aus den Quadraten X-K-a-5 und X-K-a-6.

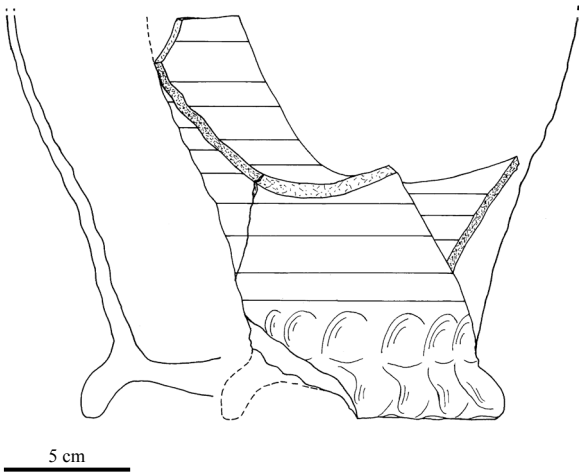


Abb. 36. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Keramik (Steinzeug) aus den Quadraten X-K-a-8 und X-P-b-5.

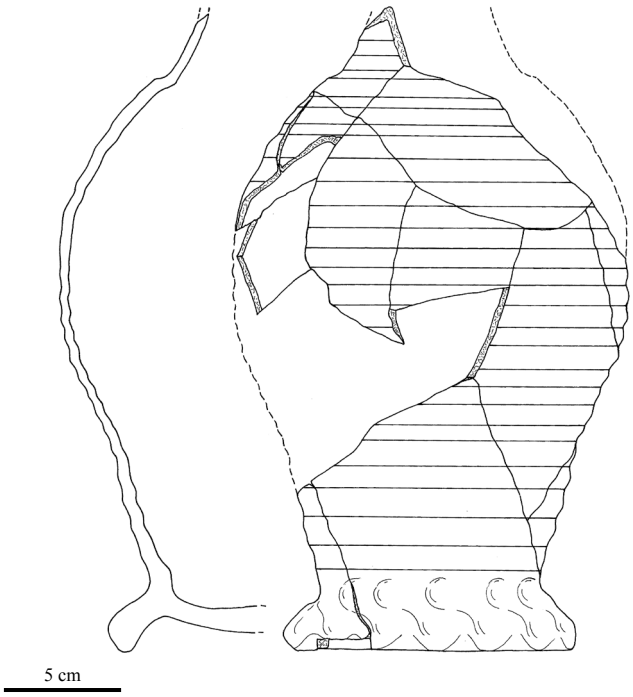


Abb. 37. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Keramik (Steinzeug) aus Quadrat IX-B-c-7.

den von R. F. Tylecote als freistehende Schachtöfen bezeichnet,[29] was dem Sachverhalt näher kommt und den vorliegenden Befund auch gegenüber den von Sönnecken beschriebenen niedrigeren eingemuldeten Schachtöfen abgrenzt (s. S. 282 *Abb. 3*).[30]

Der Begriff „Schachtofen" bedarf an dieser Stelle nochmals einer genaueren Betrachtung. Bei den von G. Agricola und V. Biringuccio beschriebenen Schachtöfen[31] handelt es sich um raugemauerte Öfen, die bereits mit Stucköfen gleichzusetzen sind. Auch B. Kerl und L. Beck, verstehen unter Schachtöfen bereits gemauerte Anlagen.[32] Aus diesem Grund sollte der Ofentyp aus dem Wippertal eher als freistehender und eingemuldeter Rennofen bezeichnet werden.

Entsprechende Vergleichsfunde wurden bei Ausgrabungen im Dietzhölzetal (DHT-Projekt) gemacht. Diese Stücke verwendete man wahrscheinlich in einem ähnlichen Zusammenhang.[33] Obwohl auf derartige Funde ein besonderes Augenmerk gelegt wurde, sind weder im Märkischen Sauerland noch im Lahn-Dill-Kreis Tondüsen belegt,[34] die allgemein zu den eher häufigen Funden an Verhüttungsplätzen zählen.[35] Der Rennofen funktionierte wahrscheinlich mit natürlichem Windzug. Dass diese Methode durchaus bis in das vergangene Jahrhundert hinein gebräuchlich war, hat G. Celis in Afrika nachgewiesen.[36] Dort wurden die Öfen in einigen Gebieten, ebenfalls unter Nutzung von Tondüsen, mittels natürlichen Luftzugs (Kamineffekt) betrieben. Dieses Verfahren ist wirtschaftlicher, da keine zusätzlichen Arbeitskräfte für den Betrieb von Blasebälgen benötigt werden.[37] Eine solche Technik wurde in den von Celis beschriebenen Regionen Afrikas der Blasebalgnutzung vorgezogen.[38]

Eine mehrmalige Ofennutzung ist für den vorliegenden Platz aus dem 11./12. Jahrhundert durchaus anzunehmen, da sich vom 10.–13. Jahrhundert die Rennfeuerverhüttung dieser Region besonders entfaltete.[39] Die oben ausgeführten Überlegungen zu den beiden Abstichen, den Arbeitsflächen und der Verteilung der Holzkohle lassen den Schluss zu, dass der Rennofen wohl mindestens zwei zeitlich getrennte Nutzungsphasen hatte. Lange dürfte er aber zwischen den Phasen nicht geruht haben. Andernfalls hätte man es wohl vorgezogen, eine komplett neue Anlage zu errichten, anstatt den vorhandenen Ofen beziehungsweise dessen Reste wiederzuverwenden.



Abb. 38. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Rekonstruktionsversuch (Foto D. Geyer).

Hochofen (Ofen 2)

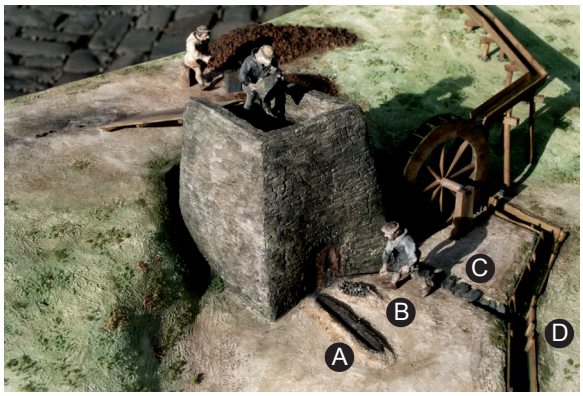
Der Hochofen (Ofen 2) besitzt einen hufeisenförmigen Grundriss. Wind- und Blaseseite sind jeweils ca. 3,6 m lang (*Abb. 38; 39*).

Die Brustseite misst 3,45 m, während die Rückseite auf nur ca. 2,75 m einzieht. Die ursprüngliche Höhe des Ofens ist mit ca. 3,5 m zu rekonstruieren. Sein etwa 1,2 m mächtiges Raugemäuer ist aus in der Umgebung anstehenden hitzebeständigen Grauwackensandsteinen und quarzitischen Sandsteinen errichtet worden. Dabei wurden die Außenseiten aus großen Quadern errichtet, während im innen liegenden Mauerbereich eher kleinere Steine verbaut wurden. Das Gestell ist vollständig zerstört, wobei die Maße des ausgeräumten Ofeninneren 1,25 x 1,5 m betragen. Obwohl auch die Brustseite nicht erhalten ist, kann wohl von einer offenen Ofenbrust ausgegangen werden. Den einzigen Hinweis auf den ehemaligen Abstich liefert eine vorgelagerte und sehr wahrscheinlich mit Roheisen durchsetzte Bodenschicht.

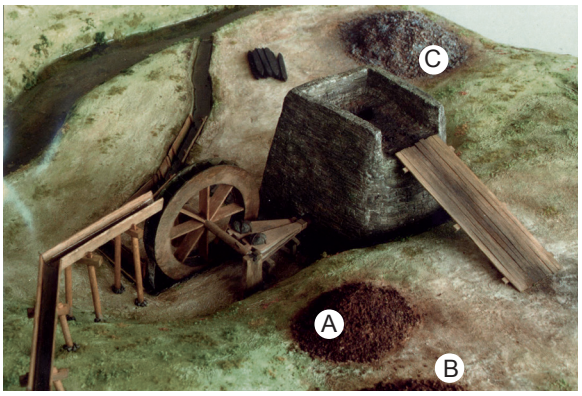
Hinter dem Ofen, der mit seiner Rückseite in den Hang gebaut wurde, befindet sich eine ebenfalls in den Hang gegrabene Beschickungsfläche. Um das Beschickungsmaterial aufgeben zu können, führte wahrscheinlich zusätzlich eine Rampe aus Holz o. Ä. zur Gichtöffnung (*Abb. 39,3.5*).

Die Ofenanlage wies vier Drainagen zum Schutz vor Regen- und Grundwasser auf. Am Hang auf der Rückseite

[29] Tylecote 1976, 54 f.; 1987, 151 ff.
[30] Sönnecken 1971, 117.
[31] Agricola 1556/1994, 364 ff.; Biringuccio 1540/1914, 128.
[32] Kerl 1863, 206; Beck 1884, 154 ff.; Henseling 1981, 38.
[33] Willms 1995, 78.
[34] Ders. 1995, 78; Sönnecken 1971, 118.
[35] Zum Beispiel: Kempa/Yalçın 1995, 154 f.; oder beim Typ des eingemuldeten Schachtofens im Märkischen Sauerland: Sönnecken 1971, 117.
[36] Celis 1991.
[37] Ebd. 122.
[38] Ebd. 130.
[39] Sönnecken 1971, 124. 126.



1



2



3



4



5

Abb. 39. Marienheide, Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Redkonstruktionsversuch. 1: Blick auf die Stichseite von Ofen 2 mit Masselbett (A), Schlackenabstich (B), Drainage 1 (C) und Drainage 4 (D); 2: Blick auf die Blase- und Rückseite des Ofens mit Wasserrad, Gebläse, Erzdepot (A), Pochstelle (B) und Schlackenhalde 1 (C); 3: Erzpochung und Beschickung; 4: Arbeiten vor der Ofenbrust mit Masselbett (A) und Schlackenabstich (B); 5: Blick auf die Rück- und Windseite des Ofens mit Erzdepot (A), Pochstelle (B), Wasserzuleitung vom Obergraben (C) und holzarmierter Drainage 4 (D) (Fotos D. Geyer; das Modell befindet sich heute im Museum der Grafschaft Mark, Burg Altena).



Abb. 40. „Hochofen im Walde“, Holzkohle-Hochofen, Anfang 17. Jahrhundert, Gemälde von Jan Brueghel d. Ä. (Galleria Doria, Rom).

des Ofens verliefen zwei steingefasste und teilweise mit flachen Steinen abgedeckte Kanäle (Drainagen 2 und 3) unterhalb der Beschickungsfläche. Unmittelbar hinter dem Ofen befindet sich ein mit Ofenwandstücken verfüllter Graben (Drainage 1), der an der Blaseseite in einen steingefassten, mit Steinen abgedeckten Kanal überleitet. Dieser entwässerte wahrscheinlich in einen unterhalb vom Ofen befindlichen holzgefassten Kanal (Drainage 4) (*Abb. 39,1*), der wohl auch das Wasser des an der östlichen Seite zu vermutenden Wasserrades ableitete. Nach etwa 32 m mündete der Holzkanal in die Wipper.

Herangeführt wurde das Wasser über einen noch heute in der Geländemorphologie sichtbaren Obergraben, der ca. 250 m flussaufwärts von der Wipper abgezweigt wurde (*Abb. 39,5*). Möglicherweise gehört die dort gelegene rezente Teichanlage ehemals ebenfalls zu den Strukturen der Eisenhütte.

Der ehemalige Standort der Blasebälge konnte nicht mit letzter Sicherheit lokalisiert werden. Mindestens zwei Blasebälge waren jedoch nötig, um den Ofen mit einem konstanten Luftstrom zu versorgen.[40] Ihr Standort ist entsprechend dem Wasserrad und der Radstube wahrscheinlich an der östlichen Seite des Ofens zu rekonstruieren (*Abb. 39,2*).

Hinweise auf ein Holzkohlelager finden sich an der östlichen Seite der Beschickungsfläche. Das Erzlager, beziehungsweise die Pochstelle lag auf der westlichen Seite der Beschickungsfläche, wo auch Spuren eines möglichen Röstfeuers freigelegt wurden (*Abb. 39,5*). Wahrscheinlich wurden auch die Halden des älteren Rennofens an Platz Nr. 90 und des nahegelegenen Platzes Nr. 84/85 aufgrund ihres hohen Eisengehaltes ausgeräumt und bei der Verhüttung im Hochofen wiederverwendet.

Drei Schlackenhalden unterhalb des Abstichbereiches komplettieren das Bild der Verhüttungsanlage (*Abb. 20*).

Hohlwege im unmittelbaren Umfeld des Verhüttungsplatzes sind noch heute sichtbare Zeugnisse für Transporte von und zu diesem Produktionsstandort. Die Frage, ob die angelieferten Erze aus nahegelegenen Pingen oder bereits aus einem Stollenbergbau stammen, muss vorerst unbeantwortet bleiben (*Abb. 21*).

Die wenigen Keramikfunde (*Abb. 35–37*) datieren den Hochofenstandort Nr. 90 an der Wipper in das 15. Jahrhundert. Verschiedene Befunde deuten auf eine mindestens zweiphasige Nutzung der Anlage. Der zeitliche Abstand dürfte jedoch nicht allzu groß gewesen sein, da sich sonst sicherlich eine Wiederverwendung der Anlage aufgrund anfallender Ausbesserungsarbeiten nicht gelohnt hätte. Wie die Anlage einmal ausgesehen haben könnte, vermittelt u. a. auch das Gemälde „Hochofen im Walde“ (Galleria Doria/ Rom) von Jan Brueg(h)el dem Älteren (1568–1625)(*Abb. 40*) sowie die Zeichnung eines Hochofens von Remigio Cantagallina (ca. 1582–1656) (*Abb. 41*).

[40] Agricola 1556/1994, 320; diese Notwendigkeit wird durch die zeitgenössischen Bildquellen bestätigt, auf denen die Blasebälge zu erkennen sind. Siehe auch: Dahl 1965; Presslinger/Köstler 1993, 50.

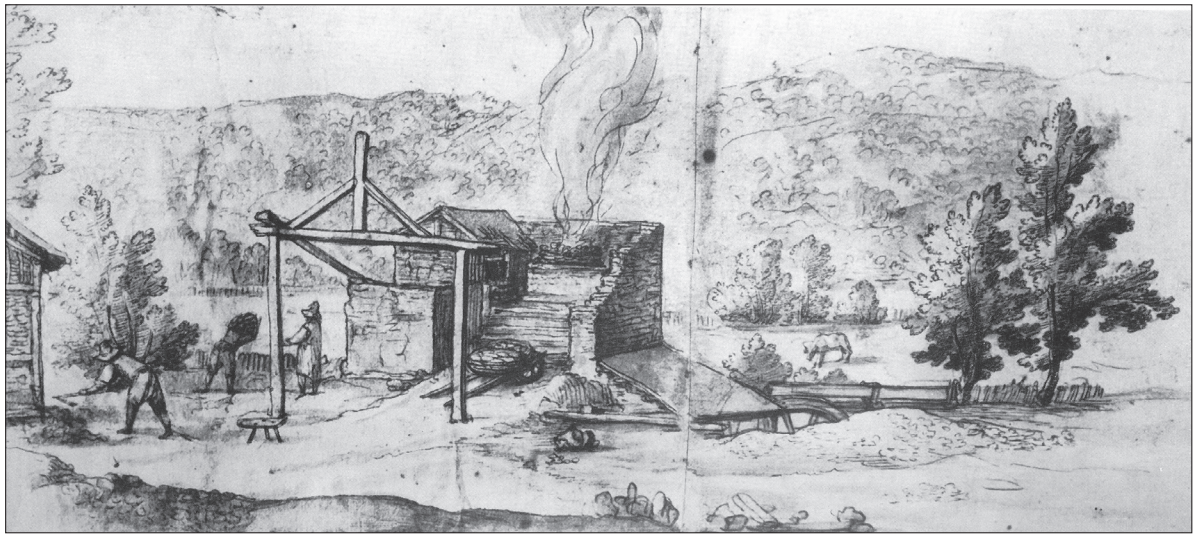


Abb. 41. „Hochofen“, um 1613, Zeichnung von Remigio Cantagallina (Museum der Schönen Künste, Brüssel).

Der dort dargestellte Ofen ist jeweils in den Hang gebaut und entspricht in den Grundrissmaßen und der Form nahezu der Anlage von Platz Nr. 90. Auch die Blasebälge und das wahrscheinlich oberschlächtig betriebene Wasserrad finden sich auf den Darstellungen in ähnlicher Lage wieder. Die Rohstoffdepots im Wippertal sind, der Anordnung von Cantagallina entsprechend, hinter dem Ofen nachgewiesen worden. Weitere Details, wie die genaue Höhe des Ofens, die verschiedenen Anbauten und Gebäude oder das Holzgerüst nahe der Ofengicht, mögen hingegen von der Wirklichkeit am Platz Nr. 90 abweichen.

DAS OBERE WIPPERTAL ZWISCHEN WIPPERFLIESS UND HOLZWIPPER ALS FRÜHE INDUSTRIELANDSCHAFT

Der Abschnitt des Wippertals zwischen Wipperfließ im Westen und Holzwipper im Osten bildet den Anfang eines im Rahmen der Eisengewinnung intensiv genutzten Gewässers. Die Arbeiten von Knau und Sönnecken dokumentieren zahlreiche Überreste früher Eisengewinnungs- und Eisenverarbeitungsanlagen entlang des Flusslaufes (*Abb. 21*).[41]

Zwischen den Ortschaften Wipperfließ und Holzwipper befinden sich die am weitesten flussaufwärts gelegenen Anlagen. Fünf davon sind nach Aussage der meist aus glasigen Schlacken zusammengesetzten Halden als frühe Hochöfen bzw. Floßöfen anzusprechen. Im Westen nahe Wipperfließ liegt der mit glasiger Floßofenschlacke übersäte Platz Nr. 88, der in das 13.–16. Jahrhundert datiert wurde.[42] Nördlich davon finden sich Überreste von zwei Hohlwegen, von denen einer wahrscheinlich direkt zu Platz Nr. 88 führt. Der zweite scheint hingegen mit dem weiter flussaufwärts gelegenen Platz Nr. 89 in Verbindung zu stehen. Ob die beiden Hohlwege zusammenlaufen, ist anhand der obertägig sichtbaren Überreste nicht zu entscheiden. Sollte dies der Fall sein, würde das auf eine Gleichzeitigkeit der Standorte Nr. 88 und Nr. 89 hindeuten.

Platz Nr. 89 datiert wahrscheinlich ebenfalls in den Zeitraum zwischen dem 13.–16. Jahrhundert und zeichnet sich durch eine sehr große, weitgehend ungestörte Halde glasiger Schlacken aus.[43] Bemerkenswert ist die Erhaltung eines Dammes nur wenige Meter nördlich der Anlage. Der Damm ist verbunden mit einem Graben, der etwa in Höhe von Platz Nr. 90 seinen Ursprung hat. Die topografische Situation legt die Vermutung nahe, dass es sich um einen Stauteich mit zugehörigem Obergraben zum Betrieb eines Wasserrades am Platz Nr. 89 handelt. Ob damit ein Floß- bzw. Hochofen und/oder der später an dieser Stelle errichtete Reckhammer betrieben wurde,[44] muss offen bleiben. Das auf der gegenüberliegenden Flussseite befindliche Teilstück eines Hohlweges scheint ebenfalls zum Platz Nr. 89 zu führen. Beide Hohlwege lassen ohne weitere Untersuchungen natürlich ebenfalls keine genaue Zuordnung zu einem Floßofen oder Reckhammer zu.

Weiter östlich liegt Standort Nr. 91, der im Jahre 1969 von Knau und Sönnecken mittels eines Profilgrabens, der durch den etwa 12 m breiten und 2 m hohen Haldenbereich verlief, näher untersucht worden

[41] Zusammenfassend: Knau/Sönnecken 1994b, 488; 1994c, 465.
[42] Dies. 1994c, 487.
[43] Ebd. 487.
[44] Eversmann 1975, 61; Knau/Sönnecken 1994c, 487.

ist.[45] Gefunden wurden dabei glasige Floßofen- und Frischherdschlacken. Die Betriebszeit des Ofens konnte anhand von 14C-datierten Holzkohleproben aus dem Haldenbereich in das 13.–15. Jahrhundert gesetzt werden. Zusätzliche Keramikfunde stützen diese Datierung. Der Floßofen und ein vermuteter Frischherd sind jedoch nicht erhalten. Sie wurden beim Bau eines modernen Teiches bzw. im Zuge von Wegebauarbeiten vollständig zerstört. Lediglich ein auch heute noch gut sichtbarer Obergraben erlaubt Rückschlüsse auf die ehemalige Platzstruktur.

In ca. 1,5 km Entfernung zur Quelle der Wipper befindet sich Floßofenstandort Nr. 92 auf der rechten Flussseite gegenüber einem großen Pingenfeld. Die Fundstelle wurde von Knau und Sönnecken in das 13.–15. Jh. datiert und zeichnet sich ebenfalls durch eine große Menge glasiger Schlacken sowie Frischherdschlacken aus, die auf der Oberfläche aufgelesen wurden. Die ehemals wohl 25 m breite Halde ist jedoch stark abgefahren.[46]

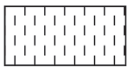
Zusätzlich existieren in diesem Abschnitt der oberen Wipper noch zwei Standorte mit stark eisenhaltigen, glasigen Schlacken. Platz Nr. 84/85 liegt zwischen den Plätzen Nr. 90 und Nr. 91 am linken Wipperufer. Platz Nr. 86/87 befindet sich hingegen nahe eines modernen Teiches auf der rechten Uferseite. Auch an diesen Fundstellen dokumentierten Knau und Sönnecken neben Überresten von Floßöfen auch Schlacken, die von zugehörigen Frischherden stammen könnten.[47]

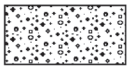
Wie bereits angesprochen, ist bei den zwei Hohlwegteilstücken westlich des Pingenfeldes nicht genau zu sagen, welchem der Plätze sie zuzuordnen sind. Eine Verbindung mit einem der Hohlwege bei Platz Nr. 90 ist daher nur eine Möglichkeit. Die Hohlwege in diesem Talabschnitt stehen sicher mit der Versorgung sowie dem Abtransport von Erzeugnissen in Zusammenhang. Die Art der eingesetzten Transportmittel richtete sich im Mittelalter und der frühen Neuzeit nach den lokalen Gegebenheiten,[48] sowohl topografischer als auch wirtschaftlicher Art. Die in diesem Fall eingesetzten Karren auf denen wohl Erze, gegebenenfalls auch Holzkohlen und Masseln, die Roheisenbarren, transportiert wurden, hinterließen die heute noch sichtbaren Hohlwege als Spuren ihres Einsatzes. Im Gegensatz zum späteren Ruhrgebiet oder auch zum Forest of Dean (Gloucestershire, England), wo das Erz über 40–50 km herantransportiert wurde,[49] waren die Fuhrwege im Bergischen Land und angrenzenden Märkischen Sauerland beträchtlich kürzer. Die Hüttenstandorte dieser Region profitierten auf diese Weise von der unmittelbaren Nähe zu den wichtigsten Ressourcen und Rohstoffen, wie Wasser, Holz und Erz.[50]

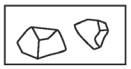
Eine genaue zeitliche Einordnung der frühen Hochöfen des oberen Wippertales kann aufgrund mangelnder archäologischer Daten bisher nicht zweifelsfrei vorgenommen werden. Dennoch ergibt sich das Bild einer frühindustriellen Landschaft, die unter Ausnutzung der gegebenen wirtschaftlich günstigen Standortfaktoren in der Lage war, im großen Stil Eisen zu produzieren.

[45] Knau/Sönnecken 1994c, 488; Sönnecken/Knau 1994, 438 ff.
[46] Knau/Sönnecken 1994c, 488.
[47] Dies. 1994b, 465.
[48] Agricola 1556/1994, 140; Doswald 1996, 21 ff.
[49] Allen 1996, 226.
[50] Zum Beispiel Maus 1993, 22; Nehls 1996, 38.

LEGENDE FÜR DIE PLANA- UND PROFILZEICHNUNGEN

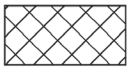

Mutterboden/See-Sediment

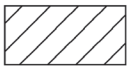

Verfüllung, Füllschicht
(in Gräben/Kanälen, Pfostenlöchern)

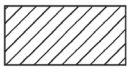

Steine


Holz


größeres Wurzelwerk/Wurzeln


Störung

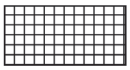

lockere Schlacke

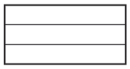

dichte Schlacke

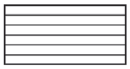

vereinzelte Schlacke

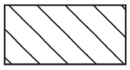

Erz

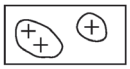

Holzkohle


verschlackte Ofenwand


Ofenrot


Ofenrot intensiv

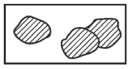

Rotfärbung
(Hitze, kleinste Erzstücke)


Ofenlehm, unverschlackte Ofenwand


Arbeitsfläche(?)
Beschickungsfläche


eisenhaltige Schicht


schwarz-graue Zone
am Ofen


Schlackenkalotten


Keramik


Eisen



Abb. 42. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 1. 1: Planum 1; 2: Planum 2.

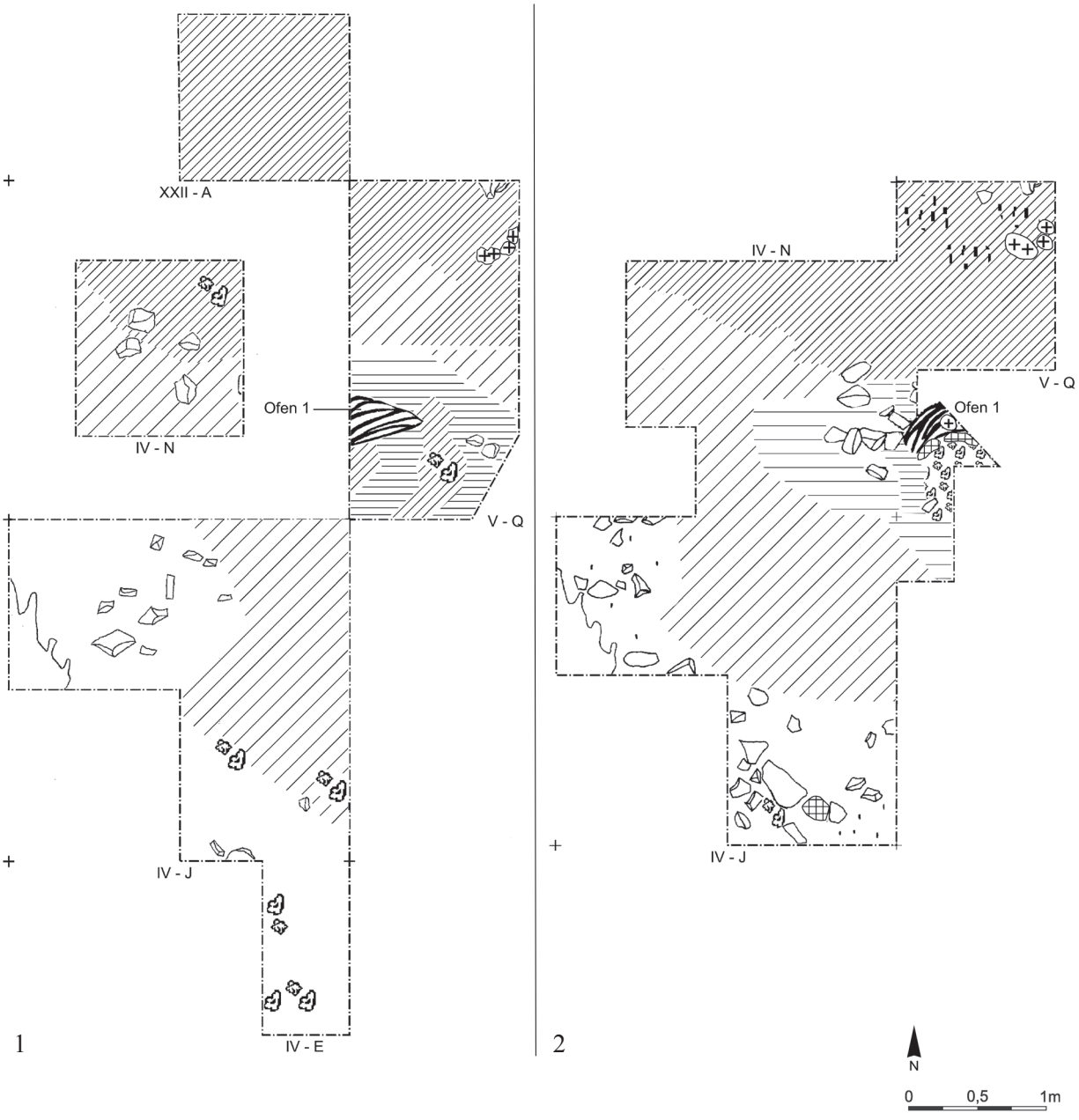


Abb. 43. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 1. 1: Planum 3; 2: Planum 4.

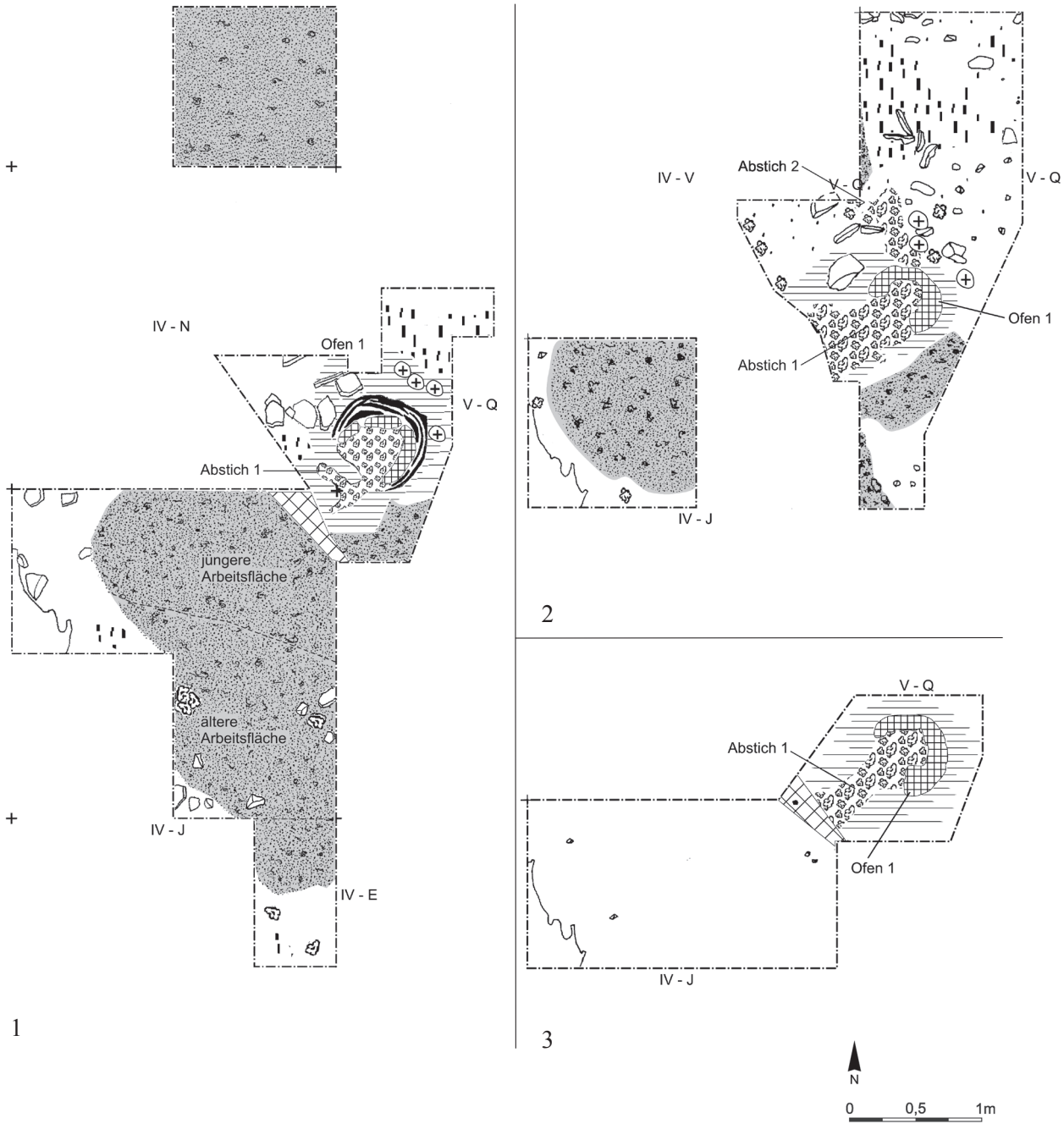


Abb. 44. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 1. 1: Planum 5; 2: Planum 6; 3: Planum 7.

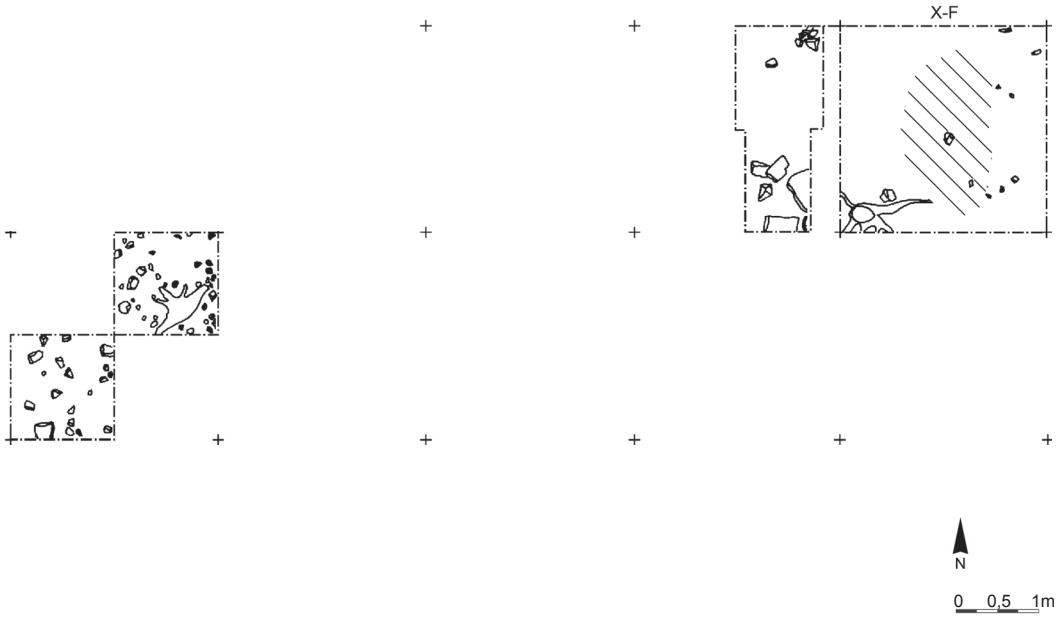


Abb. 45. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2. Planum 1.

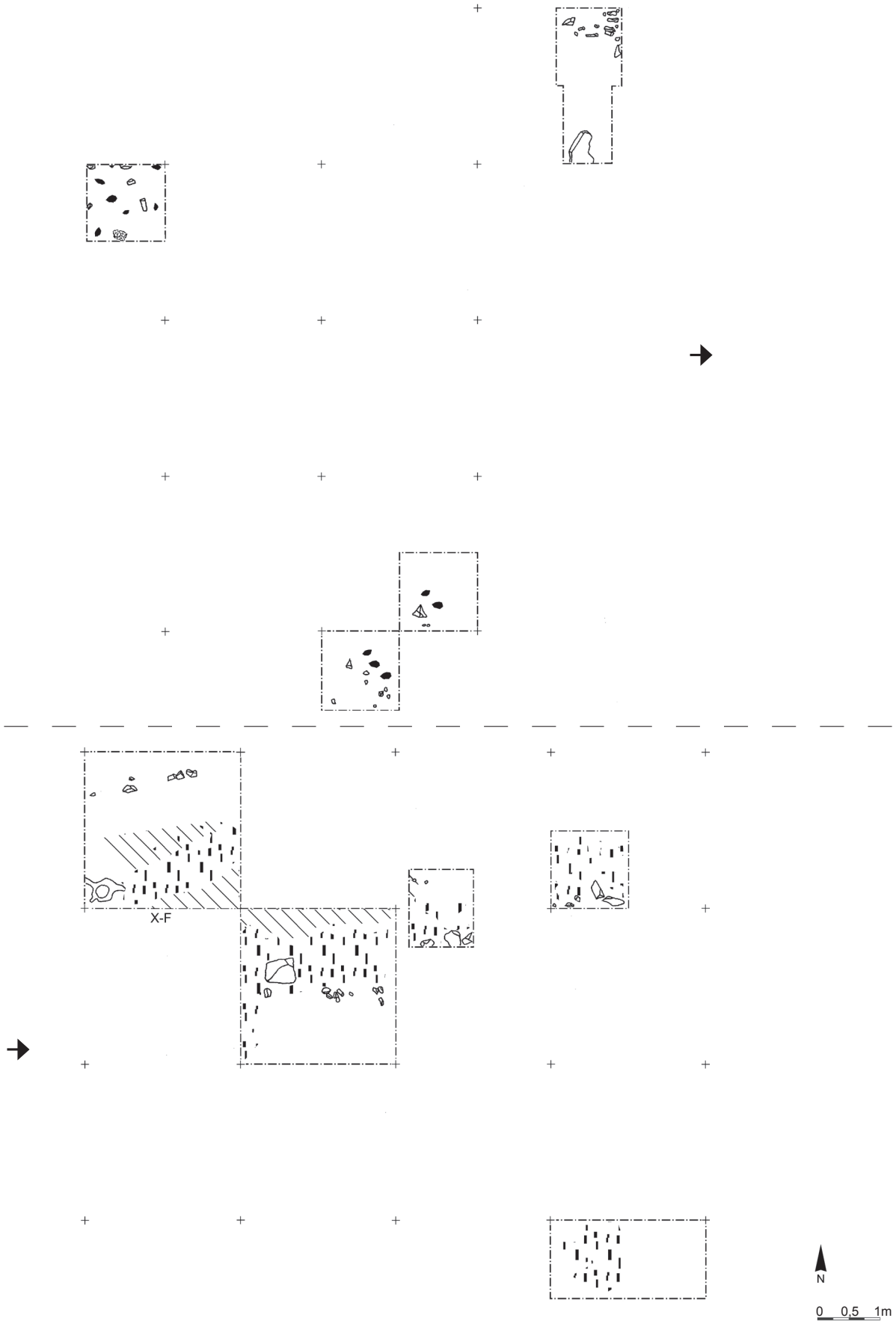


Abb. 46. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 2.



Abb. 47. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 3.

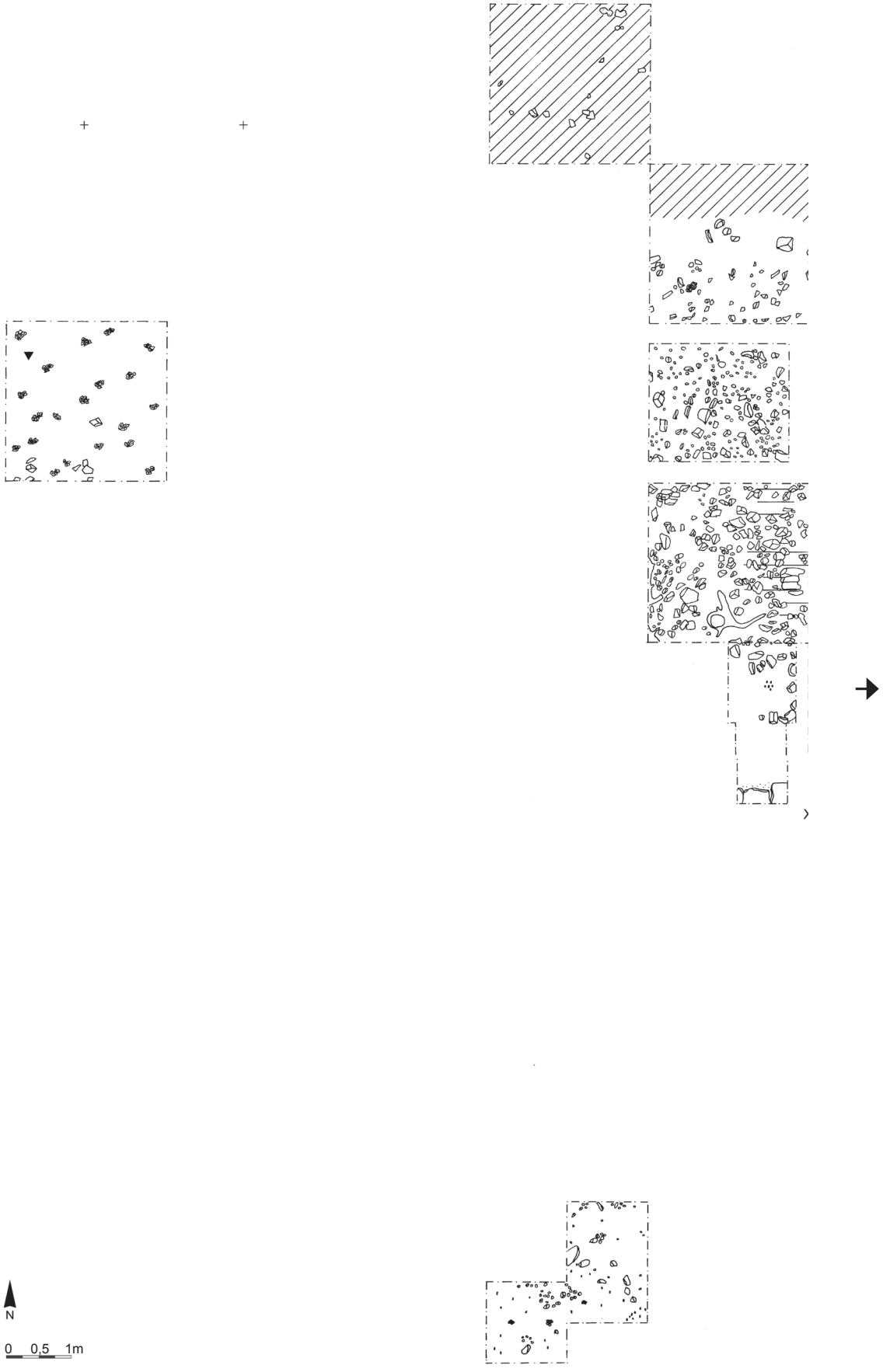


Abb. 48. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 4.



Abb. 49. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 4.

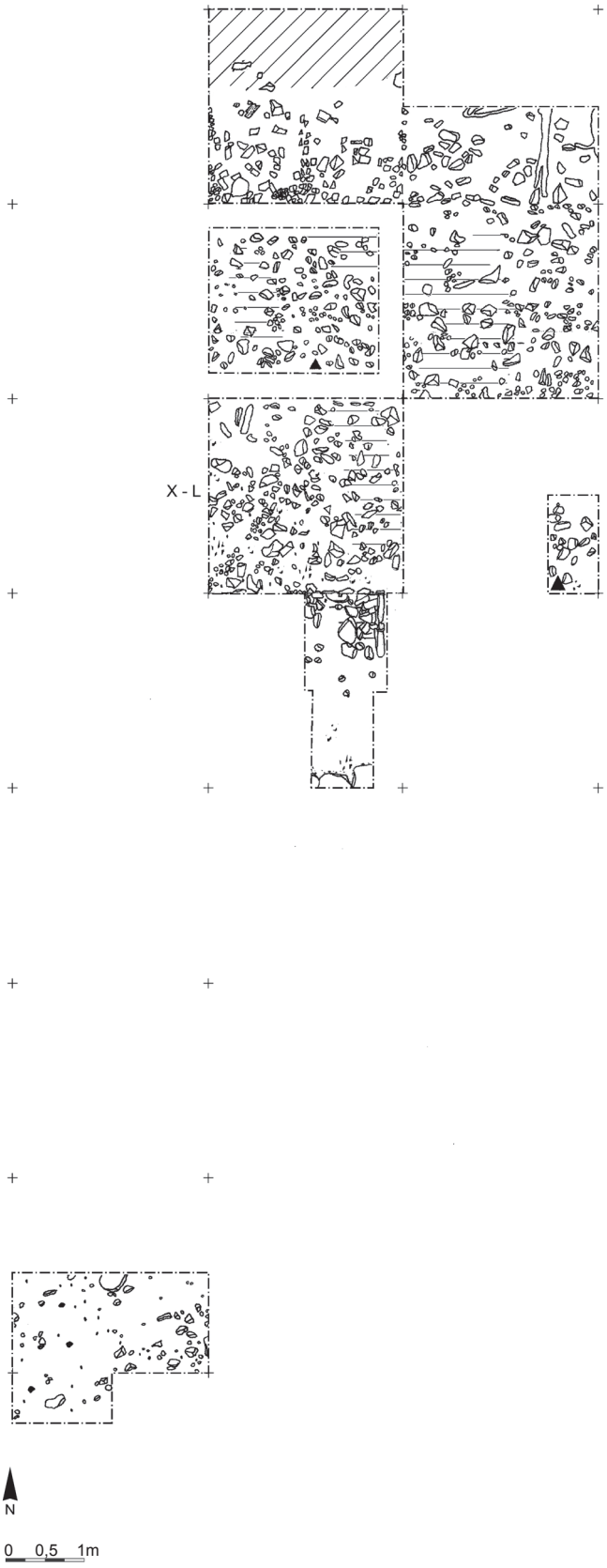


Abb. 50. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 5.



Abb. 51. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 6.

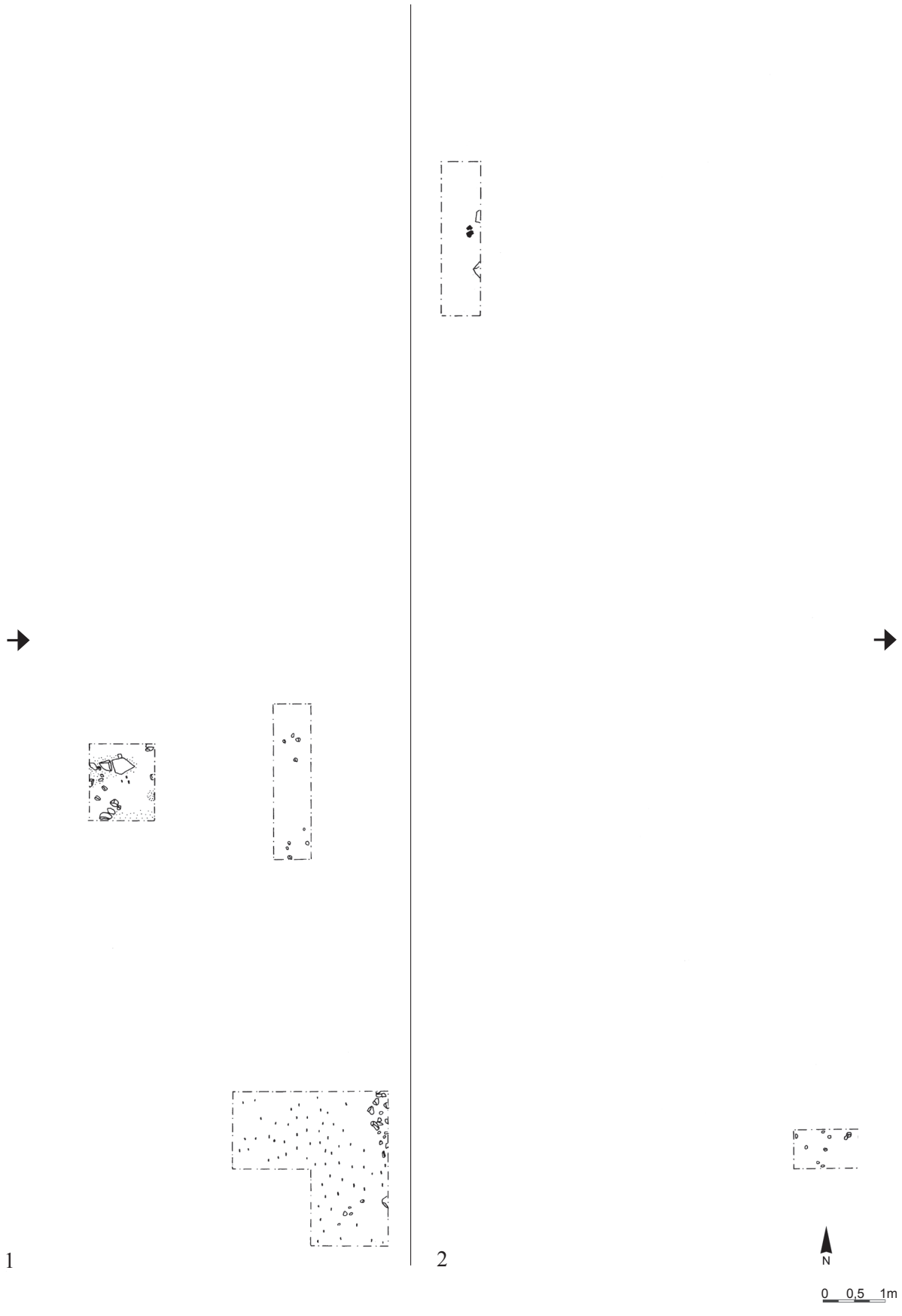


Abb. 52. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, 1: Planum 6; 2: Planum 7.



Abb. 53. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 7.



Abb. 54. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 8.

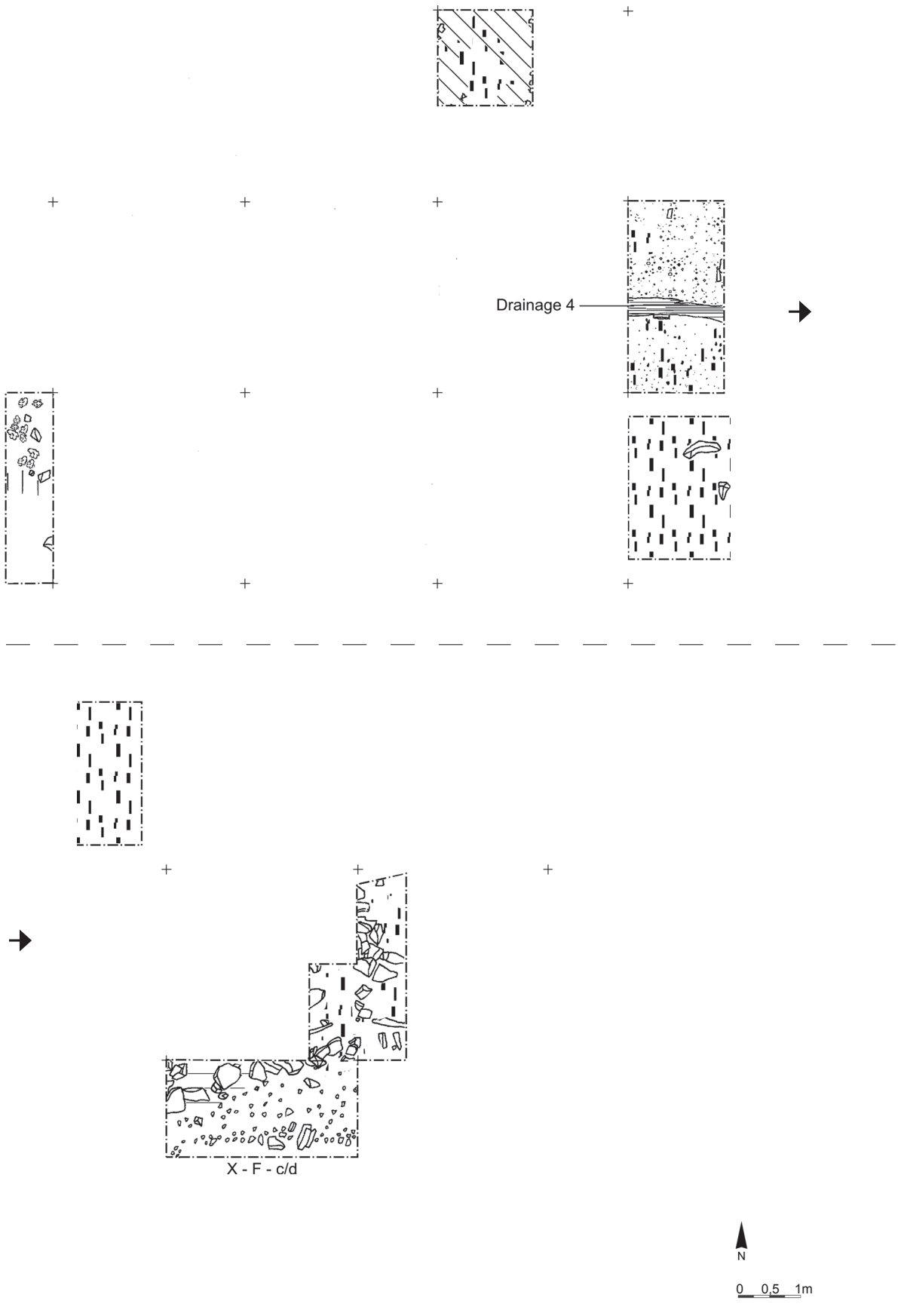


Abb. 55. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 9.

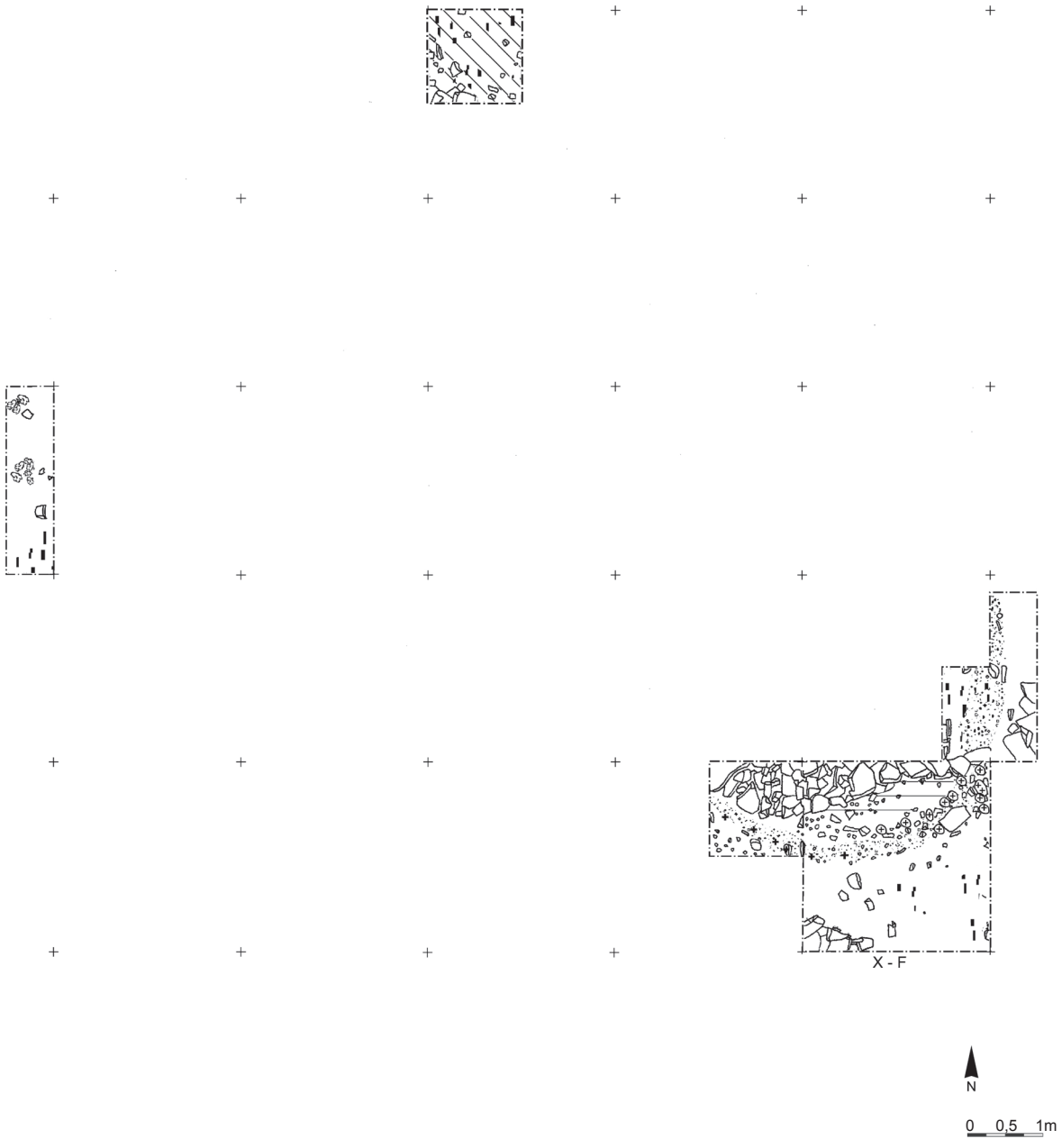
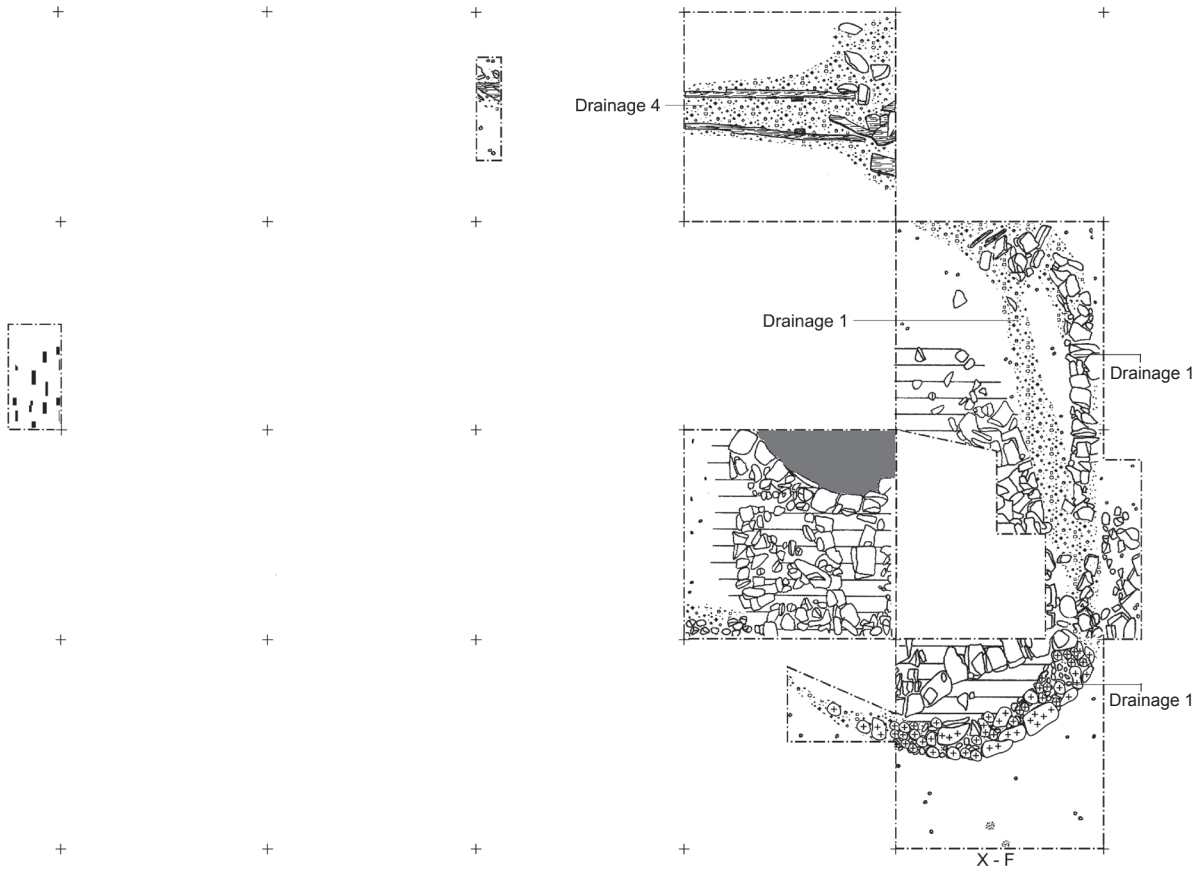


Abb. 56. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2, Planum 10.



1



2

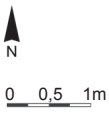


Abb. 57. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. Ofen 2. 1: Planum 11; 2: Planum 12.

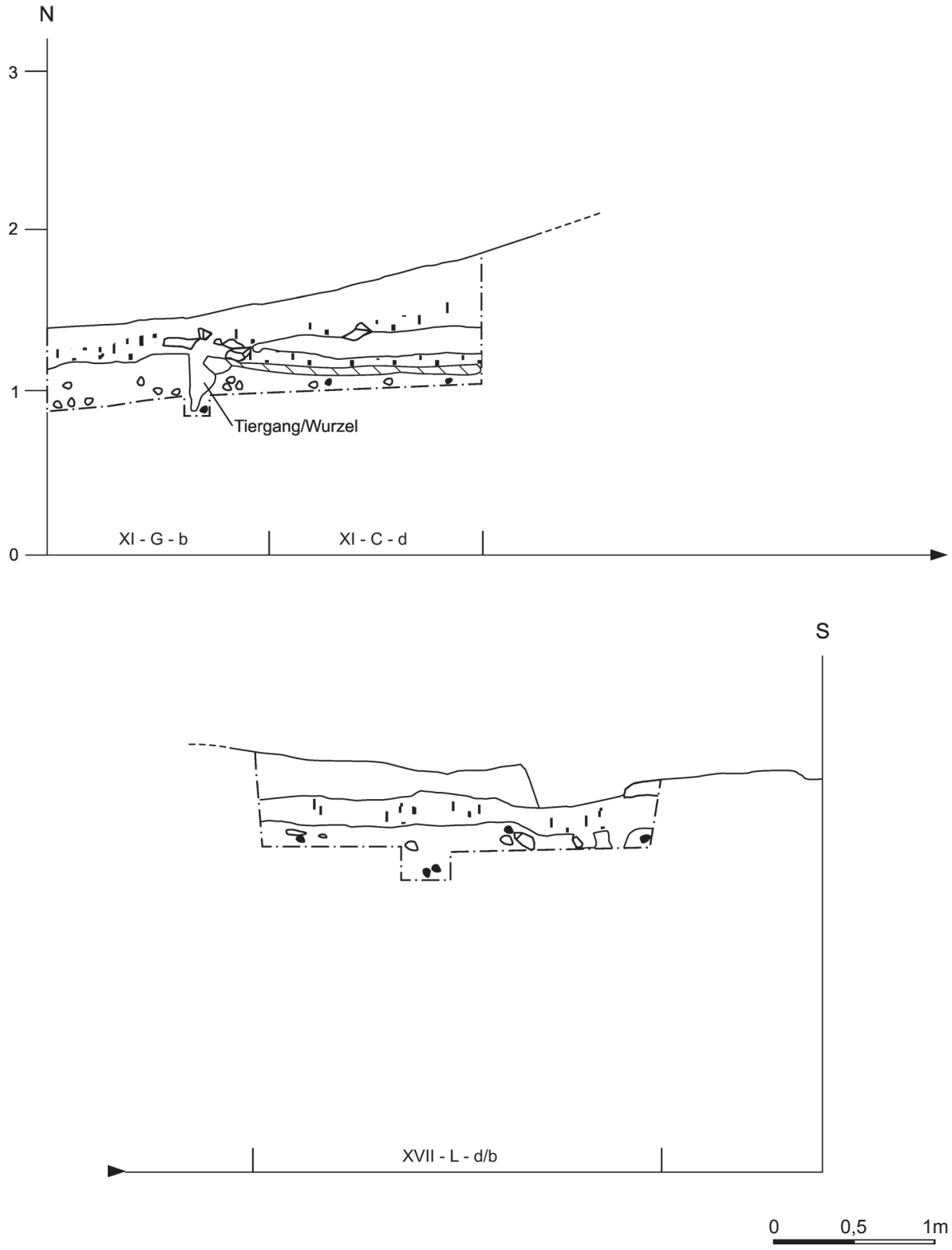


Abb. 58. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. N-S-Profil 1.

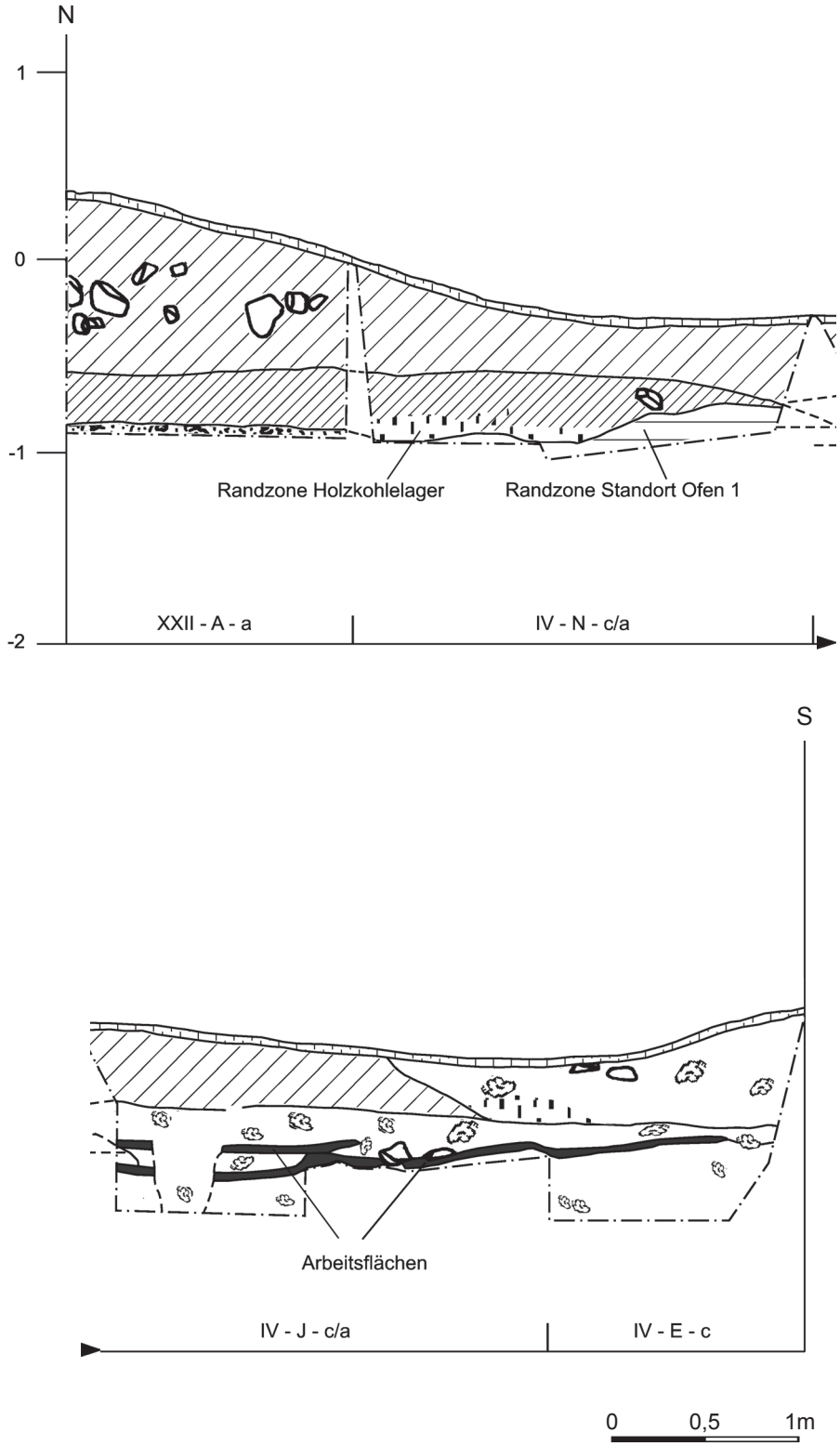


Abb. 59. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. N-S-Profil 2a.

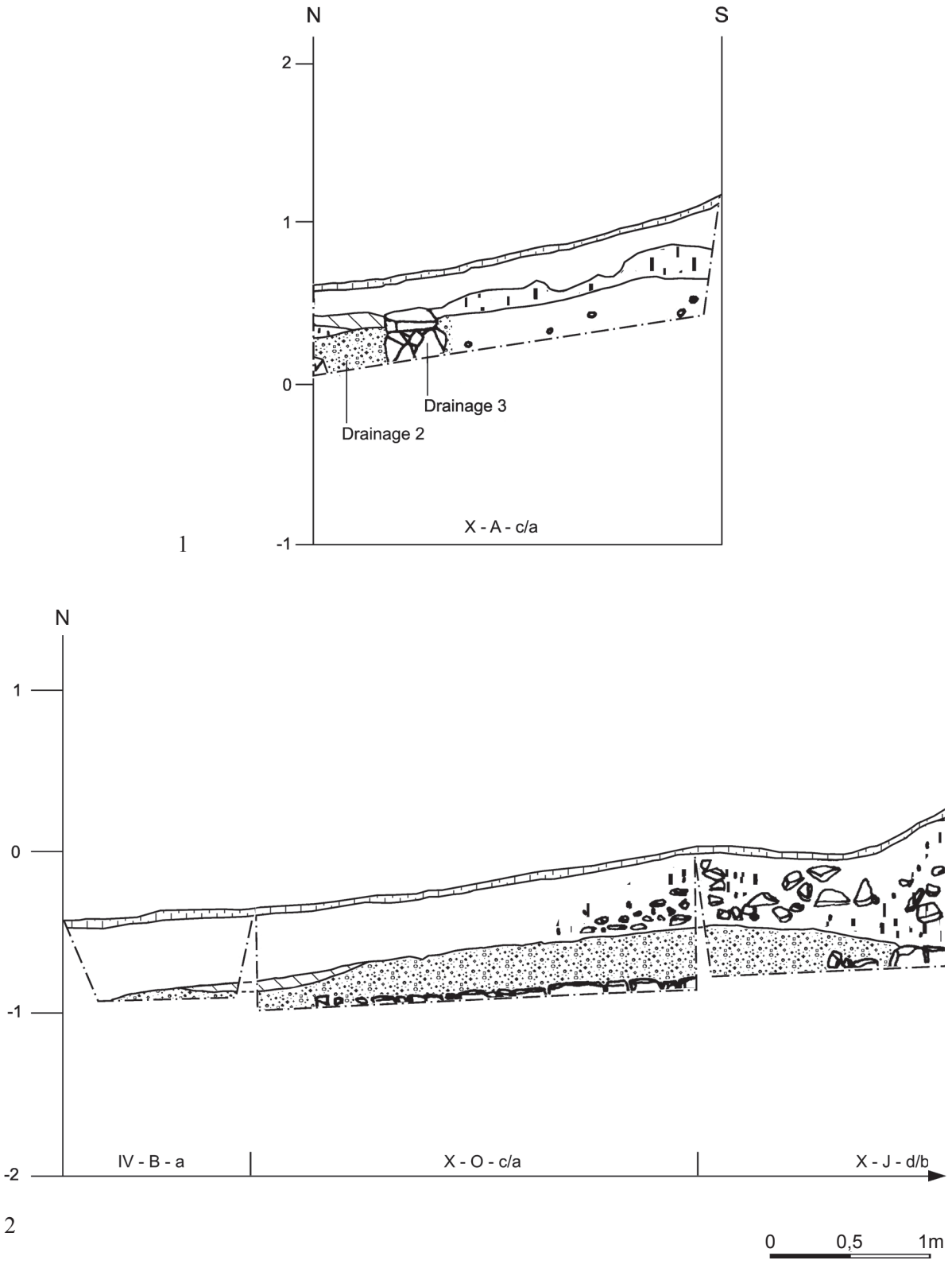


Abb. 60. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: N-S-Profil 2b; 2: N-S-Profil 3.

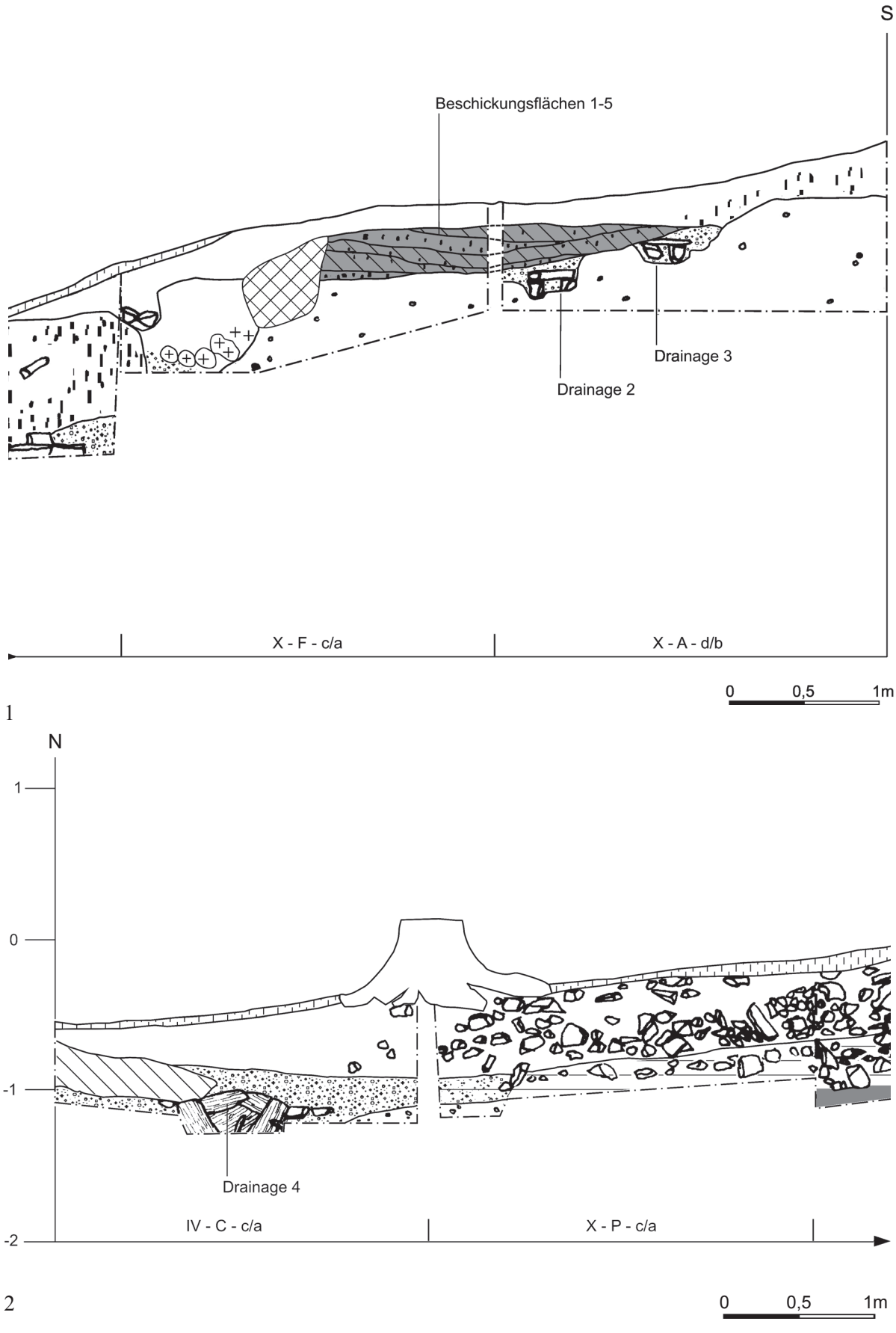


Abb. 61. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: N-S-Profil 3; 2: N-S-Profil 4.

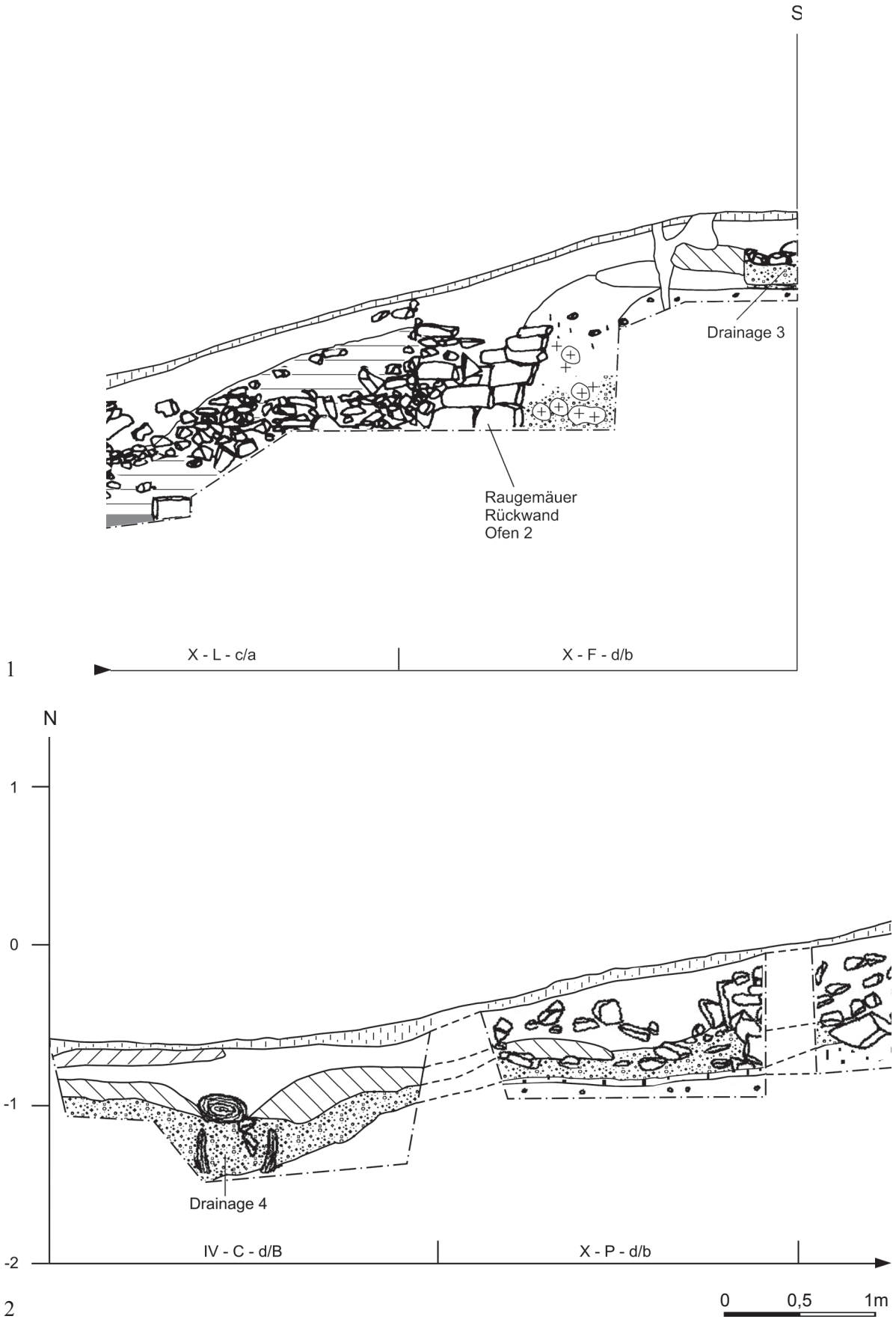


Abb. 62. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: N-S-Profil 4; 2: N-S-Profil 5.

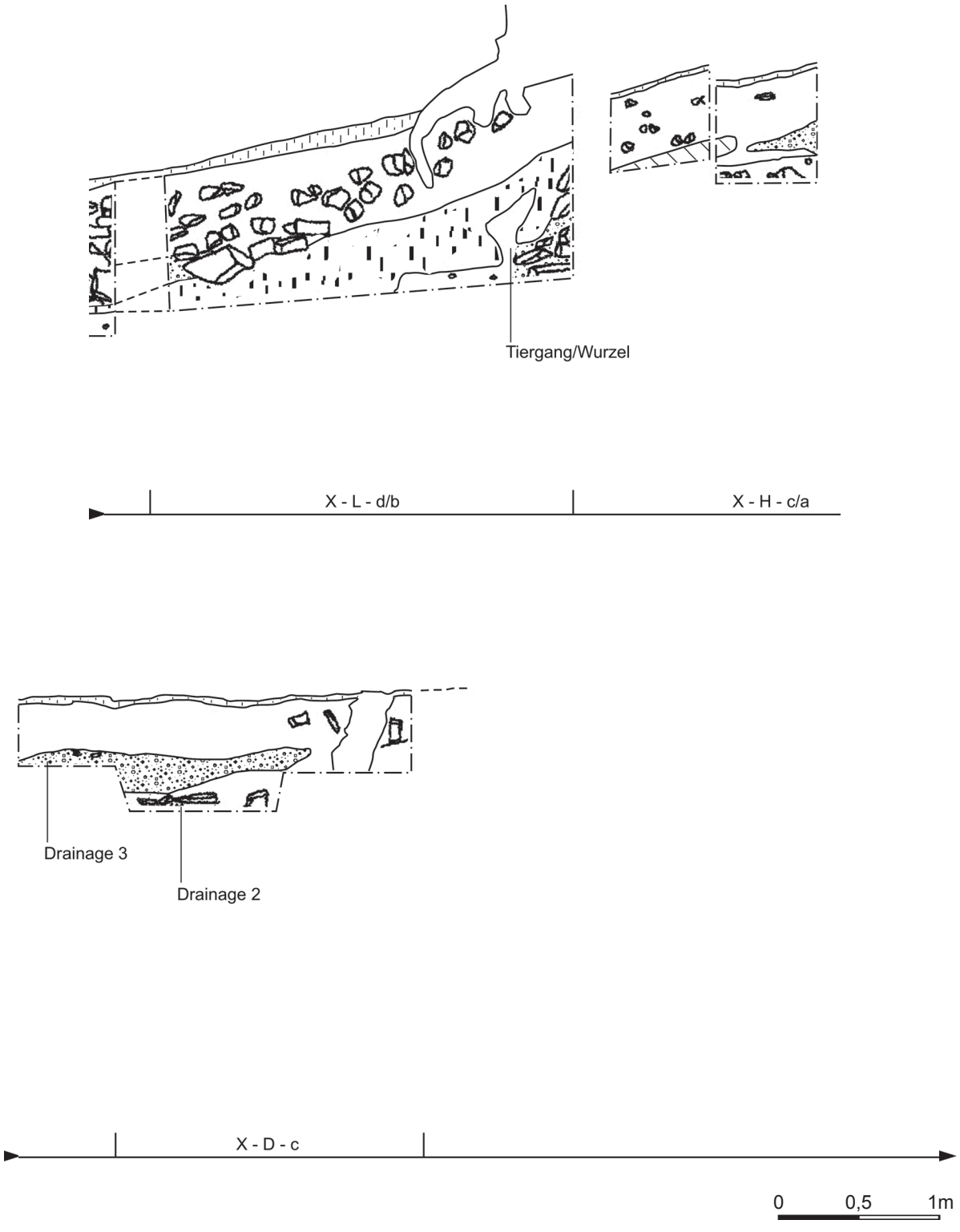


Abb. 63. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. N-S-Profil 5.

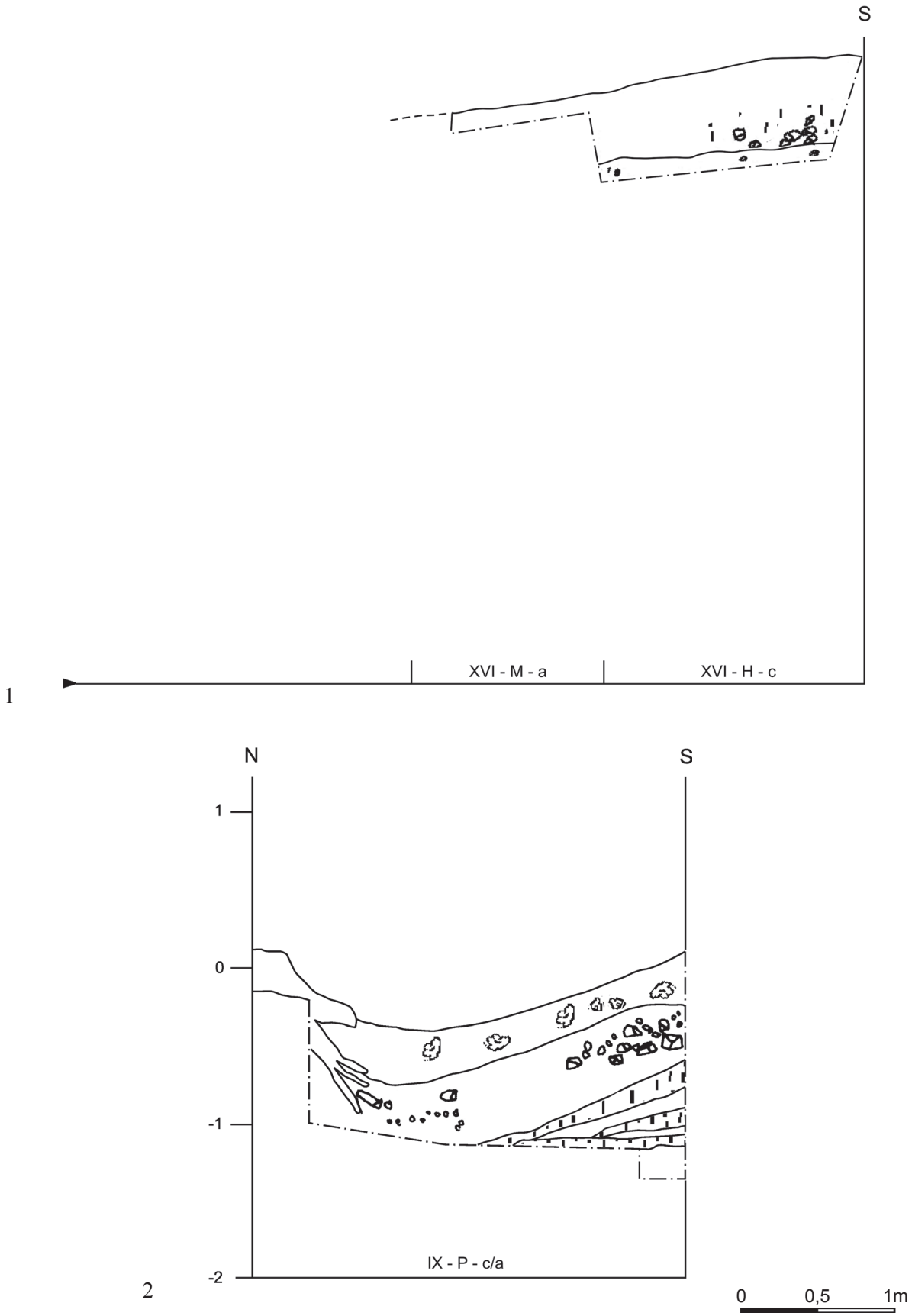


Abb. 64. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: N-S-Profil 5; 2: N-S-Profil 6.

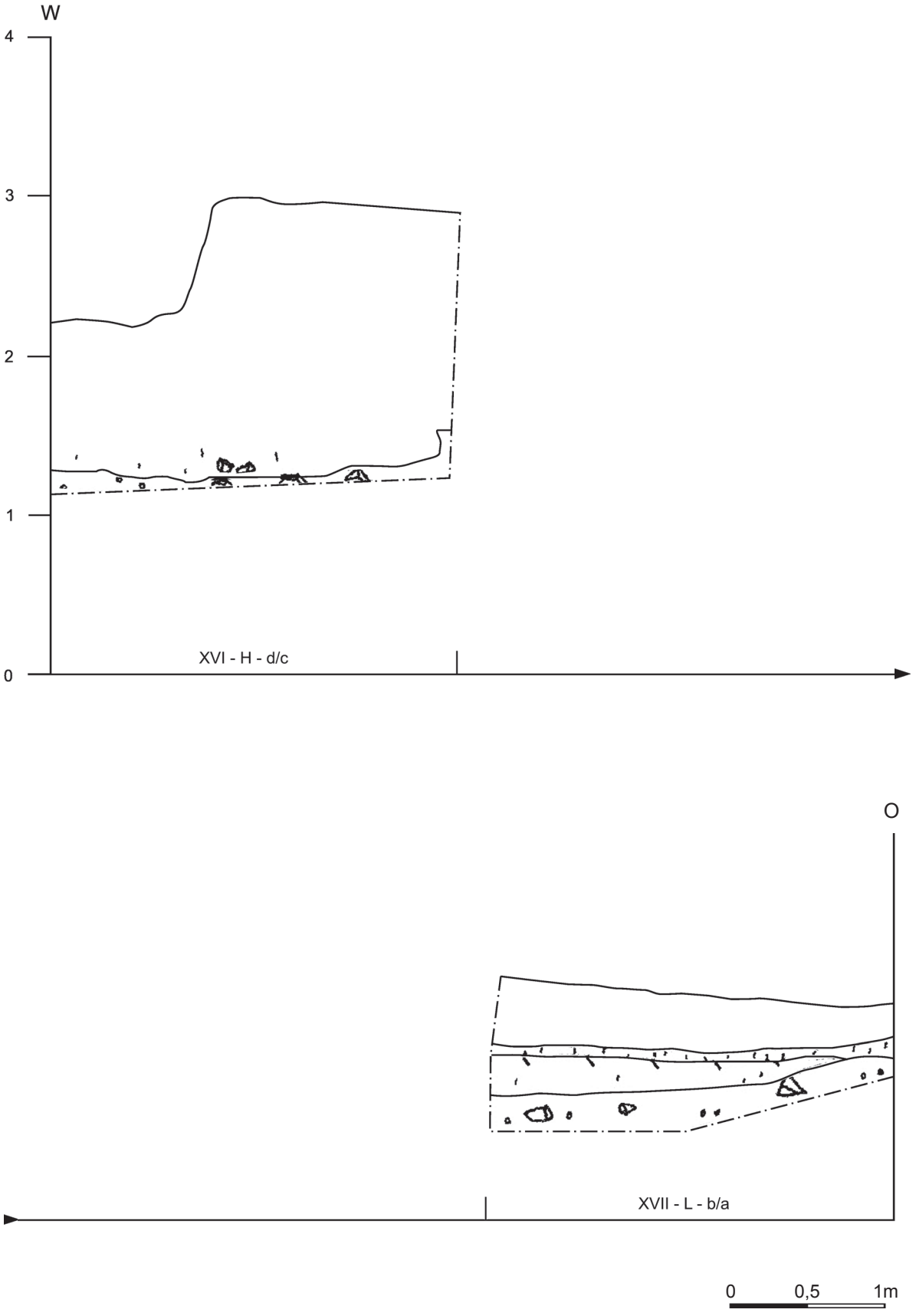


Abb. 65. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. W-O-Profil 1.

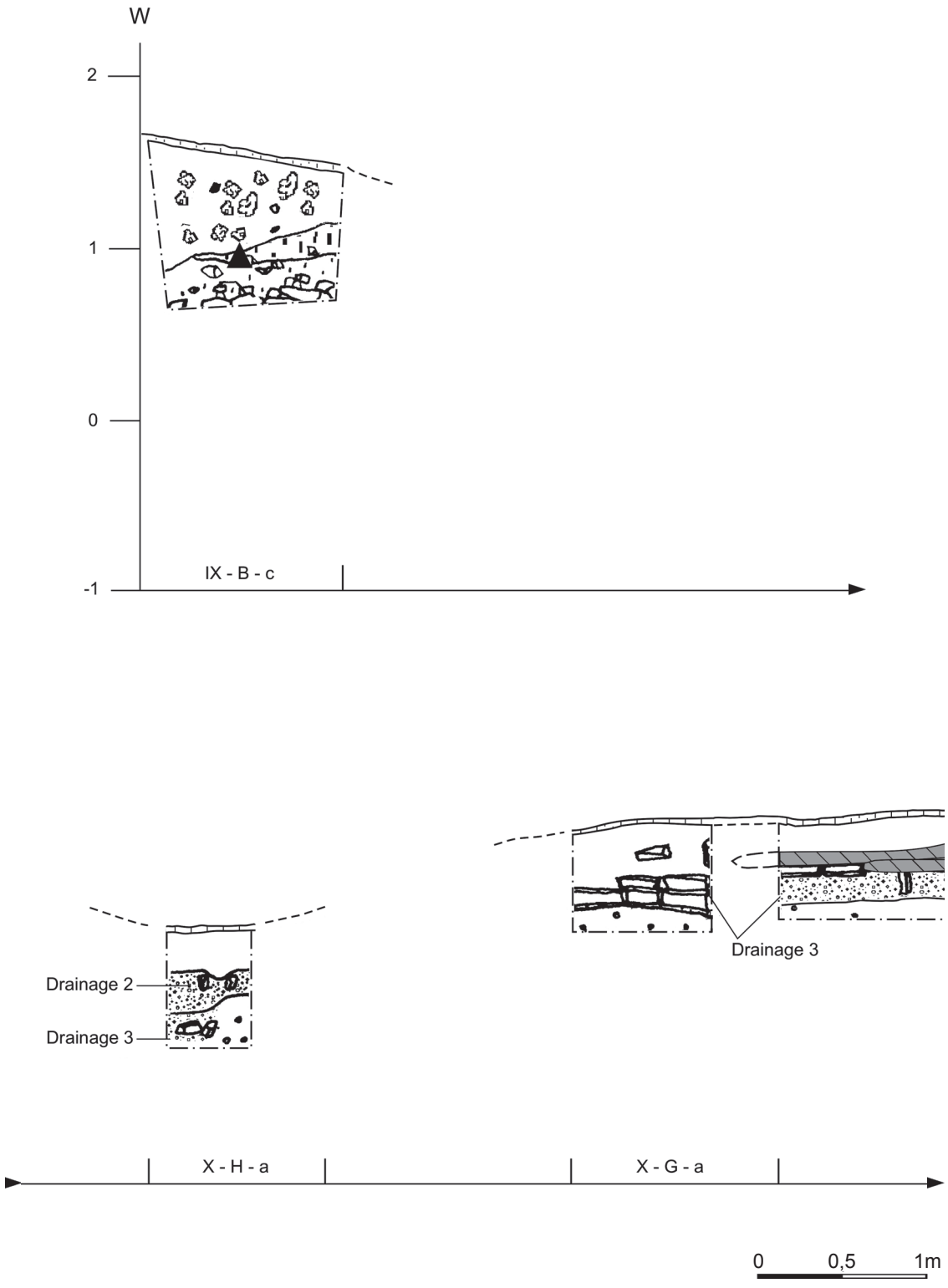
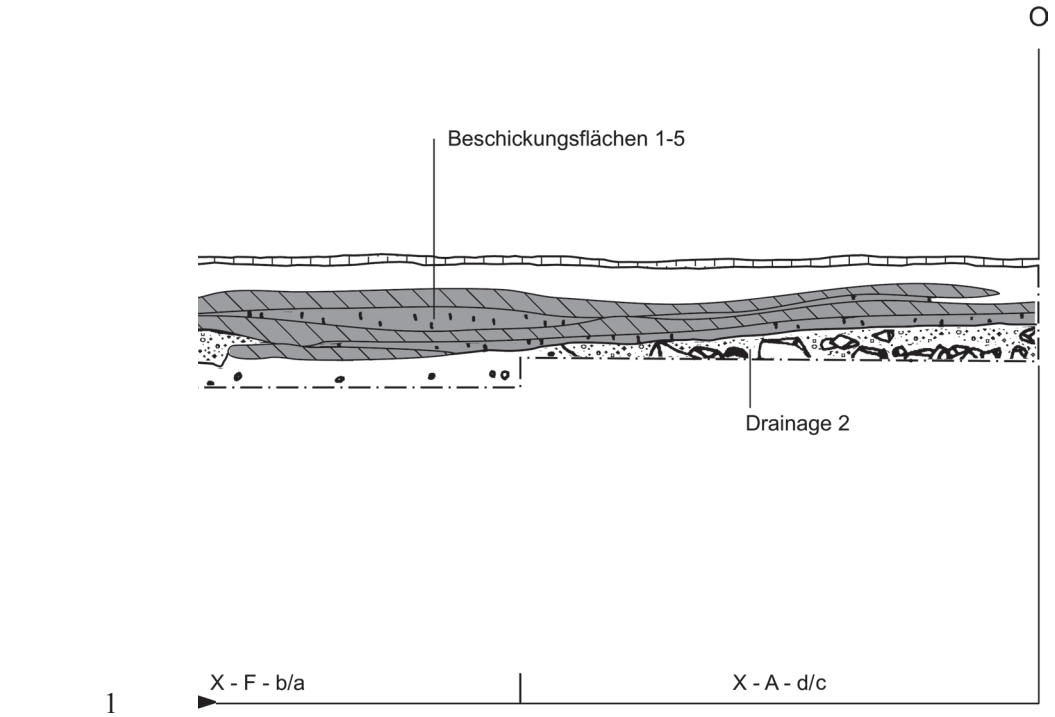
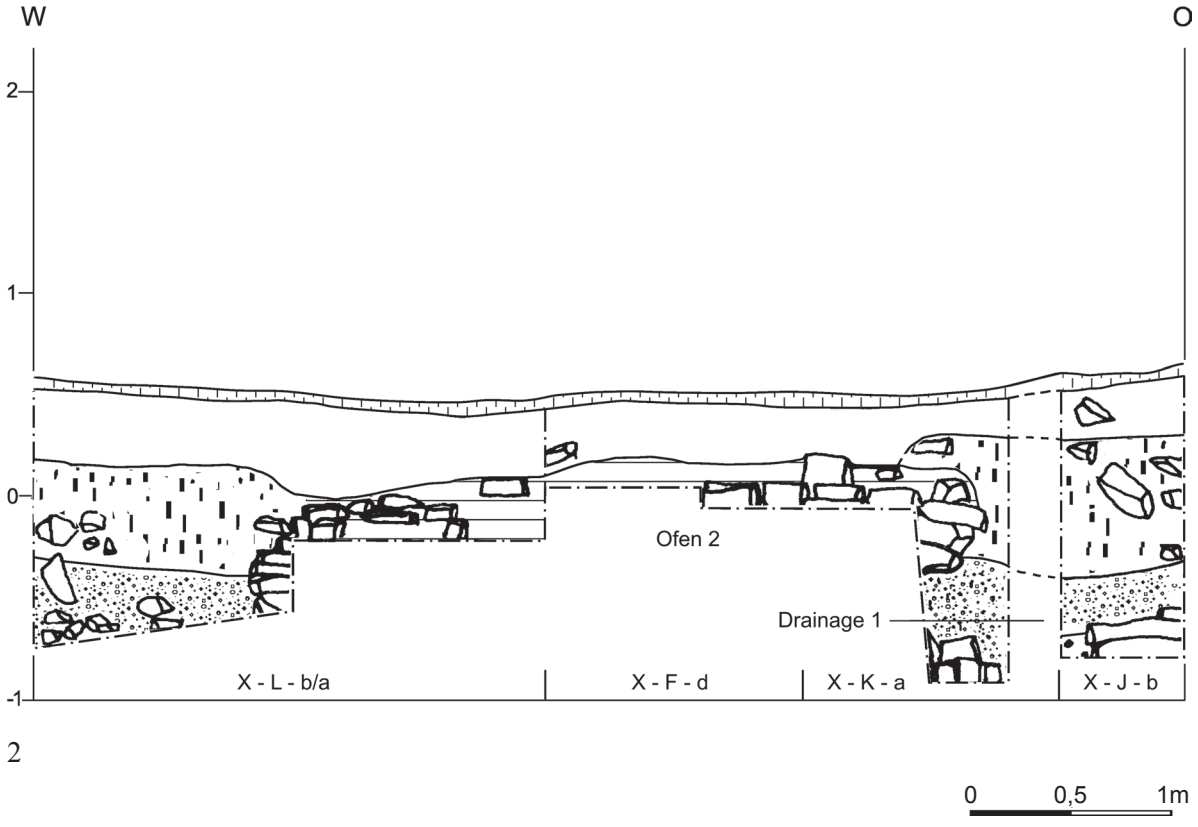


Abb. 66. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. W-O-Profil 2.



1



2

Abb. 67. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: W-O-Profil 2; 2: W-O-Profil 3.

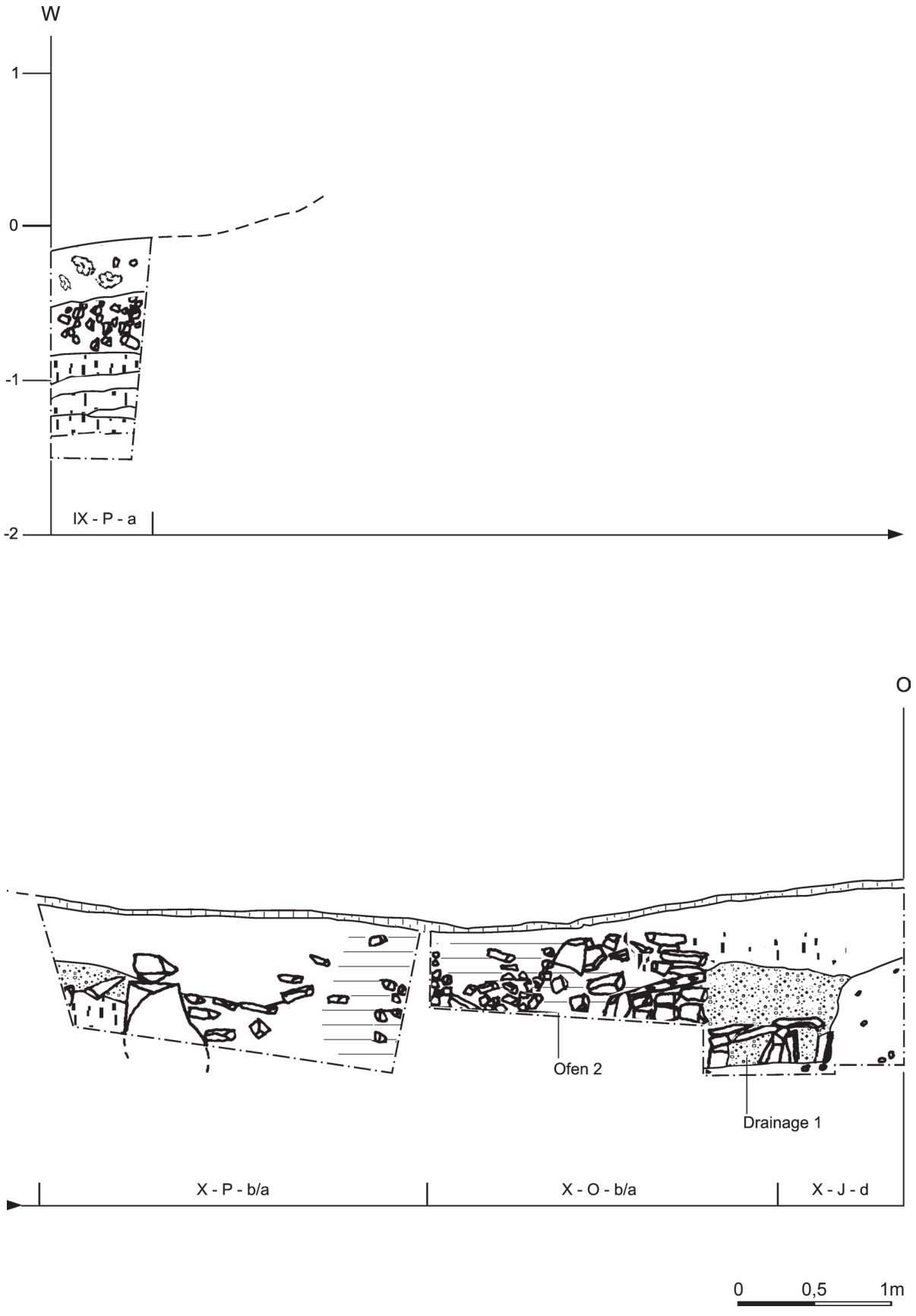


Abb. 68. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. W-O-Profil 4.

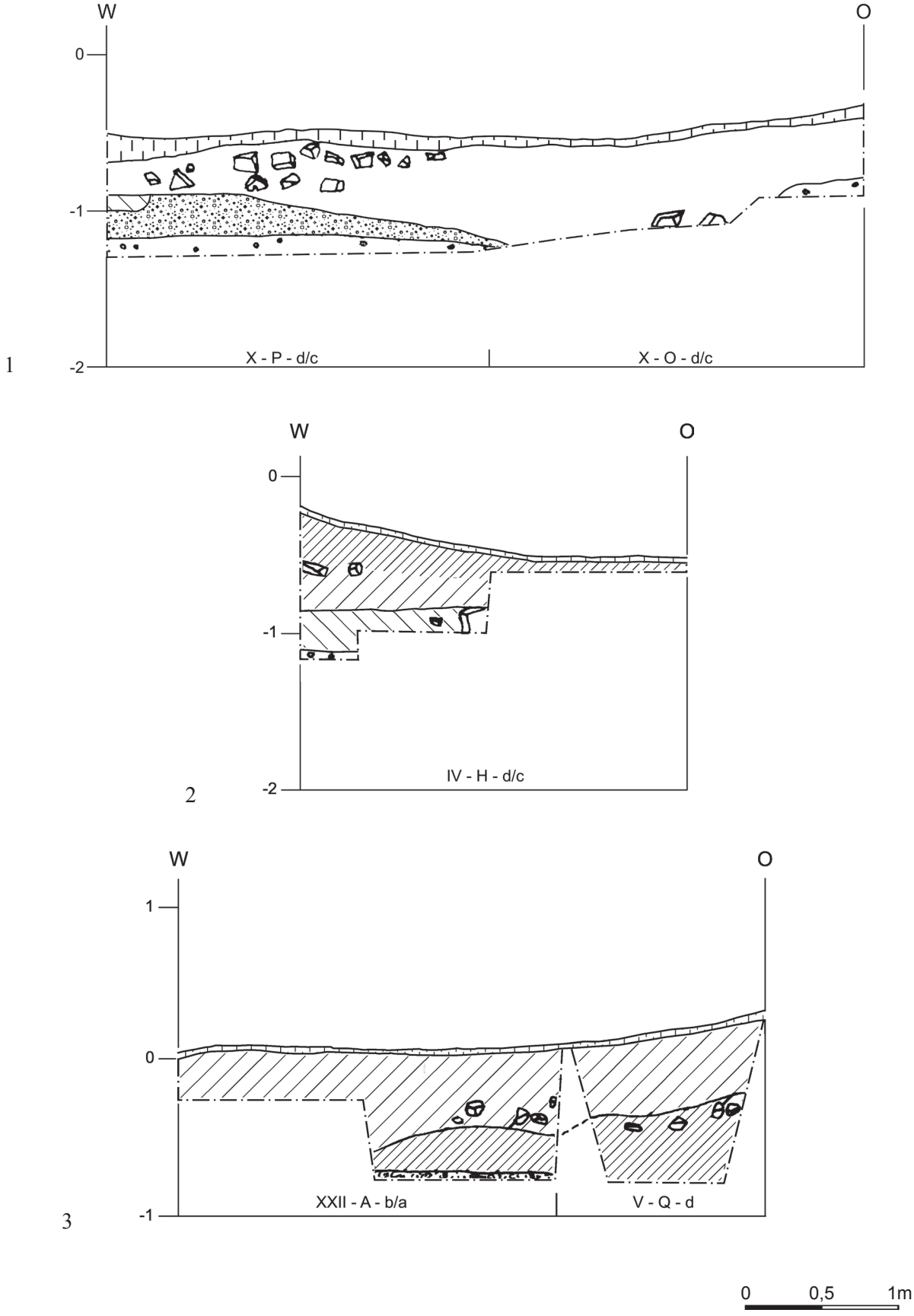


Abb. 69. Oberes Wippertal, Verhüttungsplatz Nr. 90. 1: W-O-Profil 5; 2: W-O-Profil 6; 3: W-O-Profil 7.

ARCHÄOMETALLURGISCHE UNTERSUCHUNGEN VON EISENSCHLACKEN IM MÄRKISCHEN SAUERLAND: DIE VERHÜTTUNGSPLÄTZE NR. 11, 72, 90 UND 105

Ingo Keesmann [†] und Andreas Kronz

EINLEITUNG

Im Rahmen des VW-Projektes „*Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennverhüttung zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n.Chr.)*“ übernahmen die Autoren nach dem unzeitigen Tod von D. Horstmann dessen Aufgabe zur naturwissenschaftlichen Untersuchung von Eisenschlacken.[1] Natürlich änderte sich dabei der Schwerpunkt der naturwissenschaftlichen Arbeit, aber im Prinzip blieben die von D. Horstmann veranlassten chemischen Analysen seiner vielen Schlackenproben die weitere Grundlage. Allerdings konnte die systematische Auswertung dieser Analysen erst später erfolgen.[2]

Bereits zuvor hatten wir versucht, dem Prinzip nachzuspüren, nach dem die im Untersuchungsgebiet „Märkisches Sauerland“ heimische früheste Flusseisengewinnung und die Weiterverarbeitung des Rohmetalls erfolgt sein könnte.[3] Dabei standen bereits die Schlackenfunde auf den Grabungsplätzen Wienhagen (Verhüttungsplatz Nr. 72, s. S. 67 ff.), Marienheide (Verhüttungsplatz Nr. 90, s. S. 185 ff.) und Kerspetalsperre (Verhüttungsplatz Nr. 105, s. S. 103 ff.) im Mittelpunkt der Diskussion.[4] Inzwischen sind die Untersuchungen abgeschlossen und es kann eine erneute Bewertung und ein Vergleich mit den Ergebnissen der chemischen Analysen von D. Horstmann versucht werden.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Obwohl hier die chemische Zusammensetzung der untersuchten Schlacken im Mittelpunkt der Betrachtungen steht, erfolgte bei allen Proben zunächst die polarisationsmikroskopische Untersuchung während und nach der Präparation zu polierten Dünnschliffen. Erfahrungsgemäß ergänzen sich optische und chemische Untersuchungen in idealer Weise, um Aussagen zum technischen Ablauf der Schlacken bildenden Prozesse im Verlauf der Metallgewinnung formulieren zu können. Chemische Analysen wurden auf zweierlei Weise durchgeführt: Die Pauschalanalysen erfolgten mit der Röntgenfluoreszenz (RFA). Die Schliffpräparate wurden ortsaufgelöst im Mikrometermaßstab mit der Mikrosonde untersucht (WDS).[5] Auf diese Weise wurden die optischen Ergebnisse verifiziert und zusätzliche Phasen aufgefunden.[6] Wo es sich um homogene oder quasi-homogene Gläser handelte, haben die Punktanalysen etwa den Charakter von Zusammensetzungen der (eutektischen) Restschmelzen bei der Schlackenbildung oder von Pauschalanalysen, wenn die Probe ausschließlich oder weitgehend aus Glas besteht.

Die Mikrosondenanalysen wurden gefiltert nach Plausibilität, insbesondere bei deutlichen Untersummen, und den während der Messung gemachten Beobachtungen, um Mischmessungen nach Möglichkeit auszuschließen. Die Ergebnisse der mikroanalytischen Arbeit und der RFA sind in den Tabellen 1–5 aufgelistet. Da sich aus den Multikomponentensystemen „chemische Zusammensetzung“ nur mit größtem Aufwand schlüssige Parameter ableiten lassen, die einen Vergleich mit anderen Proben ermöglichen würden, fand das vom Autor entwickelte grafische Auswerteverfahren „Analysen-Tetraeder“ im System CAfS Verwendung.[7]

ERGEBNISSE

Die Analysenpunkte sind überwiegend deckungsgleich mit den Schlackentypen 1 (Verhüttungsplätze Nr. 11 und 72) und 2 (Verhüttungsplatz Nr. 90 und Verhüttungsplatz 105). Abweichungen ergeben sich durch Einschlüsse von eisenreichen Phasen und Mischungseffekte (*Abb. 1*). Zusätzlich treten besonders SiO_2-reiche Proben auf. In der Projektion auf die Fläche CAf (kleine schwarze Punkte) ist die Übereinstimmung nahezu perfekt.

[1] Zum archäologischen und organisatorischen Hintergrund des Projektes s. S. 1 ff.

[2] Keesmann/Hezarkhani/Kronz 2013.

[3] Keesmann/Kronz 2003.

[4] Die Fundpunkte entsprechen der Nummerierung nach Knau und Potyka, siehe dazu: Knau/Potyka 1994.

[5] Firma JEOL (JXA 8900 RL), Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz.

[6] Zu den Details der analytischen Methoden, die in der Arbeitsgruppe Archäometallurgie, Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, eingesetzt wurden, vgl. Kronz 1998.

[7] Keesmann/Schmitz 2002.

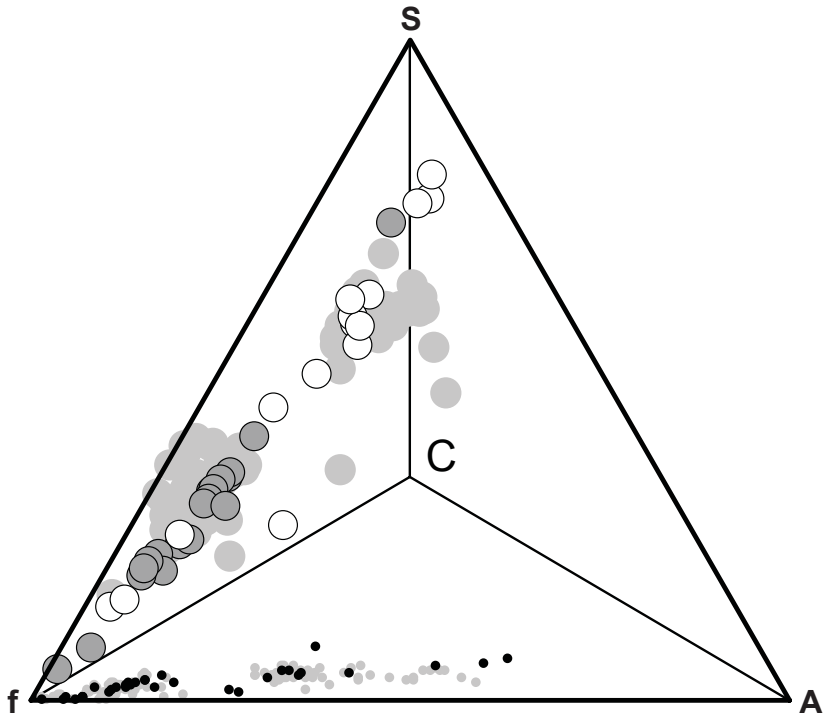


Abb. 1. Räumliche Darstellung der Schlacken-Pauschalanalysen in Masse-% der Oxide (Verhüttungsplätze Nr. 11, 72, 90, 105) im System CAfS und ihre Projektion auf die Dreiecksfläche CAf (Werte vergl. Tab. 1–5, s.S. 260–263); C = CaO + K_2O + Na_2O; A = Al_2O_3; f = FeO + MnO + MgO + ZnO; S = SiO_2 + P_2O_5; dunkelgrau: Verhüttungsplätze Nr. 11 und 72; weiß: Verhüttungsplätze Nr. 90 und 105; hellgrau, undifferenziert: Schlackentypen 1 und 2 entsprechend *Abb. 1.1* (S. 268).

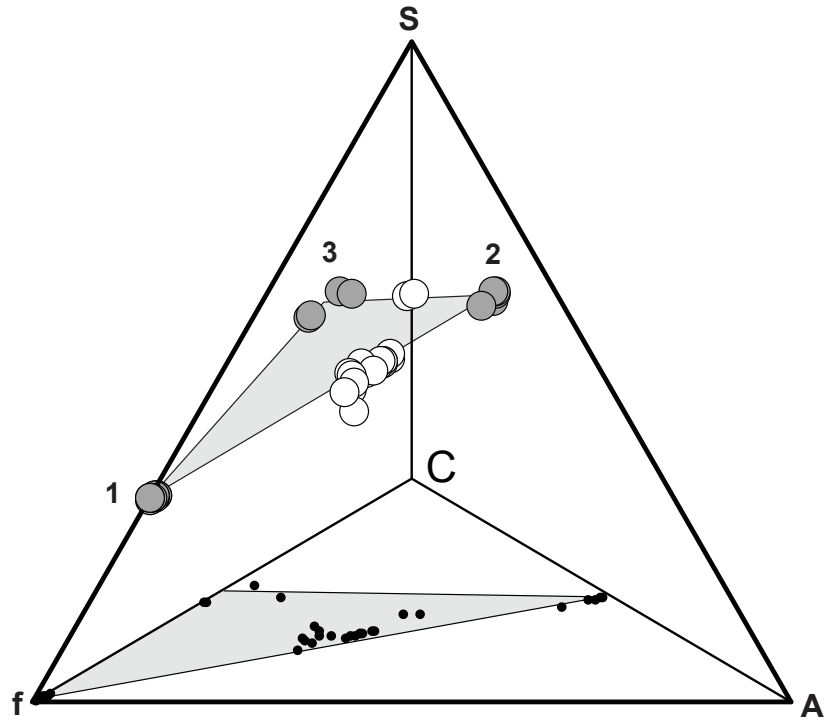


Abb. 2. Räumliche Darstellung der Mikrosonden-Punktanalysen der Schlacken in Masse-% der Oxide (Verhüttungsplatz Nr. 11) im System CAfS, mit Projektion auf die Dreiecksfläche CAf (Zusammensetzungen nach Tabelle 2, s. S. 260). 1: Olivin; 2: Leucit; 3: Ca-reicher Pyroxen (Klinopyroxen).

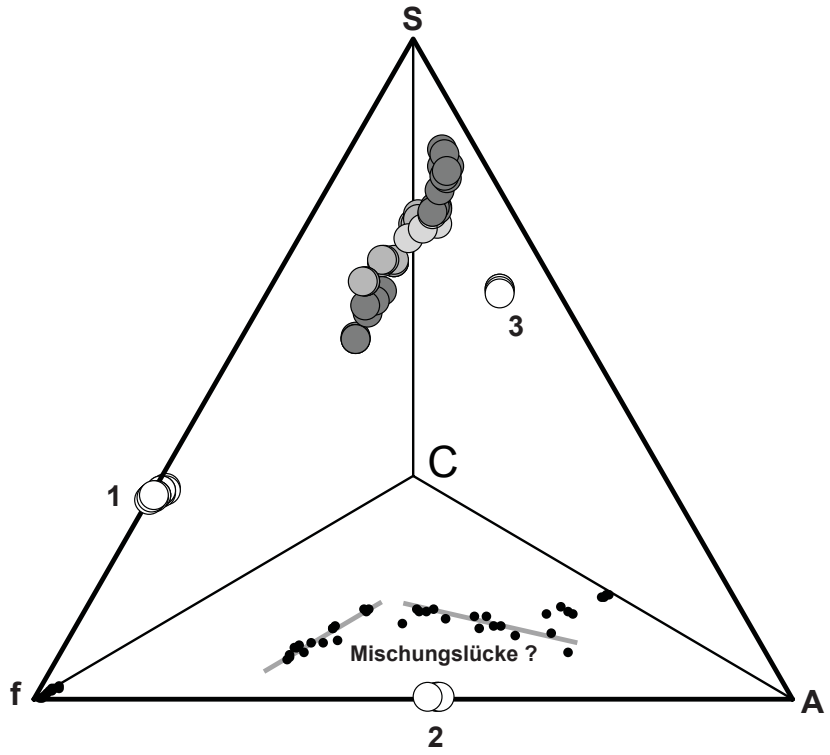


Abb. 3. Räumliche Darstellung der Mikrosonden-Punktanalysen der Schlacken in Masse-% der Oxide (Verhüttungsplatz Nr. 72) im System CAfS, mit Projektion auf die Dreiecksfläche CAf (Zusammensetzungen nach Tabelle 3, s. S. 261). 1: Olivin; 2: Al-Spinell; 3: Leucit; grau: Gläser aus verschiedenen Proben.

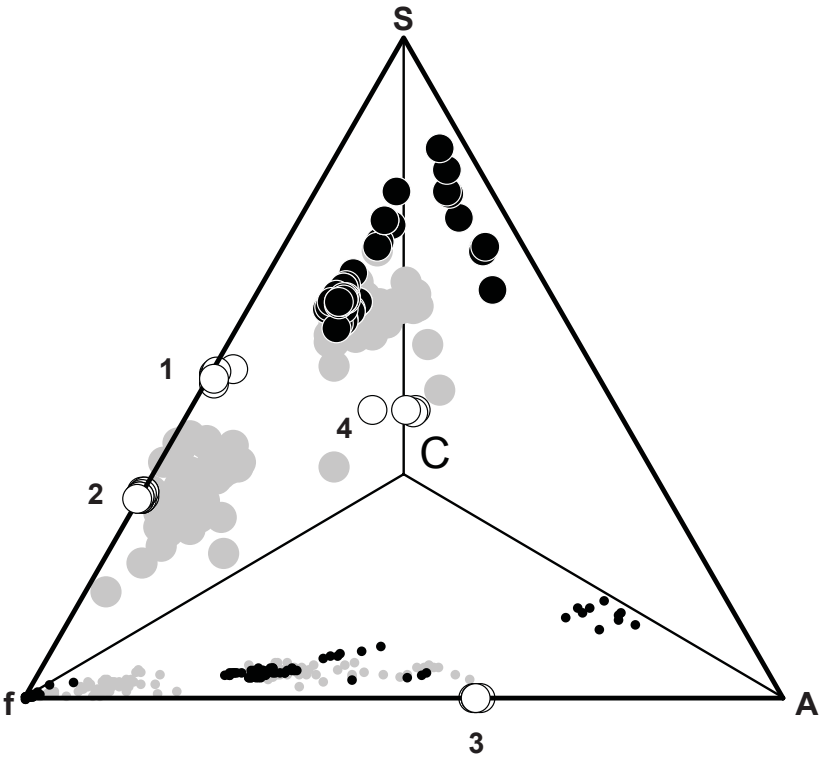


Abb. 4. Räumliche Darstellung der Mikrosonden-Punktanalysen der Schlacken in Masse-% der Oxide (Verhüttungsplatz Nr. 90) im System CAfS, mit Projektion auf die Dreiecksfläche CAf (Zusammensetzungen nach Tab. 4, s. S. 262). 1: Calcium-armer Pyroxen („Orthopyroxen“); 2: Olivin; 3: Al-Spinell; 4: Mangan-Cordierit; schwarz: Gläser sowie Leucit und feldspatähnliche Zusammensetzungen; grau, undifferenziert: Schlackenanalysen nach D. Horstmann (S. 268 *Abb. 1.1*).

Verhüttungsplatz Nr. 11, Fernhagen

Olivin-Leucit-Schlacke, pyroxenführend, mit Rhönit[8] und teilweise glasartiger Grundmasse. Formal liegen die Glas- und Grundmasse-Zusammensetzungen von Verhüttungsplatz Nr. 11 auf einer Fläche Olivin – Klinopyroxen – Leucit, haben jedoch ein höheres CaO/K_2O-Verhältnis, als es sich aus diesem Mischungsmodell ergeben würde (*Abb. 2*). Die Pauschalzusammensetzungen der Einzelproben von diesem Verhüttungsplatz variieren sehr stark im FeO-Gehalt, sind aber mit wenigen Ausnahmen olivinreich. Der MnO-Anteil kann bis zu ca. 30 % des FeO-Gehaltes erreichen. Mit bis zu ca. 3,5 Gew.-% CaO sind die Schlacken als relativ calciumarm zu betrachten. Dem entspricht der beobachtete geringe Ca-Pyroxenanteil. Die Zusammensetzung des Klinopyroxens ist bei wenig FeO abwechselnd MnO- oder MgO-reich. Der Olivin ist fayalitisch und mit bis zu 12 Gew.-% relativ MnO-reich. Die K_2O-Gehalte erreichen oder übersteigen numerisch leicht die CaO-Werte und können damit als intermediär betrachtet werden. Al_2O_3 erreicht Werte bis knapp 10 Gew.-%. Die Auswertung der Glas- bzw. Grundmasse-Zusammensetzung zeigt eine sehr deutliche, eng umgrenzte Konzentration zwischen eisenreichem Olivin und Leucit in Richtung Leucit. Einzelne Zusammensetzungen können als intermediär zwischen Pyroxen und Leucit interpretiert werden, enthalten dann aber deutlich mehr MnO als FeO. CaO erreicht mit ca. 10 Gew.-% Gehalte, die formal zwischen Klinopyroxen und Ca-freiem Olivin liegen. Eine Interpretation der Grundmasse als feinstkörniges Gemenge zwischen Olivin und Leucit scheidet damit aus. Es könnte sich aber um eine quasi eutektische Zusammensetzung nach Abscheidung des kotektischen Gemenges Fayalit + Leucit handeln. Die Olivine in Präparat 2708 sind überwiegend kotektisch mit Leucit verwachsen. Im braunen Glas bilden sich einzelne magnetitreiche Spinelle und zahlreiche Rhönit-Blättchen (beide im Bild opak, *Abb. 6,1*). Die deutliche oxidierende Tendenz erlaubt die Zuordnung zum Typus der Frisch- und Verarbeitungsschlacken.

Verhüttungsplatz Nr. 72, Wienhagen (MSK-72)

Olivin-Spinell-Leucit-Schlacke, mit Wüstit und glasartiger Grundmasse. Die Gläser bilden eine diskontinuierliche Reihe im SiO_2-reichen Teil des Systems, mit unterschiedlichen Trends insbesondere bezüglich A (Al_2O_3) (*Abb. 3*).

Der Befund legt die Existenz einer Mischungslücke nahe. Die Pauschalzusammensetzungen sind durchweg reich und sehr reich an FeO. MnO erreicht bis ca. 20 % des FeO-Gehaltes. CaO ist mit bis zu 2,6 Gew.-% niedrig, die K_2O-Werte erreichen die CaO-Werte und sind teilweise sogar höher. Im Olivin ist MnO mit FeO/MnO ± 3 stark angereichert. Der Anteil an Forsterit (MgO)- bzw. Kirchsteinitkomponente (CaO) ist dagegen gering. Auffällig ist der in einzelnen Punkten sehr hohe Ulvit-Anteil (TiO_2) im sonst überwiegend hercynitbetonten Spinell. Dem entspricht der wiederholt angetroffene Rutil in der Schlacke, ebenso randlich an metallisches Eisen angelagerte Ti-N-Phasen. Als Besonderheit wurde etwas Calciumphosphat gefunden. Eine weitere Besonderheit zeigen die Zusammensetzungen der Gläser. In der räumlichen Darstellung sind sie auffällig linear zwischen Olivin, Leucit und Quarz angeordnet. Die Serie ist nicht kontinuierlich: Die SiO_2-ärmeren Gläser zeigen in der Projektion auf das System CAf gleich bleibende A (Al_2O_3)-Werte, während in den SiO_2-reichen Gläsern der relative Aluminiumanteil linear mit dem SiO_2-Gehalt zunimmt. Die SiO_2-reichsten und SiO_2-ärmsten Zusammensetzungen wurden im mm-Bereich nebeneinander analysiert. Die Intensität ihrer Braunfärbung ist unabhängig vom SiO_2-Gehalt und nach mikroskopischer Beobachtung das Ergebnis von Streueffekten an Entmischungskörperchen. Damit liegt es nahe, diese unterschiedlichen Glaszusammensetzungen als Ergebnis von flüssig-flüssig-Entmischung zu deuten.[9] Große idiomorphe Leucit-Kristalle (farblos) mit typischen „Schlackenkränzchen" charakterisieren die Probe (*Abb. 6,2*). Eine zweite Generation Leucit ist kotektisch mit Wüstit verwachsen (feingliedrig opak). Fayalit (bräunlich-grün) umwächst idiomorphe Fe_2O_3-arme, hercynitische Spinelle (opake Großkristalle).

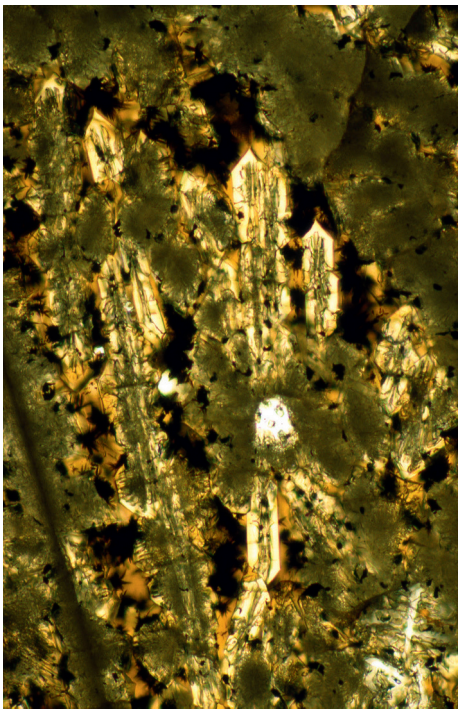
Verhüttungsplatz Nr. 90, Marienheide (MSK-90)

Olivin, Pyroxen, Al-Spinell, glasartige Grundmasse, z. T. mit hohem Leucit- und Feldspatanteil. Der hohe Mangangehalt der Proben von Marienheide ist für das Auftreten „exotischer Phasen" („Orthopyroxen" und „Mn-Cordierit" [?]) neben Olivin verantwortlich (*Abb. 4*).

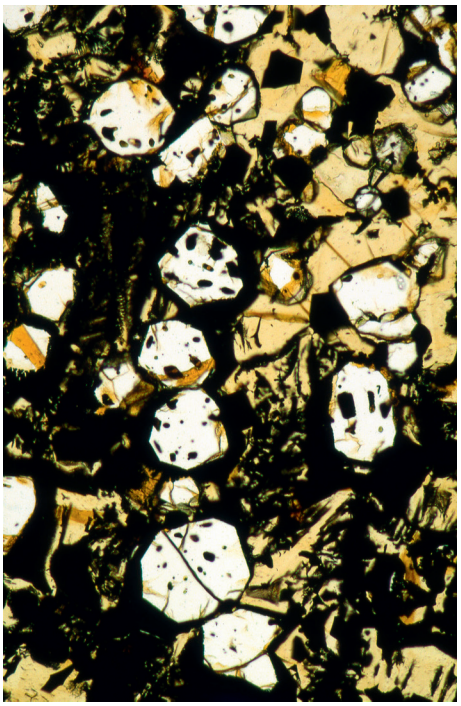
Die weit überwiegende Menge der Fe-führenden Gläser ist in einem sehr engen Bereich konzentriert. Er deckt sich perfekt mit einem Teilbereich der Schlacken Typ 2 der Analysen von D. Horstmann. Eine Tendenz zu noch SiO_2-reicheren Gläsern ist zu beobachten.

[8] Pyroxen gehört hier in die letzte Phase der Schmelzenverfestigung. Möglicherweise stellen die entsprechenden Mikrosondenanalysen z. T. keine kristalline Phase sondern das beobachtete Glas mit seinen Rhönitblättchen dar. In diesem Fall würde es sich um „potentiellen" Pyroxen handeln. Mischmessungen von Glas und Rhönit sind nicht auszuschließen (vgl. Diagramm *Abb. 1*).

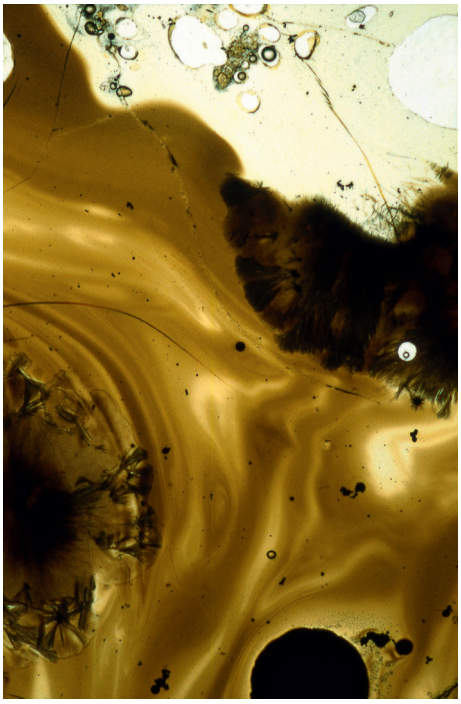
[9] Das Phänomen der flüssig/flüssig-Entmischung in den „blauen" Schlacken wurde bereits ausführlich in Keesmann/Kronz 2003 behandelt.



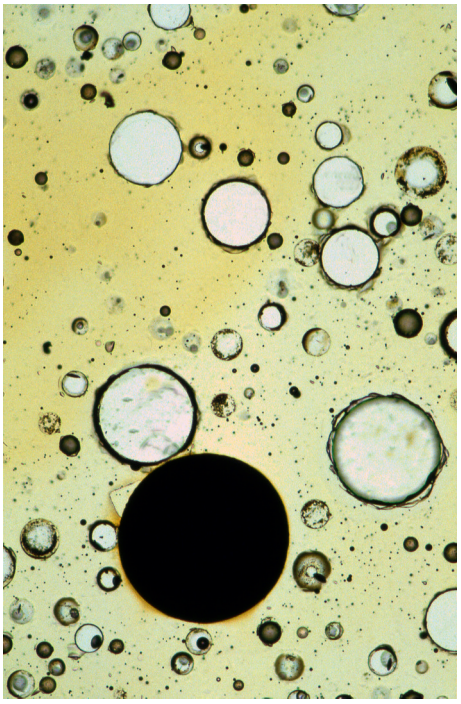
1



2



3



4

Abb. 6. 1: Fayalit-Leucit-Glas-Schlacke. Bild Nr. 3308, Präparat 2708, Verhüttungsplatz Nr. 11, Fernhagen. Polierter Dünnschliff im Durchlicht, 1 Pol. Bildhöhe ca. 0,7 mm; 2: Leucitreiche Fayalit-Schlacke. Bild Nr. 3309, Präparat 2715, Fundpunkt 72, Wienhagen. Polierter Dünnschliff im Durchlicht, 1 Pol. Bildhöhe ca. 1,4 mm; 3: Heterogene Glasschlacke („blaue Schlacke“). Bild Nr. 3285, Präparat 2684, Verhüttungsplatz Nr. 90, Marienheide, Wippertal. Polierter Dünnschliff im Durchlicht, 1 Pol. Bildhöhe ca. 2,8 mm; 4: Blasenreiche Glasschlacke Bild Nr. 3279, Präparat 2701, Verhüttungsplatz Nr. 105, Kerspe-Talsperre. Die Schmelze ist sehr blasenreich und farblich deutlich heterogen. Im Glas schwimmt ein größeres Eisenkügelchen (opak). Polierter Dünnschliff im Durchlicht, 1 Pol. Bildbreite ca. 1,4 mm (Fotos I. Keesmann).

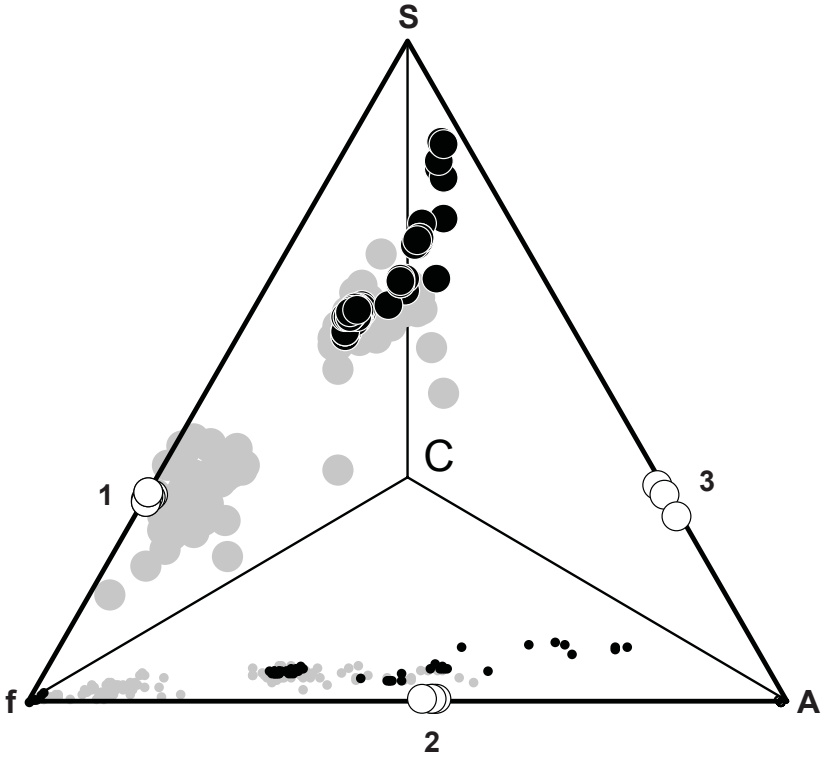


Abb. 5. Räumliche Darstellung der Mikrosonden-Punktanalysen der Schlacken in Masse-% der Oxide (Verhüttungsplatz Nr. 105) im System CAfS, mit Projektion auf die Dreiecksfläche CAf (Zusammensetzungen nach Tab. 5, s. S. 263). 1: Olivin; 2: Al-Spinell; 3: Sillimanit/Mullit; schwarz : Gläser; grau, undifferenziert: Schlackenanalysen nach D. Horstmann (S. 268 *Abb. 1.1*).

Zusätzlich treten sehr Fe-arme Zusammensetzungen auf, die dem Leucit und (Kali)-Feldspat nahe stehen. Die Pauschalanalysen fallen auf durch ihre sehr große chemische Variationsbreite in Bezug auf SiO_2, Al_2O_3, FeO und MnO. CaO ist bis auf eine Ausnahme mit Werten von 0,3–1,8 Gew.-% niedrig, bei überwiegend sehr deutlich höheren K_2O-Gehalten. Die analysierten Olivine sind durchweg MnO-reich, teilweise liegt Mn-Olivin mit nur noch untergeordneter Fayalitkomponente vor. Der MgO-Gehalt ist mit bis nahezu 6 Gew.-% ebenfalls relativ hoch, bei gleichzeitig niedrigem CaO ($\leq$ 1 Gew.-%). Das MnO-Angebot genügt in Verbindung mit MgO zur Bildung von formal Orthopyroxen. FeO ist darin gegenüber der Summe (MnO+MgO) maximal nur etwa doppelt so hoch und sinkt teilweise bis unter die Hälfte. Dazu kommen noch bis ca. 3,5 Gew.-% ZnO. Diese Phase enthält ca. 1 bis 3 Gew.-% CaO, mit den höchsten CaO-Gehalten bei besonders eisenarmen Zusammensetzungen. Al-reiche Zusammensetzungen eines Silikates aus einem einzelnen Präparat haben ihren darstellenden Punkt im Sytem fAS (+ 1–2 Gew.-% CaO) an der Stelle, an der man Fe-Cordierit (Sekaninait) erwarten könnte. Allerdings ist der MnO-Gehalt ca. 5-fach höher als FeO. Es könnte sich demnach um Mn-Cordierit handeln. Der TiO_2-Gehalt dieser Phase ist etwa doppelt so hoch wie der in den Pauschalanalysen und Gläsern dieser Fundstelle. Dieselbe Probe enthält Mn-Fe-Al-Spinell mit einem Mn/Fe-Verhältnis von ± 2. Dieser Spinell ist gegenüber den Pauschalanalysen und Gläsern deutlich TiO_2-ärmer. Die Gläser sind SiO_2-reich, mit einer sehr starken Häufung im unteren Konzentrationsbereich bei ± 55 Gew.-% SiO_2. Ihr MnO-Gehalt ist gegenüber FeO entweder gleich oder bis mehr als 3-fach höher. Besonders K_2O-reiche Gläser stehen der Zusammensetzung von Leucit und Kalifeldspat nahe. Sie enthalten bis ca. 7 Gew.-% BaO. Die Schlackenschmelze ist überwiegend schlierig heterogen, mit deutlichen Unterschieden der Brechungsindices verschiedenfarbiger Schlieren (*Abb. 6,3*). Die braunen Schlieren entmischen sehr feindispers. Gleichzeitig beginnt an einzelnen Zentren eine radialstrahlige Kristallisation. Im schlierigen Glas schwimmen metallische Eisenkügelchen (opak, z.B. *Abb. 6,3*, unterer Bildrand).

Verhüttungsplatz Nr. 105, Kerspetalsperre (MSK-105)

Es handelt sich überwiegend um Glasschlacken, mit Olivin und Spinellen. Die überwiegende Menge der Glaszusammensetzungen deckt sich mit den Schlacken Typ 2 der Analysen von D. Horstmann (*Abb. 5*).

Ein Schwerpunkt der Zusammensetzungen ist praktisch deckungsgleich mit den engen Konzentrationsmaxima in *Abb. 1.1* (S. 268) und *Abb. 2.1* (S. 269). Zusätzlich treten noch deutlich SiO_2-reichere bzw. Fe-ärmere Zusammensetzungen auf. Die pauschale Zusammensetzung ist bezüglich SiO_2, FeO, MnO und FeO/MnO sehr variabel, bei nahezu gleich bleibendem Al_2O_3. MgO und CaO bleiben im unteren einstelligen Bereich. Der K_2O-Gehalt übersteigt den von CaO teilweise um mehr als das Doppelte. Der Olivin ist fayalitisch, MnO ist mit ≤2 Gew. % gegenüber FeO nur sehr untergeordnet vertreten und erscheint gegenüber dem Durchschnittsgehalt der Gesamtproben stark verarmt. Dagegen erreicht MgO Werte > 5 Gew.-% und ist sehr deutlich angereichert. Die Spinelle umfassen das gesamte Spektrum von Magnetit über hercynitreichen Magnetit bis Hercynit. Die hercynitreichen Spinelle sind gegenüber den Pauschalzusammensetzungen etwas an MgO angereichert. Im Ausnahmefall werden bis knapp 6 Gew.-% MgO erreicht und mit > 13 Gew.-% zugleich ein vergleichsweise hoher MnO-Gehalt. Die Spinelle enthalten in der Regel mit Gehalten ≤ 1 Gew.-% nur wenig TiO_2. Gelegentlich tritt etwas Mullit/Sillimanit auf. Charakteristisch ist der hohe Glasanteil (*Abb. 6,4*). Die Gläser sind SiO_2-reich, mit einer ausgeprägten Häufung bei 55–56 Gew.-% und einer weiten Streuung bis knapp 83 Gew.-%. Das Verhältnis von FeO zu MnO ist in den Gläsern – probenabhängig – sehr variabel, von weit überwiegend FeO bis zu FeO/MnO = 1/10. Die analysierten Zusammensetzungen im Häufigkeitsmaximum sind zugleich die MnO-reichsten Proben. CaO-Gehalte ≤2,5 Gew.-% sind charakteristisch, können aber bis nahezu Null absinken. K_2O erreicht in den CaO-reicheren Proben den ca. 1,5-fachen Wert und steigt bei abnehmendem CaO bis auf ca. 5 Gew.-%.

INTERPRETATION

Wie die grafische Auswertung der Pauschalzusammensetzung aller untersuchten Verhüttungsplätze im System CAfS zeigt (34 Proben, *Abb. 1*), folgen mit Ausnahme einer einzigen Analyse alle einem linearen Mischungsmuster von sehr FeO-reich bis SiO_2-reich. Dies gilt bei aller Vielfalt im optischen Erscheinungsbild und bei der Zusammensetzung bezüglich der verschiedensten Elemente. Dabei heben sich drei Schwerpunkte ab, zwei davon decken sich mit den beiden Häufigkeitsmaxima der Sauerland-Schlackentypen Horstmann-1 und Horstmann-2.[10] Ein dritter Schwerpunkt wird von deutlich FeO-reichern Proben gebildet. In diesem Bild spiegelt sich wider, dass es sich um unterschiedliche Zusammensetzungen einer grundsätzlich einheitlichen Abfolge handelt. Es existieren zwei, evtl. drei Hauptty-

pen, daneben Schlacken, die als komplexe Gemenge mit unterschiedlichen Anteilen an eisenreichen Phasen (metallisches Eisen, Fe-Oxiden) bzw. mit unterschiedlichem Gehalt an SiO_2-reicher Ofenwand interpretiert werden können. Betrachtet man die Proben einer einzelnen Fundstelle für sich und im Detail nach mineralogischen Gesichtspunkten, dann differenziert sich das Bild auch hier. Im Prinzip haben wir es mit zwei Schlackenserien zu tun:

1. Überwiegend kristalline Schlacken (Verhüttungsplätze Nr. 11 und 72)

2. Überwiegend glasige Schlacken (Verhüttungsplätze Nr. 90 und 105).

Bei der Beurteilung der Unterschiede in der Zusammensetzung der Proben einer einzelnen Fundstelle ist zu berücksichtigen, dass grundsätzlich nicht ein besonderer Probentyp ausgewählt wurde, der vielleicht besonders charakteristisch für die spezifische Arbeitweise sein könnte. Es wurden vielmehr Proben gesucht und untersucht, die möglichst das ganze Spektrum der Zusammensetzung an einem definierten Arbeitsplatz abdecken. Dadurch ergibt sich automatisch ein sehr viel größerer Streubereich.

Fernhagen (Verhüttungsplatz Nr. 11, s. S. 21 ff.) liefert die Schlacken, die mit Klinopyroxen und Rhönit deutlichste Tendenz in Richtung Oxidation aufweisen. Die Schlacken sind daher nicht als Reduktionsschlacken zu werten, sonder stammen aus einem Prozess der Umarbeitung oder Verarbeitung von Eisen. Wienhagen (Verhüttungsplatz Nr. 72, s. S. 67 ff.) liefert bei grundsätzlich gleicher Kombination von Olivin + Leucit jedoch eine völlig andere, sehr deutlich SiO_2-reichere glasige Grundmasse. Die etwas SiO_2-ärmeren Analysen decken sich mit dem Schlackentyp 2 von Horstmann. Diese Sichtweise würde aber nicht berücksichtigen, dass die SiO_2-reicheren Messpunkte in denselben Schlackenproben liegen. Wenn tatsächlich eine direkte Beziehung zu dem „reinen" Typ 2 bestehen sollte, dann wäre das durch Recycling von Flusseisenschlacke in einem weiteren Arbeitsschritt zu erklären.[11] Mit einer solchen Annahme steht im Einklang, dass die Proben von Wienhagen (Verhüttungsplatz Nr. 72) im Durchschnitt deutlich eisenreicher sind als die überwiegende Anzahl von Proben der Verhüttungsplätze Nr. 90 (s. S. 185 ff.) und 105 (s. S. 103 ff.), bei vergleichbarer Zusammensetzung zumindest eines Teils der Restschmelze, zumindest im CAfS-Tetraeder. Besonders die Projektion auf die Fläche CAf zeigt jedoch gleichzeitig den deutlichen Unterschied im Verhältnis der Komponenten C, A und f. Die beiden unterschiedlichen Trends in Schlacken von Verhüttungsplatz Nr. 72 sind in den Proben der Verhüttungsplätze Nr. 90 und 105 nicht

[10] Keesmann/Hezarkhani/Kronz 2013.

[11] Siehe hierzu auch: Knau et al. 2003.

zu erkennen. Hier besteht offenbar eine lineare Abhängigkeit von A (Al_2O_3) und f bei insgesamt niedrigem C. Außerdem haben die Gläser in den Proben beider Fundstellen bis zu etwa 10-fach höhere MnO-Gehalte.

Eine besondere Bedeutung in den Überlegungen zur alten und ältesten Eisentechnologie hat die Frage, ob, wann und wieviel Kalk als „Flussmittel" eingesetzt wurde. Keine der hier untersuchten Proben lässt auf die Zugabe größerer Mengen Kalk zur Schlackenschmelze schließen. Meist überwiegt der K_2O -Gehalt deutlich bis stark. Es stammt vermutlich überwiegend aus der Holzkohlenasche. Lediglich Verhüttungsplatz Nr. 72 zeigt ein nahezu ausgeglichenes Mengenverhältnis beider Komponenten bei Gesamtgehalten (C), die nicht höher als in ganz normalen Rennfeuerschlacken sind. Zuschläge von Kalk sind aus den vorliegenden Analysen nicht nachweisbar. Die Verwendung CaO-reicher Schlackenschmelzen für die Reduktion gehört in eine spätere Zeit und führt schließlich zur modernen Hochofentechnik.[12] Dabei soll nicht vergessen werden, dass der Einsatz von Kalk bereits seit frühester Zeit Standard in der Verarbeitungstechnik von Eisen war. Gegenüber den Rennfeuerschlacken zeichnen sich alle vier hier untersuchten Verhüttungsplätze dadurch aus, dass sich in ihren Schlacken SiO_2-reiche Schmelzen bilden, die alle vergleichbare Zusammensetzungen haben. An den Verhüttungsplätzen Nr. 11 und 72 sind es Restschmelzen in Verarbeitungsschlacken, an den Verhüttungsplätzen Nr. 90 und 105 sind es die Hauptbestandteile der Reduktionsschlacken. Die Schlacken der Fundpunkte 11 und 72 können dem Schlackentypus Horstmann-1 (Fayalitschlacken) zugerechnet werden, die der Fundpunkte 90 und 105 entsprechen trotz der großen Variationsbreite sehr gut dem Typ Horstmann-2.[13] Die Konsequenzen dieser mit der Flusseisentechnik neuen, „sauren" Schlacke für die physikalischen Arbeitsbedingungen, die Zusammensetzung und Qualität des erzeugten Eisens wurden bereits an anderer Stelle ausführlich diskutiert.[14]

ANERKENNUNGEN

Herrn Kollegen A. Jockenhövel danken wir für seine Einladung zur Teilnahme am Projekt. Von ihm, dem Ausgräber Dr. Chr. Willms sowie den studentischen Mitarbeitern des ehemaligen Seminars für Ur- und Frühgeschichte der Universität Münster erhielten die Autoren rückhaltlose Unterstützung. Den Herren H. L. Knau, Kierspe, und M. Sönnecken (†), Lüdenscheid, danken wir für ihre geduldige Einführung in das Gelände im Umfeld der Grabungen. Herr Schulz-Dobrick, Mainz, betreute sehr effektiv die Mikrosondenuntersuchungen (EMS). Die Ausführung der EMS-Messungen erfolgte durch Frau Dr. Z. Hezarkhani. Ihr sei an dieser Stelle nochmals sehr herzlich für ihre Hilfe gedankt. Die Untersuchungen in Mainz wurden wie das Gesamtprojekt durch die Volkswagen-Stiftung gefördert.

LITERATUR

Keesmann/Hezarkhani/Kronz 2013
I. Keesmann/Hezarkhani, Z./A. Kronz, Chemische Zusammensetzung von archäometallurgischen Eisenschlacken im Märkischen Sauerland. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 265–278.

Keesmann/Kronz 2003
I. Keesmann/A. Kronz, Schlacken verschiedener Stufen der Eisentechnologie. In: L. Ch. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Sandbjerg Konferenz UISPP, 16.–20. September 1999. Acta Jutlandica LXXVI:2, Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 153–162, 291–297.

Keesmann/Schmitz 2002
I. Keesmann/C. Schmitz, Räumliche Darstellung von Analysendaten: Das Programm „Analysen-Tetraeder". Forschungsmagazin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 18, Sonderausgabe Messen 2002, 8–16.

Knau/Potyka 1994
H. L. Knau/ R. Potyka (Bearbeiter), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) Kartenbeilage.

Knau et al. 2003
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Altena in Westphalia. From Bloomery to Osemund – Difficulties in Distinguishing Slags. In: L. Ch. Nørbach (Hrsg), Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Sandbjerg Konferenz UISPP, 16.–20. September 1999. Acta Jutlandica LXXVI:2, Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 177–181. 304.

[12] Diese Feststellung steht im Widerspruch zu den mehrfach wiederholten Annahmen von Knau und Sönnecken, die dem CaO-Zusatz eine besondere Rolle für die gute Qualität des Eisens in der Region zuweisen (z. B. Knau et al. 2003; Knau 2013; Sönnecken 2013); s. auch S. 266.

[13] Keesmann/Hezarkhani/Kronz 2013.

[14] Keesmann/Kronz 2003.

Knau 2013
H. L. Knau, Zur Verhüttung in Floß- und Hochöfen. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 295–308.

Kronz 1998
A. Kronz, Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen – Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken (Friedland 1998).

Sönnecken 2013
M. Sönnecken, Zur Verhüttung in Rennöfen. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 279–294.

Fundplatz	Analyse Nr.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*)	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Summe
11	8826	30,14	0,36	6,78	42,94	7,48	1,08	2,92	0,24	2,70	0,72	95,36
11	8825	35,19	0,40	6,86	34,29	10,38	1,28	3,32	0,18	3,36	0,78	96,04
11	8827	27,37	0,30	5,84	47,18	6,58	1,00	2,48	0,22	2,62	0,88	94,47
11	8828	26,80	0,30	5,84	47,19	6,62	1,02	2,54	0,20	2,66	0,88	94,05
11	8829	18,81	0,16	4,42	65,18	2,58	0,20	0,12	0,16	1,04	0,10	92,77
11	8830	29,30	0,38	6,70	45,68	5,18	1,06	3,12	0,28	2,76	0,88	95,34
11	8831	68,87	0,72	9,88	13,65	0,26	0,60	0,66	0,70	2,40	0,14	97,88
11	8832	28,81	0,36	6,06	46,80	5,12	1,24	3,02	0,26	2,40	0,86	94,93
11	8833	16,74	0,20	4,40	67,48	0,58	0,16	0,10	0,12	0,96	0,08	90,82
11	8834	25,17	0,32	5,98	47,20	5,74	1,10	2,60	0,32	2,20	0,88	91,51
11	8835	3,91	0,00	0,86	85,87	0,16	0,20	0,22	0,64	0,06	0,26	92,18
11	8836	17,81	0,24	3,76	60,46	3,48	1,12	2,60	0,36	1,68	1,00	92,51
72	8837	16,58	0,30	6,25	56,90	8,11	0,68	1,60	0,07	1,40	0,39	92,28
72	8838	20,50	0,32	6,68	50,46	9,04	0,76	1,92	0,20	2,40	0,48	92,76
72	8839	20,12	0,52	5,86	59,62	1,42	1,38	2,46	0,32	2,12	0,36	94,18
72	8840	6,74	0,14	3,32	73,60	4,96	0,12	0,08	0,52	0,72	0,10	90,30
72	8841	25,63	0,34	5,94	49,84	5,72	1,10	2,60	0,22	2,18	0,88	94,45
72	8842	17,62	0,18	4,40	67,09	0,56	0,16	0,10	0,10	0,96	0,08	91,25
72	8865	25,90	0,40	8,90	45,90	7,78	1,08	1,60	0,10	2,80	0,40	94,86
90	8850	57,41	0,46	10,22	6,57	17,80	0,96	0,96	0,22	2,96	0,04	97,60
90	8851	21,48	0,26	5,48	52,90	7,88	0,76	1,80	0,32	1,94	0,48	93,30
90	8852	24,04	0,66	17,84	27,93	21,36	0,62	0,60	0,16	2,28	0,34	95,83
90	8853	72,68	0,78	11,74	4,81	4,24	1,02	0,68	0,52	2,90	0,06	99,43
90	8854	73,32	0,88	12,86	6,23	0,72	1,16	0,42	0,82	3,04	0,10	99,55
90	8855	54,86	0,48	9,97	8,62	10,34	1,04	7,04	0,10	2,79	0,03	95,27
90	8856	52,27	0,61	12,59	12,65	11,77	0,99	1,24	0,16	3,45	0,03	95,76
90	8857	7,89	0,12	2,90	63,24	10,54	0,20	0,28	0,04	0,84	4,40	90,45
105	8843	40,45	0,46	8,00	29,78	11,46	0,98	1,86	0,36	2,22	0,38	95,95
105	8844	50,80	0,62	13,68	5,31	20,84	1,22	1,96	0,18	4,06	0,02	98,69
105	8845	76,67	0,86	11,24	4,72	0,34	0,88	0,42	1,00	2,66	0,10	98,89
105	8846	11,93	0,16	4,04	70,66	1,30	0,22	0,18	0,12	0,86	1,48	90,95
105	8847	46,40	0,54	11,52	20,10	14,60	0,58	0,12	0,28	2,20	0,16	96,50
105	8848	54,27	0,54	12,06	3,94	21,44	1,04	2,42	0,48	3,42	0,02	99,63
105	8849	55,29	0,56	11,30	8,74	16,36	1,12	2,24	0,20	3,50	0,02	99,33

Tab. 1. Pauschalanalysen der untersuchten Verhüttungsplätze (in Gew.-%).

Analyse Nr.	Präparat	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*)	MnO	MgO	CaO	BaO	PbO	ZnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Summe
Olivin															
9852	2716	30,39	<0,05	0,11	53,61	11,82	3,37	0,70	<0,08	<0,08	0,10	<0,04	<0,03	0,41	100,56
9853	2716	30,36	0,06	0,10	53,46	11,89	2,85	0,73	<0,08	0,09	<0,07	<0,04	<0,03	0,39	99,95
9854	2716	29,63	0,07	0,10	55,12	11,69	1,85	1,07	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	0,03	0,40	100,00
9857	2716	30,73	0,09	0,10	52,88	11,79	4,75	0,58	<0,08	<0,08	0,08	<0,04	<0,03	0,19	101,25
9858	2705	30,51	<0,05	0,18	57,48	7,65	3,90	1,95	<0,08	<0,08	<0,07	0,04	<0,03	0,45	102,23
9859	2705	31,15	<0,05	0,17	57,17	7,67	4,01	1,82	<0,08	<0,08	0,11	<0,04	0,04	0,30	102,52
9860	2705	30,54	<0,05	0,22	57,34	7,48	3,99	1,76	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,57	101,96
9861	2705	30,55	<0,05	0,20	57,60	7,35	3,28	2,33	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	0,15	0,71	102,22
9862	2705	30,53	<0,05	0,15	57,33	7,30	2,98	2,81	<0,08	0,08	<0,07	0,05	0,06	0,27	101,61
Pyroxene															
9915	2717AB	53,42	0,55	3,96	2,16	5,29	12,15	19,58	0,10	<0,08	<0,07	0,42	1,35	0,37	99,35
9916	2717AB	53,95	1,10	1,36	0,47	3,68	16,35	23,94	<0,08	<0,08	<0,07	0,11	0,05	0,13	101,26
9917	2717AB	51,39	0,15	0,14	3,42	16,56	6,87	21,89	0,13	<0,08	0,09	<0,04	0,10	0,14	100,88
9925	2717AB	51,32	0,14	0,12	3,43	16,50	7,34	22,22	<0,08	<0,08	<0,07	0,04	0,08	0,10	101,29
Leucit															
9851	2716	55,58	<0,05	23,09	1,21	0,11	<0,04	<0,04	0,19	0,10	<0,07	0,23	20,71	<0,04	101,27
9855	2716	55,12	<0,05	23,05	0,66	0,15	<0,04	<0,04	0,20	<0,08	<0,07	0,40	20,48	<0,04	100,13
9856	2716	54,85	<0,05	23,16	0,81	0,10	<0,04	<0,04	0,49	<0,08	0,09	0,41	20,34	<0,04	100,31
9865	2705	51,56	<0,05	22,33	3,84	0,30	<0,04	0,60	0,43	<0,08	<0,07	0,35	18,61	1,25	99,36
9866	2705	54,33	<0,05	23,49	1,61	0,22	<0,04	<0,04	0,42	<0,08	<0,07	0,37	21,12	<0,04	101,66
Gläser und feinkristalline Grundmasse															
9639	2708	43,94	1,12	15,03	15,74	4,37	0,18	9,37	n.a.	<0,08	<0,07	0,50	6,88	1,97	99,10
9640	2708	42,67	1,00	14,25	16,86	5,34	0,15	10,45	n.a.	<0,08	0,10	0,58	5,09	2,32	98,82
9641	2708	40,64	0,84	12,01	18,84	6,10	0,11	13,52	n.a.	<0,08	<0,07	0,68	1,50	3,71	97,95
9642	2708	40,46	1,72	13,06	25,37	4,47	0,18	5,70	n.a.	<0,08	<0,07	0,36	7,11	1,14	99,59
9643	2708	42,08	1,42	14,41	20,05	3,78	0,17	7,21	n.a.	<0,08	<0,07	0,45	8,09	1,67	99,33
9652	2708	42,49	0,89	14,90	15,85	4,71	0,14	10,20	n.a.	<0,08	<0,07	0,68	6,28	2,29	98,47
9653	2708	42,01	1,06	14,54	16,63	4,93	0,16	10,42	n.a.	<0,08	<0,07	0,60	5,54	2,33	98,22
9654	2708	42,72	1,10	14,68	17,67	4,17	0,13	8,43	n.a.	<0,08	<0,07	0,80	7,16	2,28	99,18
9655	2708	40,08	1,06	11,67	20,38	6,49	0,11	12,97	n.a.	<0,08	<0,07	0,68	1,35	2,30	97,09
9656	2708	40,54	1,11	11,40	20,27	6,59	0,10	13,41	n.a.	<0,08	0,07	0,66	1,34	2,27	97,76
9657	2708	40,54	1,61	12,73	23,24	4,06	0,19	8,31	n.a.	<0,08	<0,07	0,35	6,39	1,70	99,12
9658	2708	41,44	1,38	13,21	20,63	4,04	0,16	10,29	n.a.	<0,08	<0,07	0,35	5,84	1,80	99,14
9659	2708	42,52	1,18	14,17	17,19	5,45	0,16	10,07	n.a.	<0,08	<0,07	0,46	5,71	1,91	98,82
9660	2708	42,15	1,12	14,02	17,57	4,94	0,15	9,47	n.a.	<0,08	<0,07	0,39	6,26	1,82	97,97
9661	2708	43,00	1,20	14,67	16,52	5,16	0,18	10,25	n.a.	<0,08	<0,07	0,38	6,15	1,94	99,45
9863	2705	36,88	0,17	11,81	24,49	2,54	0,41	10,01	0,35	<0,08	<0,07	0,34	10,16	3,82	100,99
9864	2705	32,88	0,21	13,79	26,47	2,29	0,30	10,73	0,42	<0,08	0,07	0,33	8,51	4,60	100,60
9918	2717AB	54,23	0,88	13,38	3,83	7,50	1,31	10,91	0,42	<0,08	<0,07	1,30	4,86	1,16	99,82
9919	2717AB	53,44	1,05	12,80	4,30	7,75	1,73	11,50	0,44	<0,08	<0,07	1,25	4,56	1,53	100,45

*) FeO = Gesamteisen, n.a.= nicht analysiert, "<" = Wert unter der jeweils angegebenen Nachweisgrenze

Tab. 2. Verhüttungsplatz Nr. 11, Fernhagen (alle Angaben in Gew.-%).

Analyse Nr.	Präparat	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*)	MnO	MgO	CaO	BaO	PbO	ZnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Summe
Olivin															
9817	2719AB	30,18	<0,05	0,12	47,44	16,82	1,67	3,32	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,03	0,23	99,92
9818	2719AB	29,23	<0,05	0,18	48,41	16,54	1,82	2,62	<0,08	n.a.	0,09	0,07	<0,03	0,38	99,40
9819	2719AB	30,18	0,11	0,08	46,99	16,68	1,22	4,75	0,09	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,13	100,27
9820	2719AB	30,29	<0,05	0,19	47,19	18,34	2,21	1,81	<0,08	n.a.	0,07	<0,04	<0,03	0,07	100,30
9821	2719AB	29,92	0,07	0,57	45,87	17,47	1,69	3,49	<0,08	n.a.	0,08	0,04	0,08	0,11	99,44
9822	2719AB	31,02	0,11	0,11	45,74	18,42	2,70	3,04	<0,08	n.a.	0,09	<0,04	0,03	0,10	101,36
9823	2719AB	30,28	<0,05	0,26	45,91	18,56	4,26	1,04	<0,08	n.a.	0,09	<0,04	<0,03	0,26	100,68
9825	2715	29,67	0,17	0,19	53,89	12,14	0,31	3,42	<0,08	n.a.	0,12	0,04	<0,03	0,25	100,24
9828	2715	29,75	0,07	0,21	51,55	14,57	3,56	0,58	<0,08	n.a.	0,09	<0,04	<0,03	0,30	100,74
9829	2715	30,23	<0,05	0,24	51,38	14,74	3,57	0,60	<0,08	n.a.	<0,07	0,04	<0,03	0,25	101,13
9830	2715	30,47	<0,05	0,14	52,41	14,40	2,42	0,71	<0,08	n.a.	0,14	<0,04	0,06	<0,04	100,76
9831	2715	30,62	<0,05	0,25	50,44	14,61	3,89	0,49	<0,08	n.a.	0,07	0,04	<0,03	0,20	100,67
9832	2715	30,42	0,07	0,22	50,87	14,54	3,74	0,56	0,12	n.a.	0,12	<0,04	<0,03	0,20	100,87
9833	2715	30,48	<0,05	0,16	52,78	14,61	2,30	0,71	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,07	101,20
9841	2719AB	30,15	<0,05	0,15	48,19	18,01	1,59	2,15	<0,08	n.a.	0,07	<0,04	<0,03	0,26	100,61
Leucit															
9834	2715	54,67	<0,05	23,31	0,51	0,21	<0,04	<0,04	0,31	n.a.	<0,07	0,43	20,65	<0,04	100,10
9835	2715	54,87	<0,05	23,29	0,29	0,12	<0,04	<0,04	0,24	n.a.	<0,07	0,36	20,83	<0,04	100,08
9836	2715	54,41	<0,05	23,05	0,34	0,09	<0,04	<0,04	0,42	n.a.	<0,07	0,31	20,73	<0,04	99,39
9840	2719AB	53,71	0,12	23,22	0,76	0,27	<0,04	<0,04	1,77	n.a.	0,08	0,24	20,48	<0,04	100,70
Spinelle															
9809	2719AB	0,21	17,98	13,63	61,19	4,43	<0,04	0,18	0,28	n.a.	0,23	0,07	0,05	<0,04	98,27
9810	2719AB	0,34	0,61	0,36	91,34	4,13	0,09	<0,04	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,07	<0,04	97,03
9811	2719AB	0,12	3,90	46,39	44,58	4,22	0,21	0,05	0,09	n.a.	0,54	<0,04	<0,03	<0,04	100,11
9812	2719AB	0,23	19,09	12,50	58,69	5,21	0,14	0,18	0,12	n.a.	0,15	<0,04	0,17	<0,04	96,48
9814	2719AB	0,19	0,66	50,20	37,06	6,41	2,60	<0,04	<0,08	n.a.	0,46	<0,04	<0,03	<0,04	97,61
9815	2719AB	0,22	0,57	52,84	37,19	6,56	2,63	0,07	<0,08	n.a.	0,34	0,04	<0,03	<0,04	100,49
9816	2719AB	0,17	0,56	53,69	37,44	6,27	2,35	<0,04	0,08	n.a.	0,54	0,04	<0,03	<0,04	101,15
9824	2719AB	0,17	0,73	52,58	37,84	6,52	1,84	<0,04	<0,08	n.a.	0,40	<0,04	<0,03	<0,04	100,13
9826	2715	0,33	6,82	38,66	49,35	4,10	0,07	0,15	0,13	n.a.	0,51	<0,04	<0,03	<0,04	100,16
9838	2719AB	0,18	18,78	14,22	59,15	4,89	0,11	0,26	0,12	n.a.	0,14	<0,04	<0,03	<0,04	97,86
Ca-Phosphat															
9839	2719AB	4,11	0,12	0,15	1,59	0,90	<0,04	52,27	0,08	n.a.	0,10	0,08	0,18	37,34	96,92
Gläser und feinkristalline Grundmasse															
9644	2670	59,42	0,68	8,91	4,65	5,27	3,96	10,27	n.a.	<0,08	0,10	0,36	5,02	0,12	98,76
9645	2670	66,98	0,66	9,57	3,22	2,85	1,98	5,10	n.a.	<0,08	<0,07	0,31	6,94	0,15	97,79
9646	2670	58,95	0,63	9,32	16,07	3,47	2,34	4,83	n.a.	<0,08	<0,07	0,33	2,23	0,29	98,46
9647	2670	60,41	0,71	8,53	9,76	3,34	3,30	8,06	n.a.	<0,08	<0,07	0,49	3,33	0,31	98,27
9662	2670	60,21	0,75	9,11	4,81	5,19	3,87	10,27	n.a.	<0,08	<0,07	0,33	4,72	0,12	99,41
9663	2670	59,75	0,68	9,18	4,86	5,17	3,87	10,20	n.a.	<0,08	<0,07	0,35	5,17	0,13	99,40
9664	2670	59,83	0,68	9,13	4,72	5,11	3,87	10,27	n.a.	<0,08	0,11	0,35	4,99	0,15	99,21
9665	2670	67,10	0,68	9,72	3,39	3,10	2,19	5,26	n.a.	<0,08	<0,07	0,34	6,81	0,18	98,81
9666	2670	66,47	0,69	9,70	3,62	3,24	2,31	5,58	n.a.	<0,08	<0,07	0,39	6,80	0,16	99,01
9667	2670	66,29	0,69	9,53	3,74	3,37	2,14	5,85	n.a.	<0,08	<0,07	0,39	6,72	0,19	99,00
9668	2670	59,30	0,70	9,26	16,41	3,43	2,41	4,86	n.a.	<0,08	<0,07	0,23	2,13	0,30	99,03
9669	2670	58,91	0,69	9,12	16,10	3,25	2,33	4,88	n.a.	<0,08	<0,07	0,29	2,47	0,25	98,34
9670	2670	58,82	0,69	9,17	16,03	3,45	2,31	4,99	n.a.	0,09	<0,07	0,31	2,40	0,31	98,57
9671	2670	60,81	0,62	8,51	9,90	3,34	3,28	8,17	n.a.	<0,08	<0,07	0,50	3,48	0,29	98,90
9672	2670	60,87	0,64	8,56	9,75	3,13	3,19	8,20	n.a.	<0,08	<0,07	0,51	3,31	0,32	98,51
9686	2714	49,48	0,65	10,90	14,45	8,85	2,61	6,57	n.a.	<0,08	0,08	0,29	4,90	0,17	99,02
9687	2714	53,42	0,66	10,49	12,49	7,59	2,27	5,45	n.a.	<0,08	<0,07	0,29	5,61	0,14	98,45
9688	2714	76,47	0,83	9,85	0,65	0,74	0,56	1,00	n.a.	<0,08	<0,07	0,11	6,61	<0,04	96,88
9689	2714	74,66	0,96	12,25	2,36	0,59	0,97	0,68	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	6,04	<0,04	98,74
9690	2714	69,40	0,91	12,38	2,17	2,02	1,91	2,57	n.a.	<0,08	<0,07	0,25	6,60	<0,04	98,21
9699	2714	49,33	0,73	10,82	14,58	8,75	2,53	6,48	n.a.	<0,08	<0,07	0,30	4,84	0,17	98,58
9700	2714	49,52	0,69	10,85	14,09	8,66	2,53	6,51	n.a.	<0,08	0,07	0,27	4,93	0,18	98,33
9701	2714	49,55	0,72	10,98	14,51	8,90	2,53	6,53	n.a.	<0,08	<0,07	0,33	4,83	0,16	99,14
9702	2714	54,59	0,65	10,40	12,64	7,69	2,26	5,44	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,09	0,15	97,19
9703	2714	55,61	0,67	10,70	11,59	7,22	2,08	5,04	n.a.	<0,08	<0,07	0,33	5,80	0,04	99,09
9704	2714	56,70	0,58	10,72	10,50	6,60	1,91	4,53	n.a.	<0,08	<0,07	0,25	6,37	0,04	98,20
9705	2714	74,23	0,85	10,22	1,41	0,81	0,63	1,12	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	6,95	0,05	96,43
9706	2714	74,56	0,95	10,86	0,37	0,96	0,69	1,24	n.a.	<0,08	<0,07	0,15	6,94	<0,04	96,80
9707	2714	77,49	0,78	9,16	0,46	0,81	0,51	0,90	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	6,91	<0,04	97,21
9708	2714	75,01	0,95	12,13	2,33	0,59	0,95	0,80	n.a.	<0,08	<0,07	0,08	3,56	<0,04	96,41
9709	2714	72,10	0,95	12,02	3,81	0,63	0,96	0,77	n.a.	<0,08	0,08	0,19	6,03	0,09	97,69
9710	2714	74,28	0,96	11,80	2,23	0,61	0,93	0,66	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	5,89	<0,04	97,63
9711	2714	69,14	0,91	12,36	2,21	2,21	2,01	2,55	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	6,64	<0,04	98,25
9712	2714	69,49	0,92	12,29	2,37	2,21	1,86	2,47	n.a.	<0,08	<0,07	0,23	6,62	<0,04	98,51
9713	2714	69,12	0,91	12,28	3,33	2,07	1,89	2,51	n.a.	<0,08	<0,07	0,24	6,50	0,06	98,91
9834	2715	54,67	<0,05	23,31	0,51	0,21	<0,04	<0,04	0,31	n.a.	<0,07	0,43	20,65	<0,04	100,10
9835	2715	54,87	<0,05	23,29	0,29	0,12	<0,04	<0,04	0,24	n.a.	<0,07	0,36	20,83	<0,04	100,08
9836	2715	54,41	<0,05	23,05	0,34	0,09	<0,04	<0,04	0,42	n.a.	<0,07	0,31	20,73	<0,04	99,39
9840	2719AB	53,71	0,12	23,22	0,76	0,27	<0,04	<0,04	1,77	n.a.	0,08	0,24	20,48	<0,04	100,70
9903	2721	66,98	0,85	12,75	0,22	4,52	2,02	5,51	0,13	<0,08	<0,07	0,39	6,01	<0,04	99,39
9904	2721	62,51	0,89	10,15	0,24	4,30	6,64	5,55	0,21	<0,08	<0,07	0,33	5,52	<0,04	96,35
9905	2721	69,00	0,72	11,81	0,51	3,76	2,80	4,54	0,17	<0,08	<0,07	0,33	6,34	0,04	100,02
9906	2721	66,59	0,83	11,57	0,57	4,84	3,57	5,81	<0,08	0,14	<0,07	0,34	5,58	<0,04	99,89

*) FeO = Gesamteisen, n.a.= nicht analysiert, "<" = Wert unter der jeweils angegebenen Nachweisgrenze

Tab. 3. Verhüttungsplatz Nr. 72, Wienhagen (alle Angaben in Gew.-%).

Analyse Nr.	Präparat	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*)	MnO	MgO	CaO	BaO	PbO	ZnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Summe
Olivin															
9743	2671	30,50	<0,05	<0,07	44,80	22,23	2,50	0,42	0,18	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,18	100,90
9744	2671	30,59	<0,05	<0,07	45,71	22,41	2,40	0,44	0,09	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,16	101,94
9745	2671	29,94	<0,05	<0,07	45,00	22,18	2,39	0,41	<0,08	n.a.	<0,07	0,04	<0,03	0,35	100,41
9749	2671	30,45	<0,05	<0,07	45,52	21,16	2,86	0,33	0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,18	100,65
9750	2671	30,80	<0,05	<0,07	45,20	21,28	2,74	0,37	0,14	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,14	100,75
9753	2671	29,33	<0,05	<0,07	56,77	11,08	1,52	0,22	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,59	99,65
9754	2671	30,80	<0,05	<0,07	43,97	23,29	3,19	0,32	<0,08	n.a.	0,10	<0,04	<0,03	0,05	101,77
9755	2671	30,31	<0,05	<0,07	45,76	21,87	2,75	0,40	0,15	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,10	101,37
9771	2674A	30,16	<0,05	<0,07	45,55	22,43	2,30	0,43	<0,08	n.a.	0,09	0,04	<0,03	0,10	101,11
9772	2674A	30,40	<0,05	<0,07	45,29	22,62	2,20	0,47	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,04	0,04	101,13
9787	2676	29,36	0,09	0,29	54,12	13,05	0,91	1,09	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,04	0,12	99,10
9788	2676	30,02	<0,05	0,16	53,51	13,62	1,94	0,76	<0,08	n.a.	0,08	<0,04	<0,03	0,04	100,15
9789	2676	30,19	0,05	0,19	53,25	13,89	2,15	0,75	0,15	n.a.	<0,07	<0,04	0,04	0,07	100,74
9790	2676	30,06	0,07	0,30	52,83	13,69	2,30	0,69	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,14	100,20
9791	2676	29,88	0,05	0,26	53,63	13,52	1,81	0,86	0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	0,15	100,31
9805	2682	30,71	0,21	0,66	8,64	57,36	3,22	0,22	0,11	n.a.	<0,07	<0,04	0,31	<0,04	101,49
9806	2682	30,08	0,23	0,63	9,01	57,36	3,15	0,22	<0,08	n.a.	0,08	<0,04	0,24	<0,04	101,06
9870	2671	30,98	<0,05	<0,07	49,50	17,00	3,64	0,43	<0,08	0,11	<0,07	<0,04	<0,03	0,28	102,09
9871	2671	30,65	<0,05	<0,07	49,55	16,63	2,84	0,47	<0,08	0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,39	100,78
9872	2671	31,22	<0,05	0,07	43,18	20,33	5,74	0,49	<0,08	0,12	0,15	<0,04	0,04	0,19	101,55
9873	2671	31,34	<0,05	<0,07	45,44	18,71	5,25	0,40	<0,08	0,12	0,12	<0,04	<0,03	0,30	101,85
9874	2671	31,44	<0,05	<0,07	46,53	18,62	4,18	0,56	<0,08	0,13	0,10	<0,04	<0,03	0,11	101,75
Pyroxen															
9757	2674A	48,02	0,91	0,75	32,92	8,89	7,75	0,70	0,08	n.a.	0,75	0,06	0,05	<0,04	100,88
9761	2674A	47,24	0,16	0,15	15,93	30,73	3,81	3,25	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,03	<0,04	101,33
9763	2674A	48,71	0,45	0,35	28,25	8,33	10,50	0,83	<0,08	n.a.	3,38	0,10	0,03	<0,04	100,93
9764	2674A	49,29	0,37	0,29	29,14	7,67	9,61	0,76	<0,08	n.a.	3,35	0,12	0,03	<0,04	100,67
9765	2674A	48,59	0,17	0,18	28,21	10,15	8,53	1,41	<0,08	n.a.	3,05	0,10	<0,03	<0,04	100,41
9775	2674A	48,95	0,53	1,39	13,45	29,67	3,15	3,09	0,24	n.a.	0,13	<0,04	0,84	0,08	101,55
Mn-Cordierit (?)															
9800	2682	40,47	1,20	25,59	4,14	20,64	0,36	1,85	1,77	n.a.	<0,07	0,45	3,27	<0,04	99,78
9801	2682	39,10	1,18	26,09	3,97	19,22	0,29	1,34	1,80	n.a.	<0,07	0,42	4,46	0,04	97,91
9802	2682	39,27	1,14	26,38	3,97	18,72	0,31	1,32	1,86	n.a.	0,11	0,49	4,94	0,04	98,55
9837	2682	40,33	1,48	21,73	3,26	25,72	0,44	2,21	1,62	n.a.	<0,07	0,33	2,31	<0,04	99,47
Mn-Fe-Al-Spinell															
9796	2682	0,09	0,31	58,93	11,75	24,49	3,99	<0,04	<0,08	n.a.	0,13	<0,04	0,06	<0,04	99,85
9797	2682	0,08	0,39	59,11	11,21	24,88	3,76	0,06	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,08	<0,04	99,64
9799	2682	0,11	0,30	58,16	11,58	24,29	3,82	0,04	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	<0,03	<0,04	98,36
9803	2682	0,09	0,49	58,53	13,02	23,66	3,50	<0,04	<0,08	n.a.	0,08	0,05	0,05	<0,04	99,48
9804	2682	0,07	0,39	59,54	7,90	28,28	4,14	<0,04	0,13	n.a.	0,11	<0,04	0,03	<0,04	100,61
9807	2682	0,09	0,30	60,76	7,73	29,30	3,43	<0,04	<0,08	n.a.	<0,07	<0,04	0,05	<0,04	101,68
MnO-reiche Gläser															
9487	2680	57,13	0,58	10,42	5,59	18,51	0,95	0,85	n.a.	<0,08	0,08	0,16	3,09	<0,04	97,36
9488	2680	57,17	0,57	10,02	7,07	18,42	0,96	0,86	n.a.	<0,08	<0,07	0,11	2,92	<0,04	98,12
9522	2680	57,13	0,55	10,32	5,49	18,56	0,98	0,84	n.a.	<0,08	<0,07	0,09	3,24	<0,04	97,20
9523	2680	57,15	0,54	10,31	5,66	18,81	1,01	0,82	n.a.	<0,08	<0,07	0,14	3,07	<0,04	97,52
9524	2680	57,17	0,51	10,13	6,40	17,99	0,95	0,86	n.a.	<0,08	<0,07	0,14	3,00	<0,04	97,15
9525	2680	57,07	0,53	10,20	6,30	18,51	0,94	0,85	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,92	<0,04	97,47
9526	2680	57,04	0,53	10,10	6,37	18,22	0,91	0,90	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	3,06	<0,04	97,28
9527	2680	56,96	0,55	9,97	6,73	18,27	1,02	0,89	n.a.	<0,08	<0,07	0,12	2,99	<0,04	97,50
9528	2680	56,25	0,58	10,08	7,00	18,44	0,98	0,92	n.a.	<0,08	<0,07	0,12	2,97	<0,04	97,41
9529	2680	56,36	0,54	9,84	7,06	18,19	0,95	0,87	n.a.	<0,08	<0,07	0,14	2,97	<0,04	96,93
9587	2681AB	57,66	0,48	8,85	6,30	17,51	1,82	1,82	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,85	0,06	97,53
9588	2681AB	56,45	0,47	8,82	7,59	18,01	2,12	2,04	n.a.	<0,08	<0,07	0,15	2,58	<0,04	98,27
9589	2681AB	58,93	0,49	8,94	6,18	16,37	1,91	1,93	n.a.	<0,08	<0,07	0,15	2,98	<0,04	97,88
9590	2681AB	56,04	0,48	8,79	7,93	17,76	2,17	1,89	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	2,54	<0,04	97,81
9591	2681AB	64,40	0,39	9,85	2,11	12,90	1,79	1,74	n.a.	<0,08	<0,07	0,17	3,97	<0,04	97,34
9592	2684	55,18	0,57	11,38	12,87	11,99	0,88	1,55	n.a.	<0,08	<0,07	0,23	3,26	<0,04	97,97
9593	2684	55,86	0,51	11,74	12,23	12,34	0,90	1,63	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,24	<0,04	98,67
9594	2684	56,75	0,56	11,91	11,37	11,72	0,91	1,67	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,46	<0,04	98,63
9595	2684	53,99	0,58	11,49	13,93	12,77	0,95	1,67	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,07	0,05	98,76
9596	2664	55,13	0,59	11,00	4,94	20,01	1,38	2,12	n.a.	<0,08	0,08	0,19	3,86	<0,04	99,30
9597	2664	55,27	0,49	10,57	6,47	19,11	1,16	1,92	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	3,57	<0,04	98,77
9598	2664	54,64	0,59	10,58	6,08	20,01	1,22	1,71	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	3,43	<0,04	98,48
9599	2664	55,85	0,63	10,67	5,91	19,62	1,26	1,88	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	3,57	<0,04	99,58
9600	2681AB	56,81	0,46	8,71	6,38	18,33	1,94	1,92	n.a.	<0,08	<0,07	0,12	2,77	<0,04	97,48
9601	2681AB	56,30	0,41	8,80	6,72	18,38	1,96	1,89	n.a.	<0,08	0,13	0,11	2,72	<0,04	97,42
9602	2681AB	56,37	0,48	8,85	6,61	18,45	1,92	1,88	n.a.	<0,08	<0,07	0,12	2,87	<0,04	97,61
9603	2681AB	56,41	0,43	8,66	7,74	17,26	2,14	1,84	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,54	0,06	97,23
9604	2681AB	56,16	0,45	8,66	7,83	18,21	2,19	1,94	n.a.	<0,08	<0,07	0,18	2,52	<0,04	98,18
9605	2681AB	56,11	0,43	8,66	7,71	18,56	2,21	2,01	n.a.	<0,08	<0,07	0,12	2,54	<0,04	98,35
9606	2681AB	60,74	0,44	9,19	5,53	14,38	1,77	1,77	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	3,28	<0,04	97,34
9607	2681AB	59,03	0,47	9,13	6,35	16,13	1,87	1,83	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,94	<0,04	97,94
9608	2681AB	59,38	0,45	9,14	6,11	16,01	1,83	1,81	n.a.	<0,08	<0,07	0,17	3,19	<0,04	98,11
9610	2681AB	68,43	0,32	8,99	3,03	9,60	1,27	1,27	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	4,42	<0,04	97,49
9611	2681AB	72,92	0,28	8,61	2,47	6,86	0,83	0,93	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	4,74	<0,04	97,85
9612	2681AB	68,35	0,36	9,09	3,61	9,32	1,17	1,18	n.a.	<0,08	<0,07	0,18	4,33	<0,04	97,59
9613	2681AB	55,40	0,47	8,73	8,13	17,46	2,03	2,05	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,57	<0,04	97,03
9614	2681AB	56,07	0,43	8,79	7,77	16,66	1,99	1,93	n.a.	<0,08	<0,07	0,13	2,77	0,06	96,67
9616	2681AB	65,04	0,36	9,84	1,97	12,37	1,64	1,62	n.a.	<0,08	<0,07	0,17	4,21	<0,04	97,22
9617	2681AB	67,35	0,39	10,00	1,99	10,04	1,31	1,49	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	4,81	<0,04	97,58
9618	2684	54,70	0,56	11,31	11,84	11,21	0,86	1,64	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	3,61	<0,04	95,94
9619	2684	53,92	0,58	11,35	13,98	13,09	0,90	1,66	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	2,99	<0,04	98,71
9620	2684	53,41	0,67	11,47	14,46	13,42	0,98	1,60	n.a.	<0,08	0,11	0,19	2,80	<0,04	99,12
9621	2684	55,63	0,57	11,82	12,21	12,02	0,97	1,65	n.a.	<0,08	<0,07	0,25	3,30	<0,04	98,43

*) FeO = Gesamteisen, n.a.= nicht analysiert, "<" = Wert unter der jeweils angegebenen Nachweisgrenze

Tab. 4. Verhüttungsplatz Nr. 90, Marienheide (alle Angaben in Gew.-%).

Analyse Nr.	Präparat	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*)	MnO	MgO	CaO	BaO	PbO	ZnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Summe
Olivin															
9961	2697	30,41	0,08	0,07	66,02	1,59	0,69	2,31	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,09	101,37
9962	2697	30,51	<0,05	0,07	65,23	1,60	0,37	2,92	0,14	<0,08	<0,07	<0,04	0,04	0,05	100,98
9946	2695	31,51	<0,05	0,07	61,51	1,92	5,65	0,06	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,47	101,28
9950	2695	31,51	0,08	0,10	61,09	2,11	5,69	<0,04	0,11	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,46	101,27
9939	2697	30,44	<0,05	0,16	64,98	1,76	2,17	0,77	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,07	100,41
9938	2697	30,76	0,08	0,19	64,96	1,71	2,23	0,75	<0,08	0,08	<0,07	<0,04	0,03	0,15	101,01
9937	2697	30,10	<0,05	0,32	65,42	1,83	2,53	0,72	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,23	101,22
9960	2697	30,21	0,05	0,40	65,38	1,66	2,64	0,71	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	0,18	101,33
Mullit/Sillimanit															
9842	2700	27,53	0,34	70,22	0,71	<0,06	<0,04	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	0,06	<0,04	99,07
9844	2700	30,27	0,38	66,36	0,73	<0,06	0,04	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	0,15	<0,04	97,97
9847	2700	31,83	0,47	64,75	0,55	0,12	0,04	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	0,04	0,35	<0,04	98,19
Fe-Mn-Al-Spinelle															
9931	2697	0,33	0,65	0,52	95,11	0,68	0,11	<0,04	0,10	<0,08	0,08	0,09	<0,03	<0,04	97,69
9933	2697	0,36	0,76	0,60	96,06	0,55	<0,04	0,05	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	<0,04	98,48
9932	2697	0,36	0,99	0,67	95,91	0,49	<0,04	0,08	0,13	0,13	<0,07	<0,04	<0,03	<0,04	98,76
9943	2695	<0,07	<0,05	1,52	90,32	2,04	1,19	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	0,06	<0,03	<0,04	95,32
9953	2699A	0,27	2,17	11,39	77,68	1,19	2,02	<0,04	<0,08	<0,08	0,24	<0,04	0,06	<0,04	95,09
9956	2699A	0,20	0,29	14,49	59,91	13,37	5,77	<0,04	<0,08	<0,08	2,37	0,10	<0,03	<0,04	96,53
9935	2697	0,25	0,44	52,20	45,56	0,69	2,22	<0,04	<0,08	<0,08	0,11	<0,04	<0,03	<0,04	101,53
9958	2697	0,26	0,31	52,60	43,26	0,62	2,43	0,04	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	0,05	<0,04	99,75
9959	2697	0,33	0,41	52,78	43,50	0,61	2,42	<0,04	<0,08	0,12	<0,07	<0,04	<0,03	<0,04	100,24
9936	2697	0,16	0,38	53,53	43,29	0,61	2,42	<0,04	<0,08	<0,08	0,09	<0,04	<0,03	<0,04	100,52
9934	2697	0,20	0,30	53,77	42,94	0,64	2,55	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	<0,04	<0,03	<0,04	100,43
Glas															
9485	2703	60,24	1,03	15,77	13,35	1,91	1,22	0,76	n.a.	0,85	<0,07	0,31	2,57	0,20	98,24
9486	2703	59,18	1,31	19,27	8,54	2,14	1,03	1,16	n.a.	0,70	<0,07	0,59	3,39	0,23	97,59
9506	2703	59,65	1,00	15,56	14,50	1,70	1,14	0,78	n.a.	0,80	<0,07	0,29	2,64	0,21	98,29
9507	2703	59,60	1,00	15,50	14,57	1,77	1,12	0,77	n.a.	0,81	<0,07	0,26	2,60	0,23	98,28
9508	2703	59,45	1,05	15,35	14,43	1,67	1,07	0,75	n.a.	0,62	<0,07	0,23	2,48	0,22	97,37
9509	2703	59,72	1,07	15,27	13,89	1,80	1,16	0,78	n.a.	0,77	<0,07	0,25	2,58	0,17	97,51
9510	2703	65,79	0,90	14,28	9,46	1,40	0,75	0,55	n.a.	0,26	<0,07	0,44	3,54	0,13	97,56
9511	2703	66,00	0,89	14,32	9,60	1,27	0,79	0,56	n.a.	0,39	0,07	0,46	3,66	0,17	98,18
9512	2703	65,77	0,89	14,38	9,37	1,18	0,85	0,54	n.a.	0,39	<0,07	0,49	3,53	0,14	97,53
9513	2703	66,28	0,89	14,44	9,36	1,30	0,79	0,60	n.a.	0,33	<0,07	0,46	3,62	0,08	98,16
9514	2703	65,60	0,87	14,38	9,40	1,32	0,79	0,60	n.a.	0,42	<0,07	0,49	3,55	0,11	97,53
9515	2703	74,79	1,10	12,55	2,66	0,16	0,76	0,29	n.a.	0,16	0,07	0,82	4,49	0,23	98,08
9516	2703	76,13	0,99	11,48	2,58	0,15	0,75	0,27	n.a.	0,40	0,09	0,84	4,51	0,16	98,35
9518	2703	65,07	1,12	14,28	10,08	0,57	1,35	0,65	n.a.	0,40	<0,07	0,93	3,80	0,26	98,57
9519	2703	65,57	0,94	14,18	9,71	0,58	1,17	0,60	n.a.	0,28	0,10	0,90	3,54	0,24	97,81
9520	2703	67,75	0,93	12,97	7,84	0,36	0,79	0,68	n.a.	0,39	<0,07	1,45	5,17	0,22	98,55
9521	2703	65,74	1,04	14,39	10,55	0,71	1,33	0,51	n.a.	0,26	<0,07	0,77	3,39	0,28	99,02
9533	2701	55,45	0,55	12,19	2,88	21,15	1,14	2,40	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,70	<0,04	99,76
9534	2701	55,05	0,56	11,96	2,31	22,47	1,07	2,19	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,63	<0,04	99,51
9535	2701	56,32	0,54	11,74	3,16	20,32	1,12	2,28	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	3,47	<0,04	99,19
9536	2701	52,76	0,50	11,77	5,39	21,71	1,15	2,70	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,57	<0,04	99,77
9537	2702	56,34	0,56	11,25	7,22	17,25	0,98	2,26	n.a.	<0,08	<0,07	0,18	3,55	<0,04	99,61
9538	2702	55,71	0,58	10,86	7,85	18,19	0,84	2,41	n.a.	<0,08	<0,07	0,18	3,26	<0,04	99,93
9539	2702	56,32	0,58	11,40	7,19	16,05	0,91	2,31	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	3,57	<0,04	98,56
9554	2701	55,09	0,55	12,05	2,89	20,29	1,10	2,47	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,57	<0,04	98,24
9555	2701	55,06	0,58	12,06	2,92	20,83	1,09	2,47	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,44	<0,04	98,70
9556	2701	54,66	0,53	12,09	2,90	21,07	1,08	2,48	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,57	<0,04	98,60
9557	2701	55,61	0,51	12,20	2,77	20,29	1,04	2,41	n.a.	<0,08	<0,07	0,26	3,67	<0,04	98,76
9558	2701	55,43	0,60	12,09	2,74	20,73	1,01	2,51	n.a.	<0,08	<0,07	0,23	3,62	<0,04	98,99
9559	2701	55,12	0,57	12,10	2,27	21,87	1,06	2,17	n.a.	0,09	<0,07	0,20	3,34	<0,04	98,85
9560	2701	55,06	0,45	12,02	2,39	22,03	1,03	2,25	n.a.	<0,08	<0,07	0,18	3,47	<0,04	98,91
9561	2701	55,07	0,53	11,95	2,30	22,52	1,10	2,21	n.a.	<0,08	<0,07	0,31	3,38	<0,04	99,44
9562	2701	55,17	0,56	12,10	2,29	22,53	1,06	2,29	n.a.	<0,08	<0,07	0,26	3,47	0,04	99,81
9563	2701	54,81	0,57	12,10	2,24	22,55	1,03	2,26	n.a.	<0,08	0,07	0,21	3,39	<0,04	99,23
9564	2701	56,67	0,56	11,88	3,10	20,76	1,06	2,35	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	2,75	<0,04	99,33
9565	2701	56,32	0,51	11,79	3,25	19,87	1,00	2,31	n.a.	<0,08	<0,07	0,26	3,66	<0,04	99,02
9566	2701	56,14	0,58	11,80	3,03	19,99	1,01	2,30	n.a.	<0,08	<0,07	0,23	3,60	<0,04	98,71
9567	2701	56,05	0,51	11,95	3,26	19,85	1,01	2,31	n.a.	<0,08	0,08	0,23	3,44	<0,04	98,72
9568	2701	56,34	0,50	11,87	3,24	20,34	1,03	2,34	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,62	0,04	99,57
9569	2701	55,86	0,49	11,76	3,20	19,37	1,02	2,31	n.a.	<0,08	0,09	0,20	3,54	<0,04	97,89
9570	2701	52,60	0,53	11,53	5,44	21,06	1,06	2,63	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,44	<0,04	98,58
9571	2701	52,85	0,53	11,74	5,52	20,41	1,14	2,61	n.a.	<0,08	<0,07	0,22	3,63	<0,04	98,66
9572	2701	53,23	0,49	11,74	5,48	20,95	1,11	2,64	n.a.	0,09	<0,07	0,24	2,95	<0,04	98,93
9573	2701	52,95	0,61	11,69	5,33	21,27	1,10	2,63	n.a.	<0,08	<0,07	0,19	3,58	<0,04	99,37
9574	2702	55,91	0,59	11,12	7,42	16,91	1,27	2,08	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	3,37	<0,04	98,87
9575	2702	56,19	0,54	11,24	7,53	17,19	1,41	2,07	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	3,45	<0,04	99,78
9576	2702	56,05	0,53	11,33	7,39	17,01	1,32	2,02	n.a.	<0,08	0,07	0,16	3,41	<0,04	99,32
9577	2702	56,32	0,54	11,08	7,24	16,92	1,25	2,12	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,37	<0,04	99,08
9578	2702	56,89	0,55	11,58	6,81	16,20	0,49	2,59	n.a.	<0,08	<0,07	0,25	3,82	<0,04	99,29
9579	2702	55,65	0,61	11,30	7,55	17,39	1,22	2,07	n.a.	<0,08	0,09	0,16	3,34	<0,04	99,38
9580	2702	56,00	0,59	11,00	7,59	17,88	1,16	2,13	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	3,40	<0,04	99,97
9581	2702	56,47	0,65	11,26	7,27	16,45	0,84	2,22	n.a.	<0,08	<0,07	0,17	3,54	<0,04	98,91
9582	2702	56,01	0,66	11,25	7,42	17,86	1,03	2,23	n.a.	<0,08	<0,07	0,16	3,33	<0,04	100,03
9583	2702	55,34	0,57	11,06	8,08	17,22	0,92	2,21	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	3,45	<0,04	99,08
9584	2702	56,12	0,59	11,23	7,25	17,09	1,37	2,05	n.a.	<0,08	<0,07	0,20	3,52	<0,04	99,47
9585	2702	56,64	0,54	11,12	7,63	17,17	1,32	1,96	n.a.	<0,08	<0,07	0,21	3,44	<0,04	100,03
9586	2702	55,83	0,60	11,12	7,60	17,33	1,21	2,13	n.a.	0,09	<0,07	0,19	3,38	<0,04	99,48
9843	2700	82,62	0,78	10,68	1,13	0,26	0,29	<0,04	<0,08	<0,08	<0,07	0,26	3,77	0,04	99,95
9845	2700	81,55	0,78	10,84	1,12	0,29	0,39	0,05	<0,08	<0,08	<0,07	0,32	3,60	<0,04	98,95
9846	2700	81,56	0,96	11,14	0,97	0,14	0,42	0,05	0,10	<0,08	<0,07	0,34	3,79	0,09	99,57
9955	2699A	67,65	0,54	14,95	4,81	0,67	0,52	2,27	0,63	<0,08	<0,07	0,93	4,24	0,73	98,05

*) FeO = Gesamteisen, n.a.= nicht analysiert, "<" = Wert unter der jeweils angegebenen Nachweisgrenze

Tab. 5. Verhüttungsplatz Nr. 105, Kerspetalsperre (alle Angaben in Gew.-%).

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON ARCHÄOMETALLURGISCHEN EISENSCHLACKEN IM MÄRKISCHEN SAUERLAND

Ingo Keesmann (†), Zahra Hezarkhani und Andreas Kronz

D. Horstmann hatte im Rahmen des VW-Projektes „Eisen- und Stahltechnologie im Märkischen Sauerland" die naturwissenschaftliche Untersuchung der Erze und insbesondere der vielen verschiedenen Schlackenabfälle übernommen. Bis zu seinem leider viel zu frühen Tod im Herbst 1996 hatte er bereits zahlreiche Schlackenvorkommen beprobt, optische Präparate anfertigen lassen und darüber hinaus zahlreiche chemische Analysen im Max Planck-Institut (MPI) für Eisenforschung in Düsseldorf in Auftrag gegeben. Auf Veranlassung von H. L. Knau, Kierspe, hatten die Autoren im Herbst 1997 Gelegenheit, das inzwischen in Kierspe lagernde wissenschaftliche Material von D. Horstmann zu sichten. Dabei war das Ziel, insbesondere die vorliegenden chemisch analytischen Daten der weiteren wissenschaftlichen Auswertung verfügbar zu machen. Zu diesem Zweck wurden 430 chemische Vollanalysen aus den Originalunterlagen von D. Horstmann auf Computer übertragen. Da keine völlige Klarheit über den tatsächlichen Umfang der geleisteten Analytik bestand, erfolgte eine Anfrage beim MPI in Düsseldorf. Von dort wurden den Autoren die Originaldaten von etwa 600 Analysen übermittelt, die im Auftrag von D. Horstmann angefertigt worden waren.

Da die MPI-Analysen lediglich mit einer Nummer ohne weitere Herkunftsbezeichnung gekennzeichnet waren, bestand nun die Schwierigkeit, die beiden Analysensätze zu korrelieren. Als Schlüssel ergab sich: Horstmann-Nr. = MPI-Nummer + 500. Allerdings bestehen im System von D. Horstmann unterschiedliche Nummern für den Analysenauftrag, eigene Proben und Schliffpräparate. Zudem existieren Nummern-Doubletten, die nur teilweise zugeordnet werden konnten. Zusätzlich ergab sich aus einer entsprechenden Anfrage an die Autoren (IK), dass sich unter den vom MPI Düsseldorf untersuchten Eisenschlacken auch Proben anderer Provenienz als das Märkische Sauerland befunden haben könnten. Mit Hilfe des Zahlenschlüssels und dem numerischen Vergleich der analytischen Daten konnten 108 identische oder nahezu identische Analysenpaare gefunden werden. In Tabelle 1 (s. S. 271) sind die Originaldaten des MPI Düsseldorf und von D. Horstmann zu diesen Proben aufgelistet.

Die grafische Auswertung, der nur die Analysenwerte des MPI Düsseldorf zugrunde liegen, ergab ein sehr klares Bild. Die Schlacken lassen sich – mit Ausnahme von drei oder vier Proben – zwei Typen zuordnen (*Abb. 1,1*, s. S. 268). Sie erfolgte nach dem von I. Keesmann ausgearbeiteten System der dreidimensionalen Darstellung.[1]

Die Schlacken vom Typ 1 sind überwiegend kotektisch bzw. eutektisch zusammengesetzt, mit wahrscheinlich Fa-Wu-Hc+Lc (Typ 1a). Daneben finden sich einige Proben, die fast ausschließlich aus Fayalit bestehen dürften und demnach als Erstkristallisate zu deuten sind (Typ 1b).[2] Die Schlacken des Typs 1b zeichnen sich durch sehr variable, teilweise extrem hohe Fe/Mn-Verhältnisse aus. Ferner schließen sich den Schlacken vom Typ 1a einige besonders FeO- oder Eisenmetall(?)-reiche Proben an, die eventuell als Verarbeitungsschlacken interpretiert werden können (Typ 1c) (*Abb. 1,2; 2,1*).

Der Schlackentyp 2 hat in der Diskussion der technologischen Entwicklung bisher kaum eine Rolle gespielt. Er wurde erstmals von Keesmann und Kronz 1999 in Sandbjerg als charakteristisches Abfallprodukt einer eigenständigen frühen Flusseisentechnik vorgestellt. Diese Glasschlacken stammen aus einem Flusseisenverfahren, in dem CaO nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt und demgegenüber K_2O besonders wichtig ist. In *Abbildung 1,1* ist eine Untergliederung des gesamten Verteilungsbereiches der Schlacken vom Typ 2 insbesondere durch stark variierende Al_2O_3-Gehalte angedeutet, die zur Zeit aber nicht interpretiert werden können.

Für weitere 227 Analysen wurden nach demselben Nummernschlüssel Analysen gefunden, die eine gewisse Ähnlichkeit zueinander aufweisen, bei doch immerhin größeren Unterschieden der numerischen Werte. Diese Analysen sind mit den MPI-Werten und den Werten aus den Aufzeichnungen von D. Horstmann in Tabelle 2 aufgelistet. Die grafische Auswertung erfolgte getrennt nach Daten des MPI und von D. Horstmann. Die MPI-Daten (*Abb. 1,2*) ergeben ein Bild, das dem der *Abbildung 1,1* sehr ähnlich ist. Es sind die gleichen zwei Schlackentypen. Typ 1 ist stärker untergliedert in die Typen 1a und 1b. Typ 1c ist ersetzt durch zwei Proben, die möglicherweise als Erz anzusprechen sind. Die Schlacken vom Typ 2 verteilen sich gegenüber *Abbildung 1,1* über einen sehr viel größeren Bereich. Die Darstellung der Daten von D. Horstmann aus Tabelle 2 zeigt demgegenüber ein ungleich deutlicheres Bild (*Abb. 2,1*). Die Schlacken vom Typ 1 sind scharf untergliedert in eutektische Zusammensetzungen und sowohl Al_2O_3- als auch CaO-arme (vermutliche) Erstkristallisate. Alle übrigen Schlacken gehören dem Typ 2 an

[1] Zuletzt: Keesmann 2005.

[2] Fa= Fayalit (Fe_2SiO_4) bzw. fayalitreicher Olivin, Wu= Wüstit, Fe_xO, Hc= Hercynit ($FeAl_2O_4$) bzw. hercynitreicher Spinell, Lc Leucit ($KAlSi_2O_6$).

und gruppieren sich sehr eng, möglicherweise um ein Eutektikum in diesem Bereich. Auch hier fällt, deutlicher als in Abbildung 1, eine Untergruppe auf, die besonders in der Projektion auf die Ebene CAf im Vergleich höhere C- und A-Werte aufweist.

Aus den in Kierspe eingesehenen Unterlagen geht ebenso wenig wie aus Informationen seitens des MPI Düsseldorf hervor, wie die bei identischen Probennummern doch immerhin teilweise erheblichen Unterschiede in den numerischen Werten und den Details der Aussage zustande kommen. Eine mögliche Erklärung wäre, dass D. Horstmann über die Analysen aus Düsseldorf hinaus noch zusätzliche Informationen zur Verfügung standen, die den Autoren aber nicht bekannt sind. Ein Hinweis auf zusätzliche Quellen ergibt sich aus den Analysen von Hochofenschlacken der Luisenhütte bei Wocklum aus dem frühen 19. Jh. in der Analysenreihe von D. Horstmann (*Tab. 3*, s. S. 278).

Zu den Ca-reichen Schlacken (CaO ≥ 10 Gew.-%) gibt es im Datensatz des MPI keine Parallelen. Die MPI-Liste enthält dafür einige andere CaO-reiche (Hochofen)-Schlacken mit jedoch deutlich abweichender Zusammensetzung und unbekannter Herkunft. Mit insgesamt zwölf Analysen im Datensatz des MPI und fünf Analysen im Datensatz Horstmann sind diese (jüngeren?) CaO-reichen Schlacken nur sehr untergeordnet vertreten. Die Eisentechnologie der Region wird demnach sehr gut durch die Schlackentypen 1 und 2 der *Abbildung 1,1* und *Abbildung 1,2* repräsentiert. Dabei fällt auf, dass die SiO_2-reichen und FeO-armen Flusseisenschlacken teilweise deutlich CaO-ärmer sind als die „Rennfeuerschlacken". Die Annahme von M. Sönnecken (s. S. 279 f.), für eine höhere Fe-Ausbeute (i.e. weniger Fe in den Schlacken) müsste mehr CaO eingesetzt worden sein, findet demnach in den chemischen Analysen keine Bestätigung, ebenso wenig der „wirkungsvolle Einsatz von CaO" nach H. L. Knau (s. S. 295 ff.). Vielmehr spielt bei der Einstellung eutektikumsnaher Zusammensetzungen der Flusseisenschlacken bis auf wenige Ausnahmen besonders K_2O (überwiegend wohl aus Holzkohlenasche) eine besonders wichtige Rolle.

Mit der Zuordnung oder Quasizuordnung von 335 der insgesamt 430 Analysen des von D. Horstmann übernommenen Datensatzes wurde nach unserer Meinung eine einigermaßen gesicherte Grundlage der chemischen Zusammensetzung der archäometallurgischen Eisenschlacken der Region Märkisches Sauerland erstellt. Es sind überwiegend Schlacken eines für die Zeit modernen Flusseisenverfahrens und die zugehörigen Frisch- und Verarbeitungsschlacken, die in ihrer Zusammensetzung den Rennfeuerschlacken im Prinzip entsprechen. Echte (ältere ?) Rennfeuerschlacken, i. e. Schlacken des alten direkten Eisen-Gewinnungsverfahrens aus Erz, können nicht ausgeschlossen werden. Ca-reiche Hochofenschlacken sind subrezenten Öfen zuzuordnen und in der Analysensammlung von D. Horstmann nur sehr untergeordnet vertreten.

Auf den Versuch, die Analysen des MPI ohne mögliche Zuordnung und die übrigen Analysen von D. Horstmann ohne MPI-Parallelen auszuwerten, wurde verzichtet.

DIE HORSTMANN-(MPI-)DATEN IM VERGLEICH

Abbildung 3 (s. S. 270) umfasst 338 Analysen der Eisentechnologie sehr verschiedener Herkunft (Tabelle 4, s. S. 278). Bis auf eine einzige Analyse konnten alle Werte sehr präzise einzelnen Schlackenfeldern zugeordnet werden.

Die Analysen von D. Horstmann sind teilweise mit bestimmten anderen Schlackenserien vergleichbar. Dies gilt insbesondere für die Serie Horstmann-1 mit ihren hohen FeO-Gehalten (*Abb. 3*: Horstmann 1,2 im Vergleich mit 1,1 und 1,3). Unter den einzelnen Schlacken aus ca. 2000 Jahren Technologiegeschichte der *Abbildung 3* findet jedoch die Serie vom Typ Horstmann-2 keine Parallele. Umgekehrt ist eine vermutlich pyroxenreiche Serie (*Abb. 3*: 1,4, Serneels) nur einmal vertreten. Ähnliches gilt für die Serie 3,1 (Lydres, Besancon-93, vermutlich Melilith-Pyroxen-Schlacken). Unabhängig von der Zeit, in der die verschiedenen Schlacken entstanden, fallen die Positionen der Schlackenanalysen mit eutektischen Bereichen zusammen.[3]

Die Tendenz zur Anreicherung in einem engen, eutektischen Bereich ist in 3,2 am geringsten ausgeprägt, wahrscheinlich entsprechend einem niedrigen Temperaturgradienten in dieser Zone. Sie ist jedoch sehr deutlich in den Fe-/Mn-ärmsten Gliedern (Hochofenschlacken, „Luisenhütte") dieser Serie. Die Tendenz zur Anreicherung in definierten kotektischen Bereichen hat zur Konsequenz, dass die Stoffverteilung über den gesamten Bereich und unabhängig von der Zeit nicht homogen ist. Daraus ergibt sich, dass sich die Zusammensetzung der Eisenschlacken im Verlauf der technologischen Entwicklung nicht kontinuierlich entwickelt hat.

DANKSAGUNG

Herrn H.L. Knau sagen wir herzlichen Dank für sein Interesse, seine Bereitschaft und seine Mithilfe, diese Aktion der „Datenrettung" zu starten. Herrn Direktor Prof. Dr. P. Neumann, MPI für Eisenforschung GmbH Düsseldorf, danken wir für die Bereitstellung der Originalanalysen des MPI, ebenso Frau E. Strauch, ebenfalls MPI Düsseldorf, für ihre Geduld bei der Behandlung von Problemfällen in der Übermittlung der langen Reihe der chemischen Analysen.

[3] Ausführliche Diskussion vgl. Keesmann 2005.

LITERATUR

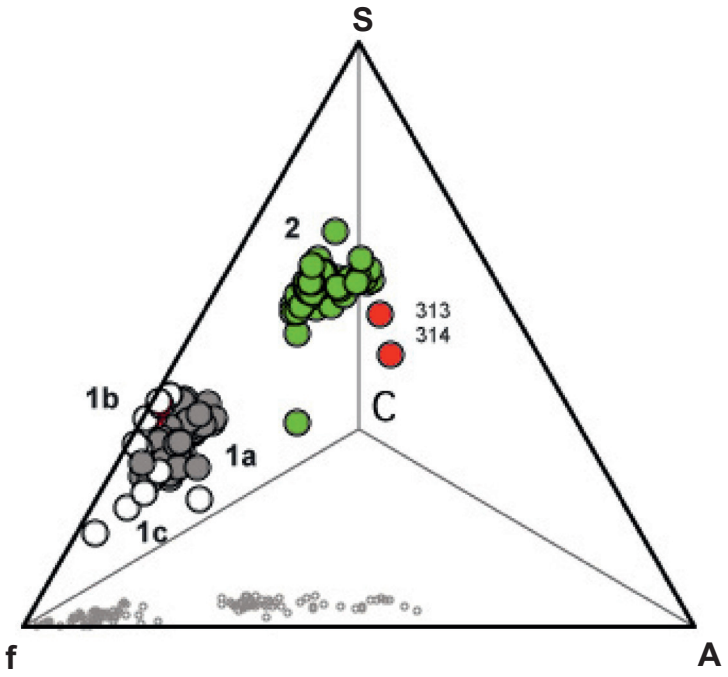
Keesmann 2005
I. Keesmann, Archéométallurgie de l'Iran Central - II. Les scories de cuivre : une comparaison. Cuivre +, Bull. Groupe de Travail International sur la paléométallurgie, A.P.A.B. (Beaune), No. 4, 1/2005, 17–23. http://www.unimainz.de/FB/Geo/Geologie/archaeo/; mit dt. Originalfassung im PDF-Format.

Keesmann/Kronz 2003
I. Keesmann/A. Kronz, Schlacken verschiedener Stufen der Eisentechnologie. In: L. Ch. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Sandbjerg Konferenz UISPP, 16.–20. September 1999. Acta Jutlandica LXXVI:2, Humanites Series 75 (Aarhus 2003) 153–162. 291–297.

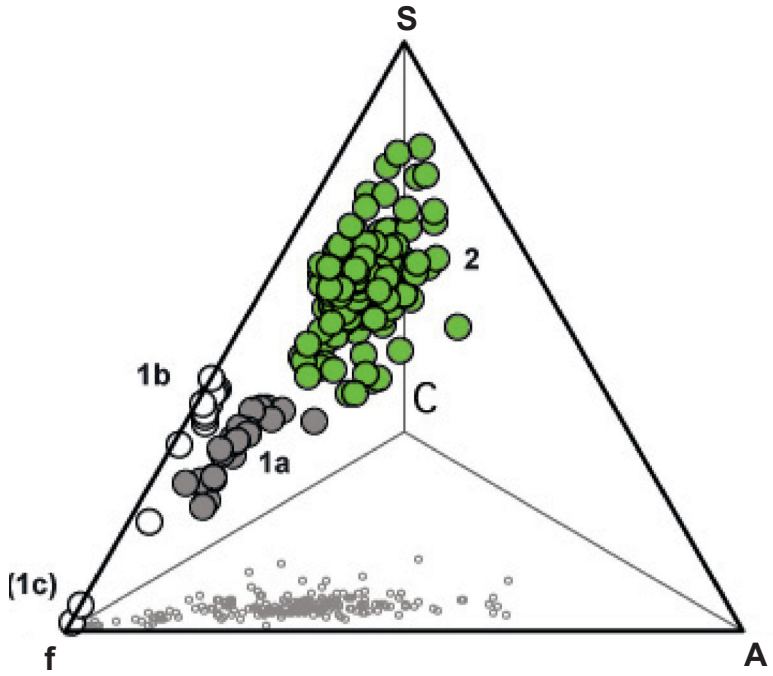
Keesmann/Kronz 2013
I. Keesmann/A. Kronz, Archäometallurgische Untersuchungen von Eisenschlacken im Märkischen Sauerland: Die Verhüttunsplätze Nr. 11, 72, 90 und 105. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 251–263.

Knau 2013
H. L. Knau, Zur Verhüttung in Floß- und Hochöfen. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 295–308.

Sönnecken 2013
M. Sönnecken, Zur Verhüttung in Rennöfen. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Mittelalterliche Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. Archäometallurgische Untersuchungen zu den Anfängen der Hochofentechnologie. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 7 (Rahden/Westfalen 2013) 279–294.

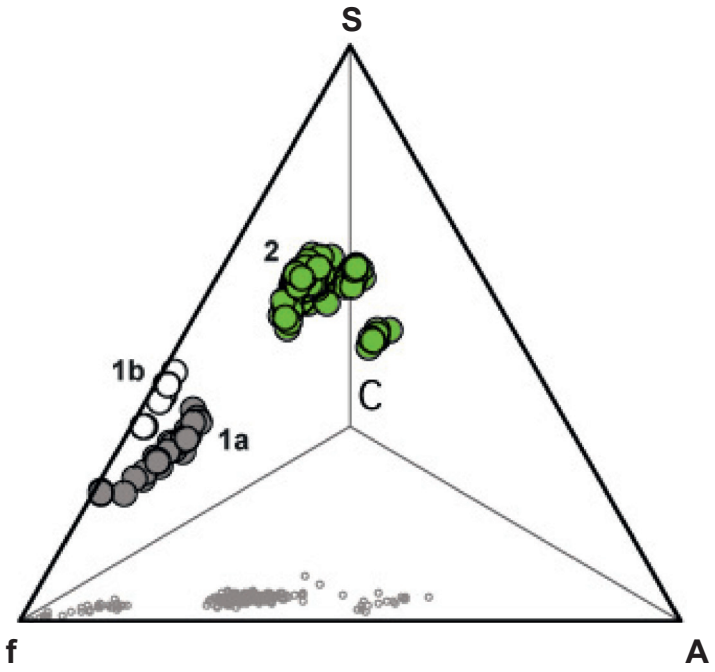


1

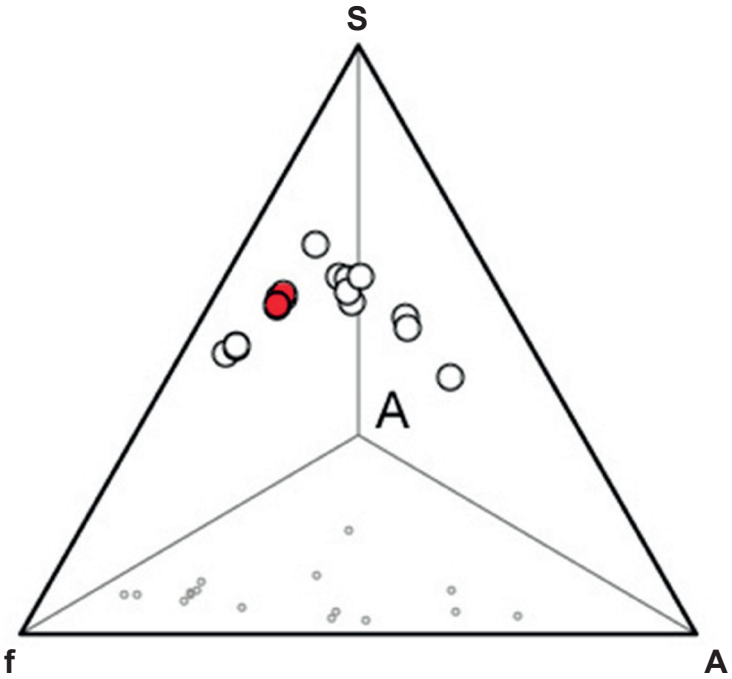


2

Abb. 1. 1: C = CaO + K_2O + Na_2O; A = Al_2O_3; f = FeO + MnO + MgO + ZnO; S = SiO_2 + P_2O_5; Schlackentyp 1 = fayalitreiche „Rennfeuerschlacken“ im weitesten Sinne. Schlackentyp 2 = SiO_2-reiche (Glas)-Schlacken; Schlackentypen der MPI-Serie 1 (a,b,c) und 2. 313 und 314 = Analysen mit besonders hohem Fe/Mn-Verhältnis und zugleich hohem Al_2O_3-Anteil; 2: Analysen der Tabelle 2 (s. S. 272 ff.) im System CAfS mit zusätzlich Projektion der Raumpunkte auf die Tetraederfläche CAf. Nur MPI-Daten. Schlackentypen 1 (a, b, c) und 2. Weiß = MPI-Daten, grau = Daten von Horstmann (Luisenhütte). In beiden Abbildungen sind Massenprozente der Oxide dargestellt (Abb. I. Keesmann).



1



2

Abb. 2. 1: Analysen der Tabelle 2 im System CAfS mit zusätzlicher Projektion der Raumpunkte auf die Tetraederfläche CAf. Nur Daten von D. Horstmann. Schlackentypen 1 (a, b) und 2; 2: Analysen der Tabelle 3 (s. S. 278) im System CAfS mit zusätzlich Projektion der Raumpunkte auf die Tetraederfläche CAf. Ca-reiche Analysen, teilweise ohne bekannte Fundorte. Weiß = MPI-Daten, rot = Daten von Horstmann (Luisenhütte). In beiden Abbildungen sind Massenprozente der Oxide dargestellt (Abb. I. Keesmann).

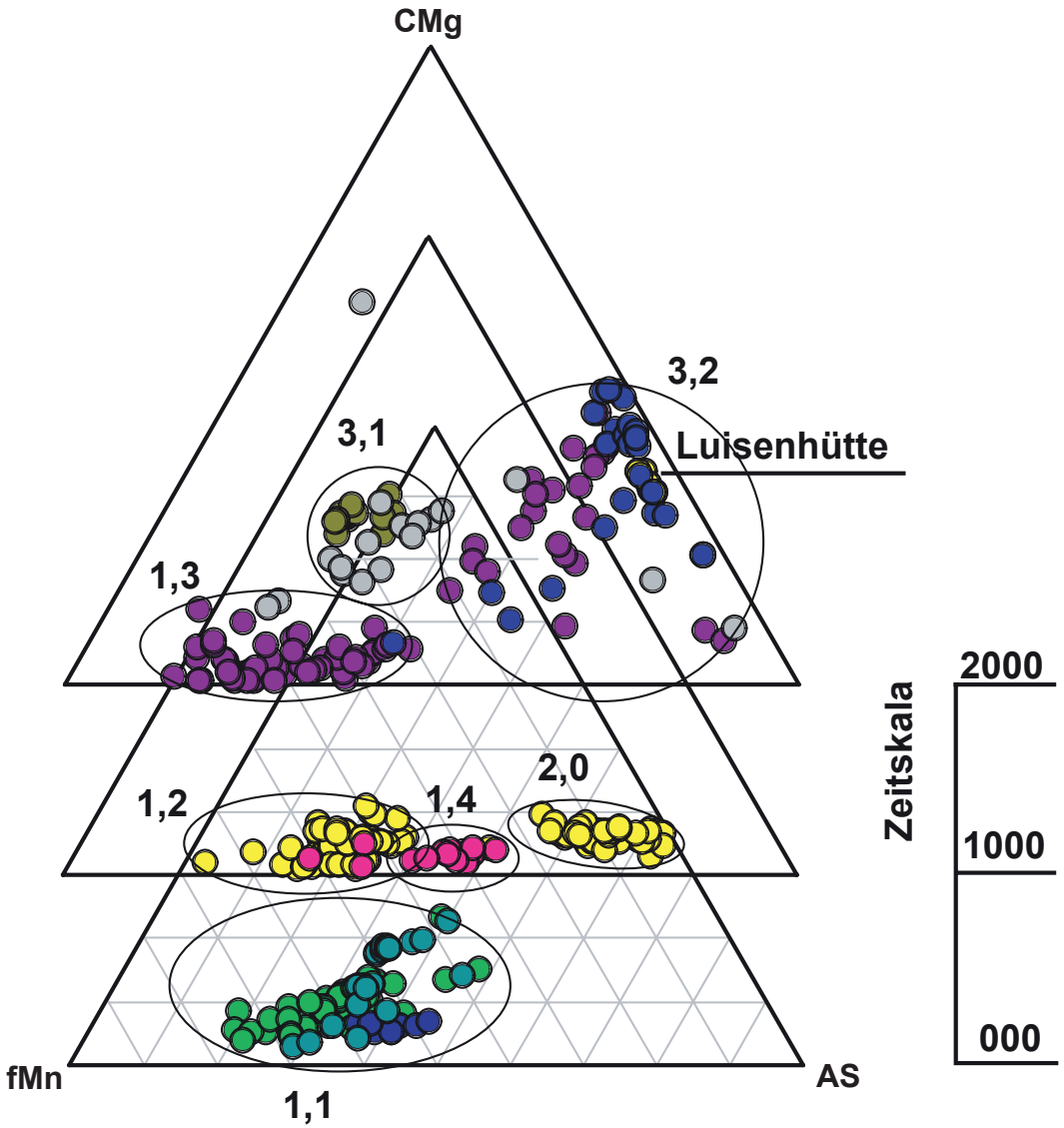


Abb. 3. fMn = FeO+MnO; AS = Al_2O_3+SiO_2 + P_2O_5; CMg = CaO +Na_2O + K_2O + MgO; die Anordnung der einzelnen Analysenfelder erfolgte ungefähr nach dem historischen Datum (1,1 = gallo-römisch bzw. britisch-römisch, 1,2 (MPI) – 1,4 –2,0 (MPI) = ca. 13.–15. Jh.; 3,1 = 8.–10. Jh.; 3,2 = 7 –15. Jh.) (siehe auch *Tab. 4*, S. 278). Dargestellt sind Massenprozente der Oxide (Abb. I. Keesmann).

Nr.	Probe	Fundort	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
5	505	**10 K**	20,90	0,38	6,59	50,50	6,05	1,56	3,01	2,82	0,46	0,04	92,31
8	508	**11**	27,50	0,33	5,61	49,50	5,41	1,21	0,60	2,83	1,01	0,02	94,02
9	509	**11**	29,60	0,35	5,21	45,30	8,18	1,24	0,94	2,61	1,17	0,03	94,63
10	510	**12**	32,90	0,40	6,72	44,80	5,93	0,99	0,49	2,87	0,50	0,03	95,63
11	511	**12**	31,40	0,35	5,50	45,70	6,33	1,23	0,67	2,87	0,69	0,02	94,76
12	Ho 21	**12**	34,00	0,40	6,52	42,50	5,05	1,33	0,95	3,34	0,50	0,02	94,61
25	525	**130 Kierspe**	25,30	0,48	11,40	43,50	13,00	0,58	0,06	1,67	0,17	0,02	96,18
27	527	**130 Kierspe**	30,40	0,82	20,00	11,40	24,40	0,63	0,12	3,12	0,08	0,08	91,05
34	534	**38 Kierspe**	27,40	0,35	5,80	49,50	7,26	1,34	1,34	2,73	0,99	0,04	96,75
35	535	**154**	54,50	0,57	12,10	9,00	16,90	0,86	1,08	3,43	0,09	0,05	98,58
36	536	**154**	52,50	0,60	12,40	7,45	17,40	0,71	1,29	3,05	0,00	0,08	95,48
38	538	**151**	58,10	0,57	12,60	7,80	14,20	0,90	0,80	3,69	0,00	0,04	98,70
45	545	**91**	55,70	0,55	11,30	6,91	16,40	1,13	1,99	3,47	0,00	0,04	97,49
53	553	**92**	53,70	0,48	10,70	5,91	20,50	0,99	2,45	3,08	0,10	0,06	97,97
57	557	**90**	55,40	0,60	11,10	10,60	15,20	0,83	1,23	3,83	0,00	0,05	98,84
70	570	**85 Kierspe**	24,20	0,28	4,48	51,60	1,58	0,56	1,71	1,12	0,73	0,03	86,29
71	571	**85 Kierspe**	27,70	0,40	5,72	47,90	1,85	1,36	5,86	1,83	1,08	0,06	93,76
72	572	**85 Kierspe**	18,00	0,32	4,23	67,80	1,27	0,73	1,68	0,99	0,44	0,05	95,51
73	573	**87 Kierspe**	32,30	0,48	8,82	44,90	4,25	0,78	2,06	2,12	0,48	0,05	96,24
74	574	**87 Kierspe**	22,90	0,38	6,95	55,90	2,92	0,96	3,12	1,26	0,41	0,04	94,84
75	575	**87 Kierspe**	31,10	0,45	7,86	42,00	8,93	0,73	2,07	1,74	0,32	0,05	95,25
76	576	**86 Kierspe**	29,50	0,33	5,80	45,00	8,24	0,83	2,43	2,17	0,50	0,04	94,84
77	577	**86 Kierspe**	28,50	0,37	6,16	53,70	3,33	0,66	1,16	1,18	0,27	0,02	95,35
78	578	**86 Kierspe**	29,80	0,38	6,68	46,80	5,93	1,04	2,35	2,06	0,57	0,03	95,64
79	579	**84 Kierspe**	22,90	0,30	5,76	56,80	8,02	0,35	1,02	1,35	0,41	0,03	96,94
80	580	**84 Kierspe**	27,20	0,38	7,08	50,50	7,66	0,65	1,68	1,70	0,62	0,02	97,49
81	581	**84 Kierspe**	24,10	0,37	6,01	52,80	6,13	0,65	1,47	1,18	0,34	0,04	93,09
82	582	**155 K**	26,00	0,32	5,84	53,20	8,08	0,46	1,26	1,34	0,46	0,02	96,98
83	583	**155 K**	29,80	0,37	6,67	50,60	7,45	0,32	0,80	1,12	0,44	0,02	97,59
84	584	**83 K**	26,00	0,23	3,42	55,50	9,53	0,12	0,28	0,52	0,53	0,03	96,16
85	585	**89a Ki**	25,30	0,33	6,82	63,40	0,48	0,32	0,50	0,33	0,14	0,61	98,23
86	586	**89a Ki**	16,20	0,35	11,50	47,40	0,23	0,46	1,09	0,61	0,14	0,29	78,27
87	587	**120 K**	25,80	0,28	3,57	55,10	3,81	0,80	2,41	0,61	3,16	0,05	95,59
88	588	**121 K**	13,80	0,18	2,36	73,40	1,38	0,36	0,99	0,45	0,73	0,01	93,66
89	589	**102 K**	20,40	0,28	6,06	64,50	0,34	0,28	0,81	0,24	0,46	0,48	93,85
90	590	**71 K**	23,80	0,43	7,52	48,40	6,02	0,70	1,79	1,37	0,48	0,05	90,56
91	591	**71 K**	23,80	0,45	8,10	52,00	4,75	0,61	0,83	1,24	0,53	0,04	92,35
96	596	**29 BW**	35,70	0,12	1,36	57,30	0,14	0,17	1,13	0,41	0,17	0,05	96,55
97	597	**30 Berntrop**	37,10	0,10	1,34	54,70	0,23	0,27	1,15	0,58	0,17	0,40	96,04
98	598	**30 Berntrop**	36,20	0,08	0,98	57,10	0,10	0,13	0,38	0,28	0,16	0,01	95,42
101	601	**112 K**	28,10	0,32	3,25	53,40	6,08	1,04	2,81	0,71	2,40	0,07	98,18
102	602	**112 K**	29,20	0,33	3,59	52,40	4,32	0,83	2,71	0,89	2,80	0,06	97,13
109	124	**65**	56,80	0,57	11,50	8,97	14,70	0,44	2,10	3,30	0,09	0,03	98,50
111	611	**120**	57,50	0,62	12,40	10,40	11,10	0,54	2,31	3,55	0,18	0,03	98,63
113	613	**118**	54,90	0,65	13,00	11,50	12,50	0,65	0,97	3,65	0,19	0,03	98,04
115	615	**121**	55,80	0,67	13,80	9,17	13,90	0,70	0,91	3,80	0,15	0,05	98,95
118	618	**121**	50,90	0,57	11,60	10,80	16,80	0,55	1,45	3,49	0,16	0,08	96,40
119	619	**112**	50,70	0,58	11,90	6,68	22,10	0,75	1,89	3,65	0,10	0,08	98,43
120	620	**36 Jubach**	56,50	0,77	19,60	10,30	5,73	0,95	1,15	5,15	0,00	0,06	100,21
121	621	**36 Jubach**	55,10	0,75	18,40	10,10	5,44	0,93	1,06	4,34	0,08	0,06	96,26
122	622	**36 Jubach**	52,40	0,68	16,70	14,00	6,36	0,80	0,78	4,10	0,00	0,05	95,87
123	623	**36 Jubach**	55,70	0,73	16,70	12,90	5,15	0,86	0,70	3,66	0,00	0,05	96,45
124	624	**36 Jubach**	58,00	0,75	17,50	9,38	5,94	0,90	1,34	4,35	0,00	0,06	98,22
126	626	**36 Jubach**	52,40	0,73	18,50	9,38	4,91	0,90	0,92	4,30	0,08	0,05	92,17
127	627	**36 Jubach**	57,40	0,80	18,60	9,64	4,91	0,99	1,04	4,45	0,07	0,05	97,95
128	628	**36 Jubach**	49,40	0,65	14,70	12,10	7,07	0,80	0,77	3,22	0,06	0,05	88,82
129	629	**36 Jubach**	51,30	0,68	15,00	12,60	7,02	0,85	0,70	3,02	0,06	0,04	91,27
147	647	**118**	51,80	0,73	16,20	9,69	13,60	1,11	1,92	3,81	0,00	0,03	98,89
157	657	**89**	57,20	0,50	11,10	8,04	14,90	1,49	2,13	2,87	0,00	0,11	98,34
158	658	**89**	53,90	0,62	12,80	7,55	15,30	1,11	1,86	3,49	0,00	0,04	96,67
167	667	**13 K**	27,90	0,27	4,97	52,30	3,16	0,99	2,83	2,30	0,71	0,03	95,46
169	Ho 5/9a	**55 K**	34,20	0,28	3,29	50,50	2,57	0,93	2,36	1,77	1,76	0,05	97,71
170	Ho 5/10a	**55 K**	33,50	0,28	3,02	48,00	3,73	0,76	2,31	1,84	2,04	0,06	95,54
171	671	**80 K**	24,10	0,31	4,59	54,30	6,04	0,96	3,53	2,14	0,95	0,04	96,96
172	672	**80 K**	31,20	0,43	8,33	41,40	7,51	1,54	3,72	3,31	0,51	0,04	97,99
174	674	**81 K**	25,20	0,29	5,72	49,80	6,79	0,61	1,75	1,88	0,44	0,03	92,51
175	675	**81 K**	24,50	0,39	6,46	45,30	7,35	0,99	2,83	2,54	0,63	0,08	91,07
181	681	**29 BW**	28,50	0,12	1,55	62,70	0,61	0,26	0,64	0,65	0,29	0,02	95,34
182	682	**29 BW**	29,20	0,08	0,96	63,40	0,42	0,20	0,59	0,40	0,10	0,02	95,37
183	683	**9 BW**	33,00	0,09	0,32	60,60	0,18	0,22	0,59	0,70	0,96	0,01	96,67
185	685	**9 BW**	33,90	0,08	1,19	59,10	0,10	0,18	0,70	0,64	0,05	0,01	95,95

Tab. 1 (Teil 1). Daten MPI Düsseldorf in Übereinstimmung mit D. Horstmann (Gew.-%). Fundorte nach D. Horstmann.

Nr.	Probe	Fundort	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
188	688	**9 BW**	35,70	0,09	1,19	57,00	0,08	0,18	0,70	0,53	0,00	0,04	95,51
195	695	**30 Berntrop**	35,60	0,08	1,30	53,00	0,39	0,36	0,91	0,90	0,15	0,03	92,72
199	699	**105**	56,20	0,47	10,90	6,50	18,80	0,88	1,69	3,31	0,19	0,03	98,97
206	706	**125**	55,70	0,55	11,60	10,80	14,60	0,48	0,98	3,10	0,16	0,05	98,02
208	708	**125**	53,10	0,53	11,00	10,90	14,30	0,75	1,89	3,19	0,22	0,06	95,94
229	729	**90**	56,50	0,52	12,70	5,20	18,70	0,63	1,04	3,75	0,25	0,05	99,34
240	740	**112**	53,50	0,52	10,30	7,41	20,10	0,77	2,21	2,96	0,10	0,05	97,92
257	757	**91**	57,10	0,53	11,90	14,00	11,30	0,74	1,05	3,41	0,09	0,03	100,15
288	788	**80 K**	23,94	0,26	4,52	50,27	7,02	1,16	3,51	2,19	0,92	0,03	93,82
294	794	**15 K**	26,70	0,29	4,76	51,65	5,73	1,16	3,44	2,17	0,85	0,03	96,79
295	794	**15 K**	22,74	0,25	3,59	60,31	3,17	0,79	1,81	1,52	0,62	0,02	94,82
296	796	**13 K**	30,19	0,35	5,92	48,70	3,48	0,71	2,41	1,90	0,61	0,03	94,31
297	797	**13 K**	28,40	0,34	5,31	49,75	6,07	0,66	2,12	1,74	0,59	0,02	94,99
298	798	**13 K**	29,64	0,35	5,43	50,06	3,65	0,94	2,63	2,07	0,71	0,03	95,50
299	799	**13 K**	26,37	0,32	5,20	51,99	4,91	0,92	3,18	2,04	0,74	0,03	95,70
303	803	**36 Jubach**	65,00	0,56	11,50	12,25	5,77	0,47	0,62	1,81	0,07	0,02	98,07
304	804	**36 Jubach**	60,80	0,73	17,20	10,86	4,88	1,12	1,11	2,32	0,10	0,04	99,16
308	808	**36 Jubach**	56,60	0,81	18,30	11,61	5,43	1,00	1,38	2,86	0,07	0,05	98,11
309	809	**36 Jubach**	56,60	0,80	18,70	12,56	5,61	0,96	1,23	2,81	0,05	0,05	99,37
313	813	**10 Volme**	49,80	0,61	23,90	15,78	0,38	1,54	3,74	1,43	0,25	0,12	97,55
314	814	**10 Volme**	41,50	0,71	27,60	16,85	0,32	1,70	3,02	1,37	0,21	0,13	93,41
319	819	**8 zwischen Hüttenbruch und Volme**	38,70	0,42	10,70	5,52	19,20	0,68	5,52	1,45	0,10	0,07	82,36
324	824	**33 Bollwerk**	55,50	0,57	11,00	4,88	19,60	1,26	4,88	2,14	0,08	0,04	99,95
328	828	**16**	51,70	0,54	14,00	9,83	15,90	0,96	2,59	3,85	0,00	0,02	99,39
329	829	**16**	55,50	0,55	11,70	10,70	13,60	0,85	1,57	2,65	0,08	0,03	97,23
330	830	**16**	59,60	0,42	10,70	9,41	14,50	0,58	1,20	2,04	0,07	0,09	98,61
355	855	**113**	55,65	0,34	12,29	7,68	13,69	0,88	1,26	3,81	0,00	0,03	95,63
358	858	**127**	50,24	0,32	9,97	13,32	14,41	0,96	3,29	3,57	0,07	0,03	96,18
361	861	**105**	51,10	0,31	11,06	10,56	14,78	0,69	1,70	3,70	0,06	0,04	94,00
362	862	**105**	59,51	0,29	10,30	8,08	13,31	0,79	2,03	3,98	0,00	0,03	98,32
371	871	**103**	51,41	0,34	11,99	9,60	15,50	0,54	1,32	3,97	0,07	0,09	94,83
375	875	**97**	54,93	0,38	14,08	9,88	9,76	0,73	1,73	4,42	0,00	0,03	95,94
379	879	**96**	56,30	0,32	11,36	7,19	14,67	1,03	1,16	4,24	0,00	0,05	96,32
387	887	**4 K**	29,16	0,22	6,33	43,96	7,40	1,23	3,17	4,94	0,79	0,02	97,23
389	889	**4 K**	27,88	0,21	5,79	46,88	4,73	1,40	5,52	3,42	1,01	0,04	96,86
441	941	**Elspe oberhalb Neuenhof**	52,72	0,73	14,27	12,12	6,90	0,60	2,75	3,53	0,08	0,04	93,72
445	945	**Elspe oberhalb Neuenhof**	50,30	0,58	10,92	11,81	17,45	0,85	2,93	2,82	0,00	0,07	97,73

Tab. 1 (Teil 2). Daten MPI Düsseldorf in Übereinstimmung mit D. Horstmann (Gew.-%). Fundorte nach D. Horstmann.

Nr.	(VW-Nr)	Probe	Fundort	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
MPI	Horstmann		Horstmann											
	4	504	**10 K**	22,7	0,5	4,8	58,8	3,6	1,6	1,5	2,7	0,6	0,1	96,8
4				18,7	0,5	7,8	59,1	0,6	1,6	0,8	3,7	0,4	0,1	93,2
	6	506	**10 K**	24,1	0,5	5,4	54,3	4,7	1,5	1,9	2,1	0,8	0,0	95,3
6				29,1	0,5	8,3	41,3	8,4	1,5	1,4	3,1	0,8	0,0	94,4
	7	507	**11**	25,8	0,4	5,8	54,2	3,6	0,6	2,5	2,3	0,7	0,0	95,9
7				15,8	0,2	2,6	70,9	2,6	0,6	0,5	0,9	1,5	0,0	95,6
	32	532	**43**	53,9	0,5	9,6	6,3	19,5	0,8	3,0	2,6	0,1	0,1	96,3
32				43,9	0,5	9,6	14,3	20,5	0,8	0,3	2,6	0,1	0,1	92,8
	37	537	**154**	55,7	0,5	11,0	6,3	18,0	0,9	2,3	3,3	0,1	0,0	98,1
37				52,7	0,5	11,0	6,3	21,0	0,9	2,3	3,3	<0,05	0,1	98,1
	39	539	**151**	57,9	0,7	12,8	7,3	13,8	1,0	0,6	3,1	0,1	0,0	97,3
39				67,9	0,7	12,8	7,3	3,8	1,0	0,6	3,1	0,1	0,0	97,4
	40	540	**151**	58,2	0,5	13,1	5,6	11,6	1,3	1,5	3,6	0,1	0,0	95,5
40				52,1	0,5	11,1	4,7	21,6	1,3	4,5	2,6	<0,05	0,1	98,5
	41	541	**151**	57,4	0,5	12,8	8,3	13,0	0,6	1,5	3,5	0,1	0,0	97,7
41				70,4	0,5	8,8	8,3	5,0	0,6	0,5	2,5	0,1	0,1	96,8
	42	542	**91**	56,9	0,6	12,1	7,8	13,4	1,0	1,6	3,7	0,1	0,0	97,2
42				48,9	0,6	12,1	11,3	16,4	1,0	1,4	3,5	<0,05	0,0	95,2
	43	543	**91**	56,4	0,5	12,2	7,3	14,9	1,1	1,9	3,5	0,1	0,0	97,9
43				57,4	0,5	12,2	5,3	15,9	1,1	1,9	3,5	<0,05	0,0	98,0
	44	544	**91**	57,1	0,5	12,0	6,3	14,1	1,1	1,6	3,9	0,1	0,0	96,7
44				57,1	0,5	12,0	4,0	14,1	1,1	1,6	6,0	0,1	0,1	96,7
	49	549	**155 K**	56,2	0,6	12,6	10,2	11,4	1,0	1,4	3,3	0,1	0,0	96,8
49				56,2	0,6	12,6	14,7	6,9	1,0	3,4	3,3	<0,05	0,0	98,8
	50	550	**155 K**	56,5	0,6	12,9	9,8	12,0	0,9	0,9	3,7	0,1	0,0	97,4
50				56,5	0,6	12,9	8,8	14,0	0,9	0,9	3,7	<0,05	0,0	98,1
	51	551	**155 K**	57,4	0,6	12,9	11,5	10,3	0,8	0,6	3,9	0,1	0,0	98,1
51				53,4	0,6	12,9	13,5	12,3	0,8	0,6	3,9	0,1	0,0	98,0

Tab. 2 (Teil 1). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	52	552	**155 K**	57,6	0,6	11,6	9,8	10,1	1,4	1,5	4,1	0,1	0,0	96,8
52				57,0	0,6	13,6	14,9	5,6	1,1	1,0	4,2	0,1	0,0	98,0
	54	554	**92**	54,9	0,5	11,5	5,7	20,8	0,8	1,3	3,0	0,1	0,1	98,6
54				49,9	0,5	11,5	5,7	25,8	0,8	1,3	3,0	<0,05	0,1	98,5
	55	555	**92**	54,6	0,6	12,0	5,7	19,1	1,0	1,8	3,0	0,1	0,1	97,9
55				47,6	0,6	13,0	3,7	28,1	1,0	2,1	3,1	<0,05	0,1	99,2
	56	556	**92**	53,0	0,6	12,1	4,9	20,9	0,8	1,4	3,6	0,1	0,1	97,4
56				52,0	0,6	12,6	8,2	20,9	0,8	1,4	3,1	<0,05	0,1	99,6
	58	558	**90**	55,4	0,3	12,2	10,9	13,9	1,0	1,9	2,9	0,1	0,0	98,6
58				64,4	0,3	6,5	9,9	10,7	0,8	1,2	1,9	0,1	0,0	95,8
	59	559	**90**	58,1	0,3	10,2	10,6	14,9	0,9	1,5	2,1	0,1	0,0	98,7
59				59,1	0,3	7,0	10,6	16,9	0,7	1,2	2,1	<0,05	0,0	97,9
	60	560	**89**	55,6	0,5	11,5	10,9	10,6	2,4	3,2	3,4	0,1	0,0	98,2
60				56,6	0,5	11,5	3,0	17,7	2,4	3,2	3,4	<0,05	0,3	98,5
	62	562	**89**	55,0	0,6	12,7	7,1	16,0	0,9	1,3	3,5	0,1	0,0	97,2
62				55,0	0,6	12,7	10,1	15,0	0,9	1,1	3,5	<0,05	0,0	99,0
	63	563	**89**	58,7	0,3	11,8	10,2	8,7	1,1	1,6	2,9	0,1	0,0	95,4
63				73,2	0,3	6,4	9,7	6,9	0,5	1,4	1,9	<0,05	0,0	100,3
	64	564	**89**	56,9	0,4	12,3	10,9	8,5	1,0	2,4	3,2	0,1	0,0	95,7
64				76,0	0,4	6,9	8,1	3,5	0,5	0,4	1,8	<0,05	0,0	97,6
	66	566	**152**	52,4	0,5	10,5	6,5	22,6	0,7	1,0	2,9	0,1	0,1	97,2
66				43,1	0,5	10,5	7,4	31,2	0,7	1,0	2,9	<0,05	0,1	97,4
	68	568	**152**	52,9	0,6	10,6	6,2	21,5	0,8	1,3	3,7	0,1	0,0	97,7
68				36,2	0,8	18,6	7,2	26,2	0,8	1,3	3,7	0,1	0,0	94,9
	69	569	**152**	49,3	0,6	10,9	6,9	23,0	1,0	1,1	3,8	0,0	0,0	96,7
69				40,3	0,8	19,9	4,9	25,0	1,0	1,1	3,8	<0,05	0,0	96,9
	92	592	**72**	23,9	0,4	5,1	50,4	7,2	1,2	3,0	1,5	0,5	0,0	93,3
92				21,9	0,4	7,1	48,4	9,7	1,0	2,7	1,8	0,5	0,0	93,6
	93	593	**72**	30,0	0,5	7,7	38,6	10,6	1,1	4,1	1,2	0,5	0,0	94,4
93				30,6	0,5	9,2	35,6	9,0	1,1	4,1	2,7	0,5	0,0	93,3
	94	594	**72**	23,0	0,5	5,4	53,0	5,4	1,2	3,5	2,7	0,5	0,0	95,2
94				23,0	0,5	7,3	53,0	5,4	0,8	1,5	0,9	0,5	0,0	92,9
	103	603	**10 Volme**	46,0	0,7	27,3	14,3	0,3	1,3	3,8	2,3	0,2	0,2	96,4
103				35,6	0,7	19,7	31,3	0,3	1,3	2,8	1,3	0,6	0,7	94,2
	104	604	**10 Volme**	43,9	0,5	26,3	18,9	0,3	1,5	3,5	2,2	0,2	0,1	97,4
104				30,9	0,5	16,3	39,4	0,3	0,5	0,5	1,3	0,2	1,1	90,9
	105	605	**97**	52,5	0,6	12,1	5,4	22,2	0,4	1,4	3,4	0,1	0,1	98,1
105				49,9	0,7	15,1	4,4	22,2	0,4	1,4	3,9	0,3	0,1	98,3
	106	606	**97**	54,7	0,6	13,7	9,1	12,1	0,5	1,3	4,2	0,1	0,0	96,3
106				52,7	0,8	17,7	9,1	10,1	0,5	1,3	4,2	0,1	0,5	97,0
	107	607	**97**	51,2	0,4	12,4	6,2	22,9	0,6	1,6	2,6	0,0	0,1	98,0
107				44,2	0,6	9,9	15,2	24,3	0,4	2,1	2,6	0,3	0,1	99,6
	108	608	**105**	56,3	0,6	11,0	5,9	16,7	0,5	3,2	3,0	0,0	0,1	97,3
108				56,3	0,6	11,0	3,9	18,7	0,5	3,2	3,0	0,2	0,0	97,3
	110	610	**105**	56,7	0,6	11,1	6,5	16,7	0,5	2,6	3,0	0,0	0,1	97,8
110				51,7	0,6	11,1	4,5	18,7	0,5	2,6	3,0	0,2	0,0	92,9
	112	612	**118**	55,2	0,7	13,4	8,9	12,6	1,0	2,4	4,1	0,1	0,1	98,4
112				55,2	0,7	13,4	5,9	15,6	1,0	2,4	4,1	0,2	0,0	98,4
	114	614	**118**	55,1	0,6	13,8	10,8	10,8	1,0	1,9	4,3	0,1	0,0	98,4
114				51,1	0,6	12,8	13,3	13,3	0,8	1,8	3,9	<0,05	0,0	97,6
	116	616	**121**	56,2	0,6	12,3	10,2	14,4	0,6	1,4	3,6	0,1	0,0	99,4
116				56,2	0,6	12,3	8,2	16,4	0,6	1,4	3,6	<0,05	0,1	99,4
	117	617	**121**	54,9	0,6	12,6	11,5	13,7	0,6	1,4	3,0	0,1	0,0	98,4
117				55,9	0,6	12,6	10,0	15,2	0,6	1,4	3,0	0,1	0,0	99,5
	125	625	**36 Jubach**	56,2	0,8	19,3	8,3	6,5	1,0	1,5	4,8	0,0	0,1	98,5
125				56,2	0,8	19,3	6,3	5,5	1,0	1,5	4,8	<0,05	0,1	95,5
	134	634	**29 BW**	20,4	0,1	1,2	71,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	93,7
134				40,1	<0,05	0,1	53,3	0,0	<0,01	<0,02	0,0	<0,05	0,0	93,5
	135	635	**72**	19,7	0,2	3,8	62,6	4,7	0,6	1,4	0,8	0,4	0,0	94,2
135				66,7	1,1	17,0	7,9	0,0	0,8	<0,02	2,4	0,1	0,0	96,0
	136	636	**99**	54,6	0,7	12,6	10,2	13,1	0,9	1,7	3,1	0,1	0,0	97,0
136				73,9	0,8	11,8	5,4	1,9	0,6	0,5	3,2	<0,05	0,0	98,2
	137	637	**99**	55,1	0,6	11,9	11,3	12,4	1,0	1,9	2,9	0,1	0,2	97,4
137				44,7	0,8	23,5	23,3	0,4	0,9	1,7	3,0	<0,05	0,3	98,6
	138	638	**99**	55,0	0,6	10,7	10,5	14,3	0,9	1,5	2,7	0,1	0,0	96,3
138				57,8	0,6	12,4	8,5	15,3	0,9	1,4	2,8	<0,05	0,0	99,6
	139	639	**99**	54,1	0,7	12,8	11,2	12,9	0,9	1,4	3,3	0,1	0,0	97,4
139				54,1	0,7	13,8	11,2	14,9	0,9	1,4	3,3	<0,05	0,0	100,3
	140	640	**99**	56,5	0,6	10,7	9,5	14,5	0,9	1,5	2,7	0,1	0,0	97,0
140				57,5	0,6	10,7	10,5	15,5	0,9	1,5	2,7	<0,05	0,0	99,8
	141	641	**92**	52,4	0,7	12,9	6,8	19,3	0,8	1,7	2,8	0,1	0,1	97,5
141				42,1	0,7	15,6	8,8	26,3	0,8	1,7	2,8	<0,05	0,1	98,8
	142	642	**92**	54,3	0,6	13,3	5,4	19,1	1,0	2,0	3,4	0,1	0,1	99,2
142				43,1	0,6	13,4	16,9	24,8	0,7	1,3	2,8	<0,05	0,0	103,6
	143	643	**92**	54,9	0,6	10,4	5,8	20,4	0,8	2,0	2,6	0,1	0,1	97,6
143				49,5	0,6	10,4	14,5	14,5	0,8	3,0	2,6	<0,05	0,1	96,0

Tab. 2 (Teil 2). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	144	644	**90**	55,3	0,7	12,3	10,4	13,5	1,0	1,7	3,1	0,1	0,0	98,1
144				58,0	0,7	14,3	7,5	15,5	1,0	1,7	3,1	<0,05	0,0	101,7
	145	645	**90**	55,0	0,7	13,4	11,2	12,1	0,9	1,0	3,9	0,1	0,0	98,3
145				65,0	0,7	14,4	4,1	8,1	0,9	1,0	3,9	<0,05	0,0	98,2
	146	646	**118**	56,0	0,6	11,4	10,9	13,6	0,9	1,5	2,6	0,1	0,0	97,6
146				56,0	0,6	11,4	9,9	14,6	0,9	1,5	2,6	<0,05	0,0	97,4
	148	648	**97**	54,9	0,6	12,3	10,2	13,9	1,1	1,7	3,8	0,1	0,0	98,6
148				54,3	0,8	19,2	11,9	6,2	1,1	1,7	3,8	<0,05	0,0	98,9
	149	649	**155 K**	54,3	0,7	14,2	11,9	9,2	1,1	1,7	3,8	0,1	0,0	97,0
149				56,9	0,7	15,4	13,9	6,5	0,8	1,0	3,7	<0,05	0,0	98,9
	150	650	**155 K**	56,9	0,7	12,4	13,9	9,8	0,9	1,0	3,7	0,1	0,0	99,4
150				58,3	0,5	10,4	11,9	9,1	0,7	0,8	2,8	<0,05	0,1	94,5
	151	651	**155 K**	58,3	0,5	10,4	11,9	10,1	0,7	1,7	2,8	0,1	0,0	96,5
151				57,4	0,6	12,5	13,3	6,5	1,1	3,7	2,9	<0,05	0,1	98,0
	152	652	**155 K**	54,4	0,6	12,5	12,3	11,5	0,9	1,7	2,9	0,1	0,0	96,9
152				57,2	0,6	13,1	9,8	4,5	0,9	1,0	3,4	<0,05	0,0	90,4
	154	654	**89**	56,2	0,6	12,8	7,0	15,2	1,1	1,8	2,7	0,1	0,1	97,5
154				62,0	0,4	8,5	3,1	14,0	3,9	3,9	2,6	<0,05	0,2	98,6
	155	655	**89**	55,7	0,6	11,7	9,3	14,4	1,4	2,1	3,5	0,1	0,0	98,8
155				62,7	0,6	12,7	7,2	18,0	1,4	2,1	3,5	<0,05	0,0	108,3
	156	656	**89**	56,9	0,5	11,7	7,6	13,6	1,3	1,6	3,2	0,1	0,0	96,5
156				62,9	0,5	10,7	4,6	13,6	1,3	1,6	3,2	<0,05	0,1	98,5
	159	659	**89**	57,2	0,6	13,0	7,5	14,8	0,8	1,5	3,3	0,1	0,1	98,8
159				57,2	0,4	9,1	2,6	19,3	3,7	3,4	2,3	<0,05	0,3	98,2
	163	663	**133**	48,9	0,6	13,3	6,8	23,1	1,0	1,3	2,6	0,1	0,1	97,7
163				41,1	0,6	13,3	4,8	31,1	1,0	2,9	2,6	0,3	0,1	97,8
	164	664	**133**	48,2	0,6	13,3	7,6	23,3	0,6	1,7	2,9	0,1	0,1	98,3
164				41,8	0,6	13,3	5,6	29,3	0,6	1,7	3,9	0,3	0,1	97,1
	165	665	**13 K**	26,6	0,3	5,2	52,7	3,6	1,0	3,6	2,7	0,9	0,0	96,6
165				26,6	0,3	5,2	53,7	2,6	1,0	3,6	2,7	0,9	0,0	96,7
	166	666	**13 K**	21,2	0,2	3,6	61,1	2,9	0,7	2,4	1,5	0,8	0,1	94,4
166				21,2	0,2	3,6	59,1	2,9	0,7	1,8	1,5	0,8	0,0	91,9
	168	668	**13 K**	27,9	0,4	7,3	44,0	7,8	1,0	2,3	3,1	0,7	0,0	94,5
168				29,9	0,4	6,3	43,0	7,8	1,0	2,3	3,1	0,7	0,0	94,5
	173	673	**80 K**	25,2	0,4	7,5	39,5	14,8	0,8	3,2	3,0	0,6	0,0	95,0
173				25,2	0,4	7,5	38,5	14,8	0,8	2,2	3,0	0,6	0,0	93,0
	176	676	**81 K**	21,5	0,3	4,3	57,0	5,1	1,8	3,4	1,8	0,4	0,0	95,7
176				21,5	0,3	5,1	54,0	5,1	0,8	2,4	1,8	0,4	0,1	91,4
	178	678	**29 BW**	36,2	0,2	1,4	56,4	0,4	0,2	1,1	0,8	0,2	0,0	96,9
178				32,2	0,1	2,0	56,4	0,4	0,3	1,3	0,8	0,2	0,0	93,7
	179	679	**29 BW**	37,0	0,1	1,4	54,2	0,7	0,2	1,3	0,7	0,2	0,0	95,9
179				32,0	0,1	1,8	53,7	0,4	0,3	1,1	0,7	0,2	0,0	90,2
	180	680	**29 BW**	31,9	0,1	1,5	60,5	0,3	0,2	0,9	0,7	0,2	0,0	96,3
180				36,9	0,1	1,7	60,5	0,6	0,2	0,9	0,7	0,2	0,0	101,9
	184	684	**9 BW**	38,6	0,1	1,2	53,5	0,6	0,3	1,3	0,8	0,2	0,0	96,7
184				37,1	0,1	1,2	53,0	0,1	0,3	0,9	0,8	0,1	0,0	93,4
	186	686	**9 BW**	38,8	0,1	1,2	53,2	0,6	0,3	1,0	0,8	0,2	0,1	96,3
186				37,7	0,1	1,1	53,2	0,1	0,3	0,9	0,8	0,1	0,1	94,4
	191	691	**30 Berntrop**	37,9	0,1	1,4	53,2	0,5	0,3	1,2	0,7	0,2	0,0	95,5
191				34,4	0,1	1,4	53,2	0,2	0,3	1,0	0,6	0,1	0,0	91,3
	192	692	**30 Berntrop**	36,9	0,1	1,6	54,8	0,6	0,2	1,3	0,6	0,2	0,0	96,3
192				34,9	0,0	0,7	54,8	0,0	0,2	0,5	0,4	0,1	0,0	91,6
	193	693	**30 Berntrop**	40,4	0,1	1,1	50,2	0,9	0,5	1,7	1,0	0,2	0,0	96,2
193				36,4	0,1	1,0	50,2	0,2	0,5	1,7	1,1	0,1	0,1	91,2
	194	694	**30 Berntrop**	32,1	0,1	1,3	60,9	0,4	0,3	0,6	0,6	0,2	0,0	96,5
194				29,1	0,1	0,8	60,9	0,9	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	92,8
	196	696	**135**	55,4	0,6	12,7	8,1	9,2	1,1	6,5	3,3	0,1	0,0	97,0
196				55,4	0,6	12,7	8,1	8,9	1,1	8,5	3,3	0,1	0,0	98,7
	197	697	**135**	57,8	0,7	13,4	8,9	9,4	0,9	1,3	4,2	0,1	0,0	96,7
197				58,3	0,7	13,8	9,4	7,9	0,9	0,9	4,2	0,1	0,1	96,1
	198	698	**135**	57,8	0,7	13,4	8,8	10,1	1,0	1,1	4,2	0,1	0,0	97,2
198				57,8	0,7	14,4	8,7	8,1	1,0	1,1	4,2	0,1	0,1	96,1
	200	700	**105**	56,3	0,5	11,1	9,9	13,8	0,8	1,5	3,2	0,1	0,0	97,2
200				56,3	0,5	11,1	9,9	13,8	0,8	1,5	3,2	0,1	0,0	97,1
	201	701	**97**	54,0	0,6	12,3	12,2	11,4	0,9	1,3	4,2	0,7	0,0	97,6
201				54,0	0,7	17,5	13,2	5,7	0,9	1,3	4,2	0,1	0,1	97,7
	202	702	**97**	54,6	0,6	12,6	11,6	12,1	0,7	1,8	3,1	0,1	0,0	97,3
202				52,9	0,6	11,1	7,9	18,5	0,7	1,9	3,1	0,2	0,1	97,0
	203	703	**97**	50,1	0,4	12,2	8,1	22,9	0,4	1,2	2,5	0,0	0,1	97,9
203				54,0	0,6	10,6	12,4	13,5	0,7	1,4	3,1	0,2	0,1	96,5
	204	704	**125**	53,7	0,5	12,3	6,8	18,3	0,6	1,3	3,0	0,1	0,0	96,6
204				53,7	0,5	10,3	9,8	17,9	0,6	1,3	3,0	0,2	0,1	97,5
	205	705	**125**	52,3	0,6	12,9	7,2	19,2	0,8	1,2	3,7	0,1	0,0	98,0
205				52,3	0,6	12,9	7,2	19,2	0,8	1,2	3,7	0,2	0,0	98,0
	207	707	**125**	52,9	0,7	10,8	10,2	15,2	0,9	1,8	3,7	0,1	0,0	96,3
207				48,4	0,7	16,8	14,7	7,4	0,9	1,8	4,7	0,2	0,0	95,6
	209	709	**125**	52,2	0,6	12,8	8,0	17,9	0,7	1,2	3,7	0,1	0,1	97,2
209				50,2	0,6	13,8	8,4	18,3	0,7	1,2	3,7	0,2	0,0	97,1

Tab. 2 (Teil 3). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	210	710	**55 Loherhammer**	55,1	0,5	11,6	7,7	17,1	0,9	1,4	3,1	0,1	0,0	97,5
210				55,9	0,6	11,8	8,9	13,9	0,7	1,4	3,4	0,2	0,0	96,7
	211	711	**55 Loherhammer**	54,9	0,6	11,8	7,2	17,9	0,7	1,4	3,4	0,1	0,0	98,0
211				56,1	0,5	9,7	7,7	17,1	0,9	1,4	3,1	0,1	0,0	96,5
	212	712	**16**	56,8	0,5	11,8	8,2	15,1	0,8	1,2	3,4	0,1	0,1	98,0
212				55,8	0,5	10,3	13,1	12,9	0,8	1,2	3,4	0,1	0,0	98,1
	213	713	**16**	56,7	0,4	11,4	6,3	17,5	0,7	1,2	3,2	0,1	0,1	97,5
213				57,7	0,4	11,4	6,3	17,5	0,7	1,2	3,2	0,2	0,1	98,7
	214	714	**16**	55,0	0,5	11,1	8,2	14,9	1,1	2,5	3,8	0,1	0,0	97,2
214				55,0	0,5	11,1	8,2	14,9	1,1	2,5	3,8	0,2	0,0	97,3
	215	715	**124**	53,5	0,5	11,6	7,7	18,0	0,8	2,1	3,1	0,1	0,0	97,4
215				52,5	0,5	9,7	9,0	20,8	0,8	2,1	3,1	0,2	0,1	98,8
	216	716	**124**	53,1	0,6	12,5	6,8	17,9	0,8	2,6	3,2	0,1	0,0	97,6
216				51,0	0,5	10,0	6,2	23,1	0,8	2,9	2,8	0,1	0,0	97,4
	217	717	**124**	52,9	0,6	12,4	7,5	18,4	0,6	1,8	3,0	0,1	0,0	97,3
217				49,9	0,6	13,4	7,9	20,8	0,6	1,8	3,1	0,1	0,0	98,1
	218	718	**124**	56,5	0,5	10,3	10,8	14,6	0,7	1,8	2,8	0,1	0,0	98,1
218				56,5	0,5	10,3	13,7	9,6	0,6	0,8	2,8	0,1	0,0	94,8
	219	719	**124**	51,7	0,6	13,4	10,2	15,3	0,6	1,9	3,4	0,1	0,0	97,2
219				51,7	0,6	13,4	10,2	16,3	0,6	1,9	3,4	0,1	0,1	98,3
	220	720	**119**	54,3	0,5	13,8	11,9	10,7	1,1	2,1	3,3	0,1	0,0	97,8
220				51,3	0,4	7,9	15,5	12,1	0,8	1,8	2,4	0,3	0,2	92,6
	221	721	**119**	54,8	0,6	12,8	11,2	12,1	0,9	1,9	3,0	0,1	0,0	97,4
221				52,8	0,6	11,5	8,1	19,2	0,7	1,7	3,0	0,2	0,0	97,8
	222	722	**90**	54,8	0,6	11,7	9,6	14,2	0,8	1,7	3,8	0,1	0,1	97,4
222				54,8	0,6	11,7	7,6	14,2	0,8	1,7	3,8	0,1	0,1	95,3
	223	723	**90**	55,6	0,6	12,5	9,8	14,5	0,8	1,2	3,2	0,1	0,0	98,3
223				58,6	0,6	12,5	8,5	12,7	0,8	1,2	3,9	0,2	0,0	99,0
	224	724	**90**	53,2	0,6	12,2	5,8	19,7	0,8	1,9	3,6	0,1	0,1	97,9
224				54,2	0,4	10,2	3,5	23,2	0,6	0,9	2,6	0,2	0,0	95,9
	225	725	**90**	55,4	0,5	12,2	10,8	13,5	0,8	1,9	3,1	0,1	0,1	98,4
225				56,4	0,5	10,4	9,8	9,3	1,1	8,5	2,5	0,1	0,1	98,5
	226	726	**90**	55,1	0,6	12,1	6,8	17,7	0,9	1,8	3,3	0,1	0,1	98,4
226				57,1	0,6	12,1	5,8	15,7	0,9	1,8	4,3	0,2	0,1	98,5
	227	727	**90**	55,7	0,7	11,8	6,2	17,0	0,7	1,5	4,2	0,1	0,1	97,9
227				55,7	0,7	11,8	7,2	16,0	0,7	1,5	4,2	0,2	0,1	97,8
	228	728	**90**	53,8	0,5	12,5	11,9	13,1	0,8	1,8	3,3	0,1	0,0	97,8
228				52,8	0,5	11,5	10,6	16,3	0,8	3,4	3,3	0,2	0,0	99,5
	236	736	**132**	53,2	0,5	13,1	7,6	17,9	0,8	1,6	3,8	0,1	0,0	98,6
236				53,2	0,5	11,9	4,7	21,1	0,8	1,6	3,8	0,2	0,0	97,8
	237	737	**132**	55,1	0,5	13,4	10,1	13,4	0,5	1,3	3,0	0,1	0,0	97,4
237				44,3	0,4	9,8	21,6	9,6	0,5	1,3	3,0	0,2	0,1	90,8
	238	738	**132**	54,1	0,5	12,6	10,0	14,8	0,7	1,9	3,6	0,1	0,0	98,3
238				54,1	0,5	12,6	11,0	13,1	0,7	1,9	4,6	0,1	0,1	98,8
	239	739	**132**	51,3	0,6	13,6	7,2	18,1	0,7	1,4	3,7	0,1	0,0	96,7
239				51,3	0,6	13,6	8,0	20,0	0,7	1,4	3,7	0,2	0,0	99,5
	241	741	**112**	53,3	0,5	11,7	7,4	19,5	0,5	1,7	2,9	0,1	0,1	97,6
241				53,3	0,5	11,7	6,3	15,6	0,5	1,7	2,9	<0,05	0,1	92,6
	242	742	**112**	52,5	0,5	11,6	6,8	21,5	0,6	1,1	3,1	0,1	0,0	97,8
242				52,5	0,5	12,6	1,3	23,5	0,6	1,1	3,3	<0,05	0,1	95,5
	243	743	**112**	52,6	0,5	11,8	6,8	20,6	0,5	1,7	3,1	0,1	0,1	97,7
243				47,6	0,5	11,8	9,2	18,6	0,5	1,7	3,1	<0,05	0,1	93,0
	244	744	**86**	54,9	0,5	13,2	5,7	17,1	0,8	2,0	3,4	0,1	0,1	97,7
244				54,9	0,5	13,2	5,7	13,1	0,5	1,0	3,4	<0,05	0,1	92,4
	245	745	**86**	56,1	0,5	12,4	6,9	15,4	0,7	1,9	3,2	0,1	0,0	97,2
245				56,1	0,5	12,4	6,9	14,4	0,7	0,9	2,9	0,1	0,0	94,9
	246	746	**86**	55,7	0,5	12,9	5,8	16,6	1,2	1,9	3,8	0,1	0,1	98,5
246				55,7	0,4	11,1	3,8	12,6	1,6	2,6	2,9	<0,05	0,3	90,9
	247	747	**86**	55,9	0,6	12,8	7,5	14,4	1,1	1,8	3,2	0,1	0,0	97,4
247				55,9	0,6	11,4	6,5	12,4	2,1	3,8	3,2	0,1	0,1	96,0
	248	748	**86**	54,7	0,6	14,0	7,4	15,8	0,7	1,0	4,0	0,1	0,0	98,3
248				55,7	0,6	14,0	7,4	16,2	0,7	1,0	4,0	<0,05	0,0	99,5
	249	749	**86**	55,6	0,4	12,2	6,0	17,8	0,8	1,2	3,1	0,1	0,0	97,2
249				57,6	0,4	12,2	4,0	11,8	0,6	1,2	3,1	<0,05	0,0	91,0
	250	750	**71**	53,7	0,6	12,8	7,4	17,8	0,6	1,4	3,4	0,1	0,1	97,8
250				52,7	0,6	11,4	8,0	14,8	0,6	1,4	3,4	0,2	0,1	93,1
	251	751	**71**	55,5	0,5	12,0	7,3	16,5	0,7	1,3	3,6	0,1	0,1	97,5
251				55,5	0,5	12,0	7,2	13,5	0,7	1,3	3,6	<0,05	0,1	94,4
	252	752	**71**	55,8	0,6	12,5	9,2	13,7	0,7	1,4	3,7	0,1	0,0	97,7
252				55,8	0,6	12,5	8,2	12,7	0,7	1,4	3,7	0,1	0,1	95,7
	253	753	**71**	57,8	0,5	11,8	7,1	14,3	0,8	1,3	3,7	0,1	0,1	97,4
253				57,8	0,5	11,8	6,6	13,8	0,8	1,3	3,7	0,1	0,0	96,5
	254	754	**71**	56,8	0,5	11,9	6,4	16,0	0,9	1,5	3,4	0,1	0,0	97,5
254				56,8	0,5	11,9	5,4	14,0	0,9	1,5	3,4	0,1	0,0	94,5
	255	755	**71**	56,3	0,6	12,1	10,4	13,5	0,7	1,4	3,5	0,1	0,1	98,6
255				55,3	0,6	12,1	9,9	12,9	0,7	1,4	3,5	0,1	0,1	96,5

Tab. 2 (Teil 4). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe Horstmann	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	256	756	**91**	53,8	0,6	15,1	5,8	14,6	0,9	2,2	4,3	0,1	0,0	97,4
256				52,8	0,6	15,1	5,4	13,6	0,9	2,2	4,3	0,1	0,0	95,1
	258	758	**74**	55,3	0,6	12,1	6,2	17,5	0,9	1,7	3,0	0,1	0,1	97,4
258				62,8	0,5	10,2	5,2	8,5	0,9	6,7	3,0	<0,05	0,0	97,6
	259	759	**74**	56,4	0,5	11,8	6,1	18,0	0,8	1,6	3,4	0,1	0,0	98,7
259				57,4	0,7	13,7	15,6	4,2	0,9	3,6	3,5	0,1	0,0	99,7
	260	760	**74**	55,1	0,5	12,0	6,8	17,5	0,9	1,7	3,2	0,1	0,0	97,8
260				17,9	0,2	9,8	0,7	0,3	3,3	29,4	0,1	0,0	2,3	64,0
	261	761	**74**	54,2	0,5	12,6	5,2	18,3	0,9	1,9	3,9	0,0	0,1	97,6
261				67,8	0,3	7,0	12,4	5,2	0,4	0,5	2,2	0,1	0,0	95,9
	262	762	**89**	57,1	0,5	9,5	12,1	10,7	1,3	3,2	2,8	0,1	0,0	97,3
262				61,5	0,4	9,4	4,2	15,6	0,7	1,2	3,4	<0,05	0,1	96,5
	263	763	**89**	56,4	0,5	12,1	10,2	11,9	0,7	2,2	3,5	0,1	0,0	97,7
263				56,4	0,5	10,2	6,7	15,6	0,7	2,3	3,5	0,1	0,0	96,1
	265	765	**18K**	27,8	0,4	7,6	47,0	6,3	0,8	2,6	1,5	0,8	0,0	94,8
265				17,8	0,4	7,8	47,0	13,9	0,8	1,6	1,4	0,3	0,1	91,0
	266	766	**18K**	24,3	0,3	4,3	54,9	4,3	0,8	3,5	2,4	0,6	0,0	95,5
266				31,0	0,5	9,1	36,8	4,5	1,6	6,2	3,9	1,0	0,1	94,8
	280	780	**29 BW**	21,4	0,1	1,1	72,4	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	96,0
280				3,8	<0,02	0,2	82,5	0,1	0,0	0,1	0,0	<0,05	0,0	86,7
283				1,0	<0,02	0,2	56,5	15,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	73,5
	285	785	**81 K**	28,0	0,4	7,1	46,5	6,9	1,8	3,9	2,2	0,5	0,0	97,4
285				27,9	0,4	7,1	46,5	6,5	0,8	1,9	2,2	0,5	0,0	93,8
	286	786	**81 K**	26,1	0,4	5,5	46,9	6,9	1,3	3,6	1,5	0,5	0,0	92,7
286				26,1	0,4	5,5	46,9	6,3	0,9	1,6	1,5	0,5	0,2	89,8
	287	787	**81 K**	26,5	0,4	6,8	43,1	8,8	1,4	2,9	1,9	0,5	0,0	92,3
287				26,5	0,4	6,8	43,1	5,8	0,9	1,9	1,9	0,5	0,1	87,8
	289	789	**80 K**	27,3	0,3	6,5	43,9	8,6	1,1	3,3	1,9	0,5	0,0	93,5
289				27,3	0,3	6,0	43,9	6,6	1,1	3,3	1,9	0,3	0,0	90,8
	290	790	**80 K**	26,1	0,4	6,1	50,1	5,3	1,4	4,7	1,5	0,5	0,0	96,1
290				26,1	0,4	6,1	52,1	3,3	1,0	2,7	2,5	0,6	0,0	94,8
	293	793	**15 K**	30,5	0,4	7,1	42,9	6,3	1,3	2,7	2,9	0,8	0,0	95,0
293				32,5	0,4	6,1	41,9	5,3	1,3	3,6	2,9	0,8	0,0	95,0
	300	800	**36 Jubach**	56,9	0,4	19,3	13,2	4,1	0,5	0,9	3,6	0,1	0,1	99,0
300				56,9	0,4	9,1	9,2	5,1	1,0	1,2	4,7	0,1	0,1	87,9
	301	801	**36 Jubach**	53,9	0,5	17,7	12,2	6,0	0,6	1,2	4,8	0,1	0,1	97,0
301				53,9	0,5	9,3	12,2	6,0	0,8	0,4	4,6	0,1	0,1	87,8
	302	802	**36 Jubach**	55,4	0,7	19,8	11,9	6,2	0,9	0,9	1,9	0,1	0,1	97,8
302				54,4	0,7	15,8	16,9	5,2	0,9	0,9	1,9	0,2	0,1	97,0
	305	805	**36 Jubach**	57,5	0,7	19,1	9,1	5,7	1,1	1,4	2,3	0,0	0,1	97,0
305				57,5	0,7	19,1	8,1	6,7	1,1	1,4	3,3	<0,05	0,1	97,8
	306	806	**36 Jubach**	59,2	0,4	18,9	10,4	6,5	0,3	0,5	1,5	0,1	0,1	97,8
306				79,2	0,4	7,9	6,4	2,8	0,3	0,5	1,5	<0,05	0,0	99,0
	307	807	**36 Jubach**	58,3	0,8	18,7	10,7	6,2	0,5	1,1	1,5	0,1	0,1	97,9
307				59,3	0,8	20,7	5,7	4,6	1,1	1,8	3,5	<0,05	0,1	97,6
	310	810	**36 Jubach**	56,9	0,7	19,2	11,5	5,6	0,9	0,8	2,5	0,1	0,0	98,2
310				49,9	0,7	17,2	20,5	4,5	0,9	0,8	2,5	0,1	0,0	97,1
	311	811	**36 Jubach**	59,2	0,8	18,6	10,5	5,3	0,8	1,2	2,0	0,1	0,1	98,5
311				59,2	0,8	18,6	9,8	4,3	1,0	1,2	2,9	0,1	0,1	98,0
	315	815	**10 Volme**	45,0	0,6	26,4	16,6	0,4	1,6	3,9	2,5	0,1	0,1	97,3
315				44,0	0,6	17,4	6,6	22,3	0,6	6,6	3,3	0,1	0,0	101,5
	316	816	**10 Volme**	45,9	0,5	26,2	15,7	0,3	1,9	3,7	2,9	0,2	0,1	97,4
316				47,9	1,1	28,2	10,8	0,3	0,9	10,8	3,0	0,3	0,1	103,3
	317	817	**55 Loherhammer**	56,6	0,5	11,5	8,6	16,0	0,7	1,4	1,7	0,1	0,0	97,1
317				51,9	0,5	11,5	11,3	15,4	0,7	11,3	1,9	0,2	0,0	104,8
	320	820	**8 zwischen**	56,7	0,8	12,7	6,4	16,8	0,6	2,3	2,2	0,0	0,1	98,6
320			Hüttenbruch und Volme	48,7	0,8	17,7	7,4	15,7	0,6	7,4	3,2	0,1	0,0	101,6
	339	839	**66**	56,5	0,3	9,9	12,3	13,7	0,7	1,9	3,2	0,1	0,0	98,6
339				57,5	0,3	4,9	13,3	14,1	0,7	0,9	3,5	0,1	0,0	95,3
	340	840	**66**	52,4	0,3	10,2	11,3	15,1	0,7	1,3	4,0	0,1	0,0	95,4
340				52,4	0,3	6,2	11,3	15,1	0,7	0,7	4,0	0,1	0,0	90,9
	341	841	**66**	52,3	0,4	12,2	13,4	13,5	0,6	1,3	3,8	0,1	0,0	97,6
341				50,3	0,4	6,2	14,4	14,5	0,6	11,3	3,8	0,1	0,0	101,6
	342	842	**66**	54,4	0,4	10,6	12,5	12,8	1,0	1,7	4,3	0,1	0,0	97,8
342				56,4	0,4	6,6	3,4	16,5	1,0	1,7	4,3	<0,05	0,1	90,3
	343	843	**120**	54,4	0,3	11,9	12,2	11,7	0,3	2,1	3,8	0,1	0,0	96,8
343				56,3	0,3	5,9	12,2	11,7	0,9	2,1	3,8	5,0	0,0	98,2
	344	844	**120**	55,0	0,4	9,6	12,0	11,5	1,5	2,6	4,1	0,1	0,1	96,8
344				55,0	0,4	5,6	4,0	14,5	1,5	9,6	4,1	0,1	0,1	94,8
	345	845	**120**	55,3	0,3	12,3	11,0	10,6	0,9	2,5	3,7	0,1	0,0	96,7
345				55,3	0,3	6,0	11,0	10,6	0,9	4,5	3,7	0,1	0,0	92,5
	346	846	**120**	56,4	0,3	10,8	12,6	10,5	0,9	2,1	3,8	0,1	0,0	97,6
346				56,4	0,3	5,8	12,6	10,5	0,9	2,1	3,8	<0,05	0,0	92,5
	347	847	**119**	56,7	0,6	12,4	9,3	14,1	0,8	1,5	3,1	0,1	0,0	98,6
347				57,6	0,3	5,4	9,3	13,8	0,9	1,4	3,9	0,1	0,0	92,7
	348	848	**119**	54,2	0,3	11,2	10,9	14,8	1,3	1,3	3,5	0,1	0,0	97,6
348				54,2	0,3	5,2	5,9	20,8	1,3	1,3	3,5	0,1	0,2	92,8

Tab. 2 (Teil 5). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	349	849	**119**	55,6	0,4	12,9	10,7	12,2	0,9	1,5	3,2	0,1	0,0	97,5
349				52,6	0,3	5,9	12,7	14,4	0,7	1,1	3,6	0,1	0,0	91,5
	350	850	**113**	55,7	0,4	12,1	8,9	12,7	0,7	1,9	3,8	0,1	0,0	96,3
350				52,7	0,3	6,1	14,9	12,7	0,7	0,9	3,8	<0,05	0,0	92,2
	351	851	**113**	54,9	0,4	10,2	8,7	15,3	1,1	1,7	3,8	0,1	0,0	96,2
351				54,9	0,4	6,3	8,7	15,3	1,1	1,7	3,8	0,1	0,0	92,3
	352	852	**113**	53,5	0,3	11,2	11,0	14,3	1,0	1,4	4,1	0,1	0,1	96,9
352				53,5	0,3	6,2	11,0	14,3	1,0	1,4	4,1	<0,05	0,0	91,9
	353	853	**113**	59,4	0,4	10,1	5,0	15,3	1,0	1,3	4,1	0,1	0,0	96,7
353				59,4	0,4	6,1	4,0	14,3	1,0	1,3	4,1	<0,05	0,0	90,7
	354	854	**113**	56,5	0,4	12,2	6,1	13,9	1,2	1,5	4,1	0,1	0,0	96,0
354				56,5	0,4	6,2	6,1	13,9	1,2	3,0	4,1	<0,05	0,0	91,5
	356	856	**127**	52,7	0,3	10,8	11,5	16,6	0,6	2,0	3,7	0,1	0,1	98,3
356				43,7	0,3	10,8	11,5	20,6	0,6	2,0	3,7	0,1	0,0	93,3
	357	857	**127**	51,5	0,4	11,8	12,1	15,2	0,8	1,8	4,4	0,1	0,0	98,2
357				36,5	0,4	19,8	12,1	15,4	0,8	1,8	4,4	0,1	0,0	91,5
	359	859	**127**	51,1	0,4	11,3	12,1	17,7	0,7	1,1	3,2	0,1	0,0	97,7
359				45,1	0,4	14,3	9,1	17,7	0,7	2,1	4,2	0,1	0,0	93,6
	360	**860**	**105**	**57,2**	**0,3**	**10,4**	**9,4**	**13,3**	**0,9**	**1,9**	**3,8**	**0,1**	**0,1**	97,3
360				59,2	0,3	10,4	7,4	13,3	0,9	1,9	3,8	<0,05	0,0	97,3
	363	863	**105**	56,3	0,3	10,3	6,4	16,8	1,4	2,7	3,4	0,1	0,0	97,7
363				56,3	0,3	10,3	3,4	16,8	1,4	2,8	3,4	<0,05	0,0	94,7
	364	864	**105**	55,9	0,3	10,7	9,3	14,6	0,8	1,9	3,9	0,1	0,0	97,5
364				55,9	0,3	10,7	8,3	15,6	0,8	1,9	3,9	<0,05	0,0	97,3
	365	865	**105**	55,0	0,3	10,4	9,6	14,8	0,9	2,2	4,0	0,1	0,0	97,3
365				55,0	0,3	5,4	9,6	15,8	0,9	2,2	4,0	<0,05	0,0	93,3
	366	866	**104**	53,0	0,4	11,7	7,4	18,8	0,7	1,4	4,2	0,1	0,0	97,7
366				53,0	0,4	6,7	7,4	18,8	0,7	1,4	4,2	<0,05	0,1	92,6
	367	867	**104**	53,3	0,4	11,6	8,1	16,5	0,7	2,0	4,0	0,1	0,1	96,7
367				52,3	0,4	6,6	9,1	16,5	0,7	0,9	4,0	<0,05	0,0	90,5
	368	868	**104**	53,6	0,4	12,6	7,8	16,5	0,6	2,1	4,0	0,1	0,0	97,7
368				42,6	0,4	7,6	7,8	10,5	0,7	1,1	4,0	<0,05	0,0	74,7
	369	869	**104**	55,2	0,4	10,6	6,9	18,3	0,7	2,0	4,0	0,1	0,1	98,2
369				50,2	0,4	17,6	2,0	18,3	0,7	1,0	5,0	<0,05	0,0	95,3
	370	870	**103**	52,9	0,3	11,9	9,6	15,0	0,6	1,8	3,8	0,1	0,0	96,0
370				50,9	0,3	9,9	11,6	17,0	0,5	1,2	3,8	<0,05	0,0	95,2
	372	872	**103**	53,6	0,4	12,8	9,3	14,7	0,7	1,4	4,2	0,1	0,0	97,2
372				48,6	0,4	12,8	9,3	19,7	0,7	1,4	4,2	0,1	0,0	97,2
	373	873	**103**	55,6	0,4	11,8	9,9	13,3	0,5	1,8	3,7	0,1	0,0	97,1
373				54,6	0,4	11,8	9,9	14,3	0,5	0,8	3,7	<0,05	0,0	96,0
	374	874	**97**	54,5	0,4	14,1	11,2	10,8	0,9	1,3	3,9	0,1	0,0	97,3
374				54,5	0,4	18,8	12,2	5,9	0,9	1,3	4,9	<0,05	0,0	98,9
	376	876	**97**	51,8	0,3	10,7	6,9	22,3	0,9	1,4	4,1	0,0	0,1	98,5
376				51,8	0,3	10,7	6,9	18,3	0,9	2,4	4,1	<0,05	0,0	95,4
	377	877	**97**	52,7	0,4	11,4	5,5	22,5	0,9	1,1	3,5	0,0	0,1	98,1
377				55,7	0,4	11,4	10,0	13,7	0,9	1,1	4,3	<0,05	0,0	97,5
	378	878	**96**	55,2	0,3	12,3	6,6	15,8	0,7	1,7	3,8	0,1	0,1	96,5
378				53,2	0,3	11,3	10,0	17,7	0,7	1,2	3,8	<0,05	0,0	98,2
	380	880	**96**	54,4	0,3	11,6	6,2	16,7	1,7	1,8	4,5	0,1	0,1	97,3
380				54,4	0,3	11,6	5,2	16,7	1,7	3,8	4,5	<0,05	0,1	98,1
	381	881	**96**	54,4	0,4	13,5	6,9	15,2	0,9	1,7	4,3	0,1	0,0	97,4
381				53,4	0,4	13,1	12,6	11,7	0,9	1,7	3,8	<0,05	0,0	97,6
	386	886	**4 K**	30,3	0,2	7,0	43,4	7,1	1,1	3,7	1,2	0,8	0,0	94,8
386				32,3	0,2	7,0	37,4	8,1	1,1	2,7	9,2	0,9	0,0	98,8
	388	888	**4 K**	32,5	0,2	5,5	44,4	5,6	1,5	4,2	3,2	0,9	0,0	98,0
388				32,5	0,2	6,4	41,4	4,6	1,5	6,2	4,2	1,0	0,0	97,9
	390	890	**4 K**	28,7	0,3	6,6	44,4	8,2	1,2	3,0	3,4	0,9	0,0	96,7
390				30,6	0,2	7,6	42,4	9,2	1,2	3,0	3,4	0,9	0,0	98,6
	422	922	**10 Volme**	45,6	0,8	26,2	16,3	0,2	1,7	3,8	2,1	0,3	0,1	97,1
422				38,6	0,8	21,7	26,9	0,2	1,7	2,6	2,9	0,3	0,3	95,9
	423	923	**10 Volme**	45,3	0,5	26,1	17,6	0,5	1,6	3,0	2,5	0,2	0,1	97,4
423				5,7	0,1	1,9	1,0	0,6	0,2	2,1	<0,05	<0,05	0,6	12,0
	424	924	**10 Volme**	45,3	0,6	26,8	18,1	0,4	1,4	3,2	1,8	0,2	0,1	97,9
424				65,8	1,1	17,7	8,5	0,3	0,5	1,1	2,9	0,4	0,0	98,3
	426	926	**10 Volme**	46,7	0,6	26,1	16,1	0,3	1,5	3,9	2,2	0,2	0,1	97,7
426				55,3	0,7	15,6	19,1	0,6	0,5	1,0	2,6	0,4	0,1	96,0
	437	937	**136**	54,9	0,7	13,6	5,5	17,0	0,8	1,7	3,1	0,1	0,0	97,4
437				55,9	0,6	13,6	7,4	15,0	0,8	1,7	4,1	<0,05	0,1	99,3
	438	938	**136**	55,5	0,5	11,5	4,3	20,2	0,6	1,2	3,4	0,1	0,0	97,3
438				58,4	0,5	11,5	5,6	16,7	0,6	1,2	3,4	<0,05	0,0	97,9
	439	939	**136**	56,2	0,6	13,5	4,8	16,0	0,6	1,5	3,0	0,1	0,0	96,3
439				59,2	0,6	13,5	7,8	13,0	0,6	1,5	4,0	<0,05	0,0	100,3
	440	940	**136**	56,6	0,5	12,8	6,1	16,3	0,6	1,7	3,5	0,1	0,0	98,2
440				56,6	0,7	15,8	8,0	12,8	0,6	0,8	4,5	<0,05	0,0	99,8
	442	942	**Elspe oberhalb Neuenhof**	52,9	0,7	17,1	17,7	5,4	0,7	0,9	4,2	0,1	0,0	99,7
442				52,9	0,7	17,1	15,7	5,4	0,7	0,8	4,0	<0,05	0,0	97,3
	443	943	**Elspe oberhalb Neuenhof**	53,5	0,7	15,0	15,9	2,4	0,7	4,2	3,7	0,1	0,0	96,2
443				53,5	0,7	15,0	19,3	2,4	0,7	4,2	3,7	<0,05	0,0	99,5

Tab. 2 (Teil 6). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

Nr. MPI	(VW-Nr) Horstmann	Probe Horstmann	Fundort Horstmann	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
	444	944	**Elspe oberhalb Neuenhof**	52,6	0,6	10,8	11,7	14,6	0,6	2,3	3,0	0,1	0,0	96,3
444				56,6	0,5	10,8	11,7	16,6	0,6	2,3	3,1	<0,05	0,0	102,2
	596	1096	**105**	59,0	0,6	11,1	9,8	13,5	0,8	1,9	2,0	0,1	0,0	98,8
596				59,0	0,6	11,1	11,8	12,5	0,7	1,9	2,0	<0,05	0,0	99,6
	597	1097	**105**	56,0	0,6	11,7	6,3	17,2	1,0	2,3	2,1	0,1	0,0	97,3
597				55,9	0,6	11,7	9,3	14,2	1,2	2,9	2,1	<0,05	0,0	98,0
	598	1098	**105**	58,3	0,6	11,8	6,0	16,2	0,9	2,3	2,3	0,1	0,0	98,5
598				54,1	0,5	11,8	7,6	15,9	0,9	2,4	2,3	<0,05	0,0	95,5
	599	1099	**105**	57,3	0,6	11,7	10,5	13,8	0,9	2,0	2,0	0,1	0,0	98,9
599				58,0	0,6	11,7	13,6	11,5	0,9	1,9	2,0	<0,05	0,0	100,4
	600	1100	**105**	55,9	0,7	13,0	6,9	16,3	1,5	2,5	1,6	0,1	0,1	98,6
600				74,0	0,8	13,0	5,0	1,6	0,6	0,5	1,6	0,1	0,0	97,2

Tab. 2 (Teil 7). Daten MPI Düsseldorf abweichend D. Horstmann (Gew.-%), Vergleich.

1. Daten MPI Düsseldorf

Nr.	Probe	Fundort	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
161		keine Angaben	37,90	0,28	5,35	35,50	0,40	1,18	10,10	1,55	0,74	0,95	93,95
316		keine Angaben	47,90	1,05	28,20	10,80	0,31	0,90	10,80	2,95	0,30	0,07	103,28
317		keine Angaben	51,90	0,52	11,50	11,30	15,40	0,73	11,30	1,92	0,15	0,04	104,76
341		keine Angaben	50,30	0,36	6,24	14,41	14,46	0,61	11,28	3,83	0,08	0,03	101,60
382		keine Angaben	55,98	0,05	3,71	11,80	1,92	3,99	19,10	2,03	0,00	0,03	98,61
383		keine Angaben	62,55	0,07	5,00	3,77	2,03	3,10	18,94	1,96	0,00	0,02	97,44
384		keine Angaben	57,58	0,09	4,67	9,38	2,39	4,82	17,59	1,81	0,00	0,02	98,35
385		keine Angaben	59,41	0,04	2,84	13,13	1,64	4,29	16,41	2,01	0,88	0,02	100,66
526		keine Angaben	42,75	0,48	11,22	0,16	1,68	1,01	39,20	1,66	0,00	1,64	99,80
527		keine Angaben	45,00	0,44	11,35	0,18	2,77	0,98	37,60	2,29	0,00	1,45	102,06
528		keine Angaben	44,43	0,58	11,08	0,17	2,33	1,18	36,50	2,12	0,00	1,22	99,62
613		keine Angaben	54,25	0,59	12,76	5,43	5,10	1,58	15,20	2,16	0,00	0,04	97,12

2. Daten D. Horstmann

Nr.	Probe	Fundort	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	S	Summe
Ho 134	149	Luisenhütte Wocklum	52,10	0,50	9,90	1,20	3,40	1,90	25,80	2,00	0,63	0,12	97,55
Ho 137	152	Luisenhütte Wocklum	50,30	0,40	9,50	1,30	2,70	2,80	27,60	2,30	0,71	0,16	97,77
Ho 138	153	Luisenhütte Wocklum	50,60	0,40	7,80	1,30	3,40	2,30	28,40	1,80	0,53	0,15	96,68
139	154	Luisenhütte Wocklum	50,70	0,50	9,80	1,40	3,10	1,80	26,40	2,00	0,44	0,13	96,27
140	155	Luisenhütte Wocklum	50,40	0,70	12,10	1,10	3,10	1,90	25,30	2,10	0,48	0,23	97,41

Tab. 3. Analysen mit CaO > 10 Gew.-%.

Zeit	Anzahl	Position in Farbtaf. xxx	Referenz
Romano-British	26	1,1	S. Paynter, Innovations in bloomery smelting in Iron Age and Romano-British England
Gallo-Römisch (?)	11	1,1	U. Thiemann. Archäometallurgische Eisenschlacken von Kerzenheim und Waldalgesheim. Diplomarbeit Mainz 1985
Gallo-Römisch	42	1,1	W. Birke. Eisenerze im nördlichen Morvan und ihre Bedeutung in gallo-römischer Zeit. Dissertation Mainz 1987
6. Jh.	15	1,4	L. Eschenlohr, V. Serneels. Les Bas fourneaux Mérovingiens de Boécourt, les Boulies (Ju, Suisse). 1991
6.-11.Jh.	18	3,1	G. Ferrieres, M. Leroy, A. Ploquin. La métallurgie du fer à Ludres en Lorraine.
Mittelalter	11	3,1	H. Laurent, S. Laurent, B. Raissouni. La sidérurgie ancienne de Est de la France. Besançon 1993.
7.-15 Jh.	78	3,2	G. Gassmann, Ü. Yalçin, A. Hauptmann. Frühmittelalterliche Eisenproduktion in Kippenheim, Südbaden. Bochum 1995
13.-15. Jh. ?	Tabelle 2	1,2	
	Tabelle 2	2,0	Märkisches Sauerland (Horstmann, MPI)
19. Jh.	Tabelle 3	3,2	Luisenhütte (Horstmann, MPI)
19. Jh.	26	3,2	J. Percy. Metallurgy. Iron, Steel. London 1864.

Tab. 4. Vergleichsanalysen zu *Abb. 3*.

ZUR VERHÜTTUNG IN RENNÖFEN

Manfred Sönnecken (†)

BERGBAU

Die Eisenverhüttung basiert auf entsprechenden Erzvorkommen und der Verfügbarkeit von Holz in Form von Holzkohle. Da sich die Schlackenhalden der Rennverhüttung fast ausschließlich in der Nähe von Quellsiepen bzw. am Oberlauf von Bächen finden, muss Wasser, wenn auch nicht unmittelbar beim Verhüttungsvorgang, ebenfalls eine Rolle gespielt haben. Im Sauer- und Siegerland wurden die anstehenden Bergerze eingesetzt. Bisher hatte man angenommen, dass diese Erze für den Rennprozess ausschließlich im Tagebau abgebaut wurden, da an vielen Stellen die Pingen als Relikte dieses Bergbaues auch heute noch in den Wäldern zu sehen sind. Die neuere Erforschung des Bergbaues im Felsenmeer bei Hemer zeigt jedoch, dass spätestens um 900/1000 n. Chr. die Bergleute im Untertagebau, in Höhlen-Gruben[1], Erze abgebaut haben. Dabei konnte beobachtet werden, dass nicht die primären Eisenerzlagerstätten, die aus metasomatischem Roteisenstein bestanden, abgebaut wurden, sondern abgerundete, in die Höhlen mit fluvialen Sedimenten eingeschwemmte Erze, vornehmlich Hämatite[2], deren Eisengehalt durchweg über 60 % beträgt und die im Rennverfahren gut zu verhütten sind.[3]

Hieraus lässt sich schließen, dass die Berg- und Hüttenleute dieser Zeit hochgradige Spezialisten ihres Faches gewesen sein müssen. In den anderen Bereichen des Märkischen Sauerlandes scheint dagegen die Beobachtung zuzutreffen, dass der Pingenbau die der Rennverhüttung entsprechende Form des Bergbaues darstellt. Im Siegerland erbrachte Uwe Lobbedey auf dem Altenberg bei Müsen den Nachweis des Schachtbaues mit abgehenden Strecken für das 13. Jahrhundert.[4] Da in diese Zeit im Siegerland und Sauerland die Einführung des Floßofens zu setzen ist, entspricht dieses Ergebnis sehr deutlich der Tatsache, dass parallel zur Einführung des indirekten Verfahrens in der Verhüttung mit einer deutlichen Steigerung der Eisenausbringung eine entsprechende Intensivierung des Bergbaues stattgefunden haben muss. Insgesamt bedarf dieses Feld jedoch einer weiteren Erforschung. Hier stehen wir lediglich am Anfang. Die Basis für eine generelle Aussage ist noch nicht vorhanden. Die ersten schriftlichen Quellen über Bergbau datieren in das 14./15. Jahrhundert, besitzen daher für die Zeit der Rennverhüttung keine Aussagekraft.

HOLZ

Holzkohle bildete den Grundstoff für die Verhüttung bis ins 19. Jahrhundert hinein. Erst die Umstellung auf Steinkohle ließ die Verhüttung im Sauerland unrentabel werden, da die Steinkohlevorkommen im Ruhrgebiet die entsprechenden Kostenvorteile boten. Bis dahin war das Vorhandensein von Holz ein äußerst wichtiger Standortfaktor. Als für die Verhüttung geeignetes Reduktionsmittel diente dabei die Holzkohle.

Die Erforschung der Ebbemoore hat in jüngster Zeit zu wichtigen Erkenntnissen der Geschichte des Waldes im Märkischen Sauerland geführt.[5] Zu den ältesten Waldformationen gehören demnach Eichen, Linden, Eschen und Ulmen, an den Nass-Standorten Erlen und Birken. Um 1000 v. Chr. ist es zur Massenausbreitung der Buche gekommen, wobei die Eiche etwas zurückgedrängt wurde. Für unsere Betrachtung des Eisenhüttenwesens ist es entscheidend, dass an der Wende vom Spätmittelalter zur frühen Neuzeit (14C-Datierung: 1460 +/- 225 Jahre n. Chr.) ein verstärktes Eingreifen des Menschen in den Naturhaushalt zu beobachten ist. Der überwiegende Eichen-Buchen-Mischwald wurde in einen Niederwald umgewandelt und die Zunahme heliophiler Gräser spricht für die Zunahme von Freiflächen im Walde und beginnende Waldverwüstung. Die Verbreitungskarte der Rennverhüttung zeigt sowohl für den Ebbe-Wald als auch für den „Griesing“ zwischen Meinerzhagen und Lüdenscheid eine erstaunliche Dichte und belegt damit den Zusammenhang von Vegetationsveränderung und Verhüttung.[6]

WASSER

Welche Rolle das Wasser bei der direkten Eisenverhüttung spielte, ist noch weitgehend unklar. Es fällt jedoch auf, dass die Standorte der Rennverhüttung in der Regel in unmittelbarer Nähe von Bächen, meist sogar in den Quellmulden liegen. Nur in dem Gebiet mit einer äußerst dichten Verhüttung, der Wiblingwerder Hochfläche, kommt es vor, dass einzelne Standorte etwas weiter vom Wasser entfernt liegen, aber auch hier gilt die Regel. Es ist daher aus der Lage zu schließen, dass man Wasser beim Verhütten der Erze benötigte,

[1] Hänisch 1995; 1990, 101–128; Neujahrsgruß 1992, 74 f.
[2] Hänisch 1995, 50.
[3] Neumann 1954.
[4] Lobbedey 1993, 315–319.
[5] Vgl. Pott/Speier 1996.
[6] Knau/Sönnecken 2000, 48, 52–56.

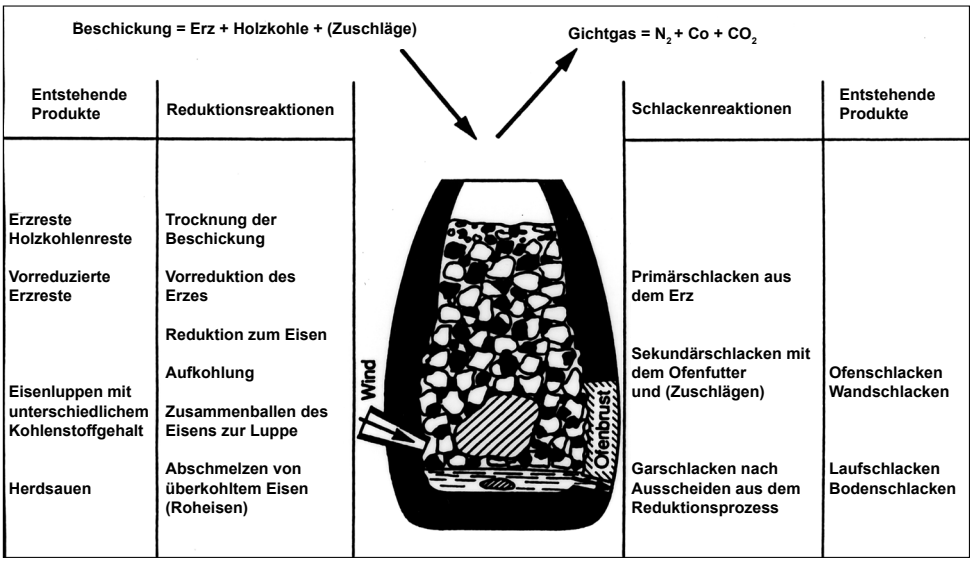


Abb. 1. Reaktionsablauf im Rennofen (Abb. D. Horstmann).

wir wissen jedoch nicht wozu, da die Gebläse sicher nicht vom Wasser angetrieben wurden. In den Gebieten mit Verhüttung in Rennfeuerherden ist an vielen Stellen die Weiterverarbeitung des gewonnenen Eisens nachzuweisen, bei der man sich sehr gut die Verwendung von Wasser beim Ausschmieden, z. B. zum Abschrecken, vorstellen kann. Bei der Verhüttung im Rennofen ist bisher keine Weiterverarbeitung nachgewiesen worden. Daher ist an diesen Plätzen die Verwendung von Wasser noch ungeklärt.

Die indirekte Eisenverhüttung ist unmittelbar von der Wasserkraft abhängig, da bei den größeren Volumina der Floßöfen und den zu erreichenden höheren Temperaturen die menschliche oder tierische Kraft nicht ausreichte. Daher ist mit dem Übergang zur Floßofenverhüttung eine Verlegung in die Tallagen zu beobachten, zumindest an solche Plätze, an denen die Wasserkraft zur Bedienung der Blasebälge ausreichte. In einzelnen Fällen sind jedoch auch noch Standorte von Floßöfen in den Quellmulden zu beobachten. Diese lassen sich nur damit erklären, dass die Wasserkraft an diesen Bächen schon ausreichte, um die Blasebälge anzutreiben. Für Hammerwerke sind solche Standorte jedoch in keinem Falle geeignet.

Die Wahl eines Standortes war einmal vom Gelände abhängig, in dem ein Teich zur Wasserbevorratung sowie ein Ober- und Untergraben zur Wasserführung angelegt werden mussten, wobei es im Wesentlichen darauf ankam, das nötige Wassergefälle zu erreichen. Die im Vergleich zu den wassergetriebenen Gebläsen wesentlich schwerer zu betreibenden Hammerachsen benötigten stärkere Wassergefälle. Andererseits musste das jeweils im Frühjahr einsetzende Hochwasser beherrschbar sein, da die Überflutung jeweils schwere Zerstörungen mit sich brachte. Die Lage der beiden an der Kerspe ergrabenen Floßöfen (Verhüttungsplatz Nr. 105, s. S. 103 ff.) zeigt, wie wichtig die Höhe des Wassergefälles war, da der ältere Ofen mit einem geringeren Gefälle weiter vom Bach entfernt und damit weniger vom Hochwasser gefährdet war, auch keine eigene Drainage benötigte, während der jüngere im Hochwasserbereich des Baches eine besondere Drainage benötigte und unmittelbar vom jeweiligen Hochwasser bedroht war. Die Anlage einer Drainage ist auch bei einzelnen Rennhütten zu beobachten.

Die Anlage des Vorratsteiches und des Ober- bzw. Untergrabens war häufig besonders aufwändig. Im Gelände sind Obergräben mit einer Länge bis zu einem Kilometer bei Hammerwerken zu beobachten. Der gerade erwähnte Hüttenplatz an der Kerspe muss ebenfalls einen besonders langen Obergraben gehabt haben, dessen Wasser aus dem Nebensiepen des Antlenbaches gespeist worden sein muss. Leider konnte dieser Obergraben in seinem gesamten Ausmaß bei der Grabung nicht verfolgt werden. An der oberen Wipper (Verhüttungsplatz Nr. 90, s. S. 185 ff.) war der Obergraben zwar nicht in seiner ganzen Länge zu verfolgen, da er durch zeitlich spätere Geländebewegungen in Teilen zerstört war; der Teich ist jedoch ausweislich des Flurnamens Hüttenteich noch erhalten. Hier lassen sich die enormen Ausmaße, die ein solcher Hüttenplatz gehabt hat, noch sehr gut erkennen. Da diese Beobachtung ebenso für den flussabwärts gelegenen Hüttenplatz und in Einschränkungen auch für den darüber liegenden gemacht werden kann, wäre eine Eintragung als Bodendenkmal dringend geboten. In diesem Flussabschnitt ist die Wasserführung für die Floßöfen insgesamt noch am besten zu erkennen, weil im Gegensatz zu fast allen anderen Flusstälern keine spätere Überbauung erfolgt ist.

GRUNDLAGEN DER RENNVERHÜTTUNG[7]

Aus den Unterschieden der chemischen Zusammensetzung der Rennschlacken und dem Reduktionsverlauf lassen sich Hinweise auf die Arbeitsweise der Rennverhüttung ableiten, denn diese Veränderungen hängen vom Ofentyp, dem Material der Ofenwandung oder -auskleidung und von der Verwendung von Zuschlägen bei der Verhüttung ab. Aus diesen Gründen kann sich die Zusammensetzung der Schlacken während der Reduktion in sehr unterschiedlicher Weise verändern. Daher ist es zweckmäßig, hier zunächst den Ablauf der Reaktionen im Rennofen zu erörtern.

Im Prinzip stellt ein Rennofen ein im Gegenstrom arbeitendes Reaktionsgefäß mit einem Stützgerüst aus Holzkohle dar, in das von oben das Reaktionsgut, Erze und gegebenenfalls Zuschläge, aufgegeben und von unten das Reaktionsmittel, der Wind, eingeblasen wird (*Abb. 1*). Das Stützgerüst aus Holzkohle brennt dabei ab und liefert damit die zur Reduktion nötige Wärme und das Reduktionsmittel CO. Daher muss ständig neue Holzkohle mit aufgegeben werden, um das stützende Gerüst aufrecht zu erhalten. Im Ofen laufen zwei Reaktionsarten simultan unter gegenseitiger Wechselwirkung ab: auf der einen Seite die zum Eisen führende Reduktionsreaktion und auf der anderen Seite die der dazu nötigen Schlackenbildung. Nach Aufgabe der Beschickung in den Ofen wird diese zunächst getrocknet. Anschließend werden die hochwertigen Eisenoxyde des Erzes im festen Zustand zum zweiwertigen Oxyd, dem Wüstit, vorreduziert (*Abb. 2*). Geringe Mengen des vorreduzierten Erzes werden dabei direkt mit zum metallischen Eisen weiterreduziert. Gleichzeitig bildet sich aus den in den Erzpartikeln enthaltenen Fremdstoffen eine Primärschlacke, in der sich Teile des Wüstits unter Verflüssigung auflösen. Diese Eisensilikatschlacke umhüllt die einzelnen Wüstitteilchen. Durch Reaktionen mit im Erz enthaltenen Gangartteilchen und Auflösen weiterer Wüstitanteile verflüssigt sich dieses zunächst noch feste Gemisch fortlaufend, ein Vorgang, der noch durch die Reduktion des in dieser hocheisenhaltigen Schlacke gelösten zweiwertigen Eisens zum metallischen Eisen unterstützt wird. Es folgt die wesentliche Reduktion des Eisens aus dieser flüssigen Eisensilikatschlacke, die durch Reaktionen mit der Ofenwand und gegebenenfalls mit Zuschlägen zur Sekundärschlacke weiter verdünnt wird. Im Allgemeinen führt dies zu einem günstigeren Schlackengang und damit zu einer leichteren Reduktion. In den Schlacken ändert sich aber dabei das Verhältnis der einzelnen Elemente zueinander in charakteristischer Weise. Aus diesen Verschiebungen lassen sich daher Hinweise auf die Arbeitsweise bei der Verhüttung ziehen, nämlich nach der Art des Ofenmaterials und der Anwendung von Zuschlägen. Aus den entgegen den aufsteigenden Reaktionsgasen im Gegenstrom absinkenden Reaktionsprodukten ballt sich das Eisen etwas oberhalb der Blasebene zur Luppe zusammen, die Restschlacke fließt als Garschlacke in den Unterofen ab und scheidet damit aus dem Reaktionsprozess aus. Sie erstarrt hier oder wird durch einen Schlackenabstich aus dem Ofen abgezogen. Nach Beendigung des Prozesses wird die Ofenbrust aufgebrochen und die Luppe mit den im Ofen verbliebenen Schlackenresten und der nicht verbrannten Holzkohle dem Ofen entnommen.



Abb. 2. Gefügeaufbau einer Rennschlacke: Man erkennt die charakteristischen, dendritischen Ausscheidungen des Wüstits und die balkenförmigen des Fayalits (Foto D. Horstmann).

Das auf diese Weise reduzierte Eisen war im Allgemeinen arm an Kohlenstoff. Unter günstigen Bedingungen konnte das reduzierte Eisen aber größere Mengen an Kohlenstoff aufnehmen. Als Produkte fielen dann Stähle mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten an. Dabei kam es auch vor, dass sehr große Mengen an Kohlenstoff in das Eisen übertraten und es durch Überkohlung zur Bildung von flüssigem Roheisen kam, das in den Unterofen abtropfte und dort als Herdsau erstarrte. Beim Verhütten phosphorreicher Erze wurden manchmal große Mengen an Phosphor zusammen mit dem Eisen reduziert. Die auf diese Weise entstehenden Eisen-Phosphor- und Eisen-Kohlenstoff-Phosphor-Legierungen können ebenfalls anschmelzen und sich am Boden des Ofens als Herdsäue ansammeln.

RENNVERHÜTTUNG IM MÄRKISCHEN SAUERLAND

Bei zahlreichen Grabungen im Märkischen Sauerland wurde nachgewiesen, dass hier bei der im 8. Jahrhundert einsetzenden Rennverhüttung regional zwei unterschiedliche Typen von Rennöfen verwendet wurden (*Abb. 3*). Zum einen handelt es sich um den eingemuldeten Schachtofen und zum anderen um einen flachen Rennfeuerherd.[8] Im Schachtofen wurde im nördlichen

[7] vgl. auch Osann 1971.

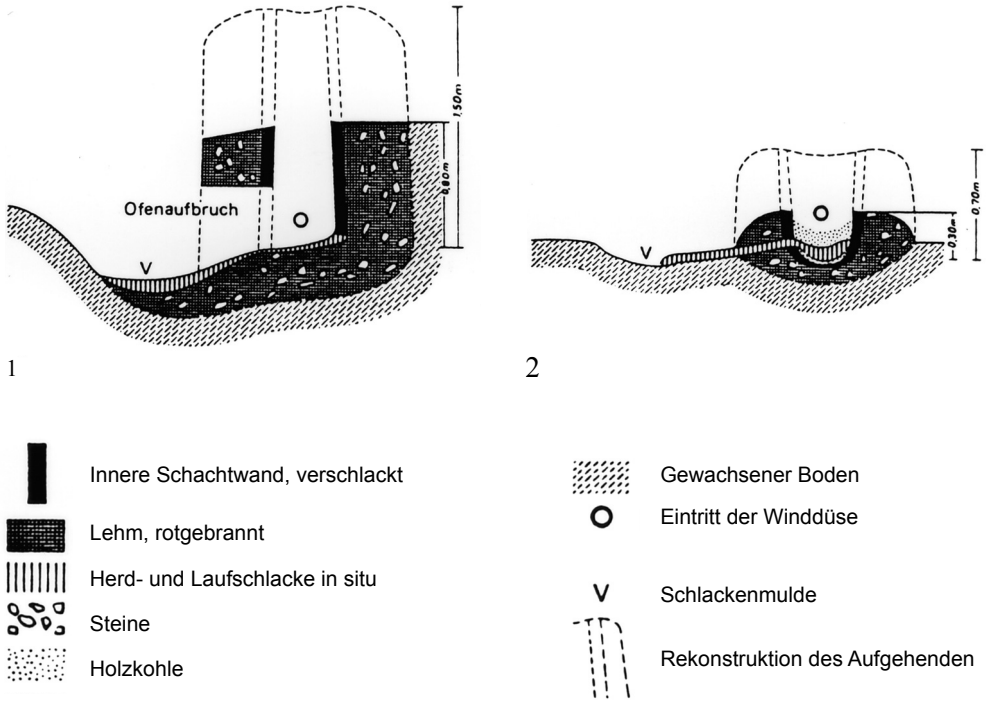


Abb. 3. Grundformen der Rennfeueröfen im Aufriss. 1: eingemuldeter Schachtofen; 2: flacher Rennfeuerherd.

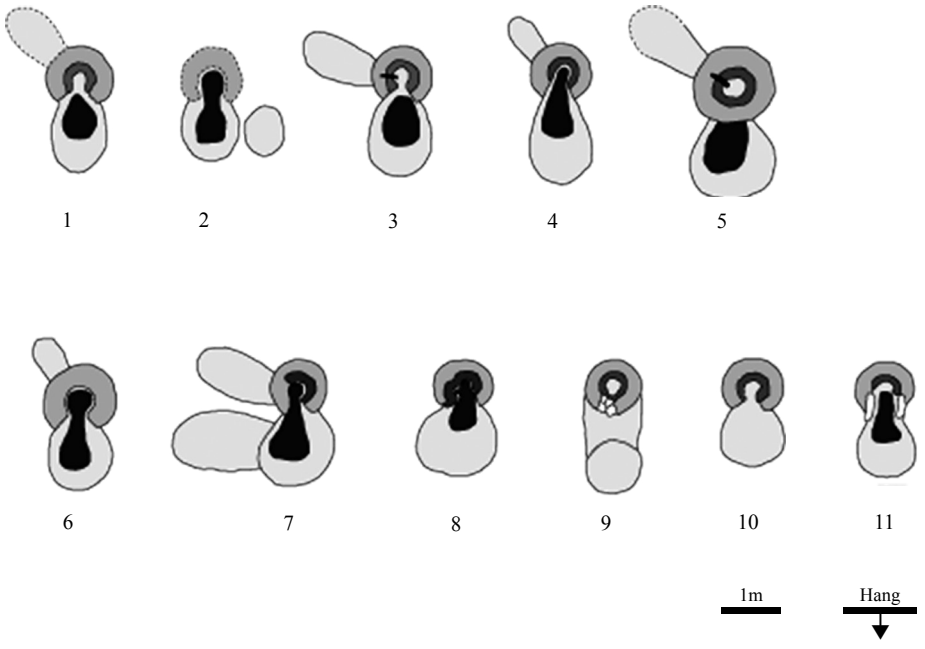


Abb. 4. Formen eingemuldeter Schachtöfen: 1: „Am Walde“ 1 bei Großendrescheid; 2: „Am Walde“ 2 bei Großendrescheid; 3: „In den fuhlen Kümpen“ bei Sonnenscheid; 4: „Im Siefen“ bei Heedhoff; 5: „Berentroper Berg“ bei Neuenrade; 6: „Linackers Siepen“ bei Altena; 7: „Linackers Kante“ bei Altena; 8: „Am Lissing“ bei Altena; 9: „Wixberg“ 2 bei Altena; 10: „Grebbecke“ bei Lüdenscheid; 11: „Heimke“ bei Herlsen (Umzeichnungen nach M. Sönnecken).

Teil des Untersuchungsgebietes, also in der Gegend von Balve bis in den Lüdenscheid-Werdohler Raum, aber auch im Schwelmer Gebiet, verhüttet. Der flache Rennfeuerherd wurde dagegen im übrigen Gebiet bis in den Bereich von Kaltenbach und Loope bei Engelskirchen und darüber hinaus im Bergischen Land[9] sowie im kölnischen Sauerland[10] benutzt. Beim Schachtofen wurde der Herd etwa 70 bis 100 cm schräg in einen Hang eingegraben (*Abb. 4*).

Als Baumaterial wurde in der unmittelbaren Umgebung anstehender Lehm benutzt, der in einigen Fällen mit bis zu faustgroßen Steinen abgemagert wurde. Innen wurden die Ofenwände häufig mit einem grauen, möglicherweise kalkhaltigen Ton ausgekleidet. Die Ofenhöhe betrug im Mittel etwa 1,50 m, der Durchmesser des Herdes mit einer schräg zur Schlackenmulde geneigten Herdsohle lag zwischen etwa 40 bis 45 cm. Der Wind wurde von der Seite in den Ofen eingeblasen, wie es Ofenfragmente und zahlreiche geborgene Winddüsen belegen. Als Beispiel hierfür ist die Ofenruine von Gut Berentrop in Neuenrade besonders geeignet (*Abb. 5*).[11] Beim Betrieb solcher Schachtöfen wurden ständig Holzkohle und Erz, gegebenenfalls auch Zuschläge nachgegeben. Am Ende einer Charge wurde die Ofenbrust aufgeschlagen und die Luppe samt Holzkohle- und Beschickungsresten dem Ofen entnommen, wobei die Schlacke schon vorher in die Vormulde geflossen war (*Abb. 6*). Vor Beginn der nächsten Charge wurde die Ofenbrust wieder zugesetzt. Die Erze wurden vor der Aufgabe geröstet, wie es die neben dem Ofen gefundenen Röstgruben zeigen. Dies war in Anbetracht der hier anstehenden recht derben Erze nötig, um diese brüchiger zu machen. Ausheizgruben zum Ausheizen der Luppe wurden jedoch nicht gefunden. Dies wird als ein Hinweis für die Weiterverarbeitung andernorts betrachtet. Der flache Rennfeuerherd wurde im Allgemeinen auf einen ebenen Boden aufgesetzt (*Abb. 7; 8*). Gelegentlich wurde aber auch der untere Teil, also der eigentliche Herd, in den Boden eingegraben. An der Vorderseite wurde ein eingetiefter Schlackenkanal mit einer flachen Vormulde zur Aufnahme der Schlacke angelegt. Der aus Lehm hochgezogene kleine Schacht hatte eine Höhe von nur 50 bis 70 cm, der Herddurchmesser betrug 30 bis 40 cm. In den weitaus meisten Fällen wurde der untere Teil des Schachtes mit größeren Steinen abgestützt. Herd und Schacht waren mit einem grauen Schlemmton ausgekleidet. Das Fehlen von Düsen an den Fundstellen deutet daraufhin, dass der Wind über den Schachtrand von oben in den Rennfeuerherd eingeblasen wurde, wobei die Schnauzen der Blasebälge durch eiserne Tüllen vor der Verbrennung geschützt wurden. Die Schlacke verblieb während eines Schmelzprozesses im Herd und wurde nach Beendigung der Re-



Abb. 5. Berentrop. Reste eines Schachtofens mit eingetieftem Herd (Foto M. Sönnecken).

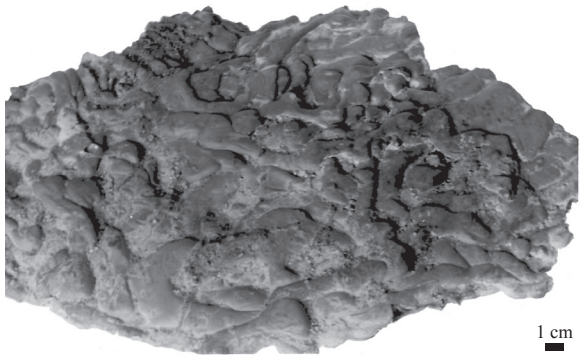


Abb. 6. Laufschlacke aus der Vormulde eines Schachtofens (Foto M. Sönnecken).



Abb. 7. Verhüttungsplatz „Im Holensiepen“ bei Handweiser/Schwenke. Flaches Rennfeuer mit Herd, Schlackenkanal und Vormulde (Foto M. Sönnecken).

[8] Sönnecken 1971, 117.
[9] Vgl. auch Rech 1991, 110 ff.
[10] Sönnecken 1982.

[11] Die ausgegrabenen Reste dieses Ofens sind durch eine Überbauung geschützt worden und heute jedermann zugänglich.

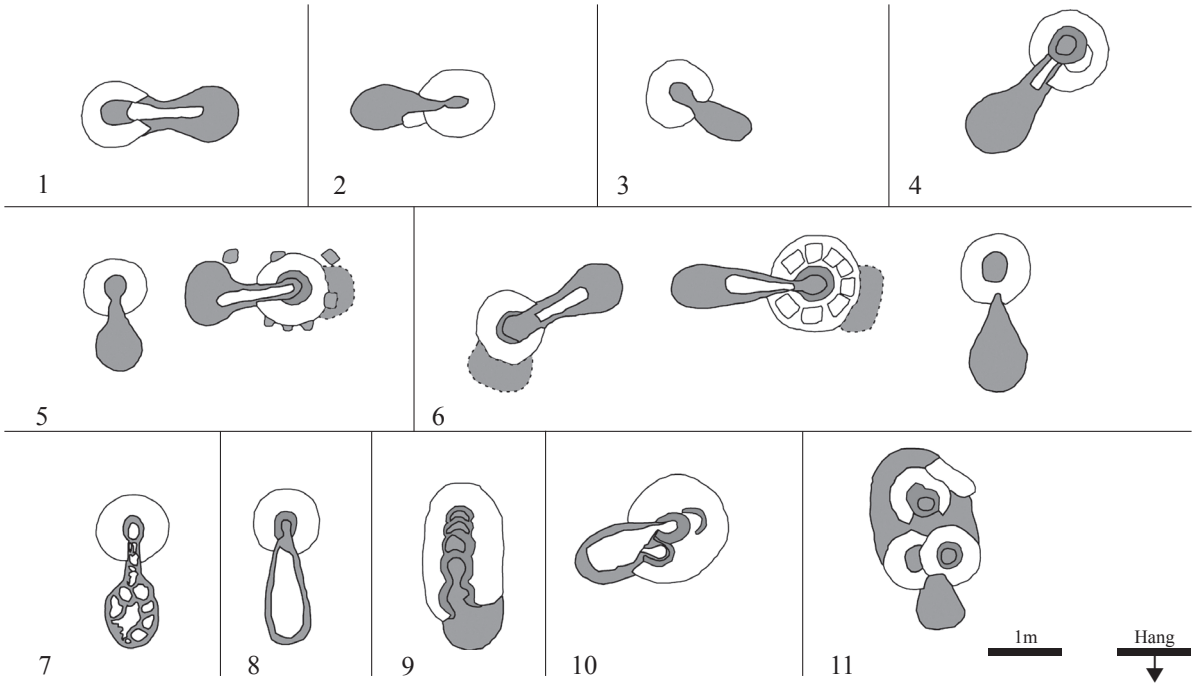


Abb. 8. Formen flacher Rennherde: 1: „Wixberg“ 1 bei Altena; 2: „Normecke“ bei Ellinghausen; 3: „Romberg“ bei Lettmecke; 4: „Im Holensiepen“ bei Handweiser; 5: „Uhlenstein“ bei Homert; 6: „Hülssiepen“ bei Belkenscheid; 7: „Howarder Siepen“ bei Halver; 8: „Fleinsiepen“ bei Genkel; 9: „Im schmalen Hagen“ bei Schlöten; 10: „In der Steinert“ bei Altenhof; 11: „Heimke“ bei Herlsen (Umzeichnungen nach M. Sönnecken).

duktion mit einer Lanze durch einen lehmverschmierten Abstichkanal abgestochen. Diese Schlacke erstarrte daher zum Teil zu Schlackenzapfen, die bei Anlagen dieser Art häufig zu finden sind. Nach Ablassen der Schlacke wurde die Luppe von oben aus dem Rennfeuerherd entnommen. Holzkohlegruß und Restschlacke blieben am Boden des Herdes zurück. Diese kalottenförmig erstarrten Schlackenreste wurden vor einer Neuzustellung und -beschickung als Ganzes oder in zerschlagener Form entfernt. Daher findet man an Standorten dieser Rennfeuerherde neben den Zapfen auch häufig Kalotten in verschiedener Ausbildung. Vieles deutet daraufhin, dass der Rennfeuerherd bei jeder Charge nur einmal beschickt und möglicherweise nur Holzkohle nachgesetzt wurde. Er ist ein Mittelding zwischen einem Grubenrennfeuer und wegen seines, wenn auch nur sehr niedrigen Schachtes, einem Rennofen. Nach seiner Betriebsweise dürfte er aber eher zu einem Rennfeuer hin tendieren.

Im Gegensatz zu den Verhüttungsplätzen, auf denen im Rennofen geschmolzen wurde, fanden sich dort, wo mit dem Rennfeuerherd gearbeitet wurde, in der Regel auch andere Feuerstellen, die zur Vor- und Nachbereitung des Schmelzvorganges dienten. In 30 bis 50 cm tief eingemuldeten, teilweise mit einem Steinkranz umsetzten Herden wurde das derbe Erz vorgeröstet. Flache Steinkranzherde können als Ausheiz- oder Schmiedefeuer angesprochen werden. Ihre flachmuldige Sohle war stark verkrustet. Die Herdkrusten lagen oft auf flachen Steinplatten, die wohl die Bodenfeuchtigkeit fernhalten sollten. Die Schmiedeherde waren entweder mit einer flachen Vormulde versehen oder vorne offen, damit die beim Ausheizen der Luppen anfallende Schlacke ausfließen konnte. Den Schmiedeplatz kennzeichneten insbesondere starke Krusten aus Hammerschlag, Rostmulm und Holzkohlen. Darin fanden sich meistens Werkstoffdokumente der Halbzeugproduktion. Diese Befunde lassen sich nur so interpretieren, dass hier die Luppen an Ort und Stelle zu Stabeisen ausgeschmiedet wurden.

RENNVERHÜTTUNG IM EINZUGSGEBIET DER HÖNNE

Die Rennverhüttung im äußersten Nordosten des Untersuchungsraumes, dem Wassereinzugsgebiet der Hönne, ist dadurch gekennzeichnet, dass hier die bereits erwähnten derben, eisenreichen, aber manganarmen Erze anstehen, deren Gangart ausgesprochen kieselsäurehaltig, also sauer ist. Erze dieser Art sind daher verhältnismäßig schwer zu verhütten.[12] Allerdings sind in unmittelbarer

[12] Eine erst kürzlich angefertigte Analyse von Erzproben aus dem Felsenmeer bei Hemer erbrachte folgende Werte: 1) sekundär eingeschwemmtes Brauneisenerz: Fe: 64,9 %; FeO: 0,8 %; SiO_2: 6,56 %; Al_2O_3: 0,165 %; CaO: 0,03 %; Mn: 0,03 %; 2) vor Ort anstehender Roteisenstein: Fe: 67,2 %; FeO: 0,3 %; SiO_2: 3,4 %; Al_2O_3: 0,035 %; CaO: 0,015 %;

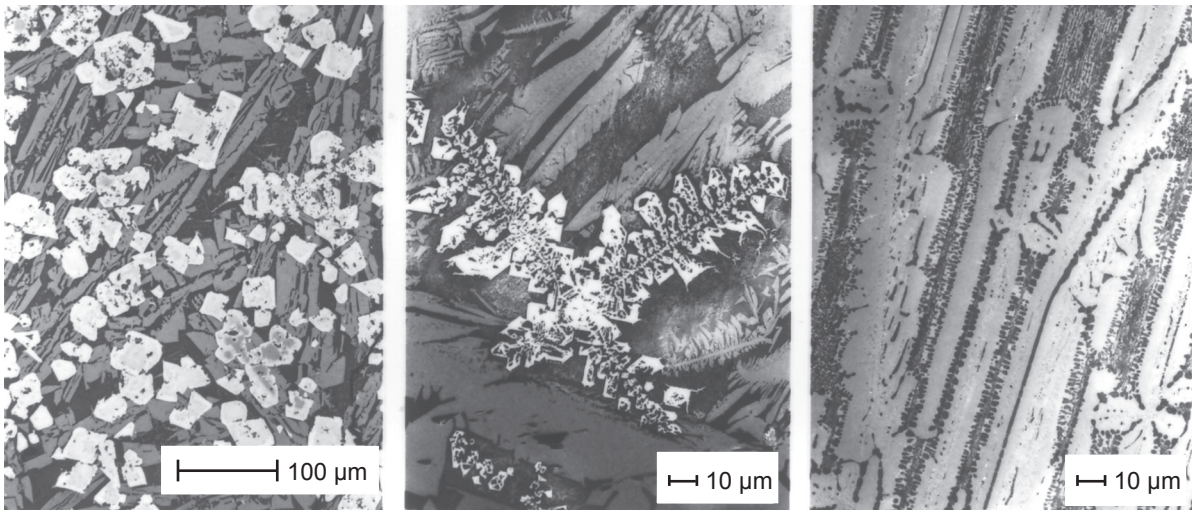


Abb. 9. Gefüge von Rennschlacken aus dem Einzugsbereich der Hönne (Foto. D. Horstmann).

Nachbarschaft auch große Mengen an Kalk vorhanden, die als Zuschlagmittel beim Verhütten eingesetzt werden konnten. Der Schwerpunkt der hier vermutlich auch im 9. Jahrhundert einsetzenden Rennverhüttung lag im Bereich des Balver Waldes und zog sich von dort nach Nordwesten bis in die Umgebung des Felsenmeeres, eines von Beginn an genutzten Erzbergbaues[13], und nach Südwesten bis in die Gegend von Neuenrade[14]. Verhüttet wurde, wie oben dargelegt, in eingemuldeten Schachtöfen.

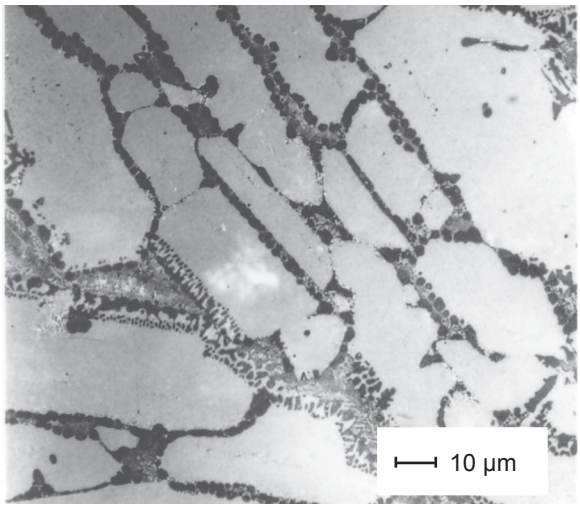
Zur Aufklärung des durch die Arbeitsweise bedingten Ablaufs der Rennverhüttung in diesem Gebiet wurden als Neben- oder Abfallprodukt angefallene Schlacken untersucht, die den Halden von vier Verhüttungsplätzen entnommen wurden. Es handelt sich dabei einmal um Streufunde einer durch intensive landwirtschaftliche Bearbeitung auseinandergerissenen Halde am Felsenmeer, weiterhin um Schlacken aus der Großverhüttungsanlage im Balver Wald und schließlich um solche aus der Halde des Ofens bei Gut Berentrop in Neuenrade.

Da sich bei der Auswertung der Ergebnisse der Untersuchungen an den Schlacken herausstellte, dass sich diese sowohl im Hinblick auf ihren kristallinen Aufbau, dem Gefüge, als auch in ihrer chemischen Zusammensetzung nicht unterscheiden, ist es möglich, die an allen vier Verhüttungsplätzen gewonnenen Erkenntnisse gemeinsam zu behandeln. Betrachtet man zunächst den kristallinen Aufbau der bei der Rennverhüttung im Wassereinzugsgebiet der Hönne angefallenen Schlacken, so stellt man fest, dass dieser von dem bei Rennschlacken im Allgemeinen üblichen wesentlich abweicht. So findet man die im Gefüge von Rennschlacken fast immer vorhandenen dendritenförmigen Primärauscheidungen von Wüstit hier nur in einigen wenigen Ausnahmefällen (*Abb. 9*). Stattdessen beobachtet man in den Schlacken des Hönnetales manchmal primär ausgeschiedene Kristalle des Magnetits, in anderen Fällen dendritenförmige Primärauscheidungen von Eisen-Aluminium-Spinellen neben sekundär ausgeschiedenem, balkenförmigem Fayalit in einer glasig erstarrten Restmasse. Die meisten dieser Schlacken enthalten hauptsächlich Fayalit, das sich hier oft als erste Phase aus der Schlackenschmelze ausgeschieden hat. Bei weiterer Abkühlung haben sich dann andere Phasen – einerseits Eisen-Aluminium-Spinelle, andererseits rundliche Kristalle einer kieselsäurereichen Phase – aus der flüssigen Restschlacke ausgeschieden. Die Art dieser Phase ist noch nicht bekannt, ihr Kristallgitter muss noch ermittelt werden. Dass sich in vielen dieser Schlacken Fayalit als erstes aus der Schmelzmasse ausscheidet und die Spinelle einerseits und die rundliche, kieselsäurereiche Phase andererseits erst nachträglich aus der Restschmelze folgen, zeigt an, dass die Temperatur in diesen eingemuldeten Schachtöfen verhältnismäßig hoch gewesen ist. Sie dürfte um 1200 °C gelegen haben. Diese für Rennschlacken ungewöhnliche Art mit dem völlig anderen Gefüge führt unmittelbar zu der Frage, ob ihre Bildung auf die Besonderheiten des hier zu verhüttenden Erzes zurückzuführen ist, oder ob hier ein durch die Ofenkonstruktion bedingter Reaktionsablauf die entscheidende Rolle gespielt hat. Eine Antwort darauf lässt sich aus Ergebnissen ableiten, die vor eini-

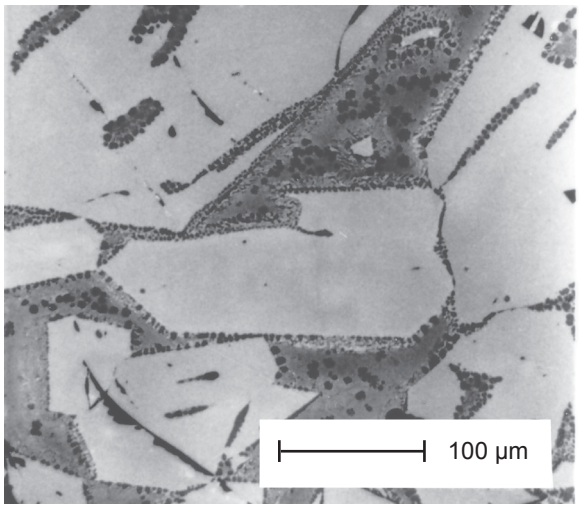
Mn: 0,005 %; der Geschäftsführer der Studiengesellschaft für Eisenerz-Aufbereitung, dem wir diese Analysen verdanken, sah sich zu folgendem Kommentar veranlasst: „Der Fe-Gehalt beider Proben ist erstaunlich hoch; wie die Vollanalyse zeigt, würde solch ein Produkt auch heute noch jeden Hochöfner erfreuen – keine Alkalien, kein Phosphor, Mn, TiO_2 usw.“

[13] Vgl. Hänisch 1995, 47–57.

[14] Vgl. Sönnecken 1971, beiliegende Karte (Standorte und räumliche Gliederung der mittelalterlichen Rennfeuerverhüttung mit den Bezirken „Berentrop“, „Auf dem Giebel“ und „Balver Wald“).



1



2

Abb. 10. Vergleich von Gefügen von Rennschlacken. 1: Märkisches Sauerland; 2: Altmark (Foto D. Horstmann).

ger Zeit bei den Untersuchungen angefallen sind, die R. Leineweber aus Grabungen in Zeitlingen (Altmark) zur Verfügung gestellt hat. Hier zeigte eine der untersuchten Schlacken ein praktisch identisches Gefüge, obwohl in der Altmark ein völlig anderes Raseneisenerz verhüttet worden ist (*Abb. 10*). Die Bauweise der Rennöfen zeigt aber deutliche Gemeinsamkeiten, wie es der Vergleich der entsprechenden Ofenkonstruktionen ergibt (*Abb. 11*). Daraus ist zu schließen, dass die Bauweise der Rennöfen und der damit verbundene Reduktionsablauf das Fallen dieser ungewöhnlichen Schlackenart bei der Rennverhüttung bedingt. In Rennöfen dieser Bauart erreichte man offenbar besonders gute Reduktionsbedingungen, die zu einem erhöhten Eisenausbringen führten. Dies wurde offenbar durch eine sich in ihnen einstellende höhere Reduktionstemperatur ermöglicht. Es ist allerdings auch nicht auszuschließen, dass die hier anstehenden Erze mit der sehr sauren, kieselsäurereichen Gangart nur in Rennöfen dieses Typs verhüttet werden konnten.

Hinweise auf die Arbeitsweise bei der Verhüttung und auf den Reaktionsablauf erhält man, wenn man die Veränderung der Zusammensetzung der anfallenden Schlacken mit fortschreitender Reduktion betrachtet, wie bereits im Einzelnen beschrieben. Solche Betrachtungen geben Aufschluss darüber, in welchem Umfang andere im Erz und der Gangart enthaltene Metalle und Elemente mit dem Eisen reduziert wurden, und in welchem Ausmaß die Zusammensetzung der Schlacken durch das Hinzutreten von Stoffen aus der Ofenwand oder durch absichtlich beigegebene Zuschläge verändert worden ist, was Hinweise auf die verwendeten Ofenbau- und Zuschlagstoffe ermöglicht. Außerdem ist aus solchen Betrachtungen abzuleiten, wie sich diese beiden Einflussgrößen gegenseitig beeinträchtigen. Aufschluss über das Verhalten des Mangans bei der Verhüttung erhält man, wenn man die Anteile der beiden Oxyde des Eisens und des Mangans in den Erzen und den Schlacken miteinander vergleicht. Aus den chemischen Untersuchungen ergibt sich, dass das Eisenoxyd FeO von etwa 75 Masse-% im Erz auf Werte zwischen 60 und 55 Masse-% absinkt, während die Anteile an Manganoxyd von etwa 0,3 Masse-% im Erz auf im Mittel 2,5 Masse-% in der Schlacke zunehmen. Einen Einblick in den Ablauf dieser Mangananreicherung erhält man, wenn man das Verhältnis dieser beiden Oxyde MnO/FeO in Abhängigkeit von der Abnahme des FeO-Anteiles (auf 100 Masse-% umgerechnet, daher Hundertteile) bei der Reduktion verfolgt. Man sieht, dass dieses Verhältnis mit zunehmender Reduktion des Eisens sehr schnell zunimmt, was bedeutet, dass sich das Mangan in der Schlacke anreichert. Mit diesem Ergebnis wird also bestätigt, dass das Mangan bei der Rennverhüttung praktisch nicht mitreduziert wird und mehr oder weniger vollständig verschlackt (*Abb. 12*).

Die Fragen nach der Art des verwendeten Ofenmaterials bzw. nach der Art der inneren Auskleidung, der Ofenzustellung, als auch die nach der Verwendung von Zuschlägen lassen sich, wie bereits beschrieben, aus der Veränderung des Verhältnisses der Summe von Kalk und Magnesia zur Kieselsäure (Kieselbasizität) oder dem Verhältnis von Tonerde und Titandioxyd zur Kieselsäure während der Reduktion beantworten. Verfolgt man den Verlauf dieser beiden Verhältnisse mit fortschreitender Reduktion, d. h. mit abnehmenden FeO-Anteilen in der Schlacke, so sieht man, dass die Kalkbasizität zunimmt, während die Werte für das Verhältnis Tonerde und Titandioxyd zur Kieselsäure deutlich kleiner werden. Dies bedeutet, dass bei der Rennverhüttung in diesem Gebiet Kalk als Zuschlag verwendet wurde, was in Anbetracht der Gangart mit den hohen Kieselsäureanteilen und den sehr geringen Anteilen an Mangan im Erz offenkundig nötig war, um eine schmelzflüssige Schlacke zu erhalten. Der starke Abfall des Verhältnis-

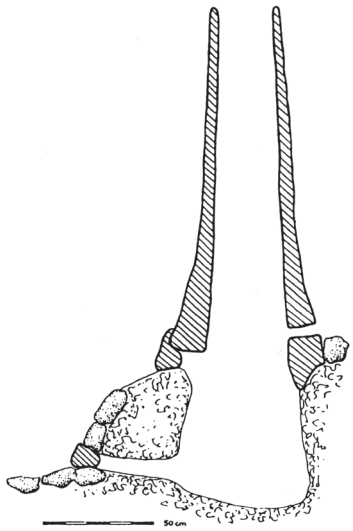


Abb. 11. Rekonstruktion eines Rennofens aus der Altmark (Abb. nach R. Leineweber).

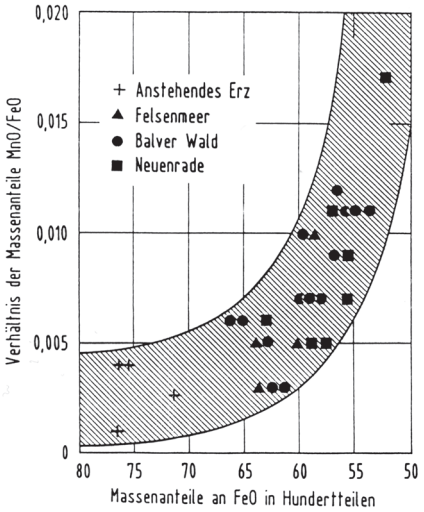


Abb. 12. Rennverhüttung im Einzugsbereich der Hönne. Anreicherung des MnO bei der Reduktion (Abb. D. Horstmann).

ses Tonerde und Titandioxyd zur Kieselsäure mit fortschreitender Reduktion zeigt an, dass nur sehr wenig Tonerde aus der Ofenwand in die Schlacke übergetreten ist. Dies deutet daraufhin, dass diese eingemuldeten Schachtöfen immer mit kalkreichem Mergel ausgekleidet, also zugestellt waren.

Wie bereits erwähnt, lässt es sich bei der Eisenverhüttung nicht vermeiden, dass Phosphor und Schwefel neben dem Eisen in unterschiedlichem Ausmaß mitreduziert werden und dadurch die Qualität des erzeugten Eisens herabmindern. Dabei ist es in den jeweiligen Fällen wichtig festzustellen, ob diese beiden Elemente im Vergleich zum Eisen bevorzugt mitreduziert oder zu einem größeren Teil verschlackt werden. Dazu ist es zweckmäßig, die Verhältnisse von Phosphorsäure bzw. Schwefel zum Eisenoxyd FeO mit fortschreitender Reduktion, d. h. in Abhängigkeit vom FeO-Anteil in der Schlacke, zu verfolgen. Man sieht, dass beide Verhältnisse mit zunehmender Reduktion ansteigen. Dies bedeutet, dass Phosphor und Schwefel im Vergleich zum Eisen weniger stark reduziert werden und sich in den Schlacken anreichern. Die Ursache für dies Verhalten ist in der durch die Kalkzuschläge bewirkten Zunahme der Kalkbasizität zu suchen. Der Kalk bindet Phosphor und Schwefel ab und schränkt dadurch die Reduktionsmöglichkeiten ein. Da die eingesetzten Erze bereits wenig Phosphor und Schwefel enthalten, konnte durch diese Arbeitsweise bei der Verhüttung ein sehr gutes, an Phosphor und Schwefel sehr armes Eisen erzeugt werden. Mit dieser Interpretation konnte im Wesentlichen die Frage gelöst werden, warum es im Märkischen Sauerland zeitgleich die Verwendung zweier Ofentypen in der Periode der Rennverhüttung gab. Bisher hatte es so ausgesehen, dass der eingemuldete Schachtofen technisch eine Verbesserung zum Rennfeuer gewesen ist. Diese Annahme vertrug sich jedoch nicht mit der Beobachtung, dass beide Ofenkonstruktionen zeitgleich in Benutzung waren. Es wird jedoch deutlich, welche Meister ihres Faches die Eisenhüttenleute waren, die es verstanden haben, die den jeweiligen Erzen entsprechenden Öfen zu bauen und die bei der Verhüttung notwenigen Manipulationen zu beherrschen.

RENNVERHÜTTUNG AN KALTENBACH UND LOOPE

Die Ausweitung der Untersuchungen der letzten Jahre auf das Bergische Land im Einzugsgebiet der Agger war zunächst von dem Interesse bestimmt herauszufinden, wo die Grenze des märkischen Hüttengebietes nach Westen zu suchen ist. Zum anderen war von großem Interesse, inwieweit das altmärkische Gebiet um Gummersbach in die Eisenverhüttung mit eingebunden war (*Abb. 13*).

Wie im übrigen Märkischen Sauerland auch fanden sich Rennschlacken auf den Höhen konzentriert im Raum Engelskirchen im Bereich von Loope und Kaltenbach, den linken Nebenbächen der Agger (*Abb. 14*).[15] Insgesamt konnten 40 Schlackenhalden kartiert werden.[16] In der Quellmulde des Pühlenbaches wurde auf einem Rennfeuerhüttenplatz eine archäologische Untersuchung vom Amt für Bodendenkmalpflege, Außenstelle Overath, durchgeführt. Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass auch in diesem Bereich mit dem flachen Rennfeuerherd verhüttet wurde und eine Weiterbehand-

[15] Knau/Sönnecken 1990, 155–166.

[16] Vgl. ebd. Fundkatalog, 156–162.

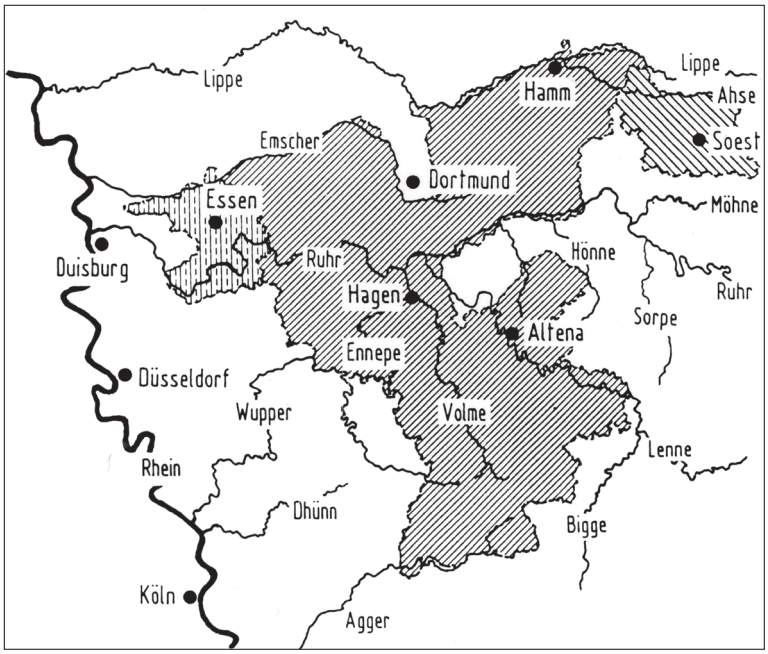


Abb. 13. Die Grafschaft Mark (Abb. M. Sönnecken)

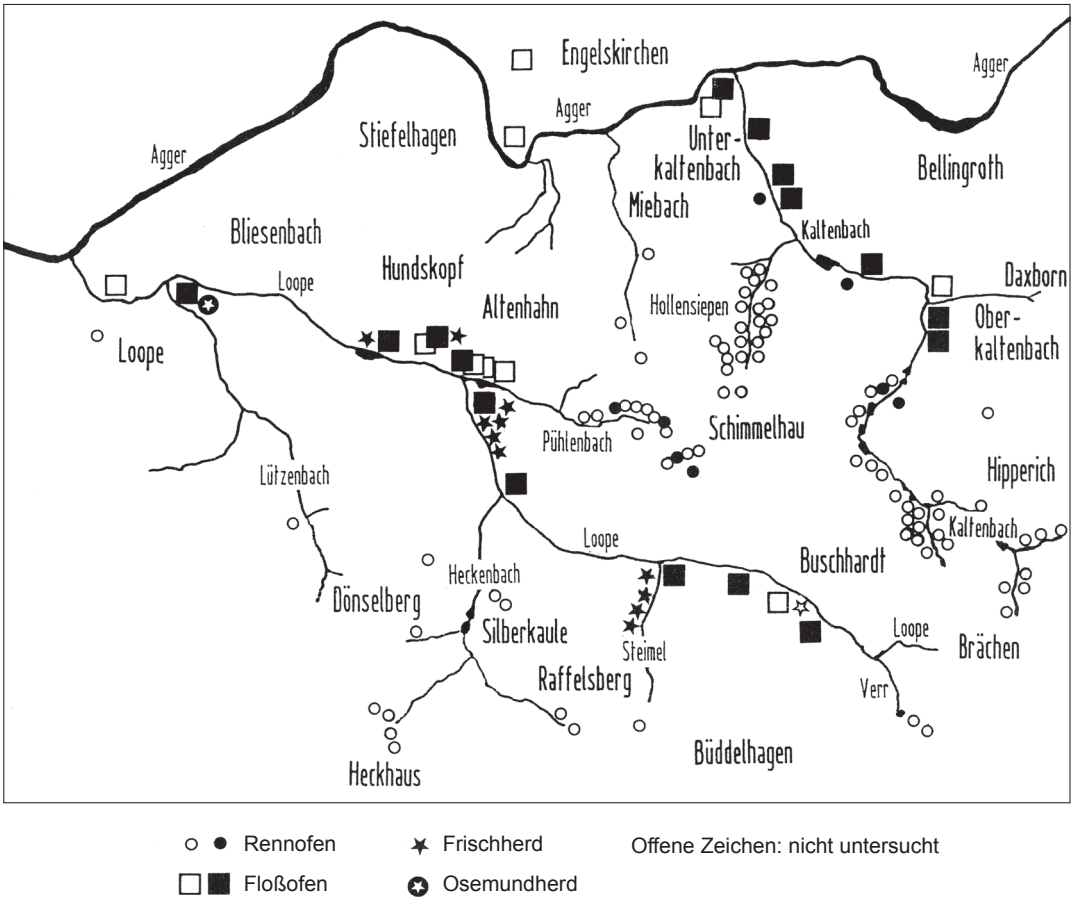


Abb. 14. Rennverhüttung an Loope und Kaltenbach (Entwurf: M. Sönnecken/H. L. Knau; Zeichnung: D. Horstmann).

lung der Luppe stattfand. Es handelt sich dabei um den gleichen Befund, wie er schon vorher für den Bereich Lüdenscheid bis Meinerzhagen beschrieben ist. Analysiert man die Schlacken dieses Ofentyps, so zeigen sich Kristalle von dendritischen Ausscheidungen des Wüstits, dann Fayalit und auch teilweise etwas Hercynit, d. h. Eisen-Aluminium-Spinell. Zu diesem Gefüge ist bei Rennschlacken eigentlich nichts Besonderes zu sagen, da es in dieser Form eigentlich immer auftritt. Die chemische Analyse ergibt in der Zusammensetzung Mangan-Oxyd, welches nicht reduziert wird, sondern sich in der Schlacke anreichert. Klar erkennbar sind Kalkzuschläge gegeben worden. Entsprechend dem Kalkgehalt gehen auch Phosphor und Schwefel in die Schlacke, die in die Vormulde abgelassen wird. Den flachen Rennfeuerherd kann man auch als „Topfofen" bezeichnen, der nur einmal beschickt und in den von oben geblasen wurde. Zum Entnehmen der Luppe hat man dann den Topf mit einem Loch versehen und die flüssige Schlacke ablaufen lassen, die sich auf diese Weise nicht länger im Ofen halten konnte. Bezüglich der Effektivität der Eisenausbringung muss man sich darüber im klaren sein, dass es bei der Rennverhüttung in Bezug auf das Eisenausbringen eine Grenze gegeben haben muss, die nur dann überschritten werden konnte, wenn Kalkzuschläge erfolgten, d. h. der Kalk das Eisen für die Reduktion freimachte. Nicht umsonst waren bei den Grabungen immer wieder Kalkbrocken im Umfeld aufgefallen. Zum Teil konnten durchaus 50 kg Eisen pro Tonne Erz ausgebracht werden, vorausgesetzt natürlich, dass im Möller genügend Eisen vorhanden war. Je eisenhaltiger nämlich das Erz war, um so mehr Eisen konnte gewonnen werden.

Fragt man nach der Zusammensetzung der in diesem Rennverfahren eingesetzten Holzkohle, dann lässt sich aus der Analyse ermitteln, dass in der Hauptsache Buchenholzkohle eingesetzt wurde, die entweder aus der Vermeilerung der Äste der „Stubbuche" oder aus den bis auf den „Stock" abgetriebenen, ca. 25 Jahre alten Stämmen gewonnen wurde.

DIE RÄUMLICHE VERBREITUNG DER RENNVERHÜTTUNG

Das Kerngebiet der Rennverhüttung lag zwischen Altena, Werdohl und Lüdenscheid. Es umfasste etwa 600 Halden. Bis zum Jahre 2000 wurde ein Raum untersucht, der im Norden begrenzt wird von der Linie Schwelm-Hagen-Hohenlimburg-Iserlohn-Hemer und im Osten von der Linie Lendringsen-Eisborn-Beckum-Mellen-Amecke. Im Süden verläuft die Grenze in der Höhe von Attendorn-Olpe-Hünsborn-Wenden-Wiehl und im Westen in der Höhe von Engelskirchen-Lindlar-Radevormwald-Schwelm. In räumlicher Verbreitung folgt eine Auflistung der kartierten Schlackenhalden:

Region	Bezirk	Zahl	
W	In der Mark	200	**200**
	Waldbauer	102	
	Untere Ennepe	37	
	Wupper	87	**226**
N	Glör	7	
	Odenthal	45	
	Sterbecke	18	
	Krummenscheid	290	
	Schmittau	59	
	Asbecke	44	**463**
NO	Balver Wald	99	
	Garbeck	61	**160**
O	Nette	135	
	Biesenberg	126	
	Bergei	6	**267**
S	Ebbe	44	
	Lister	8	
	Veischede	27	
	Obere Brigge	39	**118**
SW	Genkel	15	
	Wienhagen	25	
	Griesing	60	
	Berge	3	
	Engelskirschen	94	**197**
Summe			**1.631**

Bei der Zahl von 1.631 Schlackenhalden ist die Zahl der Öfen noch wesentlich größer, da besonders bei Grabungen auf Hüttenplätzen mit flachem Rennherd oft mehrere solcher Herde aufgedeckt wurden. Sie dürfte daher bei über 2.000 liegen.

DIE ZEITSTELLUNG DER RENNVERHÜTTUNG

Bei der zeitlichen Einordnung der Schlacken können wir nicht auf archivalische Quellen zurückgreifen. Wir sind daher auf die Datierung über Keramikfunde oder 14C-Bestimmungen angewiesen. Danach datieren die Anfänge der Eisenverhüttung in das 8./9. Jahrhundert, wobei der archäologische Befund eine enge Kopplung von Siedlung und Eisengewerbe ergibt.[17] Die Verhüttungstätigkeit entfaltete sich im 11. bis 13. Jahrhundert enorm, wobei die Rennverhüttung seit dem 13. Jahrhundert auslief und der Roheisenverhüttung Platz machte, die eine weitere, gewaltige Intensivierung der Eisenverhüttung ermöglichte.

Bei der zeitlichen Einordnung des Schlackekomplexes ist die germanische Siedlung von Garbeck von besonderem Interesse, da diese in die frühe römische

[17] Sönnecken 1971, 122–124.

Kaiserzeit datiert und nach dem bisherigen Forschungsstand den südlichsten Siedlungspunkt der Elbgermanen in Deutschland darstellt.[18] Eisenschlacken im Fundspektrum gelten auf eisenzeitlichen und kaiserzeitlichen Fundplätzen als „regelhafte Erscheinung“, und so ist es nicht verwunderlich, wenn in der Siedlung von Garbeck die Schlacken einen großen Anteil an den Befunden haben.[19] Leider konnten die Verhüttungsöfen nicht rekonstruiert werden. Daher überrascht der Hinweis des Archäologen auf die Vergleichbarkeit mit Zethlingen. Wir haben schon dargelegt, dass die auch von den Germanen eingesetzten Erze dieser Gegend, sowohl Hämatit als auch Limonit, wegen ihres hohen Fe-Anteils – leider liegen von der Grabung keine Analysen vor – für die Rennverhüttung besonders geeignet waren. Da auch die Germanen von Garbeck in der Lage waren, diese Erze zu verhütten, muss davon ausgegangen werden, dass Meister ihres Faches zu Werke gingen. Inwieweit Verbindungslinien gezogen werden können, etwa durch den Hinweis auf die sächsische Einwanderung ins Sauerland seit dem 7./8. oder 8./9. Jahrhundert, muss vorerst Spekulation bleiben, weil es an weiteren Belegen für diese Aussage bisher fehlt. Insbesondere lassen sich bisher zeitlich gesehen keine Anschlussfunde an die vorrömische Eisenzeit bzw. Kaiserzeit machen.

Es ist sehr schwierig, die Fundsituation der Rennverhüttung abschließend zu bewerten, da schriftliche Quellen fehlen. Andererseits spricht die Zahl der nachgewiesenen Hüttenplätze für sich, auch der Standort der Burg Altena inmitten eines Hüttengebietes und das Aufkommen eines mächtigen Geschlechtes weist in diese Richtung. Es dürfte jedoch unmöglich sein, auch nur ungefähr die Produktionsmenge dieser Zeit berechnen zu wollen, weil einmal die Fehlerquellen bei der Prospektion zu hoch sind, zum anderen sehr viele Schlacken in der Neuzeit abgefahren und einer Wiederverhüttung zugeführt wurden. Außerdem wurden, wie noch darzulegen sein wird, die Schlacken schon im Spätmittelalter zum begehrten Rohstoff für die Frischfeuer, die in zweiter Schmelze das Roheisen der Floßöfen zu Schmiedeeisen oder Stahl verwandelten. Es darf daher nicht verwundern, dass gerade die Gegend um Altena und Lüdenscheid wenige Jahrhunderte später, im 16. Jahrhundert, dadurch charakterisiert ist, dass in ihr eine Vielzahl von Osemundschmitten beheimatet ist.

ZUR BEDEUTUNG DER RENNVERHÜTTUNG

Der direkte Prozess der Eisenverhüttung wurde früher häufig als „primitiv“ beschrieben. Diese Bewertung lässt sich nicht mehr aufrechterhalten. Ihrem wirtschaftlichen und sozialen Umfeld entsprechend waren unsere Vorfahren in der Lage, im Rennverfahren sowohl weiches Schmiedeeisen als auch harten Stahl herzustellen. Sie konnten ohne Kenntnisse der Chemie mit manganarmen bzw. manganreichen Erzen umgehen und das den jeweiligen Erzen entsprechende Verfahren anwenden. Insofern scheint der weitere Schritt zur technischen Innovation, den eine immer stärkere Nachfrage nach den entsprechenden Eisen- und Stahlqualitäten nötig machte, nicht so groß gewesen zu sein, wie man bisher angenommen hatte. Das Wasserrad war längst bekannt, wurde jedoch in der Erzeugung und Verarbeitung von Eisen und Stahl noch nicht angewendet. Hierzu bedurfte es eines größeren Aufwandes, der Anlage von Teichen und Gräben. Auch die mit der Wasserkraft mögliche Vergrößerung der Schmelzöfen war mit höherem Aufwand verbunden, weil feste Mauern der Ofenkonstruktion den entsprechenden Halt geben mussten. Der größeren Nachfrage nach Eisen und Stahl stand ein größerer Bedarf an geeigneten Erzen gegenüber. Dieser ließ sich nur über die Gewinnung der Erze unter Tage zufriedenstellend lösen. Im Felsenmeer bei Hemer war dieser Abbau längst bekannt. Trotzdem ging man hier nicht zum Stuckofenbetrieb, sondern dort, wo die manganhaltigen Erze es erlaubten, zum Floßofenbetrieb über. Dies muss in Zusammenhang mit der großen Effektivität des Floßofens gesehen werden, der ein Eisenausbringen von über 90 % ermöglichte.

Schon im Rennverfahren war die Gewinnung von Stahl „möglich und augenscheinlich auch nicht ganz schwierig“.[20] Dabei war auch schon Roheisen angefallen. Wenn die Dillenburger Hüttenleute in der Lage waren, aus der Waldschmiede mit dem Zerrenfeuer aus Kostengründen und offensichtlich ohne größere Veränderungen der Anlagen eine Frischhütte zu machen, zeigt dies, dass der Schritt hierzu gar nicht so groß gewesen sein kann.

SCHLACKEN ALS RELIKTE HISTORISCHER EISENVERHÜTTUNG IM MÄRKISCHEN SAUERLAND

Die über vier Jahrzehnte andauernden Forschungen haben bisher für den beschriebenen Raum einen Bestand von ca. 1750 Schlackenhalden ergeben. Die Grabungen haben dabei auf vielen Verhüttungsplätzen den Nachweis mehrerer Öfen erbracht, so dass man von einem Bestand von ungefähr 2.000 Rennfeuern ausgehen kann. Ein genauer Nachweis ist nach den bisher entwickelten Prospektionsmethoden nicht zu führen, weil, wie sich inzwischen gezeigt hat, die Schlacken, die beim indirekten Prozess in Frischfeuern anfallen, von den Rennschlacken mit bloßem Auge nicht zu unterscheiden sind.

[18] Ders. 1984, 23–29; Laumann 1987, 75–79.
[19] Kempken 1990, 36.
[20] Osann 1971, 53.

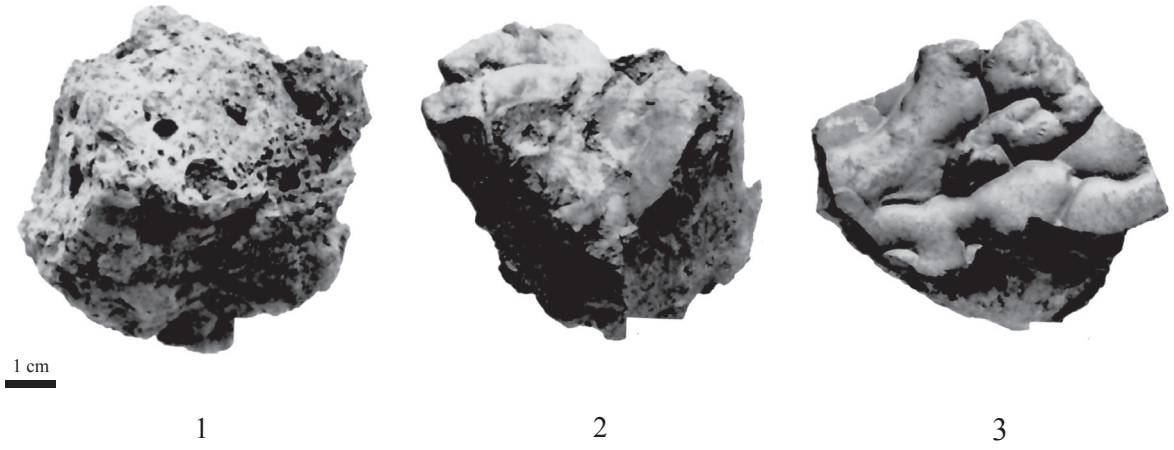


Abb. 15. Formen der Rennofenschlacke. 1: Ofenschlacke; 2: Bodenschlacke; 3: Laufschlacke (Foto D. Horstmann).

Da das Märkische Sauerland seit dem späten Mittelalter auf den Osemund (s. S. 309 ff.), einen Stahl, der in einem speziellen Frischverfahren hergestellt wurde, spezialisiert war, kann es sich – insbesondere in den Tallagen – bei den vorkommenden Schlackenhalden auch um solche der Osemundschmitten handeln. Unter Osemundschmitte verstehen wir im Märkischen Sauerland eine Frischschmiede mit einem vom Wasserrad getriebenen Gebläse und einem sich anschließenden Schmiedevorgang, der von Hand erfolgte. Beim Frischen wurde das im Frischherd eingesetzte Roheisen durch die Zuführung von Sauerstoff und das Einbringen von Schlacken entkohlt, die dabei entstandene Schlacke aus dem Herd abgelassen. Diese Schlacken sind von den Rennschlacken mit bloßem Auge nicht zu unterscheiden. Es muss daher damit gerechnet werden, dass bisher als Überreste von Rennfeuern interpretierte Schlackenhalden in Wirklichkeit solche von Frischfeuern sind. Hinzu kommen noch mehr als 150 Plätze, auf denen in Floßöfen Roheisen erzeugt wurde. Zählt man die Frischfeuer, zu denen die Osemundschmitten zählen, dazu, dürfte bei dieser hohen Zahl der prospektierten Schlackenhalden das Gebiet des Märkischen Sauerlandes und darüber hinaus hinsichtlich der frühen Eisenverhüttung zu den am besten erforschten Gebieten in Europa gehören.

Da das bei der Verhüttung erzeugte Eisen, sei es Renneisen, Roheisen oder gefrischter Stahl, am Ort seiner Erzeugung praktisch nicht mehr vorhanden ist, wenn man von gelegentlich verworfenen oder vergessenen Reststücken absieht[21], ist man gezwungen, sich mit den am Verhüttungsplatz verbliebenen Abfall- oder Nebenprodukten, den Schlacken, zu befassen, wenn man Auskünfte über die Art der Verhüttung und die dabei angewendete Arbeitsweise erhalten will. So sind Schlacken der Rennverhüttung im Allgemeinen leicht von denen der Roheisenverhüttung zu unterscheiden. Rennschlacken sind meistens verhältnismäßig schwer und dunkelbraun bis schwarz gefärbt (*Abb. 15*).[22] Sie zeigen häufig eine Fließstruktur, wenn es sich um aus dem Rennherd bzw. Rennofen ausgeflossene Schlacken handelt (*Abb. 16*).

Neben diesen Laufschlacken treten zahlreiche andere Formen auf, z. B. bei den Schlacken, die nach Beendigung der Reduktion aus dem Ofen entfernt wurden. Bei Schlacken dieser Art findet man meistens rundliche Formen, aber auch Zapfen und Kalotten (*Abb. 17*). Diese sind ebenfalls dunkelbraun bis schwarz, zeigen aber häufig einen blasigeren Aufbau. Schlacken der Roheisenverhüttung sind dagegen glasig und viel leichter. Die Frischschlacken sind dagegen äußerlich von Rennschlacken nicht zu unterscheiden (*Abb. 18*). Hier gibt es die gleichen Formen. Da die Frischschlacken ebenfalls reich an Eisen sind, unterscheiden sie sich auch nicht in ihrer braunen Farbe von den Rennschlacken. Zur Unterscheidung dieser beiden Schlackenarten sind chemische Bestimmungen der Zusammensetzung und Gefügeuntersuchungen heranzuziehen, obwohl auch daraus nicht in allen Fällen eindeutige Antworten zu erwarten sind, zumal im Märkischen Sauerland, wie anderswo[23], auf verschiedene Weise gefrischt wurde. In solchen Fällen sollte auch die Lage der Fundstelle im Gelände bei der Bestimmung der Schlackenart mit berücksichtigt werden. Hier ergibt sich jedoch eine nicht zu unterschätzende Fehlerquelle, wenn man nur auf die archäologische Prospektion angewiesen ist.[24]

Aufgrund der sich aus den Schlacken für die verschiedenen Verhüttungsarten ergebenden Kriterien ist es möglich, die Verhüttungsplätze nach der Art der Verhüttung zu unterscheiden. Dabei kommt es vor allen Dingen

[21] Vgl. Sönnecken/Knau 1994, 444–446; Ganzelewski/Rehren 1994, 5–13; Sönnecken 1971, 119–128.

[22] Oelsen/Schürmann 1954, 507–514; Wynne/Tylecote 1958, 339; Osann 1971, 60–66.

[23] Blumhof 1817, 169 f.; dieser unterscheidet 17 verschiedene Frischmethoden.

[24] Knau/Beier/Sönnecken 2003.

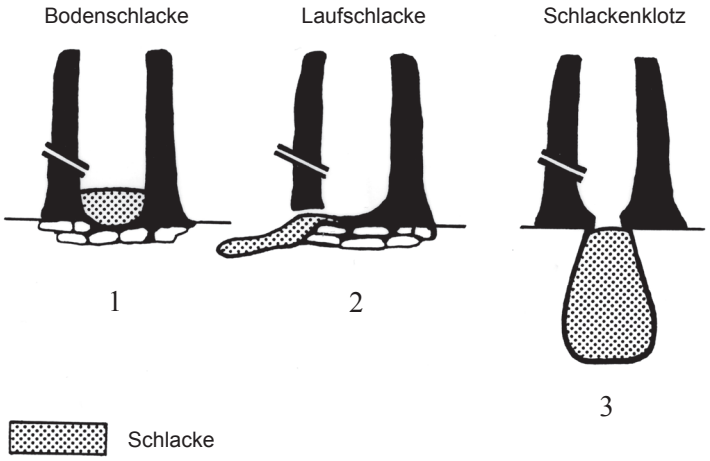


Abb. 16. Verschiedene Schlackentypen des Rennverfahrens (Abb. M. Sönnecken).



Abb. 17. Schlackenzapfenbündel aus dem Abstich (Foto M. Sönnecken).

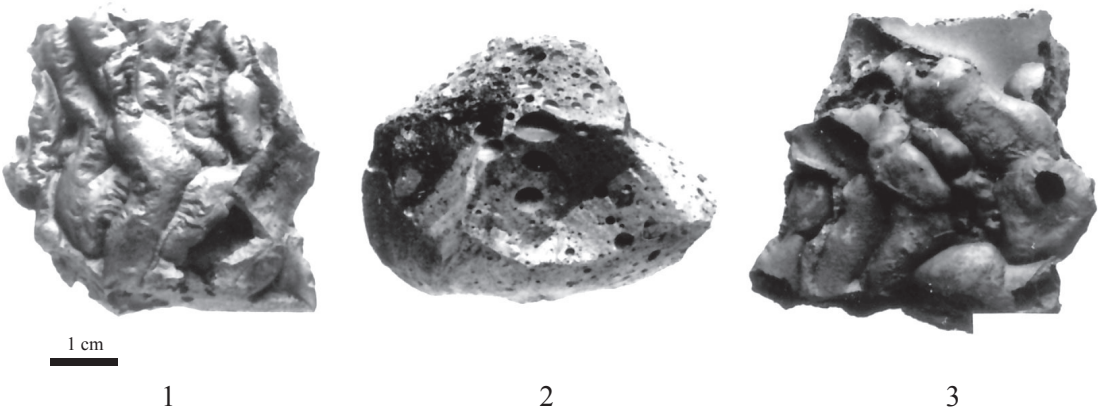


Abb. 18. Aussehen von Schlacken des Märkischen Sauerlandes. 1: Rennschlacke; 2: Roheisenschlacke; 3: Frischschlacke (Foto D. Hortsmann).

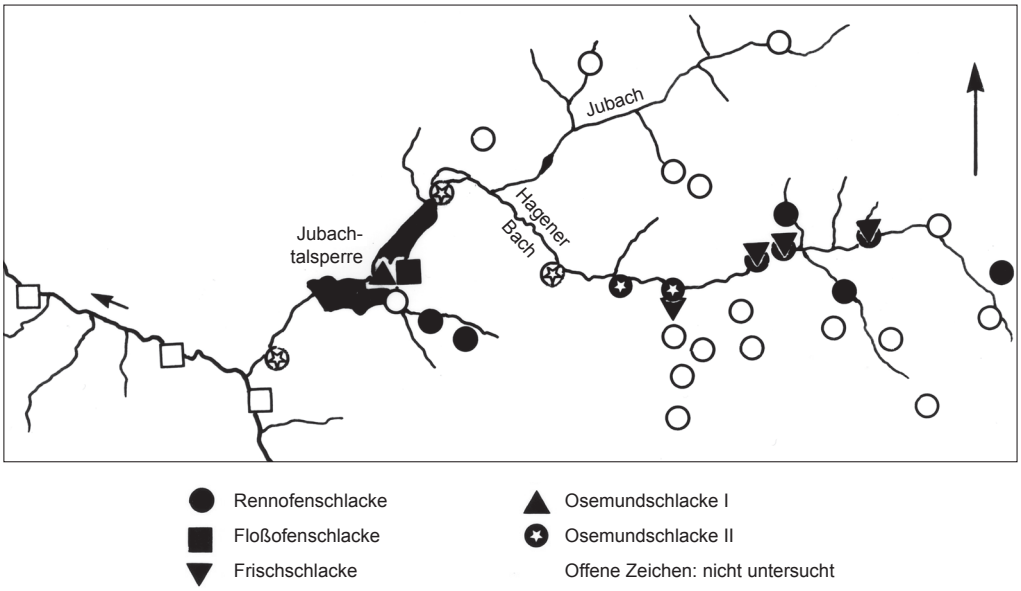


Abb. 19. Schlacken am Jubach und Hagener Bach (Zeichnung D. Horstmann).

darauf an, die in ihrer Art sehr ähnlichen Schlacken der Rennverhüttung von denen des Frischens zu trennen. Die Schlacken der Roheisenverhüttung sind dagegen leicht schon von ihrer äußeren Form und Farbe her von den beiden anderen Schlackensorten zu unterscheiden. Die entsprechenden Verhüttungsplätze können so verhältnismäßig schnell festgelegt werden. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Rennverhüttung auf den Höhen stattfand, während mit der Umstellung der Verhüttung zur Erzeugung von Roheisen im Floßofen mit wassergetriebenen Gebläsen zwangsläufig eine Verlegung der Verhüttungsplätze in die Bachtäler verbunden war. Schwieriger ist es bei den Frischherden. Da vom Verfahren her beim Frischen auch auf Rennschlacken zurückgegriffen wurde, waren die Frischherde nicht mehr unbedingt den Floßöfen zugeordnet, sondern, wie im Fernhagener Bachtal erwiesen (s. S. 21 ff.), auf frühere Rennfeuer gesetzt worden (*Abb. 19*).

LITERATUR

Blumhof 1817
J. G. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängenden Künste und Handwerke 2 (Gießen 1817).

Ganzelewski/Rehren 1994
M. Ganzelewski/Th. Rehren, Das Frischen von Roheisen am Beispiel des spätmittelalterlichen Fundplatzes von Kierspe im Märkischen Kreis. Metalla 1, 1994, 5–13.

Hänisch 1990
W. Hänisch, Zur Bergbauforschung im Felsenmeer. Die Wiederentdeckung des alten Felsenmeer-Bergbaues um das Jahr 1000 n. Chr. in Hemer/Sundwig. Hohenlimburger Heimatblätter für den Raum Hagen und Iserlohn 51, 1990, 101–128.

Hänisch 1995
W. Hänisch, Tausendjähriger Erzbergbau im Nordsauerland. Der Grimbart 16, 1995, 30–51.

Kempken 1990
F. Kempken, Die germanische Siedlung von Balve-Garbeck. Unpubl. Magister-Hausarbeit, Fachber. Altertumswiss., Philipps-Univ. Marburg (Marburg/Lahn 1990).

Knau/Beier/Sönnecken 2003
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Altena in Westphalia. In: L. Chr. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of Technology and Science. Sandbjerg Konferenz UISPP, 16.–20. September 1999. Acta Jutlandica 76/2, Humanitis series 75 (Aarhus 2003) 177–183.

Knau/Sönnecken 1990
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die mittelalterlich-frühneuzeitlichen Eisenhüttengebiete von Loope und Kaltenbach bei Engelskirchen. Ein Beitrag zur jahrhundertealten Tradition des Eisenhüttenwesens im bergisch-märkischen Wirtschaftsraum. Der Märker 39, 1990, 155–166.
Knau/Sönnecken 2000

H. L. Knau/M. Sönnecken, Meinerzhagen. In: W. Sehm/M. Seifried (Bearb.), 75 Jahre Meinerzhagener Baugesellschaft (Meinerzhagen 2000) 42–114.

Laumann 1987
H. Laumann, Eine germanische Siedlung des 1. Jahrhunderts n. Chr. in Balve-Garbeck. Der Märker 36, 1987, 75–79.

Lobbedey 1993
U. Lobbedey, Der Altenberg bei Müsen (Siegerland). Eine Bergbauwüstung des 13. Jahrhunderts. In: H. Steuer /U. Zimmermann (Hrsg.), Montanarchäologie in Europa. Berichte zum internationalen Kolloquium „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg/Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990. Arch. u. Gesch. 4 (Sigmaringen 1993) 315–319.

Neujahrsgruß 1992
Neujahrsgruß 1992, Jahresber. 1991, Westf. Mus. Arch., Amt Bodendenkmalpfl. Münster u. Altertumskomm. Westfalen, 1992, 74–75.

Neumann 1954
B. Neumann, Die ältesten Verfahren der Erzeugung technischen Eisens durch direkte Reduktion von Erzen mit Holzkohle in Rennfeuern und Stücköfen und die Stahlerzeugung unmittelbar aus dem Eisenerz (Berlin 1954).

Oelsen/Schürmann 1954
W. Oelsen/E. Schürmann, Untersuchungsergebnisse alter Rennfeuerschlacken. Bericht 6 des Geschichtsausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute. Archiv Eisenhüttenwesen 35, 1954, 507–514.

Osann, 1971
B. Osann, Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Zur Metallurgie und Wärmetechnik der alten Eisengewinnung. Fachausschussbericht 9.001. Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf 1971).

Pott/Speier 1996
R. Pott/M. Speier, Pflanzensoziologische und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen der Ebbegebirgsmoore. In: Naturschutzzentrum Märkischer Kreis e.V. Biologische Station Oberberg e.V. (Hrsg.), Moore in deutschen Mittelgebirgen unter besonderer Berücksichtigung des Süderberglandes. Tagungsband des Symposiums vom 14. und 15. Juli 1995 in der Ev. Akademie Nordhelle (Ebbegebirge) (Wiehl 1996) 19–42.

Rech 1991
M. Rech, Das obere Dhünntal. Untersuchungen zur mittelalterlichen bis frühneuzeitlichen Siedlungs- und Montangeschichte des Bergischen Landes. Rhein. Ausgr. 33 (Bonn 1991).

Sönnecken 1971
M. Sönnecken, Die mittelalterliche Rennfeuerverhüttung im märkischen Sauerland. Ergebnisse von Geländeuntersuchungen und Grabungen. Landeskundliche Karten und Hefte der Geographischen Komission für Westfalen, Reihe Siedlung und Landschaft 7 (Münster 1971).

Sönnecken 1982
M. Sönnecken, Forschungen zur mittelalterlichen Rennfeuerverhüttung im Kreis Olpe. Ergebnisse von Geländebegehungen und Grabungen. Schriftenreihe des Kreises Olpe 6 (Olpe 1982).

Sönnecken 1984
M. Sönnecken, Siedlungsspuren aus der vorrömischen Eisenzeit im oberen Hönnetal bei Garbeck entdeckt – ein Forschungsbericht. Der Märker 33, 1984, 23–29.

Sönnecken/Knau 1994
M. Sönnecken/H. L. Knau, Grabungsberichte der Massenhütten im Raum Kierspe. In. H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe – Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 444–446.

Wynne/Tylecote 1958
E. J. Wynne/R. F. Tylecote, An Experimental Investigation into Primitive Iron-Smelting Technique. Journal of the Iron and Steel Institute December 1958, 339–348.

ZUR VERHÜTTUNG IN FLOSS- UND HOCHÖFEN

Hans Ludwig Knau

ROHEISENVERHÜTTUNG

Kurz nach 1200 hat es im Süderbergland tiefgreifende Veränderungen in den Methoden der Eisenverhüttung gegeben. Seit dieser Zeit hat man angefangen, Roheisen zu erzeugen.[1] Hatte sich die Rennverhüttung zu wesentlichen Teilen in dessen nördlichem Teil in Form der Verhüttung im eingemuldeten Schachtofen und nur zu einem geringeren Teil im südwestlichen Teil mit der Verhüttung im flachen Rennfeuerherd abgespielt, so ergibt sich nach dem heutigen Stand der Forschung eine eindeutige Verlagerung vom Nordosten in den Südwesten, also in den Bereich Kierspe, Meinerzhagen, Marienheide und Engelskirchen. Diese Verlagerung liegt sicher auch an den dort vorhandenen Erzen mit einer für die Roheisenverhüttung besser geeigneten Gangart, da der Mangangehalt und die vorhandenen Teile an Kalk und Tonerde von vorneherein günstig für eine selbstgehende Schlacke sind.[2]

Die aus der Roheisenverhüttung übrig gebliebenen Schlacken haben eine glasige Struktur mit Blasen und einzelnen Eisentröpfchen (*Abb. 1*).

Bei einigen Schlacken treten auch Ausscheidungen von Mangan-Silikaten auf. Dies ist ein Zeichen für den höheren Mangangehalt des Erzes. Die Roheisenverhüttung war unter diesen Umständen bei den manganarmen Erzen im Nordosten des Untersuchungsgebietes sehr viel schwieriger und ist demzufolge auch sehr viel seltener nachzuweisen.

Die Erforschung der Roheisenverhüttung ist noch relativ jung. Die erste Ausgrabung eines Floßofens fand im Jahre 1967 statt.[3] Der kreisrunde Schmelzofen wurde als Massenhütte bezeichnet in begrifflicher Anlehnung an die aus dem Siegerland bekannten Öfen, in denen Roheisen hergestellt wurde. Einen Beleg, wenn auch nur vom Familiennamen her, gibt es auch für das Sauerland.[4] Die urkundlichen Belege bezeichnen die Hütten des Siegerlandes durchweg mit „*huttin*“, oder „*hutte*“,[5] wenn es aber um die genauere Unterscheidung geht, mit „*hamerhutte*“, „*blaißhutte*“ oder „*massenblaißhutte*“.[6] Unter ersterem Begriff ist die Frischhütte und unter letzterem die Schmelzhütte zu verstehen. In der Frischhütte arbeitet der „*fryschsmit mit eynem knechte, der die loppen slehet*“, aber auch „*meister, die mir die loppen recken*“ bzw „*smeden*“,[7] in der Massenhütte, Massenblasehütte oder Blasehütte die „*Massenbleser*“. Die Massenhütte „*sall blasen zwoelf wochen und nit lenger*“, ein „*hamer*“ „*smydden*“.[8] Zu einer Hammerhütte und Blashütte gehören „*gezauwe und gereitschoft, belgen, anfelz, hamer, zangen und andernzubehoirden mit sampt an der hußwonunge, schüren, schoppen, garten, wyeßen, felt und hauwbergen*“.[9] Zur Hütte gehört der „*wassergang undt graben*“ ebenso wie zur Hammerhütte, die man soll „*buwhaltig halden in dem wasser und darussen*“.[10]

Da es im Märkischen Sauerland überhaupt keine schriftliche Quellen gibt, verschafft der Blick ins südliche Nachbargebiet einen Überblick. In Kierspe ist im 16. Jahrhundert auf dem Hof Belkenscheid eine Familie „*Hüttebläser*“ mit einem Bezug zum Vorther Osemundhammer überliefert.[11] Da der Begriff *Massenhütte* keinen unmittelbaren historischen Bezug zum Märkischen Sauerland hat, sollte er, bezogen auf die Art der Verhüttung, durch den Begriff *Floßofen* ersetzt werden.

Die entscheidende Veränderung in der Art der Verhüttung war die indirekte Methode. Im Floßofen fiel aufgrund der über mechanisch betriebene Blasebälge gleichmäßigeren und größeren Luftzuführung und der durch Erhöhung der Schächte verbesserten Reduktionsbedingungen Roheisen und Schlacke im flüssigen Zustand an. Das Roheisen bedurfte einer weiteren Schmelzung, um in schmiedbares Eisen oder Stahl verwandelt zu werden, des Frischens, was nichts anderes heißt als „*Umwandlung des Roheisens in geschmeidiges und schmiedbares Eisen*“.[12]

Die Beweggründe für diese Veränderung liegen im Begriff: Das „*Floßloch*“ des Ofens war das Abstichloch, aus dem Roheisen und Schlacke im flüssigen Zustand abgelassen wurden. Dies war vom Verfahren her beabsichtigt, weil man in diesen Schmelzöfen weit mehr und

[1] Sönnecken 1972, 4−5; Knau/Sönnecken 1994a, 407−447; 1994b, 467−501; Kartenbeilage im Maßstab 1:25.000; 2000, 6−248, darin als Beilage: Katalog der Rennhütten und wassergetriebenen Werke im Raum Meinerzhagen mit Karte 1:25.000.

[2] Osann 1971, Textteil 42 ff. und 66 ff.

[3] Knau/Sönnecken1994a, 407 ff.

[4] Vgl. Sönnecken 1971, 125; Becher 1789, 516 ff.; Philippi 1887, 77 Nr. 125.

[5] Schubert 1937, 132−133.

[6] Philippi 1887, Nr. 137. 158; Schubert 1937, 135 Nr. 8, 140 Nr. 14.

[7] Schubert 1937, 150 Nr. 22.

[8] Ebd. 165 Nr. 28.

[9] Schubert 1937, 151−152 Nr. 24; 135 Nr. 8 heißt es: „*Hamerhutte* […] *gelegin an Wydenauw, mit aller irer zubehorde, belge hulse, anfiltze, hemer, zangen und alle gezauge, groiß und kleyne* […] *und darzu das wonhuß ganz und zumale gelegen an der smytten und die hobestat zuschen dem huße und den zune und den obersten schoppen und den stal daran.*“

[10] Schubert 1937, 135 Nr. 8; 137 Nr. 10.

[11] Vollmerhaus 1976, 200.

[12] Vgl. Blumhof 1821, 167.

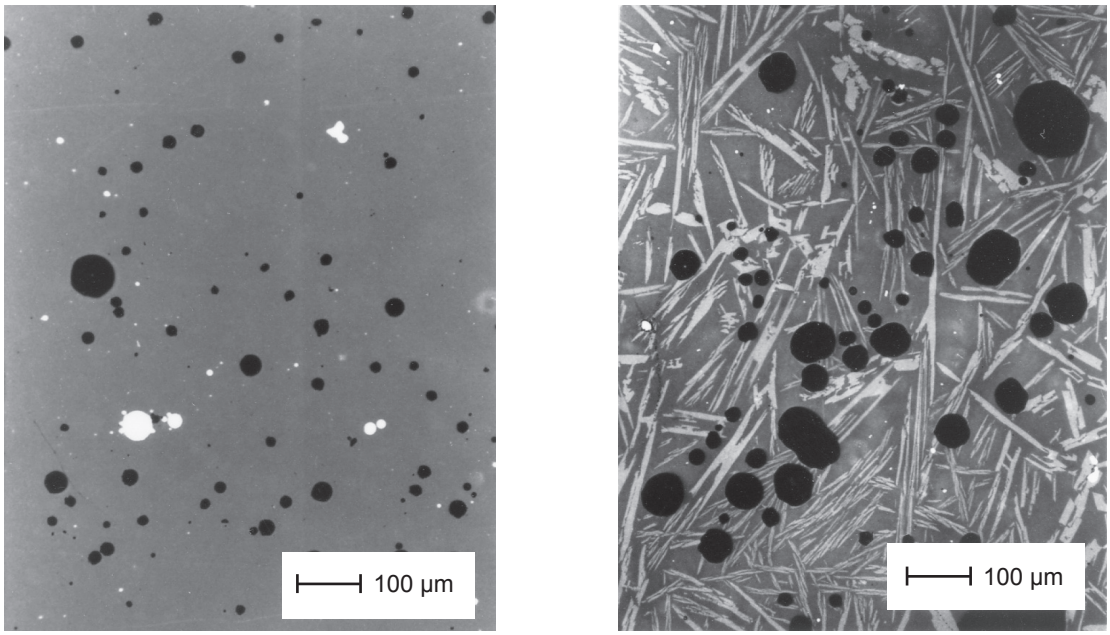


Abb. 1. Gefüge von Roheisenschlacken aus manganhaltigen Erzen (Abb. D. Horstmann).

besser Eisen erzeugen und dabei beträchtlich Kohlen einsparen konnte. Nach Blumhof konnten fünf Floßöfen ebenso viel Eisen produzieren wie zwölf Stucköfen, wobei nur die Hälfte der in Stucköfen benötigten Kohlen einzusetzen waren.[13] Selbst wenn man berücksichtigt, dass die Einsparung an Kohlen sich relativiert, weil für die zweite Schmelzung wiederum Kohlen anfielen, muss die Erhöhung der Produktion ein entscheidender Faktor gewesen sein.

Bisher war man davon ausgegangen, dass der Floßofen eine Weiterentwicklung des Stuckofens, dieser wiederum eine Entwicklung aus dem Rennofen gewesen sei, mit dem Vorteil, dass man über die Erhöhung des Schachtes und die dadurch verbesserten Reduktionsbedingungen schwerer schmelzbare, „unreine“ Erze verhütten konnte.[14] Diese Annahmen werden durch die Forschungsergebnisse im Süderbergland nicht bestätigt. Hier hat es offenkundig keinen Stuckofen gegeben. Die Annahme von Beck ist also insofern zu modifizieren. Wir haben jedoch gesehen, dass es bei der Entwicklung im Rennverfahren schon zur Einführung des eingemuldeten Schachtofens kam, um überhaupt Reduktionsbedingungen für die manganarmen, aber eisenreichen Braun- und Roteisenerze zu bekommen, d. h. im Märkischen Sauerland waren die Voraussetzungen für den Stuckofen schon geschaffen, er wurde jedoch nach dem bisherigen Forschungsstand nicht eingeführt. Dies lässt sich nur aus den zur Verfügung stehenden Erzen begründen. Offensichtlich wurde der Floßofen dem Stuckofen vorgezogen. Diese Aussage scheint sich mit der archäologischen Prospektion zu bestätigen, die eine Konzentration des Floßofens im Südwesten des Untersuchungsraumes bei gleichzeitiger Verdünnung der Verhüttungstätigkeit im Nordosten ergeben hat. Diese Entwicklung lässt sich nur über die Zusammensetzung der Erze mit oder ohne Mangan einigermaßen plausibel erklären. Darüber hinaus erscheint es bemerkenswert, dass mit dem Floßofen und dem sich anschließenden Frischen ein von der Qualität des Fertigproduktes her gezielteres Vorgehen möglich war.

Der Überlieferung nach hat es im Alpenraum bei der Errichtung des Floßofens von St. Veit erhebliche Widerstände seitens der Radgewerken gegeben.[15] Diese lassen sich durch die „*zunftgemäße Gewöhnung der Arbeiter*“ und die Furcht der Radgewerken und Eisenhändler vor der Konkurrenz zumindest teilweise erklären. Wegen der fehlenden Überlieferung lassen sich für das Sauer- und Siegerland diesbezüglich keine Aussagen machen. Gleichwohl scheint sich der Floßofen hier sehr schnell allgemein durchgesetzt zu haben, da die Rennverhüttung über das 13. Jahrhundert hinaus nicht mehr zu beobachten ist, während die Vielzahl der nachgewiesenen Floßofenstandorte überraschen muss.

Zeitlich ist bisher der Beginn der Floßofenverhüttung in das 13. Jahrhundert anzusetzen. Dies gilt für Mittelschweden, das Süderbergland in Deutschland, aber auch für Norditalien, wo im Noricum schon zur Römerzeit Roheisen und darauf basierend der berühmte no-

[13] Vgl. ebd. 126−127.
[14] Vgl. Beck 1893−95, 154 ff.
[15] Vgl. ebd. 185.

rische Stahl erzeugt wurde.[16] Gerade der Hinweis auf den norischen Stahl verdeutlicht die große Forschungslücke, die für den indirekten Prozess und seine Grundlagen besteht. Immerhin dürfte es klar sein, dass im 13. Jahrhundert die Kenntnis des Roheisenverfahrens in Europa verbreitet war. Dieses Verfahren konnte sich jedoch nur dort durchsetzen, wo die für diesen Prozess geeigneten Erze verfügbar waren.

Auch die Diskussion um die Form der Öfen steht noch ganz am Anfang. Der kreisrunden Außenmauer des Rhader Ofens,[17] und des Ofens an der oberen Wipper steht die rechteckige des Ofens an der Jubach gegenüber. Die Kerspe-Öfen mit ihrem eingezogenen Gebläse haben dagegen ein sehr viel differenzierteres Aussehen. In der äußeren Form scheint der schwedische Ofen von Lapphyttan in dem Ofen an der Jubach eine Entsprechung zu haben.[18] Ein erster Erklärungsversuch geht von D. Horstmann aus, der herausgefunden hat, dass an der Jubach und nicht weit davon, am Standort der „Alten Hütte“, an der Mündung der Jubach in die Volme, manganärmere Erze verhüttet worden sind.[19] Entsprechende Beobachtungen wurden in Lapphyttan, Mittelschweden, gemacht. Dort wurden ebenfalls Mischerze eingesetzt, die jedoch stark im Mangangehalt schwanken.[20]

Der Erfolg, den der Hüttenmann bei seiner Arbeit hatte, lässt sich zuallererst am Eisenausbringen feststellen, wie es aus den von E. Schürmann[21] aufgestellten Kurven ablesbar ist. Man sieht, dass bei der Rennverhüttung das Eisenausbringen zwischen etwa 20–60 % lag, was bedeutet, dass aus einer Tonne Erz im Durchschnitt etwa 200 kg Eisen reduziert wurden.

Für die Floßöfen lag das Ausbringen dagegen bei etwa 90 %, d. h., aus einer Tonne Erz wurde eine halbe Tonne Roheisen erzeugt. Dieser Unterschied zeigt schon allein den Fortschritt von der Rennverhüttung zum Floßofen. Man muss dabei allerdings beachten, dass im Floßofen Roheisen erzeugt wurde, welches erst durch Frischen zu schmiedbarem Stahl weiterverarbeitet werden musste. Bedenkt man dabei, dass beim Frischen wieder ein nicht unerheblicher Teil des Eisens verbrannte und in die Schlacke ging, wird dieser Fortschritt relativiert. Dieser Anteil des eingesetzten Roheisens, der verbrannte, lag zwischen 20 und 30 %. Das bedeutet, dass in den Floßöfen mit angeschlossenem Frischfeuer immer noch etwa 75–100 % mehr Stahl erzeugt wurde als bei der Rennverhüttung.

Damit im Zusammenhang steht der kontinuierliche Hüttenbetrieb Woche für Woche sowie Tag und Nacht,

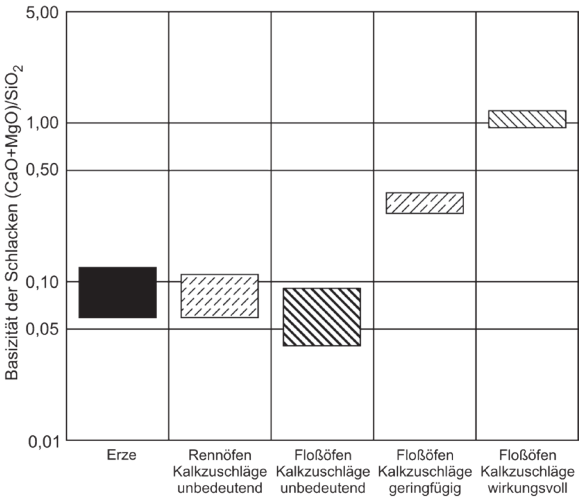


Abb. 2. Basizität der Schlacken.

wenn es die Zustellung des Ofens zuließ. Aus dem Siegerland ist bekannt, dass der Graf Johann von Nassau 1516 in seinem Kurbrief für das Handwerk der Massenbläser und Hammerschmiede in der Herrschaft Siegen festlegte, „*das ein massenhutte ein jarrelank soll blasen zwoelf Wochen und nit lenger* [...] *Were es aber sache, das ein blashutte icliche jars binnen der gemelte gezide ein mynne oder mehe dan seeß wochen bliese, das mochten sie zu der andern zit deßelben jarres und sust nit erholen oder abekurzen*.“[22] Aus dieser Verordnung geht hervor, dass die Massen- oder Blashütte durchaus in der Lage war, bei genügend Wasser mehr als sechs Wochen hintereinander zu arbeiten. Die Zeitbeschränkung diente im Rahmen der Zunftordnung einer Produktionseinschränkung, die schon vorher durch das Verbot der Anlage neuer Hütten erreicht werden sollte. Die Hüttenreisen wurden 1528 von zwölf auf acht Wochen weiter reduziert.[23]

Den technischen Fortschritt des Floßofenverfahrens kann man auch erkennen, wenn man einen Blick in das dem Siegerland benachbarte Dillenburger Land wirft, in dem die Eisenerzeugung bis in das letzte Drittel des 16. Jahrhunderts in „*Rennwerken*“[24] erfolgte. Nach Blumhof versteht man unter einer Rennwerksschmiede (Zerrennfeuerarbeit, Rennschmiede) denjenigen „*Eisenschmelzprozeß, mittelst dessen man aus den Eisenminern im offenen Heerde gleich im ersten Schmelzen geschmeidiges Eisen erhält. Er gehört zu den ältesten und einfachsten Methoden, dieses Metall aus seinen Er-*

[16] Vgl. Knau/Beier/Sönnecken 2000, 133−137; eine Ausnahme ist bisher auf der Schwäbischen Alb zu beobachten, wo die Öfen des Typs „Metzingen“, die durch ihre glasigen Schlacken gekennzeichnet sind, in das 11. bis 13. Jahrhundert datiert werden, vgl. dazu Kempa/Yalçın 1995, 154–164.

[17] Vgl. Knau/Sönnecken 1994a, 411; Rekonstruktion durch B. Osann.

[18] Vgl. Björkenstamm 1995, 143–163.

[19] Vgl. Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 316.

[20] Björkenstamm/Fornander 1985, 184–225.

[21] Schürmann 1958, 1297–1308.

[22] Schubert 1937, 165 Nr. 28.

[23] Ebd. 170 Nr. 32.

[24] Ebd. 87.

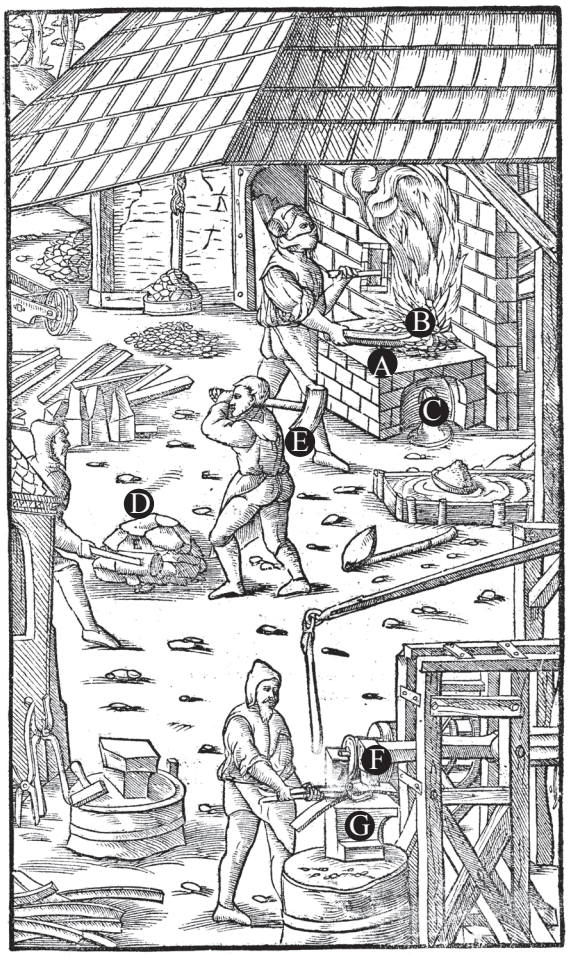


Abb. 3. Rennherd oder Zerrenfeuer. A: Der Herd; B: Der Beschickungshaufen; C: Der Schlackenabfluß; D: Der Eisenklumpen; E: Die Holzhämmer; F: Der große eiserne Hammer; G: Der Amboss (Abb. nach G. Agricola).

zen zu scheiden, ist aber gegenwärtig seitdem fast allgemein die Hochofenarbeit, als vortheilhafter, eingeführt worden, nur noch an einigen wenigen Orten gebräuchlich.“ „*Zu diesem Verfahren eigneten sich die Erze nicht, welche viel Kalkerde oder Braunstem enthalten, oder sehr leichtflüssig sind, und sich also bey einer geringeren Schmelzhitze scheiden lassen* [...] *am zweckmäßigsten hingegen dürften die thonartigen und besonders die kaltblasigen und strengflüssigern seyn.*“[25] In einer Beschwerde der Hüttengewerken auf der Haigerhütte, zu Ebersbach und Steinbrücken, die vor das Jahr 1611 datiert[26], heißt es: „*Hochwohlgeborner grave, gnediger herr. E.G. rentmeister hat uns ernstlich bevehlen lassen, dass wir kein gekauftes roheisen uff unsern hämmern verschmieden sollen, welches uns über die massen beschwerlich, sintemal wir wie bißhero das renwerk nicht gebrauchen können auß ursachen, weil der eisenstein nunmehr uff denen hohen öfen verbrauchet wirdt, und kann man under zwanzigk wagen voll kaum zwene oder drei wagen eisensteins bekommen, so da zum rentwerk dienlich seien. Aber zum hohen ofen kann der eisenstein durcheinander verbraucht werden, und musten wir nun verterben, do wir das gekaufte rohe eisen furters nicht verschmieden sollten.* [...] *und nun die renhütten im Wittigensteinischen lande wegen des bösen oder geringen eisensteins, dene sie in E. G. landen holen müssen, auch undergehen und uff ihren hämmern gekauft roheeisen brauchen oder gar verterben muessen, wir auch ohne das des wassers halben nur eine kurze zeit Jahres schmieden können*.“

Aus dieser Beschwerde geht hervor, dass die Rennwerke (*Abb. 3*) eine höhere Qualität an Erzen[27] benötigten als die Hochöfen, die nur durch die weitere Erhöhung der Schächte diese Bezeichnung bekommen hatten, aber nach dem Prinzip des Floßofens arbeiteten. Die im Dillenburgischen errichteten Hochöfen konzentrierten sich auf den Eisenguß, weil sie von den Erzen her nicht auf Roheisen

[25] Blumhof 1821, 660. 664 f.
[26] Schubert 1937, 346 f. Nr. 171.
[27] Nach Blumhof 1817, 174: „reiche Eisensteine“.

oder Stahl betrieben werden konnten. Es handelt sich daher hier um eine ähnliche Problematik wie zwischen dem Nordosten und Südwesten des Märkischen Sauerlandes. Die hohen Gehalte an Fe im Erz bei gleichzeitig geringen Gehalten an Phosphor und Schwefel waren für die Hüttenleute zur Verhüttung im Rennofen ausschlaggebend. Wegen des geringen Mangangehaltes waren diese Erze allein im Floßofen jedoch nicht zu verhütten. Dies wurde erst möglich, als Mischerze aus der weiteren Umgebung zugeführt wurden. Im Südwesten waren die Erze durch ihren höheren Mangangehalt für den Floßofen geeignet. Durch entsprechende Mischungen im Möller bestand darüber hinaus die Möglichkeit, die Qualität des Roheisens weiter zu steigern. Im Siegerland konnten in den Hütten, in denen Roheisen erblasen wurde, auch Rohstahleisen hergestellt werden. Diese Veränderung in der Qualität war über die Zugabe von „*Stahlstein*“ im Möller zu erzielen. Darunter sind „*leichtflüssige und manganhaltige Eisensteine*“[28] zu verstehen.

„*Der Siegensche Hüttenmann sieht auf die Reinigkeit des Eisensteins mit aller Strenge, und wendet auf das Sortiment alle Sorgfalt. So wie ihn die Grube gibt, läßt er ihn zwar zur Hütte bringen; allein da wird er geklopft, geschieden und hernach die Gattungen, die sich zusammen schicken, oder in der Vermischung ein gutes eisen ergeben, mit einander melirt.*“ Auch Blumhof betont in seiner Eisenhüttenkunde, dass die Kunst des Schmelzens, d. h. hartes, sprödes oder weiches Eisen zu erhalten, insbesondere von der „*Schüttung der Haufen (Gichten)*“ und der Stellung der Form abhängt. „*Den guten Fortgang des Schmelzens erkennt man an folgenden Stücken: 1) an dem geschmolzenen Eisen, 2) an dem Sinter [Schlacken], 3) an dem Lack oder der Flamme und 4) vor der Forme. Wenn das Eisen spröde ist, so hat es zu viel, und wenn es zu weich ist, zu wenig Kohlen gehabt. Der Sinter ist gemeiniglich entweder weiß, grün oder schwarz. Der weiße hat seine Farbe und Leichtigkeit von allzu starker Hitze, und erscheint daher meistens bey spröden oder grauen Flossen; der schwarze Sinter ist jedesmal der Begleiter der weichen Flossen; er ist noch sehr reich an Eisen. Am liebsten hat man den grünen, glasigen Sinter, weil solcher gewöhnlich ein gutes und besonders auf den Hämmern beliebtes Mittelzeug andeutet*.“[29]

Für den Archäologen kann diese Unterscheidung durchaus hilfreich sein. Die von den Herren von Ley im 16. Jahrhundert in der Nähe ihres „neuen“ Hauses errichtete Hütte, von der, wenn auch aus späterer Zeit, bekannt ist, dass sie Roheisenlieferant für die Osemundhämmer der Mark war, ist auch heute noch deutlich an ihren grünen Schlacken zu erkennen, während an einigen anderen Standorten, z. B. im Versetal bei Neuemühle, Standorte mit ausschließlich braunen Schlacken vorkommen.

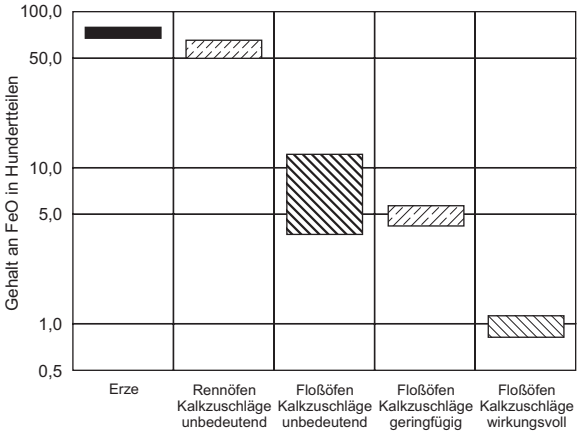


Abb. 4. Erze. Gehalt an FeO.

Zum Ablauf der Roheisenverhüttung[30]

Um herauszufinden, in welchen Schritten und auf welche Weise die Hüttenleute früherer Zeiten Eisen und Stahl, sei es Renneisen oder Roheisen, erzeugt haben, eignen sich chemische Bestimmungen der Zusammensetzung von Erzen und Schlacken und ein Vergleich der dabei gefundenen Werte. Hierbei ist es von ausschlaggebender Bedeutung, das Verhältnis der Kalk- und Magnesiagehalte zum Kieselsäuregehalt zu verfolgen, da die Basizität – oder besser Kalkbasizität – anzeigt, ob Kalkzuschläge bei der Verhüttung angewendet wurden, die entweder als Zuschlag zugegeben oder aus dem Lehm der Ofenwand oder von der Ofenzustellung der Floßöfen stammen (*Abb. 2*).

Dies stimmt mit Beobachtungen bei den Ausgrabungen überein, denn es wurden gelegentlich sowohl bei den Plätzen der Rennverhüttung als auch bei den Floßöfen Kalkreste gefunden. Im anderen Falle wäre mit einem Absinken der Basizität in den Schlacken zu rechnen, da diese bei der Verhüttung aus den Ofenwandungen Kieselsäure und Tonerde entnehmen.

Wie man in Abbildung 2 sehen kann, ist das Verhältnis der Kalk- und Magnesiagehalte zum Kieselsäuregehalt in den Erzen, den Rennschlacken und bei den meisten Floßöfen praktisch gleich. Das bedeutet, dass in diesen Fällen unbedeutende Kalkzuschläge benutzt worden sind, die entweder als Zuschlag zugegeben wurden oder aber aus der Ofenzustellung stammen. In einigen Fällen wurden bei der Verhüttung in den Floßöfen größere Kalkzuschläge angewendet, in einem Fall waren diese so bedeutend, dass schwach kalkbasische Schlacken anfielen. Dies führte dazu, dass ein Roheisen mit geringen Phosphor- und Schwefelgehalten erzeugt wurde, da diese beiden Elemente

[28] Blumhof 1821, 4, 231.
[29] Ders. 1817, 131.
[30] Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 315–318.



Abb. 5. Unterschiedliche Arbeitsweise der Volme-Hütten. Kalkbasizität der Schlacken.

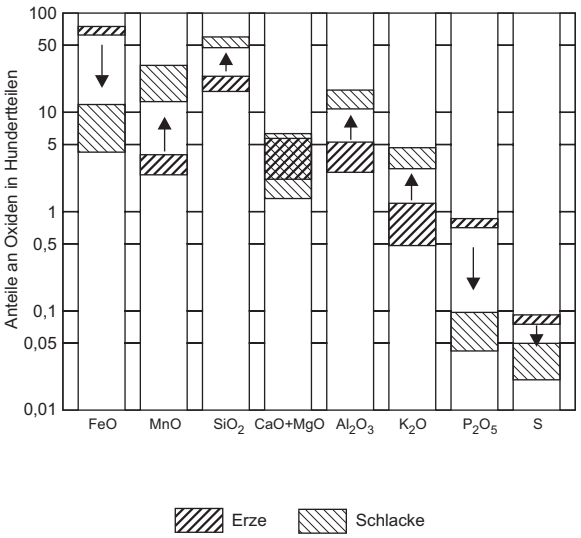


Abb. 6. Anteile an Oxiden in Erzen und kalkarmen Roheisenschlacken

in der Schlacke abgebunden wurden. Bei der Verhüttung im Floßofen kann man erkennen, dass das Eisen FeO abnimmt (*Abb. 6*).

Durch die Verhüttung sinkt der Oxydgehalt der Erze (berechnet als FeO) von Werten um 70 % auf solche zwischen 5–10 % in den Schlacken, was einem Eisenausbringen von 85–90 % entspricht. Mangan und Kieselsäure reichern sich an. Der Kalk bleibt ungefähr gleich. Dieses Problem bedarf noch einer weiteren Klärung. Möglicherweise ist mit geringsten Kalkzuschlägen gearbeitet worden, vielleicht ist der Kalk aber auch der Ofenwand entzogen worden. Tonerde und Kaliumoxyd nehmen zu. Letzteres lässt sich leicht dadurch erklären, dass durch die Holzkohle und deren Asche Kalium in die Schlacke geht. Phosphor und Schwefel nehmen in größerem Maße ab. Der Phosphor geht stark und der Schwefel weniger stark in das Roheisen, weil die Temperaturen höher liegen. Die Gehalte an Phosphor und Schwefel sind jedoch nicht so hoch im Roheisen, dass sie sich katastrophal auswirken können. Sie sind jedoch für den weiteren Frischprozess auch nicht besonders zuträglich.

Das Mangan der Erze wird dagegen nur zu einem geringen Teil mitreduziert. Der Mangangehalt in den Schlacken nimmt dementsprechend zu, lediglich bei der Verhüttung mit größeren Kalkzuschlägen im Floßofen wird ein etwas größerer Teil mitreduziert.

Diese Aussagen beziehen sich auf 51 bisher untersuchte Hüttenplätze. Von 19 im Einzugsbereich der Volme kartierten Plätzen sehen zwei Plätze ganz anders aus. Es handelt sich dabei um den Hüttenplatz an der Jubach, der in einer Notgrabung im Jahre 1992 ausgegraben wurde[31], und um einen Hüttenplatz an der Einmündung der Jubach in die Volme. Dieser Hüttenplatz hat in einer alten Flurkarte die Bezeichnung „Alte Hütte“.[32] Bei den Schlacken dieser beiden Hütten ist die Summe Eisen/Mangan deutlich niedriger. Da aber der Mangangehalt diese Zahl im wesentlichen bestimmt, kann daraus nur der Schluss gezogen werden, dass bei beiden Floßöfen ein manganarmes Erz eingesetzt worden ist. Die Erze der weiteren in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen Hütten liegen bei durchschnittlich 3 % MnO. Von dem Floßofen in der Jubach-Talsperre weiß man ebenfalls, dass ein Mischmöller gefahren wurde, d. h. man verhüttete manganarme und manganhaltige Erze. Zusätzlich wurde ein Teil der Floßofenschlacke zerschlagen und wieder eingesetzt.[33]

Auch bei der Kalkbasizität ergeben sich Unterschiede (*Abb. 5*).

Die Schlacken des Jubach-Ofens sind deutlich kalkärmer, was wahrscheinlich durch das Wiederaufgeben der alten „sauren“ Schlacken zu erklären ist. Die Schlacken der „Alte(n) Hütte“ sind dagegen kalkreicher. Hier mussten die Schlacken flüssig gemacht werden, daher rührt also zumindest z. T. der Kalkzusatz. Dies wurde aber auch durch Tonerde erreicht, denn bei diesem Ofen liegt das Verhältnis von Tonerde zu Kieselsäure ungeheuer hoch. Wie die Tonerde in die Beschickung kam, ist nicht geklärt, vermutlich aber durch tonhaltigen Lehm.

[31] Knau/Sönnecken 1993a, 51 f.; 1993b, 223–226; 1993c, 127 f.

[32] Karte im Besitz von Herrn Friedrich Theodor Voswinkel, Kierspe.

[33] Vgl. Knau/Sönnecken 1993b, 224.

Die im Vergleich zu den anderen Floßöfen andersartige Analyse lässt auf die Verhüttung anderer, manganarmer Erze schließen. Man kann aber auch die Arbeitsweise ändern. Die von den Herren von Ley[34] am Unterlauf der Kaltenbach in der Nähe ihres neuen Hauses Kaltenbach im 16. Jahrhundert neu erbaute Hütte, die einzige auf märkischem Boden, von der eine Abbildung vorhanden ist (s. S. 367 *Abb. 6*), hat eine ganz andere Schlacke. Deren Kalkbasizität ist nämlich wesentlich höher, das Verhältnis der Kieselsäure zum Kalk liegt bei 1:1, d. h. die Schlacken sind schon schwach kalkbasisch. In ihnen findet man andere Ausscheidungen. Bei den kalkärmsten findet man Mangan-Oxysulfid mit echten Sauerstoff-Schwefel-Bindungen. Dieses geht über in ein übliches Mangansulfid und bei höheren Kalkgehalten wird daraus ein kalkhaltiges Mangansulfid.

BERGBAU

Es wurde schon hervorgehoben, dass der Übergang zur Roheisenverhüttung durch das verbesserte Eisenausbringen und durch die Vergrößerung der Schmelzöfen eine bedeutende Steigerung der Quantitäten mit sich brachte. Diesem Tatbestand musste eine Vergrößerung der Kapazitäten beim Bergbau gegenüberstehen. Nur in wenigen Fällen kann den Floßöfen der entsprechende Bergbau zugeordnet werden, da schriftliche Quellen nur vereinzelt vorliegen. In unmittelbarer Nähe des Ofens von Haus Rhade befindet sich ein beachtliches Bergbaugebiet mit großen Pingen. Aus dem Jahre 1603 ist eine Belehnung überliefert, die sich auf diesen Bergbau bezieht. Herzog Johan Wilhelm von Kleve belehnt dabei den Mauritz von der Leyen, Pastor zu Ründeroth „*ein alt verlegen bergwerck auff dem Goeckesberge an der Volmen gelegen, wiederumb zu bauwen und daselbst nach yserstein, poterz, und sunsten anderen metall zu suchen, derwegen sulchs wie prauchlich, mit fundtgruben, uber undt understollen, mit der 1., 2. und 3. mäß und sunsten nach berghordnung und rechten zu moden.*“[35]

Wenn auch der Zeitraum zwischen dem vermuteten Ende des Hüttenbetriebes von Haus Rhade und dieser Überlieferung mehr als 100 Jahre beträgt, so lässt sich doch aus der Formulierung „*ein alt verlegen bergwerck*“ mit einiger Wahrscheinlichkeit auf eine Zeitgleichheit von Untertage- und Hüttenbetrieb schließen.

Die älteste schriftliche Erwähnung von Bergbau betrifft „*die hutte und huttenstad up der Nette und der Steinberch up dem Geechten*“[36] in Altena. Die Lage der Hütte am Netterbach macht deutlich, dass es sich hierbei um einen Floßofen gehandelt haben muss. Das zugehörige Bergwerk auf dem Berge rechts der Nette und die Flurbezeichnung „Am Toten Mann“ in der Nähe des alten Gehöftes „Gehegde“ machen ebenfalls eine Eingrenzung der Lage in der Nähe der Hütte möglich. Auch bei diesem Bergwerk, von dem der Zehnte zu entrichten war, lässt sich mit einiger Sicherheit von der Lage im Gelände her sagen, dass es sich um Stollenbergbau gehandelt haben muss. Noch in jüngster Zeit waren ein Stollen und ein Schacht im Gelände zu erkennen.

Im Jahre 1464 erteilt Herzog Johann I. von Kleve dem Lüdenscheider Hogreven Gotscha(l)ck Zelhoff und dem „Hutte = Hennesken“, Sohn des Hermann van Sessinchusen (Sessinghausen, Ortsteil von Kierspe) die Erlaubnis, im Kirchspiel Lüdenscheid zwischen Ober- und Niederhunscheid nach Eisen und anderen Metallen zu graben.[37] Die zugehörige Hütte lag möglicherweise bei Hardt an der Mündung des rechten Nebenbaches in die Rahmede, wo sich Schlacken eines Floßofens nachweisen ließen. Die Mutung ist aber auch deshalb von Interesse, weil mit dem bezeichnenden Namen „Hutte = Hennesken“ und seiner Familienherkunft auf Sessinghausen verwiesen wird, einen Ort, der von seiner Lage her schon früh mit der Eisenerzeugung in Verbindung zu bringen ist.[38]

Von großem Interesse ist die Frage nach den frühen Unternehmern, die Floßöfen, zu denen Teiche, Ober- und Untergräben neben der Hütte mit Gebläse und Wasserrad gehörten, als auch Bergwerke mit Stollen- und Schachtbau betreiben konnten. Aus einem Privileg des Jahres 1450 für ein Eisensteinbergwerk im Kirchspiel Müllenbach, unweit der Eisenhütten an der oberen Wipper auf dem Stülinghauser Bruch im Gebiet der heutigen Brucher Talsperre[39], lernen wir die Betreibergesellschaft kennen, die aus 22 Gewerken besteht, von denen 16 einen ganzen Anteil haben, weitere 6 jeweils 3 Anteile, während je 2 und 2 Personen sich jeweils einen Anteil teilen. Das Bergwerk ist in 19 Anteile aufgeteilt. Die Gewerken werden einzeln mit ihrem Vornamen und Wohnort benannt. Bis auf einen stammen sie alle aus der engeren und weiteren Umgebung, fast alle Orte sind vom archäologischen Befund her auch Standorte von Floßöfen. Wir können daraus den Schluss ziehen, dass diese Gewerken vom Fach waren. Die Ausname bildet dabei der erstgenannte Gewerke Johan Buyck, der als „*pastor to swerte*“[40] bezeichnet wird. In wieweit

[34] Ley war ein Adelssitz im Kirchspiel Ründeroth (heute Stadtteil von Engelskirchen) an der Agger. Vgl. dazu: Luda 1993, 16 ff.; Nehls 1993, 139–165; siehe dort besonders die beigelegte Karte: das Kaltenbacher Bergbaugebiet 1581/1582 sowie den Handriss dieses Gebietes von 1581.

[35] Dösseler 1954, 84 Nr. 13.

[36] Flebbe 1967, 65 Nr. 58.

[37] Dösseler 1954, 77 Nr. 1.

[38] Vgl. Rennfeuerhütten und wassergetriebene Werke im Raum Kierspe, Karte im Maßstab 1:25.000 als Beilage zu Knau/Potyka 1994; Vollmerhaus 1976, 272 ff.; Woeste 1994, 319 ff.

[39] Vgl. beigelegte Karte aus Knau/Potyka 1944, Nr. 87–92.

[40] Aders 1951, 112–114.

Hannes „*buyrhuess*“ in Verbindung mit der Meinerzhagener Familie Beurhaus steht, die um 1500 als Eisen- und Stahlhändler bekannt ist[41], kann leider nicht geklärt werden. Der Name hier steht eindeutig in Beziehung zu der früheren (Kierspe-)Rönsahler Bauerschaft Bürhausen.

Die Gesellschaft (*geselschoup van steenbreck*[en]) arbeitet auf Gewinn und Verlust. Sie trifft sich an einem bestimmten Tag zu einer Gesellschafterversammlung. Wer dort nicht erscheint, gehört nicht zur Gesellschaft. Verliehen (*gunnen* und *vrijen*) wird ein Bergwerk (*steenb*[er]*gh*) mit allem Zubehör (*myt all synre tobehoringen*), so weit, wie es für den Lösungsstollen (akerdrucht) notwendig ist. Ausdrücklich wird diese Gesellschaft als „tätige und zu dem Wasserlösungsstollen dienliche“ (*„arbedende ind to der akerdrucht helpende*“) bezeichnet. Diese „*akerdrucht*“[42] spielt dabei eine wesentliche Rolle in dem Vertrag. Ihr Recht wird so verliehen, wie es im Kirchspiel Gummersbach bisher gehandhabt worden ist. Sollte die Gesellschaft die „*akerdrucht*“ vergrößern wollen, wird es ihr erlaubt, sie so auszuweiten, wie sie es für richtig hält (*wie dick dat geschie, so dick moigen sy die wieder maken*). Falls Eisenstein in dem Gang, in den der Wasserlösestollen gelegt werden soll, gefunden wird, wird er mit gleichen Rechten verliehen wie der übrige. Sie dürfen daher nach ihm graben, ihn gewinnen und ihn „*zu bestem Nutzen*“ machen, vorbehaltlich der Abgabe des Zehnten (*vunden sij ouch isernsten in dem gange, dar sy die akerdr*[ucht] *nenne maicken, in lege in ind in bredde, den vrije wy yn ouch glich dem andern stene, äs vurs. is, dar na to graven, den to wynnen ind sich des vurs. Steens sementlich to yrem besten nutte to maicken, beheltlich uns unses tientsteens*). Aus diesen Bestimmungen lässt sich vermuten, dass es sich bei der „*akerdrucht*“ um einen Erbstollen gehandelt hat. Es folgen weitere erbrechtliche Bestimmungen.[43]

Aus dieser Verleihung geht hervor, dass ein Bergwerk mit Stollenbau, wenn kein kapitalkräftiger Unternehmer zur Stelle war, nur von einer Gesellschaft betrieben werden konnte, die nach Gewinn und Verlust arbeitete. Ob die Hütte oder Hütten, in denen das Erz geschmolzen wurde, ebenfalls von dieser Gesellschaft betrieben wurden, kann nicht gesagt werden. Der archäologische Befund zeigt, dass das Stülinghauser Bergwerk von einer Reihe Hütten umringt war.

Bergbau zu betreiben war kapitalintensiv, lockte auf der anderen Seite aber auch Kapital an. Auf das Bergwerk „Heilige Dreifaltigkeit“ im Kirchspiel Lüdenscheid, das wir leider nicht lokalisieren können, wurde 1524 ein Privileg erteilt. Gewerken waren der Bergmeister Bernhard Osthoeven, die Kölner Bürger Peter Heyman und Thonis Visscher, der Neuenrader Gotschalck Knoch, der Butzbacher Peter Toller und der Nürnberger Wolff Erkeler. Von letzterem wissen wir, dass er zusammen mit seinem Bruder Ulrich 1513 an Bergwerken zu Annaberg und Schneeberg im Erzgebirge beteiligt war. Beide besaßen zudem umfangreichen Besitz in Nürnberg und Umgebung.[44] Das Lüdenscheider Bergwerk wird als „Abbau mit Grube, Erbstollen und Schmelzhütte“ beschrieben. 1578 wird der Schneeberger Bürger Oßwald Langhe erwähnt, der in Halver ein Bergwerk muten will.[45] Es handelt sich dabei vermutlich um dasselbe Bergwerk, das 1499 von den Brüdern Engelbert und Wilhelm von Edelkirchen gemutet worden war.[46] Mitgewerke war der Kölner Philip von Furth.

Der Bergbau in immer größeren Tiefen war risikoreich und bedurfte gewaltiger Aufwendungen. Diese Entwicklung lässt sich für den märkischen Bereich am besten im äußersten Südwesten am Kaltenbach beschreiben. Dieser Bach bildete die Grenze zwischen dem Herzogtum Berg und der Grafschaft Mark. Wegen dieser Grenze kam es zu Streitigkeiten zwischen den Grubenbetreibern auf beiden Seiten, die bis vor das Reichskammergericht getragen wurden.[47] An dieser Stelle soll dabei auf die kostenträchtige Entwicklung des Bergbaus und ihre Folgen hingewiesen werden. Nach den Angaben des märkischen Anwaltes Heinrich Kumsthoff aus dem Jahre 1989 waren in den 80er Jahren die Zubußen für die Einheimischen (*haußleuth*) untragbar geworden, dass sie ihre Stämme aufgeben mussten. Sie seien so verarmt, dass sie die Grube nicht mehr notdürftig im Stande halten konnten.[48]

Dieser Aussage entspricht der gleichzeitige Zusammenbruch der ersten Kaltenbacher Gewerkschaft des Hans von Neuhoff-Ley, die noch aus „Einheimischen“, d. h. Gewerken aus Ründeroth, Remerscheid, Kaltenbach Wallefeld, Berghausen und Dieringhausen u. a., bestanden hatte. Um das nötige Kapital für eine neue Wasserkunst, den neuen Kunstschacht und die Verlegung des Erbstollens aufzubringen, gründete er eine neue Gesellschaft, „in der der geldkräftige Adel der Nachbarschaft überwog“.[49] Dieser Gewerkschaft entspricht auf der bergischen Seite die der kapitalkräftigen bürgerlichen Unternehmer Johann Steffen aus Grevenbroich und Reinhart Hymmen aus Königshoven.[50]

[41] Fittig 1909, 4.
[42] Vgl. zum Begriff: Woeste 1930, 3.
[43] Eine Bergordnung ist für 1542 überliefert, vgl. dazu Nehls 1993, 91 ff.
[44] Dösseler 1954, 78 f. Nr. 5.
[45] Ebd. 83 f. Nr. 12.
[46] Ebd. 78 Nr. 3.
[47] Jäger 1939, 46 ff.; Nehls 1993, 139 ff.; Knau/Sönnecken 1990, 155–166.
[48] Vgl. Jäger 1939, 53.
[49] Ebd.
[50] Vgl. von Diest-Koerber 1968, 55 ff.

FRISCHEN[51]

Schlacken als Abfallprodukt der Eisenverhüttung kann man an historischen Verhüttungsplätzen reichlich finden, seltener jedoch Reste des erzeugten Eisens. Bei einer Begehung der leergelassenen Kerspetalsperre konnte östlich der alten Siedlung Nieder-Hersbach ein Stück Roheisen geborgen werden. Der Form nach handelt es sich hierbei um das Endstück einer im Sandbett abgegossenen, flachen Platte. Wenn auch eine chemische Untersuchung zur Bestimmung der mittleren Anteile an Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel noch aussteht, so bringt die metallografische Untersuchung erste Ergebnisse. Ein Querschliff zeigt eine angedeutete Zweilagigkeit eines melierten Roheisens, das in der nach oben gerichteten, also luftseitigen Lage, im wesentlichen weiß, in der unteren, zum Sand gerichteten Lage dagegen hauptsächlich grau erstarrt ist. Im Mikrogefüge erkennt man dementsprechend in der weiß erstarrten Lage Ledeburit, der von einigen Graphitinseln durchsetzt ist, und in der grau erstarrten Lage Graphitlamellen, die von Perlit, dem Umwandlungsprodukt des Austerits, umgeben sind.

Zweischichtiges Roheisen eignet sich nach P. Tunner sehr gut zum Frischen. Das mag darin begründet sein, dass der Kohlenstoff des Ledeburits beim oxidierenden Einschmelzen leichter und schneller verbrennt als die größeren Graphitlamellen. Voraussetzung für die Ausbildung einer Zweilagigkeit des Roheisens ist allerdings ein ausreichend hoher Mangangehalt, damit eine Erstarrung nach dem meterstabilen Zementitsystem eintreten kann.

Nach Blumhof „*bedeutet Frischen oder Ausfrischen den Uebergang des Roheisens zur Geschmeidigkeit, mittelst dem Einschmelzen und Verarbeiten des Roeheisens im Frischheerde, wobey vorzüglich durch Einwirkung des Gebläses der Kohlenstoff dem Roheisen entzogen, die Erden ausgeschmolzen, und der Phosphor und Schwefel durch Oxydation vom Eisen getrennt werden*“.[52] „*Zum Verfrischen eignet sich das weiße Roheisen am besten, welches früher in Fluß kommt, und in der Schmelzhitze weit schneller in den Zustand der Geschmeidigkeit übergeht* [...] *Nur bey vollkommen gutartigen Erzen und bey der Anwendung von Holzkohlen kann die Verfrischung des weiß erblasenen Roheisens gestattet werden. Jedoch ist es nicht zu bezweifeln, dass das Frischen durch die Anwendung von weißem Roheisen sehr beschleunigt, und dass besonders durch vorhergehendes Glühen des weißen Roheisens eine große Zeit- und Kohlenersparnis möglich gemacht wird. Auch zur Stahlerzeugung darf noch weniger, wie beym Verfrischungsprozeß, graues Roheisen angewandt werden, ohne es vor der Verarbeitung weiß zu machen*.“[53]

Je nach der Beschaffenheit des Roheisens, aber auch um Brennstoff, Eisen und Zeit zu sparen, unterscheidet Blumhof daher 17 verschiedene Frischprozesse, unter

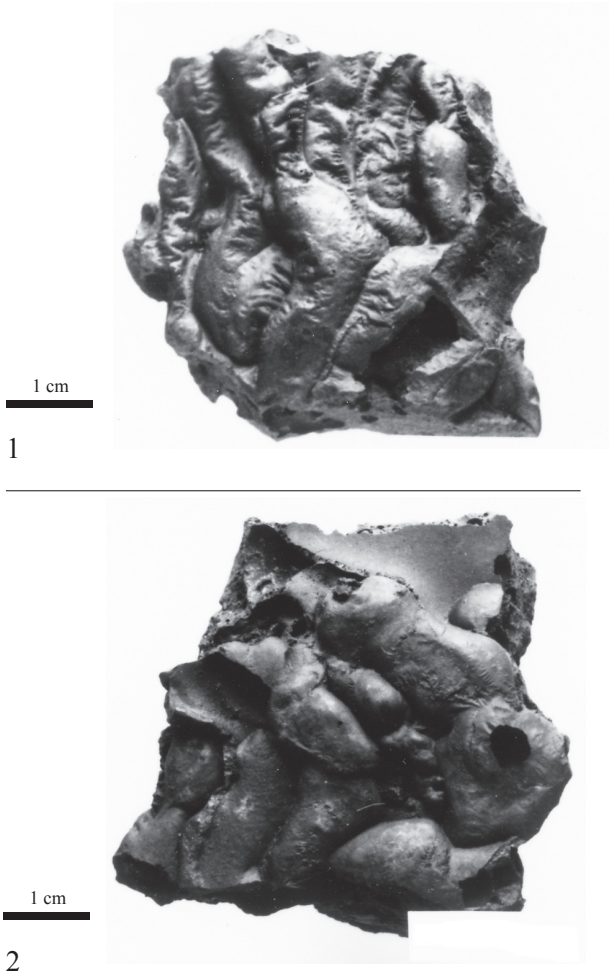


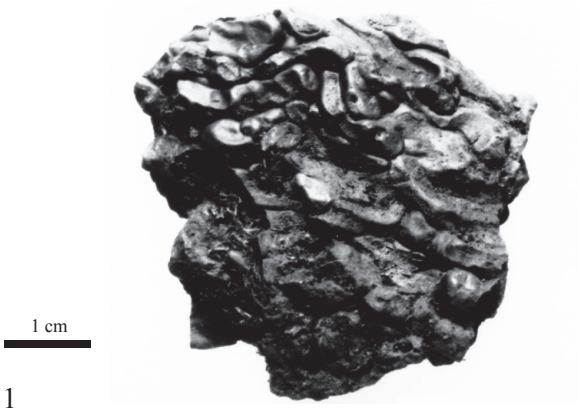
Abb. 7. Aussehen der Schlacken. 1: Rennofenschlacke; 2: Frischschlacke (Abb. D. Horstmann).

ihnen als zwei verschiedene Verfahren das schwedische und märkische Osemundfrischen.[54]

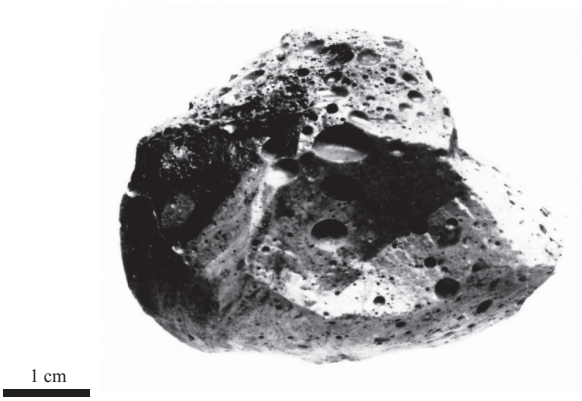
In diesen Ausführungen Blumhofs sind die Voraussetzungen der Stahlerzeugung des Süderberglandes inbegriffen. Hier war man in der Lage, neben dem grauen Roheisen, bei dem sich der Kohlenstoff bei langsamer Abkühlung als Karbid abgeschieden hat, insbesondere weißes Roheisen zu erzeugen, bei dem in rascher Abkühlung der Hauptteil des gelösten Kohlenstoffes Eisencarbid bildet, das sich durch einen hohen Mangangehalt auszeichnet und zur Erzeugung von Stahl hervorragend geeignet ist. Ohne die Kenntnis der modernen Chemie hatte man hier die Vorzüge der Erzbasis erkannt und umgesetzt.

Von der Archäologie her bereitet dieses Thema allerdings die größten Schwierigkeiten, weil, wie bei der Verhüttung, als Untersuchungsgegenstände nur die Schlacken übrig geblieben sind. Diese Schlacken gleichen jedoch den Rennschlacken und sind mit bloßem Auge auch nicht zu unterscheiden (*Abb. 7*).

[51] Vgl. Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 319 ff.
[52] Blumhof 1817, 167.
[53] Ders. 1819, 580 f.
[54] Ders. 1817, 169.



1



2

Abb. 8. Aussehen der Schlacken. 1: Schwere braunschwarze, kristalline Schlacke; 2: Leichtere blaugrüne, glasige Schlacke (Abb. D. Horstmann).

Aus diesem Grund hat man bei der ersten Grabung auf einen Floßofen im Jahre 1967 die „hocheisenhaltigen", schwarzen Schlacken als Rennschlacken eingeordnet und aus der Gemengelage von Roheisenschlacken, die schon an ihrer Färbung, ihrer glasigen Masse und ihrem geringen Gewicht eindeutig zu erkennen sind, und den schweren, schwarzen Schlacken, die man als Rennschlacken identifizierte (*Abb. 8*), auf ein Wechselverfahren geschlossen, bei dem auf der einen Seite der Schmelzofen als Stuckofen, auf der anderen Seite als Floßofen arbeitete, allerdings mit dem Unterschied, dass dem Ofen als Stuckofen andere Erze zugeführt wurden als sie im Floßofen Verwendung fanden, weil die Mangangehalte der so interpretierten Rennschlacken hätten höher sein müssen, nämlich bei Werten um 9 % .[55]

Demzufolge schloß man auch darauf, dass eine Weiterverarbeitung vor Ort nicht stattgefunden hat. Diese Interpretation der Grabung ist erwiesenermaßen falsch. Durch einen Zufall wurden die stark zerstörten, aber immer noch erkennbaren Reste der Herde, aus denen die schweren Schlacken stammten, vor einigen Jahren in etwa 30 m Entfernung zum Standort des Floßofens entdeckt, als der Bauer die Wiese umpflügte. Damit fand sich nachträglich der Beweis dafür, dass die Weiterverarbeitung durch Frischen auch am Standort von Haus Rhade stattfand. Der Beweis hierfür war allerdings von metallurgischer Seite auch vorher schon erbracht worden.

Die Analyse des Frischvorgangs, der sich zur Erzeugung von schmiedbarem Eisen anschließt, wird durch die verschiedenen Frischmethoden außerordentlich erschwert. Um die oxydischen Stoffe herauszubekommen, damit sie nicht wieder mit dem Kohlenstoff zu Eisen und Phosphor reagieren und dieser Phosphor und Schwefel nicht wieder ins Eisen kommt, braucht man eine Schlacke. Hierzu eignet sich am besten die Schlacke, die greifbar nahe liegt.

Im Bergischen Land ist an der Loope bei den Frischschlacken bisher nur die Zugabe von Roheisenschlacke zu beobachten, die viel Fayalit, aber auch Magnetit und Leucit enthält (*Abb. 9*).

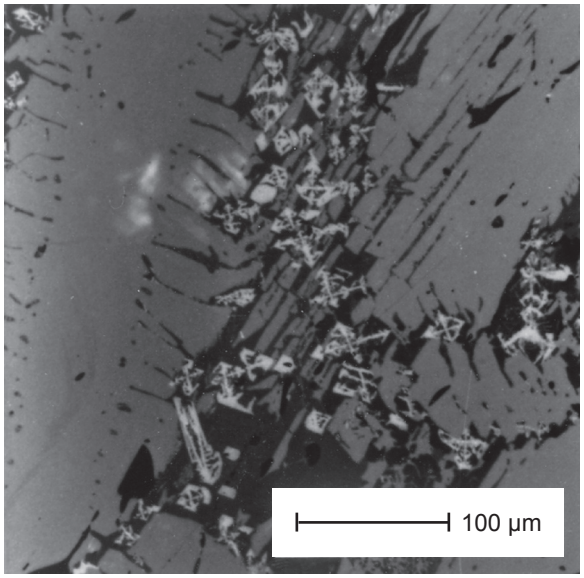
In diesen Schlacken findet man neben dendritischen Ausscheidungen des Magnetits die balkenförmigen Fayalitbildungen. Man findet aber auch Stellen, die ein eutektisch erstarrtes Gemenge aus Fayalit, Hercynit und Leucit enthalten. Das Auftreten von Leucit ist als ein eindeutiger Hinweis auf das Vorliegen einer Frischschlacke zu bewerten, da diese Kristallart in den Schlacken der Rennverhüttung in diesem Gebiet praktisch nicht vorkommt.

Als Variante finden sich im Märkischen Sauerland Frischschlacken aus einem Schlackengemisch (*Abb. 10*).

Diese Beobachtung konnte an einigen nicht vollständig durchgeschmolzenen Kalotten gemacht werden, die sich im Bereich des Kerspetales, aber auch an der Volme fanden. Diese Schlacken zeigen in ihrem Gefüge zum Teil das Aussehen einer normalen Rennofenschlacke.

Man findet aber immer wieder Stellen mit deutlichen Abweichungen. Es ist hier ein eutektisch erstarrtes Gemisch aus Fayalit und Wüstit ausgeschieden worden, aus dem heraus einzelne Wüstitdendriten herauswachsen. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, dass der Wüstit auf der einen Seite die Geschwindigkeit der eutektischen Reaktion bestimmt und auf der anderen Seite dreiwertiges Eisen neben dem zweiwertigen in sein Kristallgitter einbaut. Diese beiden Voraussetzungen führen dazu, dass im Verlauf der gekoppelten eutektischen Erstarrung von Wüstit und Fayalit infolge des dabei weitaus überwiegenden Fayalitanteils in der umgebenden Restschmelze ein Defizit an zweiwertigem Eisen entsteht. Dies hat zur Folge, dass nur noch eine der beiden Komponenten, nämlich der dreiwertiges Eisen enthaltende Wüstit, weiter aus-

[55] Osann 1971, 69 f.



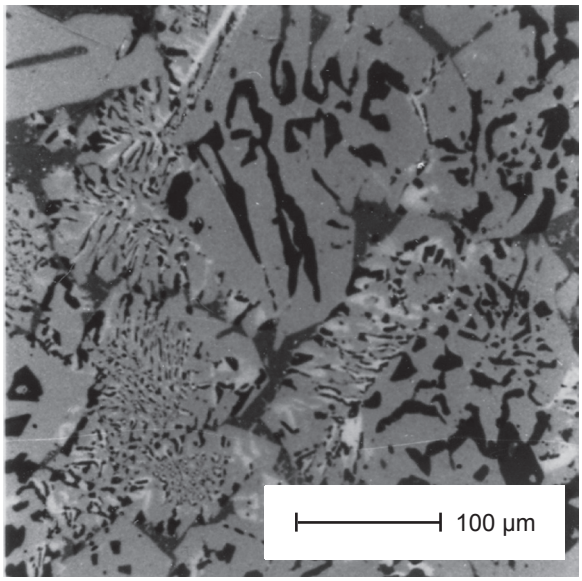


Abb. 9. Gefüge von Frischschlacken aus Roheisenschlacken (Abb. D. Horstmann).

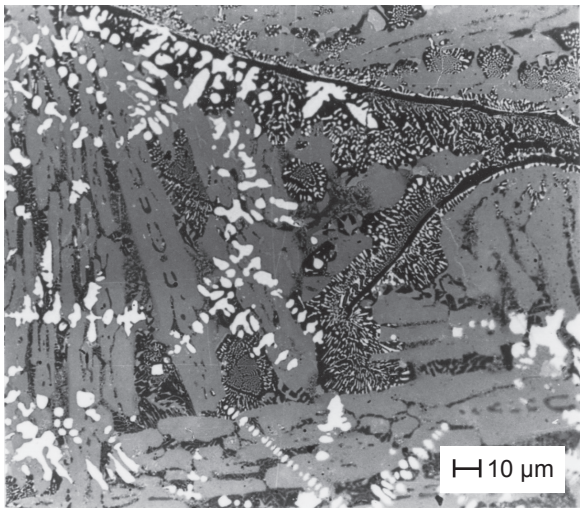


Abb. 10. Gefüge von Frischschlacke aus Schlackengemischen (Abb. D. Horstmann).

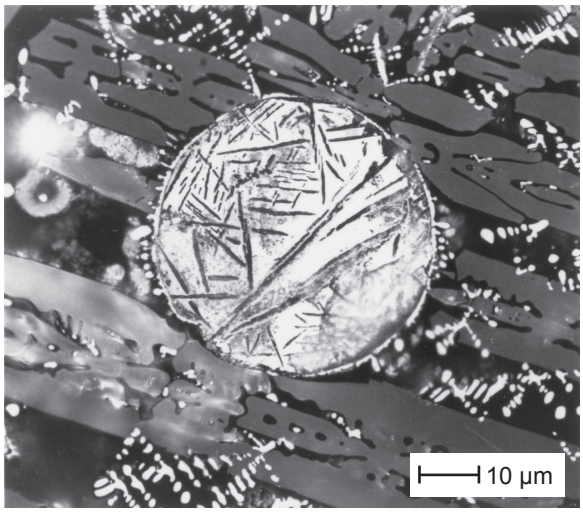
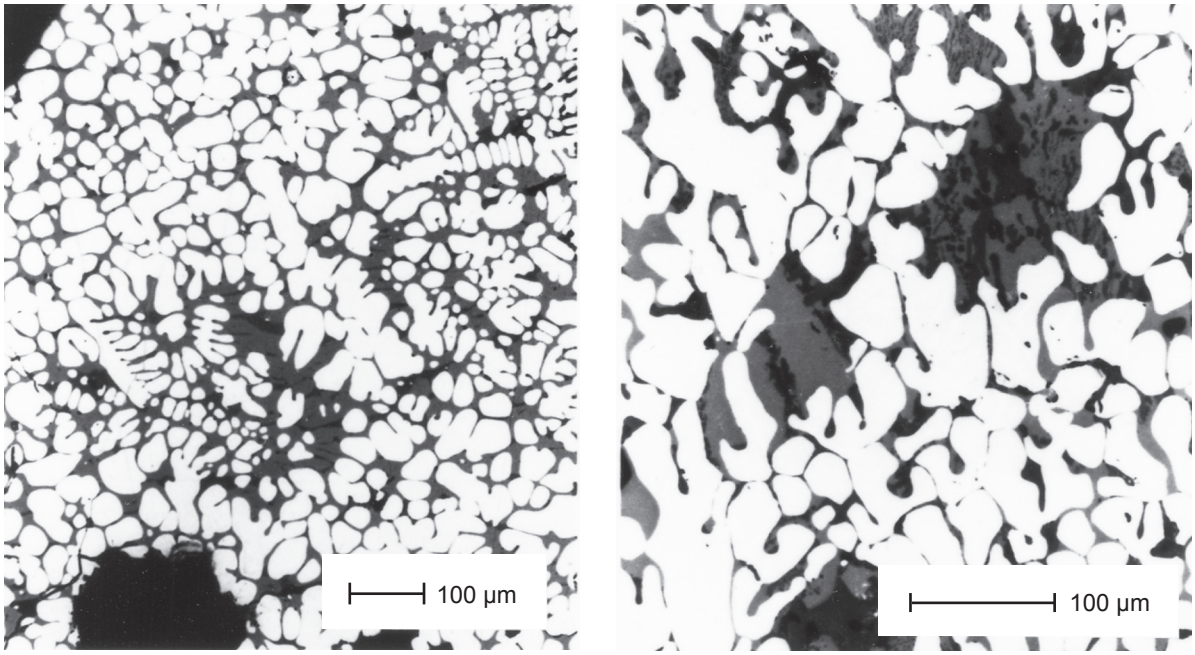


Abb. 11. Stahltropfen in einer Frischschlacke (Abb. D. Horstmann).

geschieden werden kann, was dazu führt, dass aus den eutektisch erstarrten Wüstit-Fayalit-Balken, deren äußerer Habitus durch die Kristallform des Fayalits bestimmt wird, Wüstit-Dendriten herauswachsen, die im eutektisch ausgeschiedenen Gemisch angelegt worden sind. Daneben findet man in dieser Art von Schlacken auch Bereiche mit einem eutektisch ausgeschiedenen Gemisch aus Wüstit und Leucit. Man trifft in den abgelassenen Frischschlacken auch gelegentlich Stahltröpfchen an. Diese haben als Keim für eine Wüstitausbildung beim Erstarren der Schlacke gedient (*Abb.11*).[56] Die dritte Art von Frischschlacken, die überwiegend im Märkischen Sauerland[57] vorkommt, ist die Osemundschlacke (*Abb. 12*). Sie enthält größere Mengen an Wüstit neben Fayalit und Leucit und als Besonderheit Calciumphosphat. Diese Besonderheit ist darauf zurückzuführen, dass den zum Frischen eingesetzten Schlacken Kalk zugeschlagen wurde, um Phosphor

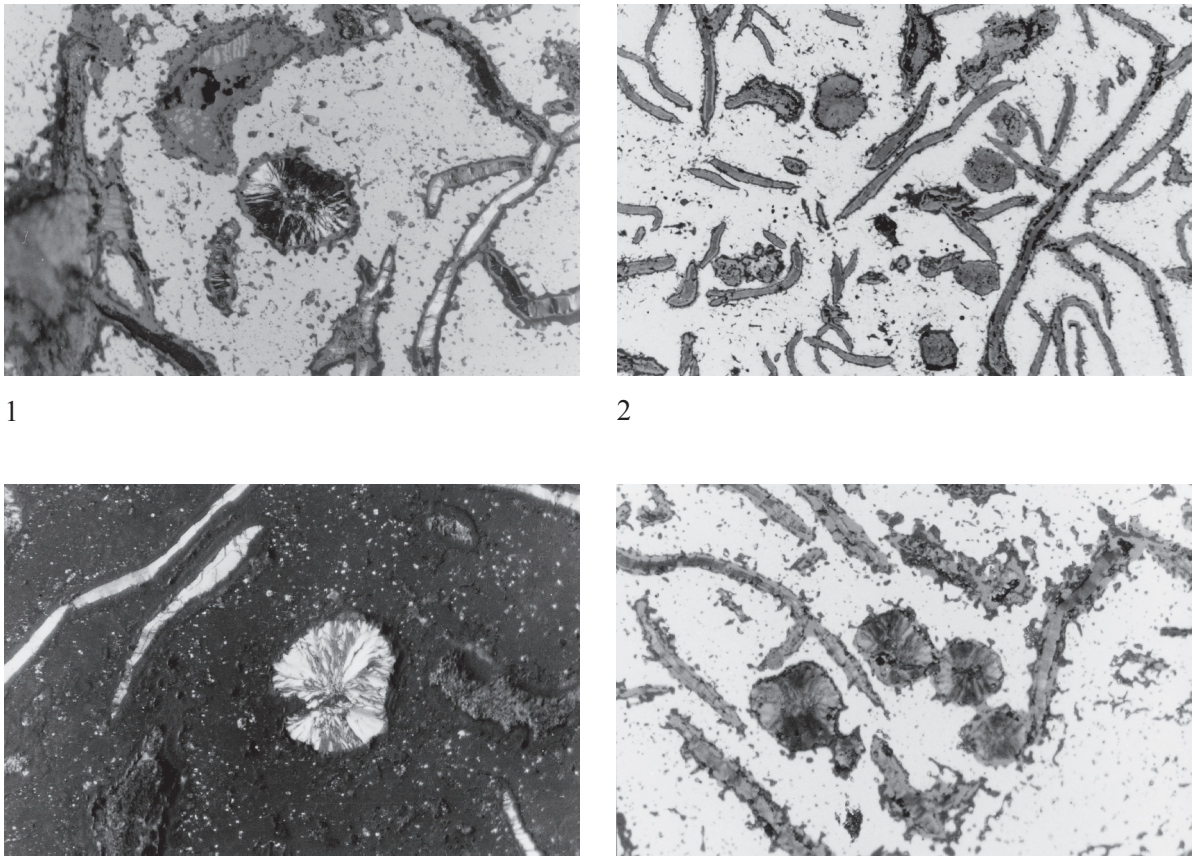
[56] Abbildung vgl. Horstmann/Knau/Sönnecken 1996, 320.

[57] Der Überlieferung nach müsste man sie sowohl im Kölnischen Sauerland als auch im Bergischen Land finden, es ist jedoch noch keine gezielte Prospektion erfolgt.



1 2

Abb. 12. Gefüge von Schlacken des Osemundfrischens. 1: Knüppelosemund; 2: Drahtosemund (Abb. D. Horstmann).



1 2

3 4

Abb. 13. 1–4: Kugel- und Lamellengraphit im Gefüge von unvollständig gefrischtem Eisen (ohne Maßstäbe).

und Schwefel des Roheisens in der Schlacke abzubinden und auf diese Weise einen phosphor- und schwefelarmen Stahl zu erzeugen.

Bei der Notgrabung an der Jubach wurde ein wichtiger Fund geborgen. Es handelt sich dabei um ein leider unvollständiges, weil geteiltes Stück Eisen.[58] Es sieht aus, als ob es in einer Form gegossen worden wäre. Es wurde im Bereich der Frischfeuer gefunden.[59] Betrachtet man dieses Gefüge (*Abb. 13*), sieht man auf der einen Seite Graphit, aber nicht nur Lamellengraphit, sondern auch Kugelgraphit. Dies ist der bisher älteste Nachweis von Kugelgraphit. Es handelt sich dabei offensichtlich um Graphitlamellen, die sich nicht aufgelöst haben.

LITERATUR

Aders 1951
G. Aders, Quellen zur Geschichte der Stadt Bergneustadt und des alten Amtes Neustadt von 1109 bis 1630. Zeitschrift des Bergischen Geschichtsvereins 71, 1951, 9–268.

Becher 1789
J. Ph. Becher, Mineralogische Beschreibung der Oranien-Nassauischen Lande nebst einer Geschichte des Siegenschen Hütten- und Hammerwesens (Marburg 1789).

Beck 1893–95
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 2 (Braunschweig 1893–95).

Björkenstam 1995
N. Björkenstam, The Blast Furnace in Europe during Medieval Times. Part of a New System for Producing Wrought Iron. In: G. Magnusson (Hrsg.), The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change 1. Papers presented at the Norberg Conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 143–153.

Björkenstam/Fornander 1985
N. Björkenstam/S. Fornander, Metallurgy and Technology at Lapphyttan. In: Medieval Iron in Society. Papers presented at the Symposium in Norberg, May 6–10, 1985. Jernkontorets forskning H 34 (Stockholm 1985) 184–228.

Blumhof 1817
J. G. L. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängigen Künste und Handwerke 2 (Gießen 1817).

Blumhof 1819
J. G. L. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängigen Künste und Handwerke 3 (Gießen 1819).

Blumhof 1821
J. G. L. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängigen Künste und Handwerke 4 (Gießen 1821).

Dösseler 1954
E. Dösseler, Süderländische Geschichtsquellen und Forschungen 1 (Werdohl 1954).

Fittig 1909
E. Fittig, Beiträge zur Geschichte von Meinerzhagen – Industrie (Meinerzhagen 1909).

Flebbe 1967
W. Flebbe, Quellen und Urkunden zur Geschichte der Stadt Altena (Westf.) I. Von den Anfängen bis 1609, dem Aussterben der männlichen Linie der klevisch-märkischen Herzöge (Altena 1967).

Ganzelewski/Rehren 1994
M. Ganzelewski/T. Rehren, Das Frischen von Roheisen am Beispiel des spätmittelalterlichen Fundplatzes von Kierspe im Märkischen Kreis. Metalla 1, 1994, 5–13.

Horstmann/Knau/Sönnecken 1996
D. Horstmann/H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Roheisenerzeugung im oberen Volmetal. Ethnogr.-Arch. Zeitschr. 37/3, 1996, 309–324.

Jäger 1939
E. Jäger, Von alten Bergwerken im märkischen Amt Neustadt, vornehmlich im 16. Jahrhundert: Zeitschrift der Bergischen Geschichtsvereins 67, 1939, 46–55.

Kempa/Yalçın 1995
M. Kempa/Ü. Yalçın, Medieval Iron Smelting in Southern Germany: Early Evidence of Pig-Iron. In: G. Magnusson (Hrsg.), The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change 1. Papers presented at the Norberg Conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 154–164.

[58] Fundverbleib in den Museen der Burg Altena und beim Heimatverein Kierspe.

[59] Vgl. dazu Ganzelewski/Rehren 1994, 5–13.

Knau/Beier/Sönnecken 2000
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Iron and Steel in Siegerland and Sauerland. From the direct to the indirect process in iron production. In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzioni (Hrsg.), Il ferro nelle Alpi (Iron in the Alps). Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century (Bienno 2000) 133−137.

Knau/Potyka 1994
H. L. Knau/R. Potyka (Bearb,), Kierspe, Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994).

Knau/Sönnecken 1990
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die mittelalterlich-frühneuzeitlichen Eisenhüttengebiete von Loope und Kaltenbach bei Engelskirchen. Ein Beitrag zur jahrhundertealten Tradition des Eisenhüttenwesens im bergisch-märkischen Wirtschaftsraum. Der Märker 39, 1990, 155–166.

Knau/Sönnecken 1993a
H. L. Knau/M. Sönnecken, Spätmittelalterliche Eisenverhüttung in Kierspe. Arch. Deutschland 1,1993, 51–52.

Knau/Sönnecken 1993b
H. L. Knau/M. Sönnecken, Fund einer spätmittelalterlichen Massenhütte in der Jubach-Talsperre, Stadt Kierspe, Märkischer Kreis. Ergebnisse einer Notgrabung. Der Märker 42, 1993, 223–226.

Knau/Sönnecken 1993c
H. L. Knau/M. Sönnecken, Spätmittelalterlicher Floßofen in der abgelassenen Jubach-Talsperre freigelegt. Stahl u. Eisen 113, 1993, 127–128.

Knau/Sönnecken 1994a
H. L. Knau/M. Sönnecken, Grabungsberichte der Massenhütten im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 407–446.

Knau/Sönnecken 1994b
H. L. Knau/M. Sönnecken, Katalog der wassergetriebenen Werke im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 467–500.

Knau/Sönnecken 2000
H. L. Knau/M. Sönnecken, Meinerzhagen. In: 75 Jahre Meinerzhagener Baugesellschaft (Meinerzhagen 2000) 444–446.

Luda 1993
M. Luda, Meinerzhagen im Schnittpunkt der Territorien (Meinerzhagen 1993).

Nehls 1993
A. Nehls, Der lange Streit um das Kaltenbacher Erz. In: Aller Reichtum lag in der Erde. Die Geschichte des Bergbaues im Oberbergischen Kreis (Gummersbach 1993) 139–165.

Osann 1971
B. Osann, Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Zur Metallurgie und Wärmetechnik der alten Eisengewinnung. Fachausschußbericht 9.001 Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf 1971).

Philippi 1887
F. Philippi (Hrsg.), Siegener Urkundenbuch I. Abtheilung bis 1350 (Siegen 1887).

Schubert 1937
H. Schubert, Geschichte der Nassauischen Eisenindustrie. Von den Anfängen bis zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges. Veröff. Hist. Kom. Nassau 9 (Marburg 1937).

Schürmann 1958
E. Schürmann, Die Reduktion des Eisens im Rennfeuer. Stahl u. Eisen 78, 1958, 1297–1308.

Sönnecken 1971
M. Sönnecken, Die mittelalterliche Rennfeuerverhüttung im märkischen Sauerland. Ergebnisse von Geländeuntersuchungen und Grabungen. Siedlung u. Landschaft Westfalen 7 (Münster 1971).

Sönnecken 1972
M. Sönnecken, Eisendarstellung im Floßofen. Der Märker 21, 1972, 4–5.

Vollmerhaus 1976
H. Vollmerhaus, Familien und Persönlichkeiten im südwestfälischen Kirchspiel Kierspe bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts. Altenaer Beiträge. Arbeiten zur Geschichte und Landeskunde der ehemaligen Grafschaft Mark N.F. 11 (Altena 1976).

von Diest-Koerber 1968
N. von Diest-Koerber, Hymmen und Steffen (Steffens, St. Gnt. Pensen, Pensen von Caldenbach). Ein Beitrag zur älteren Geschichte der beiden Familien. Der Märker 17, 1968, 55–65.

Woeste 1930
F. Woeste, Wörterbuch der westfälischen Mundart. Im Auftrage des Westfälischen Heimatbundes neu bearbeitet und herausgegeben von Erich Nörrenberg (Norden, Leipzig 1930).

Woeste 1994
D. Woeste, Bollwerk – eine alte eisengeschichtliche Siedlung im Volmetal. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur– Geschichte (Stuttgart 1994) 319–339.

MÄRKISCHER OSEMUND

Hans Ludwig Knau

Das Märkische Sauerland ist durch den Osemund, einen Qualitätsstahl, bekannt geworden. Er wurde aus einer bestimmten Qualität von Roheisen gefrischt. Über die Bezeichnung „Osemund“ ist viel spekuliert worden, weil sie in der Geschichte der schwedischen Eisenerzeugung eine grosse Rolle spielt, aber auch als Handelsartikel, insbesondere im Ostseeraum, bekannt geworden ist. Eine Verbindungslinie ins Märkische-, Kurkölnische Sauerland oder Bergische Land konnte jedoch bisher nicht gezogen werden. Zumindest im 18. und 19. Jahrhundert waren der schwedische und der märkische Osemund zwei unterschiedliche Stahlqualitäten. In der Fachliteratur werden daher das schwedische und das märkische Osemundfrischen als voneinander verschiedene Frischmethoden genannt.[1] Zur Verwendung desselben Begriffes in so weit auseinander liegenden eisenerzeugenden Landschaften mag die im Prinzip gleiche Ausgangslage geführt haben. Der schwedische Osemund, 1280 in England erstmals erwähnt, wurde ebenso wie der märkische aus Roheisen gefrischt.[2] Dieses Roheisen ließ sich nur unter der Bedingung erzeugen, dass Erze mit nur geringem Gehalt an Phosphor verhüttet wurden. Erze dieser Qualität sind zwar in Westeuropa relativ selten, standen jedoch insbesondere in Schweden, Spanien, der Steiermark, Norditalien und Deutschland reichlich zur Verfügung. In Deutschland sind hier nur das Sieger- und Sauerland zu nennen.[3] Es kann nicht die Aufgabe dieser lokalen Untersuchung sein zu diskutieren, warum im Baskenland und in der Steiermark trotzdem noch lange an der direkten Methode der Eisenverhüttung festgehalten wurde, für die Diskussion des Osemundprozesses ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, welche Ausgangsstoffe ihm zugrunde liegen. Hierbei erscheint es an dieser Stelle sinnvoll zu sein, diesen Prozess in seiner jüngsten Ausformung zunächst zu beleuchten, wie er uns in der Literatur des ausgehenden 18. und beginnenden 19. Jahrhunderts überliefert wird, um daraus die entsprechenden Rückschlüsse auf die Zeit des Spätmittelalters zu ziehen, in der dieser Prozess seine Entwicklung nahm. Von den Ergebnissen der Archäometallurgie lassen sich nach dem derzeitigen Forschungsstand dabei überraschende Parallelen für Schweden und Deutschland in der Ausformung der indirekten Methode der Eisenverhüttung ziehen, die sich so signifikant in der Verwendung desselben Begriffes widerspiegelten.

Hierzu sollen insbesondere der preußische Fabrikenkommissar Eversmann und der hessische Hofkammerrat und Hütteninspektor Blumhof, Herausgeber der ersten Encyklopädie der Eisenhüttenkunde, gewissermaßen als Zeitzeugen herangezogen werden, die sich mit sehr interessanten Details zur Osemundherstellung zu Beginn des 19. Jahrhunderts äußern. Eversmanns Angaben zufolge war das Roheisen von elf Hütten „*am vorzüglichsten geeignet*“:[4] Von diesen Hütten lagen acht auf dem Gebiet der Grafschaft Sayn-Altenkirchen im Amte Freusburg und drei im Bergischen Land. Diese waren die Weyershager, (Unter-)Kaltenbacher und Ründerother Hütte und jene die Mudersbacher und Brachbacher Hütte auf der Sieg, die Dermbacher („Dörenbach, oder Seelenberger“) Hütte am Derenbach, „*da wo sie in die Heller fließt*“, die Herdorfer, Alt-Grünebacher, Neu-Grünebacher und Alsdorfer Hütte auf der Heller und die Fischbacher Hütte an der Alsdorf.[5]

Die genannten Hütten des Amtes Freusburg in der Grafschaft Sayn-Altenkirchen bekamen ihre Erze aus den Gruben auf den Eisensteinvorkommen des Hollerter-Bollnbacher Gangzuges und der Dermbach-Wildener Querzone, die sich aus fast kupferfreiem, manganreichem Siderit, zusammensetzten, „der in den oberen Teufen meist als Brauneisenerz (Glaskopf) und z. T. als Eisenglanz ausgebildet war“.[6] Eversmann nennt insbesondere die Bergwerke „*Hollerzug, goldne Hart, Bollenbach und Stahlers, die bey weitem die größten Quantitäten der ganzen Förderung geben.* [...] *Die Eisen-Erze, so hier brechen, sind der braune Eisenstein und der Stahlstein. Letzterer befindet sich gewöhnlich in der Tiefe der Gänge, und über ihn hat sich der Eisenstein gelegt*.“ Die Eisensteinvorkommen bei Ründeroth im Bergischen werden von Eversmann als „*brauner Eisenstein, der aus einer losen Mischung von Glaskopfscherben, Eisen-Nieren und festem thonartigen Eisenstein besteht*“ charakterisiert.[7] Das Roheisen der Unterkaltenbacher, Weiershager und Ründerother Hütte bezeichnet Slotta als „manganhaltig, weißstrahlig“.[8]

Aus den angeführten Quellen geht hervor, dass es einer bestimmten Qualität von Roheisen bedurfte, die wiederum hauptsächlich von den im Floßofen eingesetzten Erzen abhängig war. Bei diesen spielte der Mangangehalt eine große Rolle sowohl für die Schlackenbildung als auch für die Gewinnung von Stahl.[9] Diese Aussage trifft sowohl für die Floßofenverhüttung als auch das Osemund-

[1] Blumhof 1817, 169.
[2] Björkenstam 1995, 23.
[3] Ebd. 146.
[4] Eversmann 1804, 217.
[5] Ebd. 136. 217.
[6] Slotta 1986, 541.
[7] Eversmann 1804, 134. 321.
[8] Slotta 1986, 574.
[9] Beck 1884, 801; 1893–1895, 222; 1897, 496. 646 f.

frischen zu. Insofern ist das Vorkommen von manganhaltigen Erzen eine unabdingbare Voraussetzung sowohl für die spätmittelalterliche Floßofenverhüttung als auch für die Herstellung von Stahl, wie z. B. den Osemund.

„*Zum Goeseisen, so wie es der Osemundts-Reidemeister am liebsten hat, setzt man zu 5 Wagen braunen Stein den 6ten Wagen weißen; allein dies geschieht nur von den ärmeren Gewerken, die wohlhabenden legen ihren repartirten Stahlstein zurück, und verhütten ihn allein zu Stahleisen, so daß jetzt eigentlich nur wenig Stahlstein zum Goeseisen kommt*." In einer Anmerkung zu diesen Ausführungen schreibt er weiter: „*Nach der bey der Osemundsfarik angestellten Erfahrung kommt aber im Durchschnitt immer noch zu viel weißer Stein in die Roheisenbeschickung. Es gehört sich nur 1/7; je mehr über dieses Verhältnis gestiegen wird, je weniger ist das Eisen dem Osemunds-Reidemeister angenehm, denn es vermehrt die Arbeit und den Kohlen-Aufwand*."[10] Es kommt also auf die richtige Mischung im Möller an. „*Die Osemundsschmiederey hat am liebsten ein dichtes, weißes, grelles, stahlartiges Roheisen mit einem schwarzen Bande, aus dem sich auch Stahl machen läßt*."[11]

Als ein besonders Charakteristikum der Osemundherstellung wird der Herd bezeichnet, der kleiner als ein „*gemeines*" Frischfeuer war. „*Allein, der eigentliche Bau des Herdes oder des Feuers ist von jenen verschieden und macht das größte Wissen und auch das größte Geheimnis der Osemundschmiede aus. Sie sind schmäler wie die Frischfeuer, auch etwas kürzer und lange nicht so tief.*"[12] „*Das Roheisen für die Osemundsschmiede wird in 3 bis 3 1/2 lange dreyseitige Gänse, welche jede etwa 1000 Pfund wiegt, gegossen. Dieses Eisen ist für das Feuer sehr weich, und muß im Herde hoch gehalten werden, weshalb auch der Feuerbau tief und der Wind sehr stechend ist. Der Heerd ist zwischen dem Form- und Gichtzacken nur 12 Zoll breit, folglich viel geringer als in der Wallonschmiede, dagegen aber der Breite der Schwedischen Osmundsheerde ziemlich gleich. Die Länge des Heerdbodens ist 16 oder 17 Zoll und der Abstand zwischen dem Hinterzacken und der Vorderseite 27 Zoll, so daß der vorderste Theil des Heerdbodens aus bloßem Gestübbe besteht. Die Form liegt etwa 7 Zoll vom Hinterzacken, und so viel beträgt auch die Tiefe des Heerdes unter der Forme. Diese steht 2 Zoll in den Heerd, und ist eben so weit wie beym Wallonheerde. Der Hinter- und Gichtzacken liegen mit der Vorderseite gleich hoch, nämlich 6 bis 7 Zoll über der Forme, und stehen loth- und winkelrecht zusammen.*"

„*Ist der Heerd mit Gestübbe zugerichtet und mit Kohlen gefüllt, so wird das Gebläse angelassen. Die vorige Luppe wird gewärmt und ausgeschmiedet, und während dieser Arbeit eine Roheisengans eingeführt und so gelegt, daß das ende derselben etwa 4 Zoll von dem Gichtzacken, 3 1/2 Zoll von der Form und auch 4 oder 5 Zoll über dieselbe zu liegen kommt. Nun schmelzt die Gans tropfenweise, wie Siegellacke am Lichte, ab und bäckt sich im Heerde zu kleinen Klumpen zusammen, die der Frischer mit dem Handspieße in den Kohlen aufhebt, und mit einer starken Schmelzstange, welche zum bessern Anfassen mit einem hölzernen Stiel versehen ist, darunter fährt, wobey sich an die Stange kleine Stücken hängen, welches der Frischer durch das Umdrehen der Stange befördert, auch kleine Stücken daran drückt, und den Klumpen, damit ihn das Feuer gehörig durchwirke, mehr vor das Gebläse bringt. Wenn sich etwa 20 Pfund Eisen angehängt haben, so zieht der Frischer die Stange heraus, bringt en Klumpen mit der Stange unter einen 3 Zentner schweren Hammer, läßt ihn erst behutsam zusammenschlagen und reckt ihn alsdann zu einem 8 bis 10 Fuß langen, l 1/8 Zoll breiten und 1/16 Zoll dicken Stab aus, wie er etwa von Drahtziehereyen gebraucht werden kann. Die geschmiedete Stange wird als dann von der starken Stange abgehauen; letztere kommt wieder in den Heerd und wird wieder eben so by dem unterdeß niedergeschmolzenen Eisen gebraucht, um durch abermaliges Aufwickeln einen neuen Frischklumpen zu erhalten, welches sehr schnell von statten geht, so daß in einer Stunde 4 Stangen erhalten werden.*"[13]

„*Die Osemundshämmer führen einen tiefen Feuerbau, und einen sehr stechenden Wind, der auf 2/3. der Breite des Herdbodens aufbläst; dies erlaubt ihnen die gaare, gute Qualität des rohen Eisens. Wollte man die nämliche Schmiederey auf weniger gutes eisen anwenden, so würde alles zu Schlacke geblasen, und erstarren. Eben deshalb brauchen die Osemundsschmiede auch nicht aufzubrechen, ihren Bodenzacken nicht über einen Wasserbehälter legen, der stechende Wind hält ihn ohnehin kalt genug. Je greller das Roheisen, je weniger stechend muß der Wind geführt werden. Die Osemundsschmiederey hat am liebsten ein dichtes, weißes, grelles, stahlartiges Roheisen mit einem schwarzen Bande, aus dem sich auch Stahl machen läßt. Man erhält also durch die Osemundsschmiederey aus stahlartigem rohen eisen ein zäh-hartes Eisen; der Grund davor scheint zu seyn, daß durch das Aufwickeln, welches durch das beständige Drehen des Frischkolbens im Fuer unterm Winde geschieht, ganz dünne Lagen von halb gefrischtem Eisen vor den Wind gebracht werden, dessen Sauerstoff um so leichter die Masse des Eisens durchdringen, und diejenige Veränderung in demselben hervorbringen kann, die nothwendig ist, um rohes eisen in zähes eisen zu verwandeln, oder, nach der neuern Chemie, sich mit dem überflüßigen Kohlenstoff des Roheisen verbindet, und als Kohlensäure verflüchtigt. Daß das Eisen aber noch immer eine stahlartige Natur behält, solches suche ich*

[10] Eversmann 1804, 147.

[11] Ebd. 219; Jägerschmid zitiert nach Woeste 1985, 202 f., beschreibt das Roheisen als „stahlreich".

[12] Jägerschmid zitiert nach Woeste 1985, 202.

[13] Blumhof 1819, 405 f.

allein in dem Braunstein, der einen großen Bestandteil der Saynischen Erze ausmacht, und nach meiner Überzeugung ein constituirender Bestandteil des Stahls ist; der an der Stange (Spieß) aufgewickelte Frischkolben wird immer in der im Herde flüßig stehenden Schlacke gewälzt. Der Schmied sagt: der Herd müsse immer saftig, d. i., voll Schlacke gehalten werden; wo dies nicht ist, da entsteht ein Rohschmelzen. Deshalb kann kein Osemundsschmid sein Schmieden anfangen, ohne vorher den Herd voll flüßiger Garschlacke zu haben, und dies bewirkt er am Anfange des Schmelzern einer Woche durch den sogenannten Kloot, welches dasjenige mit Schlacke vermischte Frischeisen ist, das am Ende der vorigen Wochen im Herde übrig geblieben, und herausgehoben worden war."[14]

Es gab zwei verschiedene Qualitäten des Osemund, den Draht-und Knüppelosemund. Letzterer wurde auch als „*Landeisen*" bezeichnet.

Die für die Herstellung von Osemund entscheidenden Komponenten lagen demnach neben der stahlartigen Qualität des Roheisens im Bau des Herdes, in der Art des Aufwickelns des Kolbens, dem Wälzen in der im Herd verflüssigten Schlacke und dem sich anschließenden Ausschmieden unter dem schnellgehenden Schwanzhammer. Wie weit sich diese Technik im Laufe der Zeit entwickelt bzw. verändert hat, ist noch völlig unklar, weil noch keine Frischherde des Spätmittelalters archäologisch untersucht sind. Allein aus den Schlackenuntersuchungen lässt sich jedoch folgern, dass das Schlackenbad im Herd eine schon damals sehr wichtige Konstituante war, während das abschließende Ausschmieden unter dem mechanischen Hammer offenbar erst im 16. bzw. 17. Jahrhundert als Neuerung hinzu trat. Der Gebrauch des mechanischen Gebläses war schon vorher an die Stelle der manuellen Arbeit getreten. Dafür lassen sich leider keine genauen Zeitangaben machen. Es ist jedoch erstaunlich, dass man sich noch an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert dessen bewusst war, „*daß auch hier das Osmundeisen zuerst mit Handhämmern geschmiedet und die Bälge dazu getreten wurden. Dergleichen Anstalten hießen Iserschmitten, und die Produktion derselben war gewiß unbeträchtlich, indem die Schmiede das erhaltene Eisen wahrscheinlich in hölzernen Becken nach Hause trugen, woher die Bezeichnung des Gewichtes Becken, welches 42 1/2 Pfd enthält, und jetzt bloß noch bey dieser Fabrik üblich ist, gekommen zu seyn scheint.*"[15] Eben dieses Wissen deckt sich sowohl mit der historischen Überlieferung als auch dem archäometallurgischen Befund.[16] Diese Iserschmitten haben jedoch nichts mit dem vom Berge herabsteigenden Waldschmied zu tun, der mit einer transportablen Handschmiede von Ort zu Ort zog. „*Diese ‚Iserschmitte' stand dann auf einem Handkarren und hatte einen Blasebalg, der mit dem Fuße getreten wurde.*"[17] Sie war vielmehr ortsgebunden und taucht in der Überlieferung seit 1559 als „*osemundtssmytten*"[18] auf. Dahinter verbirgt sich eine am Wasser gelegene Schmiede, deren Gebläse vom Wasserrad angetrieben wurde. Dies schließen wir aus dem Zusammenhang der 1613 erwähnten „*oisemundtschmiette*", von Köbbinghausen bei Plettenberg deren Vorgänger eine „*isenhutte*" war, an die zusätzlich ein „*selffhamer*" angebaut werden sollte.[19] In diesem Zusammenhang zeigt sich sehr deutlich die historische Abfolge: Hütte mit handbetriebenem Frischbetrieb, wie dem Schlackenbefund vor Ort zu entnehmen, dann von der Hütte unabhängige Schmitte mit Frischherd und zuletzt Schmitte mit Selbsthammer. Diese Verbindung taucht seit dem Ende des 17. Jahrhunderts unter dem Begriff „*Osemundthammer*" auf.[20] Aus der Formulierung „*Hämmern, welche itzo zu Osemundt angelegt sei*n" des aus dem gleichen Jahre 1682 datierenden Osemundvertrages[21] lässt sich erschließen, dass diese Entwicklung zum Ausschmieden des Osemund auf mechanischen Hämmern eine im Vergleich zur Entwicklung des Floßofens sehr späte Erscheinung war, die sich aber Ende des 17. Jahrhunderts durchgesetzt hatte. Zuerst fassbar wird sie am Ende des 16. Jahrhunderts mit der Genehmigung, „*ein eysenhutte und selffhamer*" auf der Verse im Kirchspiel Werdohl anzulegen. Inwieweit dieser Selbsthammer schon als Osemundhammer zu interpretieren ist, muss offen bleiben, in Verbindung mit der Hütte in einiger Wahrscheinlichkeit zumindest aber als Frischhammer. Die spätere Überlieferung als Osemundhammer macht jedoch auch diese spezielle Art des Frischens in dieser Zeit wahrscheinlich. Somit wäre dies der erste quellenmäßige Nachweis eines Osemundhammers. Die Verbindung des Begriffes *Schmitte* zum Wasser leiten wir aus einem Gesuch des Lüdenscheider Bürgermeisters Rütger Scharpe ab, der in der Mühlenrahmede zwischen Lüdenscheid und Altena „*eine neuwe osemuntssmitte oder molle*" bauen wollte.[22]

Der archäometallurgische Nachweis der frühen Osemundschmitten ist nur mit Schwierigkeiten zu führen, weil deren Schlacken vom Augenschein her den Rennschlacken gleichen. Nur sekundäre Merkmale, wie die Lage am Wasser und die im Vergleich zur Rennverhüttung größeren Kalotten bzw. Abstich- oder Schlackenzapfen, lassen eine eindeutige Ansprache zu. Am geeignetsten hierfür erweisen sich jedoch die noch vielfach vorhandenen Flurnamen. Im Gemeindegebiet von Herscheid konnten die Schmitte-Bezeichnungen von 1592 entsprechenden Fundplätzen zugeordnet werden.[23]

[14] Eversmann 1804, 219 f.
[15] Ebd. 405.
[16] Vgl. Knau/Sönnecken 1998, 53–64.
[17] Voye 1909, 424 f.
[18] Flebbe 1967, 254 f. Nr. 296.
[19] Dösseler 1958, 60 Nr. 153.
[20] Vgl. die Osemund- und Drahtordnung von 1682, abgedruckt bei Woeste 1985, 220–222, hier 222 Nr. 20.
[21] Abgedruckt bei Woeste1985, 216 f.
[22] Dösseler 1958, 58 f. Nr. 148, 150.
[23] Vgl. Knau/Sönnecken 1998; Däumer 1925, 40 ff.

Horstmann fand bei seinen Untersuchungen zum Hüttengebiet an Loope und Kaltenbach heraus, dass zum Frischen drei verschiedene Schlackenarten zugesetzt wurden, und zwar einmal die in den Floßöfen anfallende Floßofenschlacke, zum zweiten ein Gemisch aus dieser mit Rennschlacken und schließlich unter Kalkzugabe die Osemundschlacke. Vielleicht lässt sich hieraus ein Zusammenhang mit Eversmanns Angabe erkennen, dass der Osemundschmied „*überflüssige Schlacke*“ nicht habe.[24] Entscheidend für die Qualität des Produktes ist die Basizität der eingesetzten Frischschlacke, d. h. das Verhältnis der Summe des Kalks und der Magnesia zur Kieselsäure. Durch die höhere Basizität der eingesetzten Frischschlacke wird das Roheisen besser von Phosphor und Schwefel befreit und damit die Qualität des zu erzeugenden Stahls verbessert. Der oben erwähnte Unterschied zwischen dem Draht- und dem Knüppelosemund lässt sich auch in der Zusammensetzung der Schlacken ablesen. Osemundschlacken sind generell sehr wüstitreich. Die Schlacken des Knüppelosemunds haben neben dieser Kristallart nur noch Fayalit und geringe Mengen einer glasig erstarrten Restschlacke. In den Schlacken des Drahtosemunds ist dagegen noch Eisenphosphat zu finden, sie weisen erhöhte Anteile an Kalk und Schwefel auf.

Der Knüppelosemund wurde zur Breitewarenherstellung verwendet, d. h. für die Produktion von Spaten, Schuppen, Pfannen und Blechen. Nach Eversmann hatte er aus dem Grund seinen Namen, „*weil er gewöhnlich in kurzen Knüppeln von 2 bis 3 Fuß Länge und 20 bis 30 Pfd. Schwere geschmiedet wird.* [...] *und erkennt man den dazu tauglichen Osemund daran, daß er sich auf der schmalen Kante nicht schmierig, sondern mit einer gelinden Rauhigkeit anfühlen läßt. Er darf nicht querbörstig auf den Ecken seyn, in welchem Fall er allzu roh ist. Ist er streifig und dabey fett oder schmierig anzufühlen, so ist er zu gaar geschmiedet, und dann schlägt er sich beym Breiten leicht durch; der Drahtosemund hingegen muß diese Eigenschaft besitzen*“.[25]

Ein weiterer wesentlicher Unterschied lag nach Eversmann im Feuerbau der Knüppelosemundhämmer, der tiefer und weiter war, um größere „*Stücke*“ zu erzielen, während die Osemundluppe nur etwa 13 1/2 Pfund wog.[26]

Auf der Grundlage dieser Beobachtungen sind weitere Forschungen dahingehend anzusetzen, die Schmittenstandorte von den Hämmern abzugrenzen, um konkretere Aussagen über die Entwicklung des Osemundprozesses machen zu können. Eine weiterhin noch zu lösende Aufgabe wird es sein, die 1559 erwähnte „*vilheit der osemundts-smytten, so aldair by und umb Altenae für und nae upgericht*“, konkreten Standorten zuzuordnen.[27] Vergleicht man darüber hinaus die Schlacken derjenigen Standorte von Floßöfen, an denen auch Frischplätze nachgewiesen werden können, dann dürften noch weitere Aussagen zum Entwicklungsprozess möglich werden.

Dem Osemundprozess ist immerhin ein kleines Stück seines Geheimnisses genommen, er zeigt jedoch sehr eindrucksvoll, welche Erfahrung die Schmiede im Umgang mit ihren Werkstoffen brauchten. Die Tatsache, dass man Roheisen einer bestimmten Qualität benötigte, lässt vermuten, dass die Einführung der Roheisenverhüttung im Südergebirge seit dem 13. Jahrhundert einen Schritt darstellte, der nötig war, um bestimmte Qualitäten an Stahl zu erzeugen. Aus diesem Grunde ist es auch eher angebracht, die Geschichte der Eisenerzeugung und -verarbeitung nach diesem Kriterium aufzuarbeiten und nicht in den viel engeren Grenzen der sich entwickelnden Landesherrschaft. Der Osemund war von allem Anfang an offenbar in Konkurrenz mit Schweden bei gleichen Voraussetzungen ein Stahl, der über die engen Landesgrenzen hinaus konkurrenzfähig war.[28] Zudem war über dieses Produkt die Voraussetzung gegeben, in Lüdenscheid, Altena und Iserlohn die Drahtzieherei als ein hochentwickeltes, weiterverarbeitendes Gewerbe zu entwickeln.

HAMMERWERKE

Ludwig Beck geht davon aus, dass die „Eisenveredelung“, d. h., „[...] die Umwandelung des aus den Erzen geschmolzenen Eisens in die Eisensorte, die das betreffende Gewerbe verlangte, (sich) zu einem selbständigen Betriebe entwickelte“, nachdem der Hochofenprozess eingeführt worden war, wozu er im weiteren Sinne sowohl die Gießerei als auch den Frischprozess zählt, im engeren Sinne aber nur die „Umwandlung des rohen Luppeneisens in Handelseisen“, die unter wassergetriebenen Hämmern stattfand. Die Zeit der „Rennwerke“ ist für ihn die Zeit, in der das Ausschmieden mit Handhämmern stattfand. Auch den Stucköfen ordnet er nicht ohne weiteres wassergetriebene Hämmer zur Weiterverarbeitung zu. Ihre Einführung datiert er in das 16. Jahrhundert, wobei er annimmt, dass es sich um Aufwerfhämmer handelte.[29]

Johannsen beklagt die dürftige Quellenlage, geht aber davon aus, dass man im Mittelalter sowohl Aufwerf- wie Schwanzhämmer kannte. Sprandel weist mit Recht darauf hin, „daß die Werksbezeichnungen in den mittelalterlichen Quellen nur in wenigen Fällen erkennen lassen, wie das Werk aufgebaut war“. Er beklagt aber ebenso die „unkritische Verknüpfung der Einfüh-

[24] Eversmann 1804, 220.
[25] Ebd. 221.
[26] Ebd. 222.
[27] Knau 1998, 47 ff.
[28] Vgl. dazu Eversmann 1804, 217; nach England gelangte die Osemundherstellung über das Sauerland. Vgl. Krins 1974, 182 ff.
[29] Beck 1893–95, 477. 479.

rung der Wasserkraft mit der Einführung des indirekten Verfahrens“.[30] Die Wasserkraft wurde für den Antrieb des Gebläses und des Hammers oder eines von beiden verwendet. Insofern muss vor Ort versucht werden, die Quellen in diesem Sinne zu untersuchen.

Im Märkischen Sauerland ist die Einführung des Floßofens unmittelbar mit der Anwendung des wassergetriebenen Gebläses verbunden. Dieses bildete dafür in technischer Sicht die unmittelbare Voraussetzung, weil in bezug auf die Höhe und den Durchmesser des Schmelzofens anders nicht die erforderlichen Temperaturen erreicht werden konnten.[31] Im Gegensatz dazu waren, so weit die wenigen Grabungen aussagekräftig genug sind, die an den Standorten der Floßöfen nachzuweisenden Frischherde nicht mit der Wasserkraft verbunden und lagen in der Regel auch etwas weiter vom Wasser weg.[32]

Der nächste Schritt bestand in der Verbindung von Frischherd und wassergetriebenem Gebläse. Ein erster archäologischer Nachweis dafür wurde von Chr. Willms am Fernhagener Bach in Kierspe erbracht (Verhüttungsplatz Nr. 11, s. S. 21 ff.). An dieser Stelle konnte leider nicht das Ausschmieden zu Halb- oder Fertigprodukten nachgewiesen werden, noch war eine genauere Datierung möglich. Beim Osemundfrischen wird in den ersten schriftlichen Belegen zwischen „Osemundsschmitten“[33] und zeitlich später „*Hämmern, welche itzo zu Osemundt angelegt sein*“[34], unterschieden. Zwischen beiden Quellen liegt eine Zeitspanne von mehr als 120 Jahren. In dieser Zeit geschah die Umstellung von den nur mit einem wassergetriebenen Gebläse ausgerüsteten Schmitten auf die mit wasserradgetriebenen Gebläsen und mechanischen Hämmern ausgestatteten Hammerwerke. Aus diesem Grunde wurde die Quelle von 1682 zitiert, bei der man ein besonderes Augenmerk auf das „itzo“ zu richten hat.

Was unter einer Osemundschmitte zu verstehen ist, erfahren wir aus einem „Gesuch des Hanß und Peter Haustadt, gen. Schmied, Vater und Sohn“ aus dem Jahre 1613. Darin heißt es: „*Was gestalt unsere vorelteren viele jahren hero uff ihrem erb und grundt allernegst under dem dorff Cobbinckhausen ahn dem wasserfluß-gen bei der elsen eine schmeltz- und isenhutte gehabt und daselbst mit huttenwerckh ire nahrung ohne mennigliches einreden gesucht und getrieben. Wan aber solche hutte folgents vergenglich worden, so haben wir ahn demselebn platz nach unserer gelegenheit eine oisemundtschmiette dahin setzen lassen, auch ferner vorgenommen, einen selffhamer daran zu bawen*.“[35]

In dieser Quelle ist die zeitliche Reihenfolge interessant. Nachdem also die Hütte, die auf der Else gelegen war, aufgegeben werden musste, sollten auf demselben Platz und Gefälle zunächst eine Osemundschmitte und anschließend ein Selbsthammer errichtet werden. Wenn auch aus dieser Quelle allein nicht zwingend gefolgert werden kann, dass jede Osemundschmitte ohne einen mechanischen Hammer, sondern nur, weil an einem Wassegefälle gelegen, mit mechanischem Gebläse arbeitete, so muss man jedoch zwangsläufig alle bisher bekannten Quellen daraufhin überprüfen, ob die Anlage in Köbbinghausen, die in der Endstufe eine Osemundschmitte und einen Selbsthammer umfassen sollte, als typisch anzusehen ist oder nicht.

In diesem Zusammenhang ist der Begriff „Selbsthammer“, der sicher keiner weiteren Interpretation mehr bedarf, von Interesse, weil die ersten Erwähnungen von Hammerwerken häufig die Bezeichnung „Selbsthämmer“ führen.[36] Da diese Bezeichnung sich nahezu zwei Jahrhunderte, vom 15. bis zum 17. Jahrhundert, gehalten hat, ist daraus zu folgern, dass die Einführung der wassergetriebenen Hämmer sich über diesen Zeitraum erstreckt hat. Aus einer Klage der Breckerfelder Stahlgilde über die Anlage eines „*Stahl- oder Reckhammers*“ wird die Problematik der Ablösung der Handarbeit klar ersichtlich. Die Gilde beruft sich auf ein Privileg aus dem Jahre 1463, das ihr allein die Herstellung des Stahls zugestanden worden sei, ‚*alß wodurch sie allein ihre Nahrungh und lebens Unterhalt haben* [...] *So hat sich dannoch Johan Luckemey jungsthin unterstanden, solcher Stahlgilde und derselben handtierungh zum höchsten praejudiz einen Stahl- oder Reckehammer aldar in der Gegend, wo niemahlen einer gewesen, bawen zulaßen, weswegen er von dero Clev- und Märckischer ambts Cammer gndste. Concession erhalten haben sollen. Wie nun solches gerade gegen ihr uhraltes gilderecht- und gerechtigkeit streitet, welches auff die weise nothwendigh gantz zu grunde gerichtet wirdt, maßen auff dem hammer, welcher durch das waßer getrieben wirdt, in einer wochen mehr stahls, alß von der Stahlgilde, welche mit der handt arbeiten, fast im halben Jahr verfertiget werden kann* [...]“.

Die Quellen belegen eine lange Zeitspanne, in der Handarbeit und mechanische Arbeit parallel verliefen, bis sich die letztere wegen der geringeren Stückkosten durchsetzte. Um so mehr stellt sich die Frage nach den ersten Hammerwerken und ihrer Ausstattung. Im Raum Attendorn dürften die frühen Erwähnungen mit dem Augustiner-Chorherrenstift Ewig und dem Zisterzienserin-

[30] Johannsen 1953, 116; Sprandel 1968, 221.

[31] Björkenstam/Fornander 1985, 186.

[32] Ebd. 191 und 216. Diese Aussage gilt auf jeden Fall auch für die Lage der Frischherde bei Haus Rhade.

[33] Erste Erwähnung vgl. Flebbe 1967, 254 Nr. 296.

[34] Osemundvertrag vom 2. April 1682, abgedruckt bei Woeste 1985, 216.

[35] Dösseler 1958, 60 Nr. 153.

[36] Ebd. 55 Nr. 136 59; Nr. 150–151; 60 Nr. 153; Scheele 1963, 19 Nr. 70 (wie Dösseler Nr. 150). 48–50 Nr. 175. Nr. 181–182.

nenkloster Drolshagen zusammenhängen. Klosterarchive bieten generell die Gewähr einer besseren Überlieferung. Von dem 1446 erstmalig erwähnten „*Selfhammer*“ zu Listernohl wird 1478 berichtet, er sei von dem verstorbenen Helyas Hutte und Diderich Hentze auf dem Grund und Boden des Klosters erbaut und mit Peter Hutte gemeinsam betrieben worden.[37] Von (H)Elias Hutte und Diederich Hentze wissen wir, dass sie 1455 als Mitglied des Rates der Stadt Attendorn bei einem Aufstand der Zünfte gefangen gesetzt worden waren und bei ihrer Freilassung am 6. Oktober Urfehde schworen.[38] Da der Selbsthammer zu Listernohl bei seiner ersten Erwähnung noch nicht sehr alt war, ist dieser Nachricht insofern besondere Aufmerksamkeit zu widmen, als sie in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Hammerwerk stehen kann. Der Aufruhr der Zünfte in Attendorn muss daher auch im Zusammenhang mit der Einführung der Wasserkraft in den Schmiedeprozess und der damit bedingten Furcht der zünftigen Schmiede um den Arbeitsplatzverlust in der Stadt gesehen werden, wie es Hömberg auch tut.[39] Der mechanische Hammer scheint also im ersten Drittel des 15. Jahrhunderts in dieser Gegend eingeführt worden zu sein. Leider gibt es keinen Hinweis darauf, ob es sich dabei um einen Aufwurf- oder Schwanzhammer gehandelt hat, wahrscheinlich jedoch um einen Aufwurfhammer, da der später an diesem Ort so genannte Maiwormshammer[40] ein Frischhammer war.

Eine sichere Entscheidung ist jedoch nicht möglich, zumal in unmittelbarer Nähe des Selbsthammers ein Schleifkotten 1449 überliefert wird, der eher auf Schmieden und Veredelung von Fertigprodukten schließen lässt.[41] An der Mechanisierung eines der letzten Arbeitsgänge bei der Herstellung z. B. von Schaufeln oder Schüppen lässt sich jedoch noch einmal deutlich ablesen, dass von der Nachfrageseite her die Produktion solcher Eisen- oder Stahlartikel so weit gewachsen war, dass die ohne Zweifel größere Investition in einen mechanischen Hammer bzw. Schleifkotten sich lohnen musste. Mit der Auslagerung der Produktion aus der Stadt heraus an die Bachläufe wurde jedoch eine Kontrolle durch die Zünfte schwieriger. In Lüdenscheid gab es das „*Butenbürgerrecht*“, das mit der Auslagerung der mechanisierten Drahtzüge aus der Stadt in Zusammenhang gebracht wird.[42]

Aus dem Archiv des Klosters zu Drolshagen ist 1446 eine Hammerhütte überliefert, die zu der „Hofstatt im Fredebroike“ gehört und „oberhalb der alten Walkmühle“ lag. In unmittelbarer Nähe gab es einen weiteren Hammer, der jedoch nicht näher beschrieben wird.[43] Die Bezeichnung *Hüttenhammer* taucht zuerst im Siegerland auf.[44]

In einem „1417–1419“ datierten Verzeichnis der Renten und Gefälle der Grafen von Nassau, insbesondere von Hütten und Schleifmühlen in den Ämtern Siegen, Netphen, Hilchenbach und Freudenberg, werden neben 25 Hütten („*huttin*“) 2 Hammerhütten („*hamerhuttyn, hamerhutten*“), drei Schleifkotten, eine Mühle und eine Ölmühle genannt. Die Differenzierung der wassergetriebenen Werke ist hier, vom Zeitpunkt her gesehen, schon weiter fortgeschritten, wobei die erwähnten Schleifkotten ein Zeichen dafür sind, dass Fertigprodukte hergestellt wurden. Es bleibt daher die Frage nach der Hammerhütte und was sich hinter diesem Begriff verbirgt. Am 2. Februar 1447 übernahmen Heinrich Sybel und seine Ehefrau als Erbteil „*die hamerhutte half, gelegin oben an Wydenauw, mit aller irer zubehorde, belge, hulse, anfiltze, hemer, zangen, und alle gezauge groiß und kleyne in alle wyse, nit ußgenommen, glich half und darzu das wonhuß ganz und zumale gelegen an der smytten und die hobestat zuschen dem huße und den zune und den obersten schoppen und den stal daran*“ für 4 gute, schwere, oberländische rheinische Gulden jährlicher Pacht. Unter der Bezeichnung smytten haben wir wohl eine Hofesschmiede oder Kleineisenschmiede zu verstehen, jedenfalls ein Gebäude, das nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der hamerhuttyn steht. Schwieriger ist die Deutung des Satzes: „[...] *das die hamerhutte und der hamer die massenhutte, wann man daruffe arbedet, nit hindern sal*“. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ergibt sich aus dieser Formulierung, dass es eine Hammerhütte und einen mechanisch betriebenen Hammer gegeben hat, denn beide Anlagen haben einen Wasserantrieb. Es lagen also drei wassergetriebene Anlagen an einem Wassergang. Ihr jeweiliger Betrieb war durch landesherrliche Verordnung geregelt, wie sie uns in dem Kurbrief des Grafen Johann von Nassau für das Handwerk der Massenbläser und Hammerschmiede in der Herrschaft Siegen aus dem Jahre 1516 vorliegt.[45] Der hamer scheint die Weiterverarbeitung der in der hamerhutten erzeugten loppen geleistet zu haben, eine Arbeitsteilung, die aus dem Jahre 1503 aus einer Kostenrechnung erkennbar wird. Schubert[46] bezeichnet diese Anlage als Stahl- und Blechhammer, übersieht jedoch, dass es sich um eine Hammerhütte handelt, in der sowohl Roheisen gefrischt als auch Stahlwaren und Blech hergestellt werden. Das Roheisen dieser Hammerhütte, deren genauer Standort leider nicht bekannt ist, wurde aus dem Eigen von Eckenhagen bezogen, die Fuhrkosten werden mit 18 Gulden leichter Münze angegeben. Beschäftigt waren ein Frischschmied („*fryschsmit*“) und sein Knecht, der die Luppen ausschmiedet. Aus einem Wagen Roheisen mussten nach dem Gewicht 18 „*wagen*“ Luppen geschmiedet werden, pro Tag drei „*wagen*“. Pro „*wa-*

[37] Scheele 1963, 49 f. Nr. 181.
[38] Brunabend 1958, 59, 347. 349.
[39] Hömberg 1948, 3–14.
[40] Zur Geschichte des Hammers vgl. Höffer 1993, 128 ff.
[41] Scheele 1963, 20 Nr. 74.
[42] Sauerländer 1965, 64.
[43] Richtering 1969, 23 f. Nr. 75 u. 76.
[44] Vgl. dazu Knau/Beier/Sönnecken 2001, 131.
[45] Schubert 1937, 132 f.,;135 Nr. 8; 165 Nr. 28.
[46] Ebd. 150 f. Nr. 22.

gen“ werden die Kosten mit 3 „albus Colß“ und für den Knecht zum Zuschlagen l Weispfennig angegeben. Zum Ausrecken der Luppen sind weitere 2 Meister vorgesehen, die die Luppen zu 12 „wagen“ Scheiben, Stürzen und Blech ausrecken (smeden). Diese Menge wird als „ *eyn loen*“ bezeichnet. Dieselben Meister können jedoch auch Stahlwerk („*steelwerk*“) schmieden, die Menge ergibt aus den 18 „*wagen*“ Luppen 13 „*wagen*“ Stahlwerk. Im nächsten Abschnitt wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Meister diesen Stahl in der im Lande üblichen Qualität in der Hütte selber machen könnten. Die Meister können pro Tag zwei „*wagen*“ Scheiben schmieden oder fünf Viertel Stahlwerk. Der „*wagen*“ Scheiben, Stürze und Blech kostet 7 Weispfennige Schmiedelohn, der „*wagen*“ Stahlwerk 11, alles in leichter Münze. Es folgt die Verpflichtung, die Ware so gut zu liefern, wie im Stift zu Köln, vermutlich ein Hinweis darauf, dass die Olper Blechschmieden schon zu dieser Zeit bekannt waren.

Man wird also die Hammerhütte unschwer als Frischhütte charakterisieren dürfen, wobei offen bleiben muss, ob generell in den Hammerhütten des Siegerlandes die Weiterverarbeitung der Luppen stattfand. Neben den 25 genannten Floßöfen (hutten) ist ihre Zahl noch gering, ein Hinweis darauf, dass sie im ersten Viertel des 15. Jahrhunderts im Entstehen sind. Nach Schubert gab es 1445 dagegen schon sieben Hammerhütten.[47]

Zur Hammerhütte gehörte zur eigenen Versorgung ein landwirtschaftlicher Teil mit Wohnhaus, Hofesstatt und Stall, im engeren Sinne sicher die Schuppen, wahrscheinlich zur Aufbewahrung der Holzkohle, sowie das genannte Zubehör: Blasebälge, die Hülse, in der das Hammerhelf an seinem hinteren Ende steckte und verkeilt war[48], Ambosse[49], Hämmer, Zangen sowie das große und kleine Werkzeug. Weiterhin soll die Hammerhütte innerhalb und außerhalb des Wassers instandgehalten werden (buwhaftig halden), beide Besitzer sollen ihre Schlacken auf einen Haufen werfen und schütten.[50]

Man wird also die Hammerhütte unschwer als Frischhütte charakterisieren dürfen, in der jedoch neben dem eigentlichen Frischvorgang, zu dem ein Frischherd mit mechanischem Gebläse gehörte, das Ausschmieden der Luppen erfolgte, was, wie aus dem Jahre 1503 überliefert, einem „*knechte“* übertragen war, der dem „*fryschs“* mit zur Hand ging. Die weitere Arbeit übernehmen zwen meister, „*die mir die loppen recken*“. Dieser Vorgang der Weiterverarbeitung wird eindeutig mit recken charakterisiert und scheint sich in späteren Zeiten in eigenen Hammerwerken vollzogen zu haben. Neben den 25 genannten Floßöfen (hutten) ist ihre Zahl gering, ein Hinweis darauf, dass sie im ersten Viertel des 15. Jahrhunderts im Entstehen sind. Nach Schubert gab es 1445 insgesamt 45 Hütten, von denen nun schon 7 als Hammerhütten bezeichnet wurden, 1463/64 waren es insgesamt 40 Hütten, von denen ausdrücklich 13 als Blashütten und 12 als Hammerhütten überliefert werden. Die Zahl der Hütten des Siegerlandes scheint insgesamt 42 nicht überstiegen zu haben. Im Jahre 1555 wurde die Anlage weiterer Hütten untersagt. Ihre absolute Zahl ging nach Schubert in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts zurück und betrug 1600 nur noch 33, wovon 19 als Blashütten und 14 als Hämmer bezeichnet werden.[51]

Eine genaue Beschreibung des Begriffes Hammerhütte bietet Blumhof für den Beginn des 19. Jahrhunderts. Er gebraucht diesen Begriff synonym für Frischhütte, Hammerwerk, Eisenhammer oder einfach nur Hammer. Er bezeichnet also die Hammerhütte als „*Werkstatt oder Schmiede, worin das Roheisen mittelst eines besonderen Umschmelz- und Schmiedeprozesses in Stabeisen verändert wird. Dies geschieht durch das Frischen des Roheisens in einem besondern Heerde, welcher der Frisch- oder Hammerheerd genannt wird,* [...] *und durch das Ausrecken des gefrischten oder umgeschmolzenen Eisens zu Stäben unter dem Hammer* [...] *Die Einrichtung einer solchen Hammerhütte besteht zum wenigsten aus einem oder zweyen, oder mehrern Heerden, nebst dazu gehörigem Gebläse und umgebenden Zeuge, Hämmern mit Gerüsten, Wellen und Wasserrädern*“.[52]

Die Quellen lassen eine Entscheidung darüber, ob im Hüttenhammer des Siegerlandes ursprünglich ein Schwanzhammer oder ein Aufwerfhammer Verwendung fand, nicht zu. Die „*Hülse*“ als überlieferter Teil des Hammers[53], in der der untere Teil des Helfes steckte, ist bei beiden Typen überliefert. Eine durchaus plausible Erklärung besagt, dass „*der Schwanzhammer die immer schwerer werdenden Eisenluppen nicht mehr bewältigen konnte*“.[54] Der Vorteil des Schwanzhammers liegt in der größeren Geschwindigkeit, mit der geschmiedet werden konnte und die mit 60 bis 120 Schlägen in der Minute angegeben wird.[55]

[47] Ebd. 4.

[48] Vgl. Woeste 1985, 42: „Zwischen den Suhlen ist mittels der Hülse das sogenannte Helf beweglich gelagert. Der Helf ist ein Eichenstamm von knapp 3 m Länge. Am vorderen Ende des Helfs ist der Hammer darauf verkeilt und am hinteren Ende ist das eiserne Helfband um das Helf gelegt [...]“; Heimatbund Märkischer Kreis (Hrsg.) 1990, 104: „Wir paßten genau auf, ob sich irgendwo an ihm (dem Helf) ein Spalt zeigte – und das geschah meist in der Nähe der Hülse – dann wurde beizeiten gewechselt. Das war keine leichte Arbeit. Das alte Helf mußte aus der Hülse gezogen werden. Dann zwängten wir das neue mit vereinten Kräften hinein [...]“; Nehls 1996, 548: „Hülse, ein schweres Eisenband, das um das Hälft des Wasserhammers gelegt ist. Die Hülse greift mit ihren seitlichen Spitzen, dem Hülsort, in das Patteisen, welches in der Patsul das Lager der Hammergestalt bildet.“

[49] Ânefilt = Amboss (engl. Anvil), vgl. Woeste 1930.

[50] Schubert 1937, 135.

[51] Ebd. 4. 6. 150. 181 Nr. 42.

[52] Blumhof 1817, 571–579.

[53] Schubert 1937, 135 Nr. 8.

[54] Vgl. Achenbach 1952, 65.

[55] Ebd. 65.

Ein Teil der Qualität des Osemund wird auf das Ausschmieden unter dem Schwanzhammer zurückgeführt, welches der preußische Fabrikenkommissar Eversmann am Anfang des 19. Jahrhunderts folgendermaßen beschrieb: „*Ein Vortheil der Osemunds-Fabrikation vor anderen Verfrischungs-Methoden liegt in dem Garben des Eisens unter leichtern, schnell gehenden Schwanzhämmern mit vorteilhaft eingerichteten Schlagfedern; das Eisen erhält mehr dichtigkeit, als bey den groben langsamen Schlägen der großen Hämmer auf schwere Stangen. Die Kolben oder Luppen, welche im Osemundsfeuer entstehen, sind 25 und höchstens 35 Pfund schwer; diese werden in möglichster Geschwindigkeit zu dünnen Stangen ausgereckt* [...].“[56]

„*Beim ‚Schwanzhammer‘ war der Helm ein zweiarmiger Hebel, der in der Mitte gelagert, am Vorderende den ‚Bär‘ trug. Die Wasserradachse drückte mit dem Hebedaumen das Hinterende des Helms nach unten, wodurch das Vorderende mit dem Bär gehoben wurde. Die Achse musste so schwer sein, dass sie von dem Stoß nicht aus den Lagern gehoben wurde. Das Gewicht des Bärs war also von dem Gewicht der Achse abhängig und durfte daher nicht zu groß sein. Dafür hatte er eine große Zahl von 60 bis 120 Schlägen in der Minute und eignete sich mehr zum Ausschmieden kleinerer Teile; deshalb wurde er besonders zum Recken von Stäben, Hacken und zum Ausbreiten von Schaufeln und Sensen u. a.m. verwendet.*“[57]

Nach dieser Erklärung ist es nicht unwahrscheinlich, dass der Schwanzhammer schon sehr früh im Siegenschen vorhanden war, weil die frühe Erwähnung von Schleifkotten auf die Herstellung von Breitewaren, wie Hacken, Schaufeln und Sensen, hindeutet, andererseits weist die Beschreibung der Hammerhütte oberhalb Weidenau von 1447 mit der Bemerkung, „*das die hamerhütte und der hamer die massenblaißhütte, wann man daruffe arbeidet, nit hindern sal*“ auf eine sehr frühe Trennung von Frischen und Ausrecken der Luppen hin, wie es 1503 beschrieben wird.[58]

Der „*Aufwerfhammer* [...] *stellte einen einarmigen Hebel dar und ermöglichte Bärgewichte von 670 bis 700 Pfund mit einer durchschnittlichen Zahl von 65 bis 70 Schlägen die Minute. Er wurde im Siegerland den Erfordernissen des Verdichtens der schweren Luppen besonders angepasst und beherrschte mit seiner gewaltigen Holzkonstruktion das Innere der Hammerhütte*“.[59]

Der Begriff „*Hammerhütte*“ ist abzugrenzen von dem Begriff Osemund-Hütte (osemuntzHütte).[60] Ein „*Jacob osemundts Schmidt*“[61] wird bei der Freiheit Bödefeld an einem Platz mit dem Flurnamen „*Auf der Hütten*“ erwähnt. Bei der bisher noch sehr dürftigen Überlieferung lässt sich nicht entscheiden, ob die Osemund-Hütte des Kölnischen Sauerlandes mit der zeitgleichen Osemundschmitte des Märkischen Sauerlandes zu vergleichen ist. Nach Ausweis der Schlacken aus dem Tal der Lütken Especke oberhalb von Mittelsorpe sind beide Anlagen miteinander zu vergleichen.

Nach dem derzeitigen Stand der Forschung sind im Süderbergland die wassergetriebenen Hammerwerke seit dem 15. Jahrhundert nachweisbar. Es lässt sich dabei nicht mit Sicherheit unterscheiden, ob der Schwanzhammer zeitlich vor oder nach dem Aufwerfhammer anzusetzen ist. An dem sehr späten Aufkommen der Osemundhämmer, die sich aus den Osemundschmitten, die nur mit mechanischem Gebläse arbeiteten, entwickelt haben, lässt sich erkennen, dass die Handarbeit neben der Mechanisierung noch lange Zeit eine große Rolle gespielt hat.

[56] Zitiert nach Woeste 1985, 199.
[57] Zitiert nach Achenbach 1952, 65.
[58] Schubert 1937, 132 f. Nr. 4; 135 Nr. 8; 150 f. Nr. 22.
[59] Achenbach 1952, 65; dort auch die detaillierte Beschreibung.
[60] Hömberg 1938, 106.
[61] Ebd.

LITERATUR

Achenbach 1952
Chr. Achenbach, Buschütten. Festschrift aus Anlaß der Gründung des Buschüttener Eisenhammers vor 500 Jahren 1452–1952 (Buschütten 1952).

Beck 1884
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 1 (Braunschweig 1884).

Beck 1893–1895
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 2 (Braunschweig 1893–95).

Beck 1897
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 3 (Braunschweig 1897).

Björkenstam 1995
N. Björkenstam, The Blast Furnace in Europe during Medieval Times. Part of a New System for Producing Wrought Iron. In: G. Magnusson (Hrsg.), The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change 1. Papers presented at the Norberg Conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 143–153.

Björkenstam/Fornander 1985
N. Björkenstam/S. Fornander, Metallurgy and Technology at Lapphyttan. In: Medieval Iron in Society. Papers presented at the Symposium in Norberg, May 6–10, 1985. Jernkontorets forskning H 34 (Stockholm 1985) 184–228.

Blumhof 1817
J. G. L. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängigen Künste und Handwerke 2 (Gießen 1817).

Blumhof 1819
J. G. L. Blumhof, Versuch einer Encyklopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängigen Künste und Handwerke 3 (Gießen 1819).

Brunabend 1958
J. Brunabend, Attendorn, Schnellenberg, Waldenburg und Ewig. Ein Beitrag zur Geschichte Westfalens (Münster 1958).

Däumer 1925
W. Däumer, Beiträge zur Geschichte der Industrie der Gemeinde Herscheid (Werdohl 1925).

Dösseler 1958
E. Dösseler, Süderländische Geschichtsquellen und Forschungen 3 (Werdohl 1958).

Eversmann 1804
F. A. A. Eversmann, Uebersicht der Eisen- und Stahl-Erzeugung auf Wasserwerken in den Ländern zwischen Lahn und Lippe (Nachdr. Ausg. Dortmund 1804 [Hirschberg o. J. ca. 1975]).

Flebbe 1967
W. Flebbe, Quellen und Urkunden zur Geschichte der Stadt Altena (Westf.) I. Von den Anfängen bis 1609, dem Aussterben der männlichen Linie der klevisch-märkischen Herzöge (Altena 1967).

Heimatbund Märkischer Kreis 1990
Heimatbund Märkischer Kreis (Hrsg.), Kierspe, Märkischer Kreis (Altena 1990).

Höffer 1993
O. Höffer (Red.), Im Bann des Wassers. Die Orte der Pfarrei Neu-Listernohl einst und heute und die Geschichte der Biggetalsperre. Schriftenreihe der Stadt Attendorn 1 (Attendorn 1993).

Hömberg 1938
A. K. Hömberg, Siedlungsgeschichte des oberen Sauerlandes (Münster 1938).

Hömberg 1948
A. K. Hömberg, Alte Höfe und Eisenhämmer im Bigge- und Listertal. Heimatstimmen aus dem Kreis Olpe 1, 1948, 3–14.

Johannsen 1953
O. Johannsen, Geschichte des Eisens. 3., neu bearb. Aufl. (Düsseldorf 1953).

Knau 1998
H. L. Knau, Altena als Gewerbesiedlung im späten Mittelalter. Der Märker 47, 1998, 47–58.

Knau/Beier/Sönnecken 2001
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Iron Works and Water Power – The development of mechanical hammer works in the ‚Südergebirge', Germany. In: Archaeometallurgy in the Central Europe III. Internat. Conference Herl'any 11.–14.09.2000. Acta Metallurgica Slovaca 7 (special issue) (Košice 2001) 127–143.

Knau/Sönnecken 1998
H. L. Knau/M. Sönnecken, Herscheid und der frühe Osemund. Eisenerzeugung und -verarbeitung im späten Mit-

telalter. In: G. Gierke (Red.), Herscheid. (Herscheid 1998) 53–64.

Krins 1974
F. Krins, Das Eisengewerbe im Süderland von 1500–1650. In: H. Kellenbenz (Hrsg.), Schwerpunkte der Eisengewinnung und Eisenverarbeitung in Europa 1500–1650. Kölner Koll. Intern. Sozial- und Wirtschgesch. 2 (Köln, Wien 1974) 172–187.

Nehls 1996
A. Nehls, Als in den Tälern die Hämmer dröhnten. Die Geschichte der Eisenindustrie im Oberbergischen Kreis (Wiehl 1996).

Richtering 1969
H. Richtering, Das Archiv des ehemaligen Klosters Drolshagen. Urkunden und Akten nebst einem Anhang ergänzender Archivalien (Olpe 1969).

Sauerländer 1965
W. Sauerländer, Geschichte der Stadt Lüdenscheid von den Anfängen bis zum Jahre 1813 (Lüdenscheid 1965).

Scheele 1963
N. Scheele, Regesten des ehemaligen Klosters Ewig (Olpe 1963).

Schubert 1937
H. Schubert, Geschichte der Nassauischen Eisenindustrie. Von den Anfängen bis zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges. Veröff. Hist. Kom. Nassau 9 (Marburg 1937).

Slotta 1986
R. Slotta, Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland 5. Der Eisenerzbergbau 1. Veröff. Dt. Bergbau-Mus. Bochum 38 (Bochum 1986).

Sprandel 1968
R. Sprandel, Das Eisengewerbe im Mittelalter (Stuttgart 1968).

Voye 1909
E. Voye, Handel, Gewerbe, Industrie und Bergwesen bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts. In: A. Meister (Hrsg.), Die Grafschaft Mark. Festschrift zum Gedächtnis der 300-jährigen Vereinigung mit Brandenburg. Preußen 1 (Dortmund 1909).

Woeste 1930
F. Woeste, Wörterbuch der westfälischen Mundart. Im Auftrage des Westfälischen Heimatbundes neu bearbeitet und herausgegeben von Erich Nörrenberg (Norden, Leipzig 1930).

Woeste 1985
D. Woeste, Der Osemund. Ein Beitrag zur Wirtschaftsgeschichte des Märkischen Sauerlandes und zur Geschichte des Eisens. Altenaer Beitr. 16 (Altena 1985).

VOM RENNOFEN ZUM HOCHOFEN – TECHNOLOGISCHE INNOVATIONEN IM ZUGE DER ENTWICKLUNG NEUARTIGER OFENTYPEN UND VERHÜTTUNGSVERFAHREN IN MITTELEUROPA

Albrecht Jockenhövel und Michael Overbeck

EINLEITUNG

Seit der vorrömischen Eisenzeit ist in Mitteleuropa die Produktion von schmiedbarem Eisen in einem diskontinuierlichen Verfahren in Rennöfen nachweisbar. Endprodukt der Verhüttung war ein kompakter oder schwammartiger Eisenklumpen, die Luppe, der nach erfolgter Reinigung auf einem Ausheizherd weiterverarbeitet bzw. ausgeschmiedet werden konnte. Man spricht von dem direkten Verfahren (zur regionalspezifischen Ausprägung dieses Verfahrens im Märkischen Sauerland siehe Beitrag von M. Sönnecken, S. 279 ff.). Spätestens im Verlauf des hohen und späten Mittelalters kamen in Mitteleuropa neue bzw. weiterentwickelte Ofentypen (*Stuckofen, Floßofen*) und damit einhergehend auch ein alternatives Verhüttungsverfahren auf, das in der Regel durch die kontinuierliche Produktion von ausschließlich flüssigem Roheisen und einem an die Verhüttung anschließenden Frischprozess gekennzeichnet ist. Man spricht nun vom indirekten Verfahren (zur regionalspezifischen Ausprägung dieses Verfahrens im Märkischen Sauerland siehe Beitrag von H. L. Knau, S. 295 ff.).

In der archäometallurgischen Fachliteratur wurden diese beiden Verfahren in ihren Grundzügen bereits mehrfach ausführlich beschrieben und diskutiert. Sie werden daher an dieser Stelle nur in einem schematischen Schaubild einander gegenübergestellt (*Abb. 1*).

Im Folgenden soll der Versuch unternommen werden, sich dem Wandel der Verhüttungsverfahren während des Hoch- und Spätmittelalters Europas anzunähern und der Frage nachzugehen, welche Quellen der archäologischen und archäometallurgischen Forschung heute zur Verfügung stehen, um den Übergang vom direkten zum indirekten Verfahren sowie die Frühphasen des Floßofens und den daran anschließenden Übergang zum frühen Hochofen zu beleuchten.

ZUM BEGINN DER WASSERKRAFTNUTZUNG IM HÜTTENWESEN ZENTRALEUROPAS

Einer der Auslöser für die erste technologische Revolution im Eisenhüttenwesen, durch die der Grundstein für die moderne Eisenindustrie Europas gelegt worden ist, war sicher die Nutzung der Wasserkraft,[1] u. a. zum automatisierten Betrieb von stark vergrößerten Blasebälgen (s. S. 363 *Abb. 3*).[2] Durch die Übertragung der Wasserkraft auf die Gebläse war es nicht nur möglich, sondern im Hinblick auf eine sinnvolle Verhüttungstechnologie geradezu notwendig, den Ofenschacht zu erhöhen und das Ofenvolumen proportional zu vergrößern,[3] was zu höheren Schmelztemperaturen im Ofeninneren führte und die Produktivität der Eisenhütten steigerte.[4]

Im zentraleuropäischen Hüttenwesen griff erst ab ca. 1200 die Wasserkraft als innovatives Element um sich.[5] Dabei waren Wassermühlen als antikes Erbe bereits im Frühmittelalter, nicht nur in den romanisch geprägten Regionen des Merowingerreiches, sondern auch in seinen ostfränkischen Gebieten geläufig.[6] Es sind nicht nur die zahlreichen Schriftquellen, die von der Existenz von Wassermühlen, auch von Schiffsmühlen, berichten,[7] sondern es liegen auch mittlerweile einige aufschlussreiche archäologische Befunde zum frühmittelalterlichen Mühlenwesen vor, wie Reste vom Mahlwerk und bauliche Befunde zu Mühlteichen und Mühlgräben.[8] So wurden spätestens ab dem 8. Jahrhundert Mühlen zu einem vertrauten Element in der frühmittelalterlichen Kulturlandschaft, wobei ein zeitliches Gefälle von Süden und Westen nach dem Norden und Osten Europas bestand.

Die Mühlen wurden allmählich neben ihrer hauptsächlichen Funktion als Getreide- und Ölmühlen in anderen handwerklich-frühgewerblichen Bereichen eingesetzt, so als Säge-, Walk- oder Gerbmühlen.[9] Es lag

[1] Durch Wasserräder wurden zunächst Mühlen sowie Eisenhämmer und erst später auch die Blasebälge der Schmelzöfen angetrieben. Siehe dazu u. a.: Arnoux 1994, 29–40; Belhoste 1995, 385–398; Lohrmann 1995a; 1995b.

[2] Für das Jahr 1226 sind bereits wasserradgetriebene Blasebälge in Semogo/Veltlin belegt (Besta 1939, 359); L. Beck betonte besonders den Zusammenhang zwischen der Anwendung der Wasserkraft und der Einführung bzw. Entwicklung des indirekten Verfahrens: „Da man kein Maß und keine Erfahrung über die Leistungen der Wasserräder zu diesem Zwecke hatte, so konnte es geschehen und geschah gewiss recht oft, dass man zu viel und zu stark gepreßten Wind in die alten Öfen einblies. Die Folge davon war eine so gesteigerte Temperatur, dass Roheisenbildung eintrat und man statt der Luppe flüssiges Eisen erhielt, welches wie die Schlacke abfloss.“ (Beck 1884, 963–964).

[3] Schuster 1969; Nyquist 1995, 17.

[4] Lietzmann (o. J.): Urkunden berichten z. B. vom Erzbergbaugebiet Österreich, dass die Größe der Luppe im 13. Jahrhundert um das 2,5-fache stieg: Rehder 1986, 91.

[5] Lohrmann 1995a.

[6] Ders. 2002; Böhme 2002.

[7] Claude 1981; Henning 1994.

[8] Böhme 2002; von Freeden 2002.

[9] Gimpel 1975/1980.

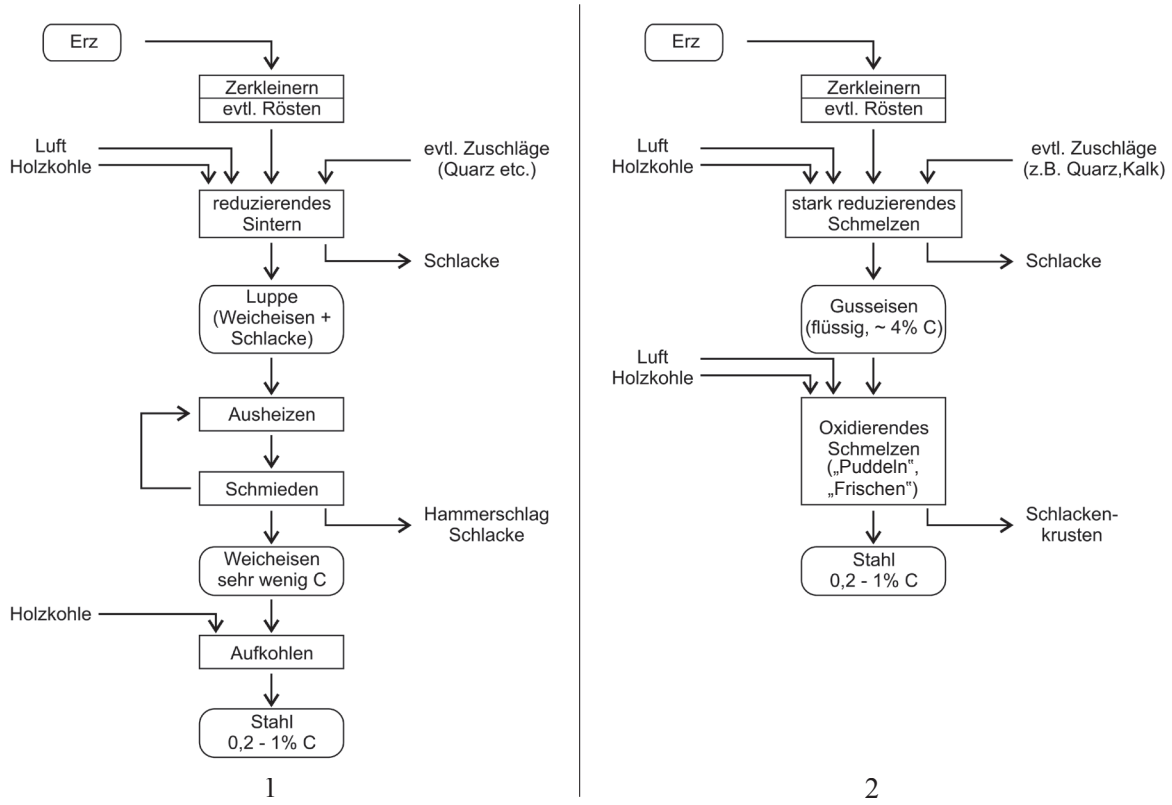


Abb. 1. Direktes (1) und indirektes (2) Verfahren der Eisendarstellung (nach Bachmann 1993).

demnach schon eine reiche Erfahrung vor, bis das meist grundherrschaftlich geregelte Mühlenwesen im Metallgewerbe ankam.[10] Wie frühe Bildquellen belegen, waren vor allem oberschlächtige Mühlräder im Einsatz, die einige Vorteile mit sich brachten: Sie konnten bei größerem Gefälle und geringerem Wasseraufkommen betrieben werden; das Wasser wurde über ein Gerinne auf das Rad geführt, wo es eine hohe Aufschlagkraft entwickelte.

Doch die Einführung der Wasserkraft brachte nicht nur Vorteile mit sich. Die vergrößerten Öfen waren abhängig vom kontinuierlichen Wasserzufluss. Besonders kleinere Fließgewässer, die wahrscheinlich in der Frühphase der neuen Technologie noch verstärkt genutzt wurden, stellten ein Problem dar.[11] Denn in regenarmen Monaten bestand die Gefahr, dass kleinere Bäche zu wenig Wasser führten oder sogar vollständig austrockneten, während im Winter Schnee und Eis den laufenden Betrieb behinderten oder gänzlich unmöglich machten.[12] Um die Wasserversorgung zu gewährleisten, mussten daher Stauteiche angelegt, Obergräben ausgehoben und hölzerne (z. T. obertägige) Gerinne errichtet werden, damit die kontinuierliche Zu- und Ableitung des Wassers gewährleistet war.

Nicht nur durch derartige Installationen erhöhten sich sprunghaft die Kosten, die für Errichtung und Instandhaltung der neuen Werke zu veranschlagen waren. Mit zunehmender Produktivität stieg auch der Rohstoffverbrauch und die Betriebsmannschaft wuchs stetig an. Zudem hatten Bergleute, Köhler und Fuhrleute für eine verlässliche Versorgung mit Holzkohle und Erz zu sorgen, während eine gut organisierte, mehrköpfige Hüttenbelegschaft an den Schmelzöfen und zugehörigen Frischherden arbeitete. Neben einem hinreichenden Anfangskapital mussten deshalb vielfältige vertragsähnliche Absprachen (u. a. Wasserrechte) bestanden haben, um einen gewinnbringenden Betrieb zu gewährleisten.

Nach der Zusammenstellung von T. S. Reynolds setzte sich die Nutzung der Wasserkraft im Eisengewerbe nach einigen wenigen Belegen für das frühe 11. Jahrhundert (zum Beispiel die im Jahre 1010 urkundlich bezeugte Nennung des Ortes Schmidmühlen [Oberpfalz]) bis zum frühen 13. Jahrhundert über weite Teile Europas endgültig durch.[13] Die schnelle Verbreitung wurde lange Zeit mit dem Wirken des Zisterzienserordens erklärt. Eine ursächliche Verbindung wird aber heute nicht mehr postuliert, wenngleich die Notwendigkeit einer komplexen Wasserwirtschaft und die Bedeu-

[10] Lohrmann 1995a; ders. 1995b.

[11] McDonnell 2008.

[12] Es kam auch vor, dass Eisenhütten überflutet und zerstört wurden (Neu 1997, 249 f.).

[13] Reynolds 1985.

tung des Ordens im Hüttenwesen bei der autarken und weltabgeschiedenen Lebensweise und seine Rolle im Transfer von technischem Wissen außer Frage steht.[14] G. Weisgerber und M. Seifert haben mit Recht auf die in den Trentiner Bergregeln[15] von 1214 genannten „rotae" als Wasserräder hingewiesen:[16] Um ihre Nutzung war Streit entstanden, denn man verdoppelte „illegal" die Leistung des angeschlossenen Gebläses. Mit diesem Beleg konnte der Einsatz der Wasserkraft, hier im Silberbergbau, um ca. 100 Jahre vorverlegt werden, denn J. Gimpel nannte den ersten mit hydraulischen Blasebälgen versehenen Verhüttungsofen für das Jahr 1323.[17]

FRÜHE STUCKÖFEN UND TECHNISCHE VORLÄUFER

Mit der Übertragung der Wasserkraft auf die Gebläse wurde das direkte Verfahren der Eisenproduktion jedoch nicht vollständig abgelöst und flächendeckend durch das indirekte Verfahren ersetzt. In Österreich entwickelte sich mit dem Stuckofen[18] (auch *Stückofen*) ein neuer Ofentyp, der – trotz aller Einschränkungen – als technologisches Bindeglied zwischen Rennofen und Hochofen bezeichnet werden kann.[19]

Der Terminus *Stuckofen* stammt aus dem Alpenraum und bezeichnet stark vergrößerte Schachtöfen, die bereits über ein wasserkraftgetriebenes Gebläse verfügten und besonders in der Frühzeit dieser Technologie ein überwiegend niedrig aufgekohltes und direkt schmiedbares Eisen in Form einer festen Luppe (sog. *Stück*[20]) produzierten. Um die Luppe aus dem Ofen entnehmen zu können, musste der Schmelzprozess unterbrochen, der abgekühlte Ofen zum weiteren Betrieb eventuell ausgebessert und danach erneut angefahren werden. Wie bei den Rennöfen handelte es sich also grundsätzlich um einen diskontinuierlichen Prozess.[21] Aufgrund der im Vergleich zu den Rennöfen (engl.: *bloomery = Rennofen*) höheren Bauweise (engl.: *high bloomery = Stuckofen*) und der gesteigerten Gebläseleistung der Stuckköfen fielen jedoch neben der festen Luppe immer auch größere Mengen flüssigen Roheisens an (s. S. 322 ff.).[22] Während „traditionelle" Rennöfen ausschließlich eine feste oder schwammartige Luppe lieferten und Hochöfen ausschließlich flüssiges Roheisen produzierten, ist die gleichzeitige Produktion von niedrig aufgekohltem Eisen und flüssigem Roheisen eines der wesentlichen Merkmale, durch das sich Stucköfen charakterisieren lassen. Dieses Roheisen wurde in Österreich als *Graglach*[23] (*Lach, Lech* = Schlacke) oder in Deutschland als *Deucheleisen*[24] bezeichnet und ließ sich in der Frühphase der Technologie wahrscheinlich noch nicht verarbeiten.[25] Den *Härt*, der sich vom Boden der Luppe löste, und das *Brockeneisen* bzw. *Bröckeleisen*, das von den Rändern der Luppe abfiel, wenn diese nach der Entnahme aus dem Ofen verdichtet wurde, gab man ursprünglich genauso wieder in die Stucköfen auf,[26] wie das *Klaub-* und *Wascheisen*[27] (*Waschwerk*), welches durch Pochen und Waschen der Verhüttungsschlacken auf den Halden zurückgewonnen wurde.[28]

Stucköfen zeichnen sich durch einen weiten, in der Frühphase zumeist runden oder elliptischen Herd[29] aus und unterscheiden sich dadurch besonders von den Hochöfen.[30] Die Weite des Schmelzraumes wird als Hauptursache dafür gesehen, dass sich das Eisen nicht vollständig verflüssigen und so ausschließlich Roheisen bilden konnte, vor allem wenn die Belüftung nur über eine einzige Düse erfolgte.[31] W. F. Schuster entwickelte auf der Basis der Temperaturverteilung im Ofeninneren die Theorie einer gleichzeitigen Bildung von Roheisen und Wüstit als Folge eines nicht genügend

[14] Fleming 1986; Benoit/Wabont 1991; Pressouyre/Benoit 1992; Eberl 2002.

[15] Hägermann/Ludwig 1986.

[16] Weisgerber/Seifert 1992.

[17] Gimpel 1975/1980, 43.

[18] Die Bezeichnung *Stuckofen* oder *Stückofen* hat ihren Ursprung in der Alpenregion. Namengebend war das Endprodukt der Verhüttung, das sog. *Stück* (regional unterschiedlich u. a. auch als *Stuck*, *Wolf*, *Maaß*, *Mass* oder *Guß*) bezeichnet (*massa ferri* – Masseln). Siehe dazu u. a.: Quantz 1799, 35 f.; Kurzel-Runtscheiner 1938, 55; Sperl 1989, 121; Schmidtchen 1997, 33; Belhoste 2001.

[19] Kerl 1863, 207; Beck 1884, 816; Henseling 1981, 39; Paulinyi 1996, 143; L. Beck sprach sich für eine Entwicklung der Hochöfen aus den Stuck-, Wolfs- oder Blauöfen (auch „Plaaöfen") aus, die er als „das natürliche Übergangsglied zwischen" dem direkten und dem indirekten Verfahren sah (Beck 1884, 816. 964).

[20] Der Schmalkaldener Hüttenschreiber Johann Christian Quantz führt die Bezeichnung dieses Ofentyps auf das regelmäßige Zerteilen der Luppen in zwei „*Stücke*" zurück. „*Von diesen Stücken hat der Ofen den Namen des Stückofens*" (Quantz 1799, 35 f.).

[21] Schaur 1929, 490.

[22] Für das 15. Jahrhundert ist überliefert, dass der Anteil an nicht verwertbarem Graglach sogar auf die Hälfte der Gesamtproduktion angestiegen war (Johannsen 1953, 132).

[23] Sperl 1984, 91.

[24] In der Oberpfalz floss der hoch aufgekohlte *Deuchel* beim Aushämmern der Luppe ab (Beck 1884, 823 f.; Johannsen 1953, 132; Henseling 1981, 39; Pleiner 1996, 255).

[25] Man hielt dieses Roheisen für verdorbenes Eisen und es wurde in der Folgezeit deshalb auch mit Schimpfworten, wie *pig iron*, „Saueisen", „Dreckfluss", „Dreckeisen" oder *gueus*e (frz. Bettlerin) belegt oder als „Graglach" (Kärnten, Steiermark) bezeichnet.

[26] Johannsen 1953, 134.

[27] In Schmalkalden wurden die Schlacken der kleinen Blauöfen gepocht, um das „[...] *herausgelaufene Eisen auszulesen*". Dieses Eisen gelangte jedoch nicht wieder in die Öfen, sondern wurde zu einem hochqualitativen Stabeisen weiterverarbeitet. Siehe dazu: Quantz 1799, 34.

[28] Schuster 1969, 37.

[29] Gilles 1952, 407–415.

[30] Tholander/Blomgren 1986, 83.

[31] Ebd. 84.

feuerfesten Ofenmantels und eines zu weiten Ofengestells.[32] Während des Verhüttungsprozesses schwand demnach die innere Ofenwand aus Lehm aufgrund der hohen Temperaturen unter dem Einfluss der sich bildenden Schlacke. Dadurch erweiterte sich allmählich der Schmelzraum bzw. der Innendurchmesser des Ofens, mit der Folge, dass sich die Temperaturverteilung und die Position der Schmelzzone entsprechend änderten. Die Randzonentemperaturen sanken ab und es wurde nur noch das Erz in der Kernzone voll reduziert und zu Roheisen geschmolzen. Am Ende des Verhüttungsprozesses hatte sich auf dem Herdboden eine schwammartige Luppe gebildet, während Schlacke und flüssiges Roheisen aus dem Ofen abgelassen wurden.[33] Nach E. Truffaut kam es durch die gesteigerte Windzufuhr, bei gleichzeitig beibehaltener aktiver Oberfläche, zu einer dissymetrischen Operation, durch die eine kontrollierte sekundäre Reoxidation des primären Roheisens (wie z. B. im Ferrum-Noricum-Prozess) weitestgehend verhindert worden ist.[34]

Demzufolge waren Stuckofenluppen nicht homogen. Die Luppen aus den frühneuzeitlichen Stucköfen Österreichs bestanden im Kern aus mittelhartem Stahl, sie wurden nach außen hin härter und näherten sich schließlich dem weißen Roheisen.[35] Der relativ hohe Kohlungsgrad des Eisens machte eine generelle Nachbearbeitung in sogenannten *Ausheizherden*[36], *Löschherden*[37] oder *Zerrennfeuern*[38] nötig.[39] Erst mit dem Aufkommen des Frischfeuers konnte das in der Frühzeit der Stuckofentechnologie wertlose und wieder in den Verhüttungsprozess zurückgeführte Roheisen auf sog. *Zerrennhämmern* zu weiterverarbeitungsfähigem Stahl entkohlt werden.[40] Damit besaß man die Technik, um sowohl die Haupt- als auch die Nebenerzeugnisse der Eisenproduktion im Stuckofen verarbeiten zu können. Die Stucköfen lieferten seit dieser Zeit mit *Stahl*, weichem *Schmiedeeisen* und *Roheisen* unterschiedliche Eisenqualitäten. Der Hüttenschreiber Johann Christian Quantz berichtete um 1800 für die Region Schmalkalden (Thüringen), dass in den weiterentwickelten Stucköfen (sog. *Blauöfen*[41] oder *Blasöfen*)[42], unter anderem durch eine Änderung der Windführung sogar wahlweise Stahl oder Roheisen produziert werden konnte.[43]

Verhüttungsschlacken mit erheblich gesenkten FeO-Gehalten belegen, dass die Eisenausbringung der Stucköfen gegenüber den Rennöfen bereits deutlich erhöht war, obwohl sie noch nicht die Effizienz der Hochöfen und Floßöfen erreichten, die im indirekten Verfahren ausschließlich flüssiges Roheisen produzierten.[44] Allerdings konnte aufgrund der deutlich besseren Eisenausbringung auch in den vergrößerten Stucköfen nicht nur deutlich mehr, sondern auch qualitativ schlechteres Erz erfolgreich verhüttet werden.[45] Ähnlich wie bei den Rennöfen wurde auch der Betrieb der Stucköfen mit dem sukzessiven Aufkommen der Hochöfen bzw. Floßöfen nicht generell eingestellt.[46] Dieser Ofentyp existierte vereinzelt sogar noch im 19. Jahrhundert.[47] Da Hochöfen und Stucköfen in den unterschiedlichen Eisenlandschaften Mitteleuropas bis in die Neuzeit hinein zeitgleich nebeneinander betrieben worden sind, ist das Modell einer linearen evolutionären Entwicklung vom Rennofen über den Stuckofen zum Hochofen nicht auf jede Forschungsregion übertragbar.

FRÜHE ROHEISENFUNDE

Die ausschließliche Produktion von Roheisen ist eines der charakteristischen Merkmale des indirekten Verfahrens. Immer wieder tauchen jedoch Roheisenfunde in Zusammenhang mit dem direkten Verfahren auf. Diese Funde, denen man in der jüngeren Forschung ver-

[32] Schuster 1969, 33 ff.
[33] Köstler 1986, 28.
[34] Truffaut 2008, 263.
[35] Johannsen 1953, 133.
[36] Ebd. 133.
[37] Beck 1884, 824.
[38] Johannsen 1953, 133.
[39] Kerl 1863, 207; Beck 1884, 824.
[40] Johannsen 1953, 134.
[41] Für Schmalkalden unterscheidet Quantz zwischen dem *kleinen Blauofen* und dem *großen Blauofen*. Beide Öfen wurden über wasserradgetriebene Gebläse belüftet. Der kleine Blauofen oder Stuckofen ist nach seinen Angaben älter und produzierte eine hoch aufgekohlte und zudem verunreinigte Luppe, die sich ohne Nachbehandlung nicht verschmieden ließ (*Frischeisen*) (Quantz 1799, 28 ff.; Götschmann 1985, 68).
[42] Der Begriff „Blauofen" (abgeleitet von „plaa" = blasen) bezeichnet nicht nur Stucköfen, sondern sämtliche Öfen an denen mit Blasebälgen gearbeitet wurde. Demzufolge wurde der Begriff auch auf Floßöfen angewandt (Beck 1884, 816–817).
[43] Quantz 1799; Schmidtchen 1997, 33. Am Ende des 17. Jahrhunderts wird auch für die in Kärnten betriebenen Stucköfen berichtet, dass über eine Änderung der Richtung der Windform entweder teilweise raffiniertes Roheisen oder mehr oder weniger aufgekohlter Stahl erzeugt werden konnte (Grüner 1876).
[44] Quantz 1799, 43.
[45] Die Stucköfen, die in der Oberpfalz ab dem 17. Jahrhundert betrieben wurden, besaßen als Vorteil gegenüber den Rennöfen eine verbesserte Energieausnutzung in Bezug auf schwer schmelzbare Erze. In der Beschreibung eines Hammermeisters aus dem Jahr 1730 ist zu lesen: „[...] *bey einem zerennfeuer das feuer etwas weitschichtiger, und anfänglich darbei reiser kohlen, auf das letzt aber grobe oder meilerkholen gebraucht werden müssen, beym blaufeuer hingegen das feuer besser beysammen gehalten, und das ärzt, so dermalen härter, und nicht so guth als vor alters, besser zu zwingen, mithin zu unserm nuzen zu applizieren, was sonsten vergeblich in die erden geworfen werden* [...]" (Götschmann 1985, 69).
[46] In Kärnten werden die Stucköfen am Ende des 18. Jahrhunderts zunächst durch Floß- und später durch Hochöfen ersetzt (Truffaut 2008, 264); in Schmalkalden werden die kleinen Blauöfen (Stucköfen) Mitte des 18. Jahrhunderts durch hohe Blauöfen (Hochöfen) ersetzt (Quantz 1799).
[47] Pleiner 1996, 255; L. Beck nennt z. B. Schmalkalden, Ungarn und Siebenbürgen (Beck 1884, 818).

stärkt Aufmerksamkeit widmet, geben Anlass zu der berechtigten Frage, inwieweit Roheisen schon lange vor der Etablierung der Floßöfen ein vertrauter Werkstoff war und inwieweit es bereits verarbeitet werden konnte. Damit stellt sich auch die Frage nach den Vorläufern des mittelalterlichen Frischverfahrens und ob für die Roheisentechnologie eine autochtone Entwicklung (s. S. 356 f.) oder ein Techniktransfer von außerhalb Europas (s. S. 357 f.) angenommen werden kann.

Vereinzelte Roheisenfunde im archäologischen Befund sollten jedoch nicht überbewertet und vorschnell als sicherer Nachweis für das indirekte Verfahren fehlgedeutet werden. Die beiläufige und daher unbeabsichtigte Produktion von Roheisen in unterschiedlichen Quantitäten und Qualitäten (z. B. in Form von vereinzelten Roheisenstücken oder eingeschlossen in Schlacken) ist inzwischen zahlreich belegt und bei einer Reihe von Verhüttungsplätzen des direkten Verfahrens nachgewiesen. Seit der Antike entstand neben dem eigentlich gewünschten Weicheisen und/oder niedrig aufgekohltem Stahl unter bestimmten Voraussetzungen auch hoch aufgekohlter Stahl und sogar flüssiges Roheisen.[48] Bereits bei Plinius d. Ä. (*Naturalis Historia 34, 14*) findet sich eine Textstelle auf, die allgemein als Hinweis auf ungewolltes, flüssiges Roheisen interpretiert wird.[49] Auch auf das den Römern wegen seiner Härte berühmte *Ferrum Noricum* muss in diesem Zusammenhang verwiesen werden.[50] B. Osann wies durch Analysen einer kaiserzeitlichen Rennofen-Luppe nach, dass in ihr alle „Aufkohlungsstufen vom Ferrit bis zum weißen und grauen Roheisen" vorhanden waren.[51] Allgemein ist bekannt, dass es sich bei Rennofenluppen hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehalts um ein sehr heterogenes Material handelt, das zonal sämtliche Übergänge von kohlenstofffreiem Eisen (Ferrit; Ferrit-Perlit) über eutektoidischem (Perlit) bis zu übereutektoidischem Stahl (Perlit, Zementit) bzw. Roheisen (Ledeburit, Zementit, Graphit) aufweisen kann.[52] Zusammenfassend verwies zuletzt u. a. R. Pleiner auf archäologisch dokumentierte Roheisenfunde.[53] Sie stammen u. a. aus Altgrabungen von mehreren römischen Fundplätzen des 1.–4. Jahrhunderts n. Chr. Englands (Hengistbury Head, Wilderspool, Tiddington, Braughing). Im Schweizer Kanton Vaud wurden entsprechende Roheisenfunde in Bellaires I und II (4. Jahrhundert n. Chr.) gemacht. Aus Ponte di Val Gabbia (bei Brescia, Oberitalien) ist ein gewisser Anteil schwach eisenhaltiger, glasig erstarrter Schlacken zusammen mit typischen Rennofenschlacken überliefert. Ein möglicher Schmiedebefund derselben Fundstelle (Ponte di Val Gabbia, Fundstelle III) erbrachte mehrere Blöcke aus weißem und grauem Roheisen, wobei auch in den Schlacken und den Schmiedekalotten Roheisenreste eingeschlossen waren. Die Fundstellen datieren in das 5.–6. Jahrhundert n. Chr. Aus Frankreich (Lothringen) sind gleich zwei Fundplätze bekannt: Frouard (5.–6. Jahrhundert n. Chr.) und Ludres (8.–12. Jahrhundert n. Chr.).[54] Für Südwestdeutschland führt Pleiner sowohl Befunde aus dem Vorland der Schwäbischen Alb zwischen Weilheim und Metzingen (7.–8. Jahrhundert n. Chr.), als auch Funde von deutlich jüngeren Verhüttungsplätzen aus dem Raum Metzingen an (11.–13. Jahrhundert n. Chr.).[55]

Diese Aufstellung lässt sich durch neuere Funde aus Luxemburg erweitern,[56] wo Roheisen in Schlacken eines hoch- bis spätmittelalterlichen Verhüttungsplatzes im Genoeserbusch bei Peppange (13./14. Jahrhundert) gefunden wurde.[57] Ein Roheisenblock vom mutmaßlichen Stuckofen von Dürrnschöberl (Steiermark) datiert an den Beginn des 12. Jahrhunderts. Vom Hüttenberger Erzberg (Kärnten) stammt ebenfalls eine Luppe aus Roheisen von der Fundstelle Semlach-Eisner (spätes 2./3. Jahrhundert n. Chr. und erste Hälfte 4. Jahrhundert n. Chr.).[58] H. Preßlinger verweist auf verschiedene metallografische Analysen römerzeitlicher Funde, die für eine Roheisenproduktion sprechen, sowie auf römerzeitliche Roheisenluppen, die im 4. Jahrhundert n. Chr. im Handel waren.[59]

Zuletzt formulierten P. Crew et al., dass die Bildung von Roheisen im direkten Verfahren nicht verwundern darf, sondern vielmehr als notwendiges Beiprodukt bei der Produktion von hochaufgekohltem Stahl im direkten Verfahren anzusehen ist;[60] Es gelang der experimentelle Nachvollzug der Roheisenproduktion in einem Rennofen.[61] Dieser Versuch erhält seine Aussagekraft besonders dadurch, dass auf den Einsatz moderner elektrischer Gebläse (Staubsauger) oder die Zufuhr von reinem Sauerstoff aus Druckflaschen verzichtet wurde: Allein mittels zweier handbetriebener Blasebälge war

[48] Tribbick 1974, 112–115; Tylecote 1986; Mahé-Le Carlier et al. 1998, 91–101; Yalçın 2000, 307 ff.; Crew 2004, 1–2.

[49] Tylecote 1976, 65; Preßlinger 2008, 239; Truffaut 2008, 251. – Plinius beschreibt in diesem Abschnitt zwar, dass „*Eisen beim Ausschmelzen wie Wasser fließt* […]", er ergänzt jedoch, dass „[…] *es nachher in schwammige Stücke zerbricht*". Möglicherweise beschrieb er irrtümlich die Verflüssigung der Schlacke im Ofeninneren und nicht die des Metalls. Textstellen zitiert nach M. Bischoff, Plinius der Ältere, Historia Naturalis. Eine Auswahl aus der „Naturgeschichte" von Michael Bischoff. Nach der kommentierten Übersetzung von G. C. Wittstein (Nördlingen 1987) 307.

[50] Cech 2008 (dort weiterführende Literatur).

[51] Osann 1971.

[52] Pleiner 2006, 18.

[53] Ders. 2000, 247 ff.; 2001.

[54] Leroy 1997.

[55] Pleiner 2000, 247 ff.

[56] Ein Anspruch auf Vollständigkeit der folgenden Zusammenstellung wird an dieser Stelle nicht erhoben.

[57] Overbeck 2011.

[58] Preßlinger 2008, 240 f.

[59] Ebd. 240 f.

[60] Crew et al. 2011, 258.

[61] Zur detaillierten Schilderung des Verhüttungsexperiments siehe Crew et al. 2011.

es möglich, die notwendigen Temperaturen von mehr als 1250 °C im Ofeninneren (innerer Durchmesser ca. 40 cm) zu erzielen. Zu vergleichbaren Ergebnissen gelangte im experimentellen Nachvollzug auch J. E. Rehder.[62] Er stellte fest, dass in einem Rennofen mit 30 cm Innendurchmesser unter Verwendung von Holzkohlen und unter Belüftung durch eine einzige Düse Temperaturen bis zu 1600 °C(!) erreicht und flüssiges Roheisen produziert werden konnte. Nur eine Person reichte aus, um über handbetriebene Blasebälge den nötigen Sauerstoff in das Ofeninnere zu pressen. Auf der Grundlage von Verhüttungsexperimenten zum *Ferrum Noricum* kam auch H. Straube zu dem Schluss, dass sich in vergrößerten Rennöfen problemlos flüssiges Roheisen bildete. Er ging weiter davon aus, dass dieses Roheisen jedoch nicht die Ofensohle erreichte, sondern noch vor den Windformen durch eine Art *natürlichen Frischprozess* zu großen Teilen in schmiedbaren Stahl umgewandelt wurde.[63]

Die vorstehend zitierten Versuche bestätigen, dass es ohne weiteres und allein durch die Veränderung einiger Parameter (stark erhöhte Sauerstoffzufuhr, gesteigerter Einsatz von Holzkohle, Dauer der Reduktionszeit) in der Prozessführung möglich ist, Roheisen in einem Ofen von der Bauart und den Dimensionen eines Rennofens zu produzieren. Die archäologischen Funde bestärken den Eindruck, dass Roheisen durchaus regelmäßig im direkten Verfahren anfiel bzw. anfallen konnte. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Roheisen kein ausschließliches Produkt der Zeit seit dem hohen Mittelalter ist, das erst nach der Übertragung der Wasserkraft auf die Gebläse und somit nur in Verbindung mit Floß-, Hoch- oder Stucköfen auftrat. Vielmehr muss man bereits von der Antike an mit der Entstehung von Roheisen in bestimmten Rennofentypen rechnen, bei denen in Abhängigkeit vom praktizierten Verhüttungsverfahren und auf der Grundlage der jeweils lokal verfügbaren Erze sowie der chemischen Zusammensetzung von Ofenwand, evtl. Zuschlägen und der Holzkohleasche, regelmäßig eine gewisse, allerdings untergeordnete Menge Roheisen anfallen konnte.

Die Fähigkeit der Hüttenleute bestand vor der Einführung des Hochofenverfahrens wahrscheinlich viel eher darin, zu hohe Temperaturen und zu lange Reduktionszeiten zu vermeiden, um gleichzeitig durch eine geschickte Prozessführung die gewünschten Endprodukte, Weicheisen und/oder Stahl zu erhalten. Dabei lassen die archäologischen Befunde vermuten, dass Roheisen besonders häufig in gegenüber den „traditionellen“ Rennöfen stark vergrößerten Anlagen mit relativ großem Innendurchmesser und starken Wänden (z. B. steinverstärkte Ofenbasis) anfiel.

Obwohl das frühe Roheisen bis zur Einführung der verschiedenen Frischverfahren in der Regel als *ungewolltes Beiprodukt* (oder Zwischenprodukt) des direkten Verfahrens zu deuten sein wird, da es in der Regel noch nicht möglich war, den Kohlenstoffgehalt (auch Phosphor und Schwefel waren ein Problem) des brüchigen und spröden Roheisens soweit zu reduzieren, dass sich das Metall hätte sinnvoll verarbeiten bzw. verschmieden lassen,[64] ist es dennoch in einigen Fällen schwierig zu entscheiden, ob Roheisen aus der Zeit vor dem hohen Mittelalter nur als unverwertbarer Ausschuss oder doch als gewünschtes Endprodukt anzusprechen ist.[65] Nur wenn Roheisen an einer Fundstelle in größeren Quantitäten, gemeinsam mit großen Mengen glasig erstarrten Schlacken und/oder im Zusammenhang mit Frischprozessen auftritt, könnte man auch in frühen Kontexten mit einiger Sicherheit davon ausgehen, dass es sich wahrscheinlich um eine intentionelle Produktion handelt.[66] Um in dieser Frage Sicherheit zu erhalten ist es sinnvoll, das Augenmerk besonders auf die verschiedenen Frischverfahren und ihre Nachweisbarkeit im Rahmen archäometallurgischer Untersuchungen zu lenken. Dabei gilt es zu bedenken, dass frühe Frischverfahren, über die bis heute immer noch vergleichsweise wenig bekannt ist, ebenso unterschiedlich sein können,[67] wie die Prozessführungen, die in den diversen Eisenlandschaften zum Einsatz kamen. In Zusammenhang mit der Beantwortung der Frage nach dem ersten archäologisch sicher nachweisbaren Frischverfahren wäre gleichzeitig auch die Frage nach der ersten intentionellen Produktion von Roheisen beantwortet.

ZUR DEFINITION DER TERMINI „FLOSSOFEN“, „HOCHOFEN“ UND „MASSENHÜTTE“

Den Autoren ist bewusst, dass sich der Terminus „Hochofen“ *senso strictu* ausschließlich auf Hüttenwerke des Industriezeitalters und somit frühindustrielle und moderne Hochöfen beschränkt. In den spätmittelalterlichen Schriftquellen gibt es allerdings noch keinen eigenen Begriff für diese neuartigen Öfen. Es ist daher unklar,

[62] Rehder 1986, 87–92.

[63] Straube et al. 1964; Straube 1996; 2000.

[64] Siehe dazu auch: Pelet 1973, 180–181; Fluzin 1999, 189–190, Taf. 20–31; Cucini Tizzoni 1999, 93. 182.

[65] Als Beispiele seien hier z. B. die Befunde von Metzingen und Ponte die Val Gabbia II genannt. Siehe dazu: Cucini Tizzoni 1999; Engel et al. 2003; nach R. Pleiner ist Roheisen in Ausnahmefällen durchaus erfolgreich weiterverarbeitet worden. In diesem Zusammenhang verweist er auf die Befunde von Ponte di Val Gabbia II (Pleiner 2000, 248 f.).

[66] Wie problematisch die Interpretation früher Roheisenfunde sein kann, zeigen die Untersuchungen in Metzingen. Es wird eine intentionelle Roheisenproduktion – trotzdem regelmäßig untereutektoides Roheisen im Fundgut nachgewiesen worden ist – kontrovers diskutiert. Siehe dazu: Yalçın/Hauptmann 2003, 127–157; Gassmann 2005a, 487.

[67] siehe S. 303 Anm. 54; verschiedene Verfahren, die in China bereits vor der Zeitenwende zum Einsatz kamen, um den Kohlenstoffgehalt von Roheisen zu beeinflussen, beschreiben u. a. Wayman/Michaelson 2007.

ob sich unter den in ihnen genannten Hütten, Blas- bzw. Plähhütten usw., wasserkraftgetriebene Stucköfen oder frühe Hochöfen verbergen. Dies gilt auch für die im Siegerland urkundlich seit dem Jahre 1311 nachweisbaren „Massenhütten", von denen die älteste „*mashutte uf der weste*" wohl im Weisstal östlich von Siegen lag.[68] Der Begriff leitet sich vom lateinischen *massa ferri* ab und hat als Lehnwort „Masseln" in der deutschen Sprache Eingang gefunden. Masseln entstehen, wenn das flüssige Roheisen aus dem Ofen abgelassen wird und sich in den vor dem Abstich in den Boden eingetieften Gruben oder Rinnen ansammelt (s. S. 368 *Abb. 14,1*).

M. Sönnecken schlug zur Beschreibung der frühen, stark vergrößerten Schmelzöfen aus dem Märkischen Sauerland in Anlehnung an das Siegerland zunächst den Begriff „Massenhütte" vor, den er später durch die Bezeichnung „Floßofen" ersetzte.[69] Im allgemeinen, regional übergreifenden Sprachgebrauch hat sich heute jedoch der Begriff „Hochofen" durchgesetzt, um diesen gegenüber den Rennöfen stark vergrößerten Ofentyp zur ausschließlichen Roheisenproduktion eindeutig zu beschreiben und klar gegen einen Renn- oder Stuckofen abzugrenzen. Dementsprechend werden im Folgenden die Bezeichnungen „Floßofen" und „Hochofen" beibehalten, wobei wir „Floßofen" auf die frühen, noch relativ niedrig gebauten Öfen beziehen. *Floßöfen* (oder *Flossöfen*) sind diejenigen Öfen, bei denen die Schlacke zusammen mit dem Roheisen bis zum Abstich im Ofen verblieb und erst dann gemeinsam ausfloss.[70] Namengebend ist das Endprodukt der Verhüttung, das aus dem Ofen abgelassene Roheisen, das nach seinem Erkalten die sog. *Floße* oder *Flosse bildet*.[71] Erst als die Öfen höher gebaut wurden, erhielten sie den Namen *Hohofen* bzw. *Hochofen.* So wurde beispielsweise der im Jahre 1587 auf der Neuhütte unterhalb Ewersbach (Dietzhölztal, Lahn-Dill-Kreis, Hessen) errichtete Ofen als „*neuwer hocher offen*" bezeichnet.[72]

ZUM IDEALTYPISCHEN AUFBAU EINES MITTELALTERLICHEN HOCHOFENS

Bei den Floß- bzw. Hochöfen musste das Gebläse des Ofens sowohl stark genug sein, um eine Ofentemperatur von mindestens ca. 1250 °C zu erzielen (bei der flüssiges Roheisen entstand), als auch „hoch" genug gebaut sein und eine spezifische Ofengeometrie aufweisen, damit der Reduktionsvorgang zur Bildung des Metalls optimal vonstatten gehen konnte.

Die Hochöfen standen ebenerdig – möglichst mit der Rückseite an einen Hang gelehnt, um die Aufgabe

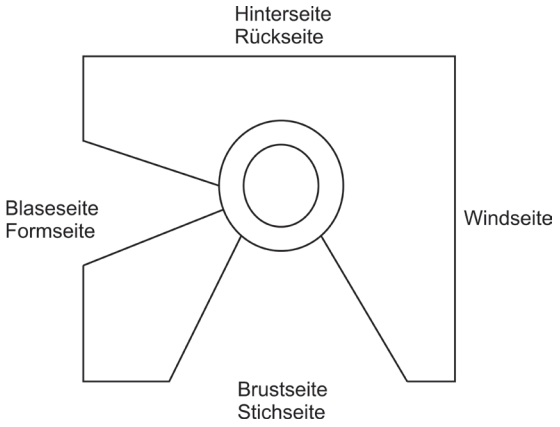


Abb. 2. Bezeichnung der Seiten eines Hochofens (nach Beck 1893–95).

der Beschickungsmaterialien an der Gicht zu erleichtern – auf einem eigenen Fundament, in das Abzugskanäle für die Bodenfeuchtigkeit eingelassen waren, die „*Abzucht*" G. Agricolas.[73] Sie sind ab dem späten 15. Jahrhundert in zumeist quadratischer Form aus massivem Raumauerwerk aufgeführt. Die vier Seiten des Ofens werden wie folgt bezeichnet (*Abb. 2*):[74] An der *Brust-* oder *Stichseite* wird der Abstich vorgenommen; ihr gegenüber liegt die *Hinter-* oder *Rückseite,* seitlich die *Form-* oder *Blaseseite* mit den Blasebälgen, die über die metallene *Form* bzw. das metallene *Rohr* in das Innere die Luft einbringen. Die Luft (der *Wind*) strömt im Ofeninneren auf die gegenüberliegende *Windseite*.

Wegen der hohen Temperaturen im unteren Bereich sollen für die Innenwand feuerfeste Natursteine verwendet werden, so beschrieben von Nicolas Bourbon in seinem Lehrgedicht über die *Ferraria* seines Vaters (s. S. 364).[75]

Bis in das 18. Jahrhundert hinein waren die Hochöfen nur ca. 5–10 m hoch. Der Ofen mit seinem runden bzw. rundlichen Innenraum ist aus zwei doppelkonischen Schachtabschnitten aufgebaut, die als zwei Kegelstümpfe aufeinander stehen, in denen wiederum die Gegenströme von unten eingeblasener Luft (Wind) und von oben vorgenommenen Beschickungen abliefen. Die beiden oberen Drittel des Hochofens nimmt der *Schacht* ein, über dessen Öffnung, die *Gicht* (nach engl. *gift*, Gabe), das zerkleinerte Erz, die Zuschläge (beides wird unter dem Begriff *Möller* zusammengefasst) und die Holzkohle aufgegeben bzw. beschickt wird. Zugleich entweichen über die offene Gicht giftige Gase in die Umwelt. Der Schacht umfasst – von oben nach unten – die Vorwärm- und Reduktionszone. Das untere Drittel, in dem die höchste Temperatur herrscht, bildet der *Kohlensack*.

[68] Philippi 1887, 77 Nr. 125; Jockenhövel/Willms 2005, 564.

[69] Zur Begriffsdefinition siehe auch den Beitrag Knau S. 295 ff.

[70] Schmidtchen 1997, 33.

[71] Kurzel-Runtscheiner 1938, 56.

[72] Jockenhövel/Willms 2005, 562 Nr. 6, 565 Nr. 1.

[73] Prescher 1985, Neuntes Buch, CCXCVII (247).

[74] Beck 1893–95, 189 f.

[75] Johannsen 1960.



1 = Vinarhyttan
2 = Lapphyttan
3 = Moshyttan
4 = Alntorpshyttan
5 = Gislehyttan
6 = Chingley
7 = Glinet
8 = Haus Rhade
9 = Kerspetalsperre
10 = Jubachtalsperre
11 = Kierspe-Wehe
12 = Hemecke
13 = Wippertal
14 = Olsberg-Assinghausen
15 = Wissen
16 = Metzingen
17 = Dürstel
18 = Fornovolasco
19 = Isolasanta
20 = Grotta Ferrata

= archäologisch dokumentiert
= Schriftquelle

Abb. 3. Frühe Floß- und Hochöfen in Europa und Lage der im Text genannten Fundplätze (Entwurf Th. Schiermeyer).

Den unteren Abschluss nimmt die *Rast* ein, die in das *Gestell* übergeht, das mit feuerfesten Steinen (Gestellsteinen) und/oder mit einer gestampften Masse (Massengestell) ausgekleidet wurde. In diesem Bereich liegt auch die eigentliche Schmelz- und Verbrennungszone.[76] Ein Massengestell aus gestampftem Lehm, dessen Abschrägung Einfluss auf die Luftführung der Schmelzzone nahm, war z. B. im Floßofen Nr. 2 des Platzes Nr. 105 in der Kerspetalsperre gegenüber der Blaseseite eingebaut (s. S. 124 *Abb. 21*). Das Schmelzgut sammelt sich unten im *Herd*. Die auf dem flüssigen Roheisen schwimmende Schlacke wird schließlich abgezogen, abgestochen bzw. ausgeschöpft wie das Roheisen selbst.

Am Ende der Entwicklung stehen die vormodernen und modernen „Hochöfen" mit einer Höhe bis über 10 m, die, zuletzt mit allen technischen Feinheiten ausgestattet, jahrelang ohne Unterbrechung gefahren werden können, wobei im Laufe des 19. Jahrhunderts die Spitzblasebälge von den Winderhitzern abgelöst werden.[77]

Man unterscheidet bei den Floßöfen zwei Formen des Abstiches des Roheisens. Bei der ersten war die Ofenbrust geschlossen (*Floßofen mit geschlossener Brust*). Um an das Roheisen zu gelangen, musste bei ihnen die Hüttenreise unterbrochen und die Ofenbrust aufgebrochen werden. Bei der zweiten Form war die Ofenbrust stets offen (*Floßofen mit offener Brust*) und der Schmelzprozess konnte von außen sichtbar verfolgt und das Roheisen bei Bedarf ausgeschöpft werden. D. Horstmann führte am 13. August 1996 anlässlich einer Grabungsführung zu den Floßöfen in der Kerspetalsperre (Fundplatz Nr. 105: s. S. 103 ff.) wörtlich aus (Mitschrift A. Jockenhövel): „Die Ofentypen, die wir hier gefunden haben, und die hier in der Gegend auch allgemein gebräuchlich waren, sind *reine Abstichöfen, d. h. die Brust war geschlossen*. Es ist unten der Abstich zugesetzt, und wenn er dann voll war, wurde der Mauerstein herausgerissen und die Schlacken und das Roheisen sind nacheinander unmittelbar aus demselben Abstich abgelassen worden". Der Abstich eines Floßofens wird zum Beispiel auf dem Joachim Patinir (um 1475/80–1524) zugeschriebenen Gemälde einer Landschaft mit Hochöfen und Frischfeuer sehr anschaulich illustriert (s. S. 374 f. *Abb. 8,1–4*). Der Abstich in ein Gussbett lieferte stab- oder scheibenförmige Masseln.

FRÜHE FLOSS- UND HOCHÖFEN IM ARCHÄOLOGISCHEN BEFUND (13.–15. JAHRHUNDERT)

Bei derzeitigem Forschungsstand ist in Mitteleuropa von einem Aufkommen der Roheisentechnologie im 12. Jahrhundert und einer gesicherten Konsolidierung spätestens für das 13./14. Jahrhundert auszugehen (*Abb. 3*).[78]

Entsprechend frühe archäologische Nachweise stammen bisher aus Schweden (Vinarhyttan,[79] Lapphyttan[80]), der Schweiz (Dürstel[81]) und aus dem westlichen Deutschland (Märkisches Sauerland [Kerspetalsperre[82], Haus Rhade[83], Wehe, Hemecke[84]]). Zeitgleich mit dem Aufkommen von Bild- und Schriftquellen (s. S. 361 ff.) mehren sich die archäologischen Nachweise früher Hochöfen in anderen mitteleuropäischen Landschaften. Dieser Zeit sind weitere Standorte im Märkischen Sauerland (Wehe-Bach[85], Jubachtalsperre[86], Wippertal [s. S. 185 ff.]), im südlich angrenzenden Siegerland (Wissen), in Westfrankreich (Glinet [Normandie]) und in England (Chingley, Panningridge[87], Stocksfield[88]) zuzurechnen. Diese Öfen beschreiben einen Stand der Verhüttungstechnologie, bei dem sich bis zum 15./16. Jahrhundert das indirekte Verfahren und somit die Roheisenproduktion in stark vergrößerten Öfen in vielen Landschaften Europas bereits etabliert hatte und verschiedene Weiterentwicklungen erfuhr. Die nachfolgende Zeit vom 16./17. bis zum 18./19. Jahrhundert ist demgegenüber bereits als „frühindustriell" zu bezeichnen. Sie wird daher hier nicht näher beschrieben.

Eine genaue Datierung der Öfen ist schwierig. Sie waren z. T. über mehrere Jahrzehnte in Betrieb und erfuhren in dieser Zeit sehr wahrscheinlich mehrere Um- bzw. Ausbauten. Archäologisch überliefert ist zumeist nur ihr jüngster Zustand (z. B. Lapphyttan, Jubachtalsperre), wohingegen von mutmaßlichen Vorgängeranlagen kaum oder in der Regel überhaupt keine Teile erhalten sind.

[76] Kerl 1863, Taf. III, 82.

[77] Gilles 1952.

[78] Erste schriftliche Hinweise auf die Roheisenproduktion lassen sich in Mitteleuropa für das Ende des 13. Jahrhunderts belegen und beschreiben u. a. die Anwendung des indirekten Verfahrens für Norditalien. Die früheste schriftliche Erwähnung von Gusseisen findet sich in Schweden im Jahr 1340 in der Offenbarung der heiligen Birgitta. Dort wird das Wort *giutara* erwähnt, das sich mit „die Eisengießer" übersetzen lässt, und seit dem Jahr 1311 auch die Region um Siegen in Deutschland. Siehe dazu: Klemming 1860, 15–18; Johannsen 1953, 143 ff.; Sprandel 1968, 229, 238; Braunstein 1986, 1753; Lohrmann 1995a, 30.

[79] Serning 1973; Serning et al. 1982, 24–27.

[80] Magnusson 1983.

[81] Tauber/Serneels 1997, 48; Guénette-Beck et al. 2008.

[82] Jockenhövel/Willms/Abdinghoff/Overbeck 1998; Knau/Beier/Sönnecken 2000.

[83] Sönnecken 1968, 43; 1977, 18 ff.; Knau/Sönnecken 1986, 50 ff.; 1987, 172 ff.; 1989, 10 ff. An einer Interpretation des Befundes von Haus Rhade als Floßofen zweifelt G. Gassmann, der den Ofen unter Vorbehalt noch eher in der technologischen Tradition der Öfen vom Typ Metzingen und Kippenheim sieht. Siehe dazu: Gassmann 2005b, 32.

[84] Sönnecken 1973, 14.

[85] Weniger aufschlussreich waren die Ausgrabungen auf einer stark zerstörten Floßofenruine in Hemecke und einer Massenhüttenwüstung am Wehe-Bach. Siehe dazu: Sönnecken/Knau 1994, 430 ff. und 339.

[86] Knau/Sönnecken 1993a; 1993d; Sönnecken/Knau 1994, 441 ff.

[87] Crossley 1972.

[88] Ders. 1975 161 Anm. 51.

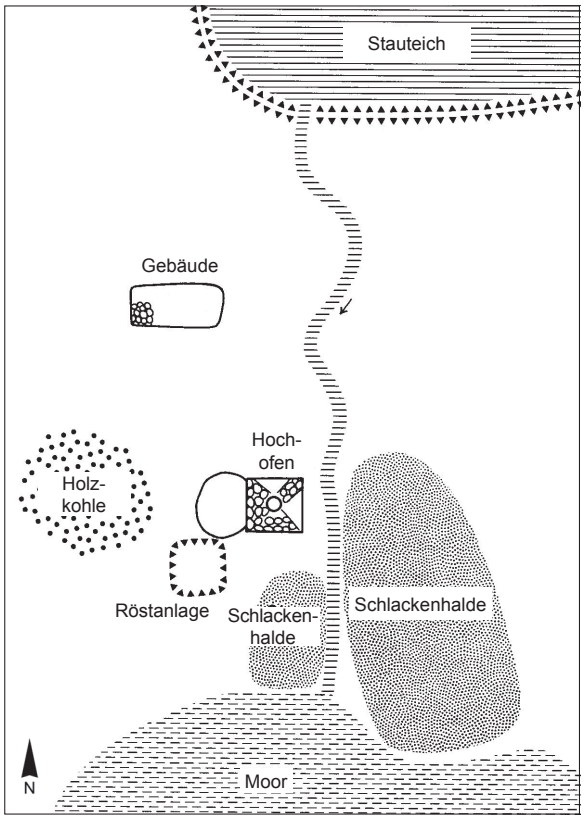


Abb. 4. Lapphyttan, Kirchspiel Karbenninge, Västmanland (Schweden). Schematischer Plan der Eisenhütte (nach Magnusson 1983).

Nordeuropa

In Nordeuropa stammen die bisher ältesten Hinweise auf eine bereits ausgeprägte Roheisentechnologie von verschiedenen Fundplätzen aus Mittelschweden, einer der potenziellen Innovationsregionen für die Einführung des indirekten Verfahrens (s. auch S. 356 ff.), die selbst auf eine jahrhundertelange Rennofentechnologie zurückblicken kann.[89] Die Datierungen beruhen jedoch ausschließlich auf 14C-Daten, wobei der Kohlenstoff aus der glasig erstarrten Schlacke und dem Metall entnommen wurde. Ausgrabungen wurden an diesen Standorten nicht durchgeführt, so dass keine weiteren Details zu den Öfen oder der Platzstruktur bekannt sind. Es handelt sich z. B. um verschiedene Hüttenstandorte aus der Provinz Örebro, Västmanland: Moshyttan (9./10. Jahrhundert), Alntorpshyttan (1171±100) und Gislehyttan (1226±44).[90] Archäologische Ausgrabungen wurden von 1978–79 an der frühen Anlage von Vinarhyttan, Provinz Dalarna, durchgeführt.[91] 14C-Analysen datieren Vinarhyttan in das 13. Jahrhundert n. Chr. (1250–1270). Metallurgische und mineralogische Analysen der aufgefundenen Metallreste sprechen für eine Produktion von Roheisen.

Schweden

Lapphyttan

Die bisher bedeutendste frühe Hochofenanlage Nordeuropas wurde in den 1970er Jahren in der eisenreichen Landschaft um Norberg (Provinz Örebro, Västmanland) in Lapphyttan (Kirchspiel Karbenninge) durch G. Magnusson freigelegt. Es ist zwar eine Reihe von Vorberichten erschienen, die Abschlusspublikation steht jedoch noch aus, so dass viele Fragen offen sind, insbesondere die nach einer exakten Datierung der verschiedenen Betriebsphasen.[92]

Die komplexe Anlage wurde unterhalb eines Stauteiches links und rechts eines Baches errichtet (*Abb. 4,5*). Im Zentrum stand der Hochofen (*Abb. 6–8*). Es handelt sich um einen raugemauerten Ofen von quadratischem Grundriss mit einer Seitenlänge von jeweils etwa 5 m und einer erhaltenen Höhe von etwa 2,25 m. Das ausgeräumte Ofeninnere (Dm. ca. 1,8–1,9 m) erscheint heute jedoch eher rund als eckig und eine Steinlage scheint die Ofenbrust zu verschließen. Auf der Nordseite sind rechtwinklig zur ehemaligen Ofenbrust Reste eines Einblaslochs/Formkanals für die Blasebälge vorhanden; dicht neben dem Ofen liegt die Radstube für das Wasserrad. Auf der nach Osten weisenden Abstichseite des Ofens konnte eine Schicht mit Roheisenstücken dokumentiert werden (weißes und graues Roheisen, 3–4 % C).[93] Hämatit- und Magnetit-Varietäten kamen als Erz zum Einsatz.

Acht Frischherde liegen auf dem Areal der Eisenhütte und repräsentieren den an die Eisenproduktion angeschlossenen Verarbeitungsschritt der Weiterverarbeitung des produzierten Metalls vor Ort. In dieses Bild fügen sich neben einem Speicher für das produzierte Eisen auch verschiedene Schlackenhalden, die unter Vorbehalt als Halden mit Frischschlacken angesprochen werden.[94]

Die freigelegten Ofenreste, die als Grundlage für einen maßstabsgetreuen Nachbau des Ofens an einem Ausstellungsort (Nya Lapphyttan) im Ekomuseum Bergslagen[95] dienten, datieren in das 14. Jahrhundert (14C-Datierung). Offenbar ist in der örtlichen Abfolge von mehreren Anlagen, die seit der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts angelegt wurden, dieser Ofen der

[89] Magnusson 1993.
[90] Wetterholm 1996.
[91] Serning et al. 1982.
[92] Magnusson 1983; 1985; Björkenstam/Fornander 1985.
[93] Pleiner 2000, 85.
[94] Ebd. 83 Abb. 23.
[95] Internetadresse Ecomuseum Bergslagen: http://www.ekomuseum.se/. – Schmelzversuche wurden mehrfach in einem modernen Nachbau des Ofens durchgeführt.

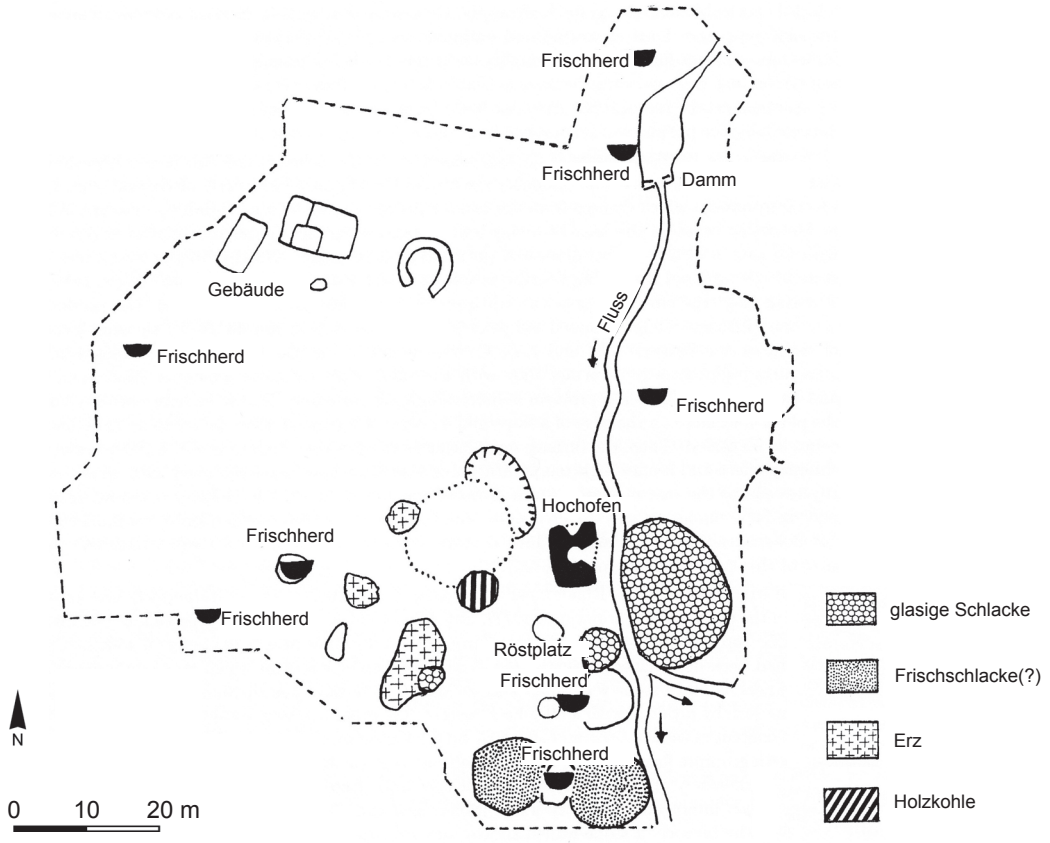


Abb. 5. Lapphyttan, Kirchspiel Karbenninge, Västmanland (Schweden). Plan der Eisenhütte (nach Pleiner 2000).

jüngste, denn ältere 14C-Daten vom Verhüttungsplatz deuten auf einen früheren Beginn der Hütte. In Lapphyttan endete die Roheisen-Produktion etwa in der Mitte des 14. Jahrhunderts.

Zum Hüttenkomplex gehörten weitere Einrichtungen, wie mehrere Schlackenhalden mit typischen glasig erstarrten Schlacken (3–5 % FeO; ca. 50 % SiO_2; max. 0,06 % P_2O_5)[96], ein Holzkohlestapel, ein Erzlager, eine Röstanlage, ein Wohnhaus und ein Viehstall (*Abb. 5*), was auf eine autarke Wirtschaftsweise abseits der Ökumene schließen lässt. Reste von mehreren Schlössern verdeutlicht die Sicherung von Türen.[97]

Mitteleuropa

Schweiz

Dürstel

In der Schweiz wurde in unmittelbarer Nähe des Dürstelbaches, Flur Dürstel (Gem. Langenbruck, Bez. Waldenburg, Kanton Basel-Landschaft) in den Jahren zwischen 1995 und 1998 u. a. die Reste eines weitgehend zerstörten Floßofens ergraben (*Abb. 9*).[98] Unmittelbar am Fundplatz (Flurname „Erzenberg“) steht oolithisches Doggererz an, und Bergbauspuren deuten auf ihren Abbau unmittelbar an der Fundstelle.

Große Teile des Ofens sind durch jüngere Bodeneingriffe zerstört. Die einzig erhaltene Struktur war eine an den Ofen angebaute Mauer, die mit dem Wasserrad in Verbindung gebracht wird. Der Ofen besaß nach Angaben der Ausgräber ursprünglich wohl einen runden Grundriss mit einem Durchmesser von etwa 4,5 Metern. Einige Befunde (u. a. Pfostenlöcher) deuten darauf hin, dass möglicherweise eine Rampe dazu genutzt wurde, den Ofen von oben zu beschicken. Aufgrund des schlechten Gesamtzustands können keine Aussagen zu den Blasebälgen (nur Düsenfragmente [Dm: 4,5 cm] sind erhalten) oder dem Wasserrad gemacht werden.

Schwarze glasige Schlacken mit niedrigem Eisengehalt (2,5–16 % FeO) weisen das indirekte Verfahren (die Berechnungen der max. Temperaturen im Rahmen der Rekonstruktion des Schmelzprozesses ergaben bis zu ca. 1450 °C) aus und machen im Rahmen mineralogischer und chemischer Analysen durch ihre spezi-

[96] Pleiner 2000, 85.

[97] Per Deckel, Lås vid den medeltida Masugnen. Lapphyttan. B-Uppsats i arkeologi vid Sthlms. Universitet Vt-1996, Handledare: Gert Magnusson. http://hem.passagen.se/deckel/lapp/lapp.pdf, abgerufen im Mai 2012.

[98] Tauber/Serneels 1997, Anm. 4; Tauber 2011.

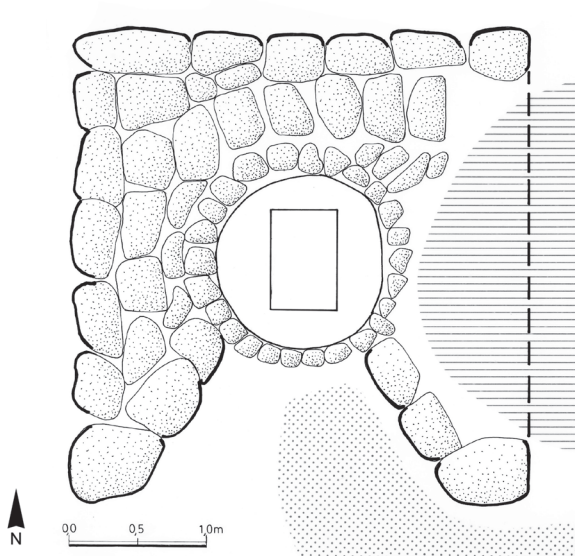


Abb. 6. Lapphyttan, Kirchspiel Karbenninge, Västmanland (Schweden).
Hochofen (Umzeichnung M. Loevenich nach Magnusson 1983).

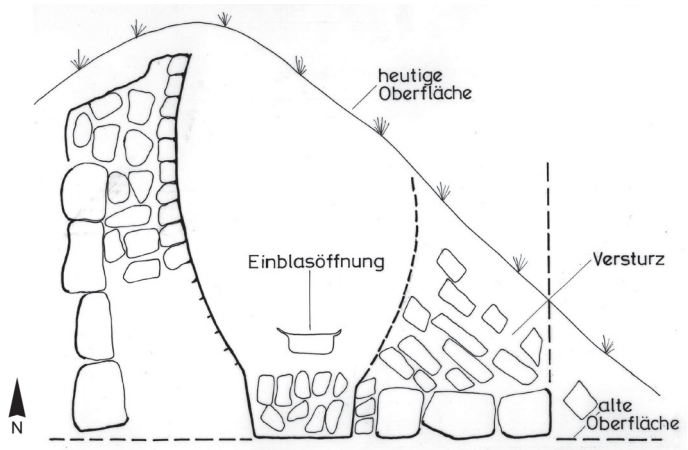


Abb. 7. Lapphyttan, Kirchspiel Karbenninge, Västmanland (Schweden).
Querschnitt durch den Hochofen (Umzeichnung M. Loevenich nach Magnusson 1983).



Abb. 8. Lapphyttan, Kirchspiel Karbenninge, Västmanland (Schweden). Die Ruine des Hochofens nach der Ausgrabung (aus Magnusson 1993).



Abb. 9. Dürstel, Langenbruck (Schweiz). Reste des Floßofens (aus Tauber 2011).



Abb. 10. Dürstel, Langenbruck (Schweiz). Ofen 1 (aus Tauber 2011).



Abb. 11. Dürstel, Langenbruck (Schweiz). Frischherd (aus Tauber 2011).

fischen Anteile an Haupt-, Neben- und Spurenelementen gleichzeitig den Einsatz oolithischer Minette-Erze sehr wahrscheinlich. Beim produzierten Metall handelt es sich regelhaft um hypoeutektoides Eisen mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 2,0–3,0 %.

Innerhalb der Untersuchungsfläche (10 x 18 m) konnten nördlich des Hochofens ein aus verschlackten Kalksteinen aufgebauter Frischherd lokalisiert werden (*Abb. 11*). Diesem Befund werden eisenreiche Schlacken (55–70 % FeO) zugeordnet. In unmittelbarer Nähe dieses Befundes fanden sich ein Granitblock, mutmaßlich ein Amboss, und ein Holzkohledepot, das ebenfalls in Zusammenhang mit dem Frischherd gebracht wurde. Frischherd und Holzkohledepot waren möglicherweise überdacht.

Im Osten der Untersuchungsfläche deuten Funde von Erzbrocken auf ein Erzdepot, wobei die dort aufgefundenen und analysierten oolithischen Erze aufgrund ihres geringen Eisengehalts (nur 15–30 % FeO) eher als Ausschuss zu betrachten sind.

Im Westen wurden Abfälle des Verhüttungsprozesses gelagert. Bemerkenswert ist der Fund eines außerhalb der Untersuchungsfläche gelegenen, deutlich kleineren, ebenfalls teilweise zerstörten Ofens (Ofen 1, Innendurchmesser ca. 60 cm), der von den Ausgräbern zunächst als Rennofen rekonstruiert wurde (*Abb. 10*). Analysen von Schlacken und Metall belegen jedoch für diesen Befund ebenfalls das indirekte Verfahren (Kohlenstoffgehalt des Metalls: 2,3–4,3 %). Aufgrund der stark schwankenden Kohlenstoffgehalte im Metall, der geringen Größe des Ofens und der fehlenden Wasserkraft wird der Ofen beim derzeitigen Kenntnisstand bis auf weiteres von J. Tauber als älterer „Probierofen" interpretiert, der möglicherweise dazu diente, vor dem Bau des größeren Ofens Erfahrungen in der Verhüttung mit dem lokalen Erz zu sammeln.

Nach neuesten Untersuchungen (Anzahl der 14C-Daten: 31) war der jüngere Hochofen wahrscheinlich während des 13.–14. Jahrhunderts in Betrieb. Drei Keramikfragmente datieren in das ausgehende 12. Jahrhundert.

Westdeutschland

In Westdeutschland sind im östlichen Rheinischen Schiefergebirge, im Sauerland und Siegerland einige weitere Hochofenstandorte archäologisch untersucht worden, die den Anlagen aus der Kerspetalsperre (Fundplatz Nr. 105, s. S. 103 ff.) und dem Wippertal (Fundplatz Nr. 90, s. S. 185 ff.) zur Seite gestellt werden können.

Haus Rhade

M. Sönnecken ergrub im Jahr 1967 etwa 200 m oberhalb von Haus Rhade (Stadt Kierspe, Märkischer Kreis, Nordrhein-Westfalen) einen am Oberlauf der Kierspe gelegenen Floßofen.[99] Der Fundplatz ist ca. 3,5 km Luftlinie vom Hochofen in der Jubachtalsperre und ca. 5,8 km Luftlinie vom Standort der Floßöfen aus der Kerspetalsperre entfernt. Der Befund von Haus Rhade war für lange Zeit der erste und einzige Nachweis eines spätmittelalterlichen Hochofens im westdeutschen Raum.[100]

Der äußere Durchmesser der bis zu 80 cm hoch erhaltenen Ofenbasis beträgt 3,5 m bei einer geschätzten ursprünglichen Ofenhöhe von 3,5–4 m (*Abb. 16*). Das Gestell ist auch an diesem Ofen zerstört, so dass keine gesicherten Aussagen über Form und Aufbau getroffen werden konnten (*Abb. 12–14*). Der runde Ofen besaß eine etwa 2 m breite, gerade Brustseite (*Abb. 15*). Der vom Ausgräber rekonstruierte ehemalige Herddurchmesser beträgt etwa 1,10 m. Eingefasst wird der Herd von einem 50 cm mächtigen Raugemäuer, das überwiegend aus in Lehm verlegten Grauwackensandsteinen bestand (*Abb. 16*). Das erhaltene Fundament einer Mauer wurde als Kammerwandrest einer Radstube gedeutet (*Abb. 15*).

Schlacken- und Metallanalysen (durchgeführt von August-Thyssen-Hütte und Stahlwerke Peine-Salzgitter AG) zufolge, die u. a. von B. Osann ausgewertet wurden, handelte es sich um ein Verfahren, bei dem hauptsächlich Roheisen produziert werden sollte.[101] Diese Analyseergebnisse ließen nach Osann aber zusätzlich darauf schließen, dass am Ende der Ofenreise auch noch Schmiedeeisen erzeugt wurde. Ergänzende Schlackenuntersuchungen wurden später von D. Horstmann (s. S. 265 ff.) durchgeführt. Seine Ergebnisse widersprachen jedoch einer wahlweisen Produktion von Roheisen- oder Schmiedeeisen. Horstmann sprach sich daher für „ein mit dem Floßofen gekoppeltes Frischherdverfahren"[102] aus. „Im Bereich des Schmelzofens fand man neben den typischen Floßofen- oder Roheisenschlacken auch solche mit einem hohen Eisengehalt von 31 bis 39 [% Ergänzung durch die Autoren] Fe."[103] Knau und Sönnecken beschreiben diese Schlacken mit hohem Metallgehalt als diejenigen, die zur fälschlichen Annahme einer Schmiedeeisenproduktion im Ofen geführt hätten. „Nahe beim Ofen"[104] wurde manganhaltiges Erz gefunden. Die zugehörige Schlackenhalde konnte nicht mehr aufgefunden werden; sie war offenbar bereits vor Beginn der Ausgrabung abgetragen worden.

[99] Diese Kampagne zog mit ihren überraschenden und völlig neuartigen Ergebnissen eine Reihe weiterer Ausgrabungen und Untersuchungen im märkischen Raum nach sich, die das bisher noch unvollständige Bild der frühen Hochöfen und ihrer technischen Entwicklung in dieser Region erweitern sollten. Siehe dazu u. a.: Knau/Sönnecken 1986; 1987; 1989.

[100] Sönnecken 1977, 18 ff.
[101] Knau/Sönnecken 1994c, 480–481.
[102] Ebd. 481.
[103] Knau/Sönnecken 1994a, 262.
[104] Ebd. 262.



Abb. 12. Haus Rhade, Stadt Kierspe. Der Ofen mit ausgeräumtem Innenraum. Im Vordergrund der sog. Ofenvorplatz (Foto M. Sönnecken, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 13. Haus Rhade, Stadt Kierspe. Querschnitt durch den Innenraum mit anschließendem Raugemäuer (Foto M. Sönnecken, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 14. Haus Rhade, Stadt Kierspe, Schnitt durch das Ofeninnere (Foto M. Sönnecken, aus Knau/Potyka 1994).

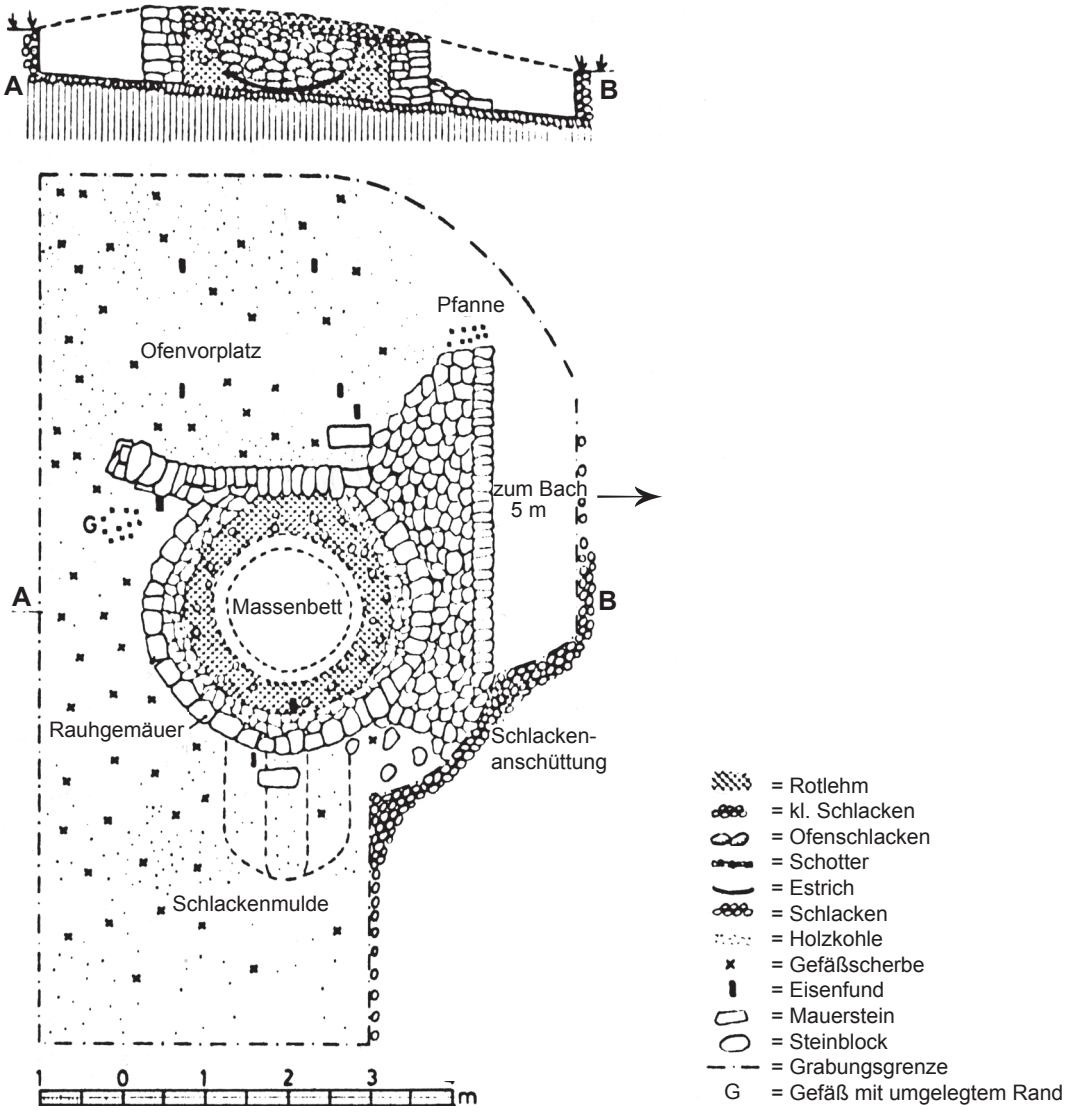


Abb. 15. Haus Rhade, Stadt Kierspe. Der Grabungsbefund von 1967 nach einem Entwurf von M. Sönnecken (aus Knau/Potyka 1994).

Ausgehend von einem Stauteich in etwa 200 Meter Entfernung zum Hüttenplatz könnte das Wasserrad über ein hölzernes Gerinne betrieben worden sein. Ein verfallener Obergraben war in ca. 25 m Entfernung vom Ofenstandort im Gelände noch zu erkennen. Auf der anderen Bachseite befand sich in unmittelbarer Nähe die ehemalige Gutsschmiede von dem erstmals im Jahre 1003 urkundlich erwähnten Adelssitz Haus Rhade, die anhand von Keramikfunden in den Zeitabschnitt zwischen dem 12./13.–14./15 Jahrhundert zu datieren war. Aufgrund dieser Zeitstellung sowie „schwerer und leichten Schlacken" erkannten Knau/Sönnecken „einen engen Zusammenhang mit dem Floßofen".[105] Allerdings räumten sie ein, dass ein Frischen von Roheisen anhand der Befunde aus der Schmiede archäologisch nicht belegt werden kann. Ob die vor Ort gefundenen Erze aus dem Bergbaugebiet „In den Kuhlen" unweit der Fundstelle stammen, ist unklar. Obwohl Bergbau dort erst für das 17. Jahrhundert schriftlich überliefert ist, vermuteten Knau/Sönnecken „eine Parallelität zur Technik und zum Erzbedarf eines Floßofens".[106]

Der Floßofen von Haus Rhade produzierte (nach spätmittelalterlichen Keramikfunden und einer 14C-Datierung in der Zeit zwischen ca. 1270 und 1400) ausschließlich Roheisen.[107] Durch die Nähe der Ofenanlage zum Adelssitz Haus Rhade sehen Knau/Sönnecken eine mögliche grundherrschaftliche Verbindung zu den Grafen von der Mark.[108]

[105] Knau/Sönnecken 1994a, 263.
[106] Ebd. 265.
[107] Sönnecken 1968, 43.
[108] Hartmann 1938.

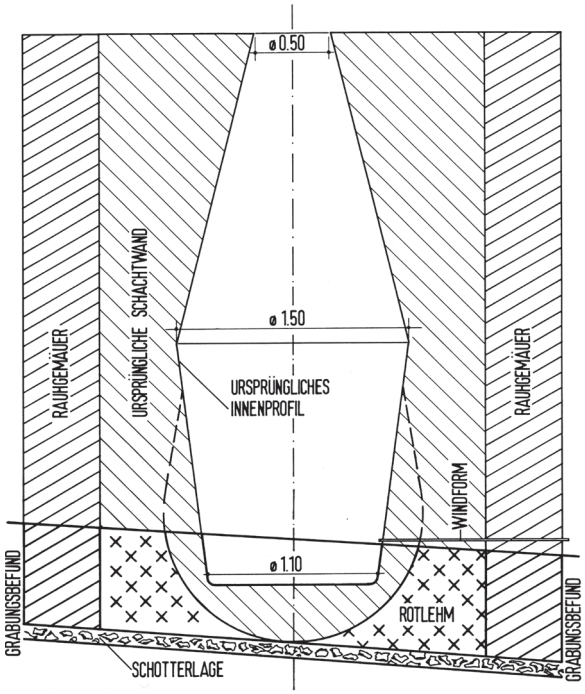


Abb. 16. Haus Rhade, Stadt Kierspe. Rekonstruktion des Ofens nach B. Osann (aus Knau/Potyka 1994).

Jubachtalsperre

Im Jahre 1992 wurde während Sanierungsarbeiten das Wasser aus der Jubachtalsperre abgelassen. Am Rande des einstigen Jubaches wurde eine mächtige Hochofenruine sichtbar, die jedoch aufgrund widriger Umstände nur zwei Wochen lang im Rahmen einer Rettungsmaßnahme von M. Sönnecken und H. L. Knau dokumentiert werden konnte (s. S. 22 *Abb. 1*).[109]

Der Ofen besitzt einen fast rechteckigen Grundriss (Außenmaße der Ofenbasis ca. 4,5 x 5 m) und ein 1,5–1,6 m starkes Raugemäuer (*Abb. 20, 21*). Die Außenfront des Trockenmauerwerks bestand aus mächtigen Steinquadern, die Innenfront aus kleineren, in Lehm verlegten länglichen Steinen. Den Zwischenraum füllte Lehm, in den zumeist längliche Steine eingebracht waren. Die sich trichterförmig öffnende Frontmauer war aus zentnerschweren Steinen erbaut (*Abb. 23, 24*). Der Ofeninnenraum mit einer lichten Weite von 1,7 m war vollständig zerstört und ausgeräumt, so dass auch in diesem Fall keine größeren Teile des Gestells erhalten sind. An der Rückseite war der Ofen ohne hintere Stützmauer in den Hang gebaut worden; von dort aus erfolgte wohl die Beschickung. Im Bereich der Ofenbrust sind nur einzelne Basissteine erhalten, die eine gesicherte Rekonstruktion des Brustgewölbes nicht zulassen. Der Bereich des Ofens, in dem die Einblasöffnung, d. h. der Formkanal vermutet wurde, war vollständig verstürzt. Die ehemalige Höhe des Ofens wird mit ca. 5 m rekonstruiert.

Überwiegend schwarze, glasig erstarrte Schlacken mit charakteristisch niedrigem Eisengehalt belegen im Rahmen chemisch-mineralogischer Analysen das Roheisenverfahren. Stark eisenhaltige Schlacken und Schlackenkalotten deuten als typische Verarbeitungsschlacken auf die Weiterverarbeitung des Roheisens vor Ort. Innerhalb der Haldenschüttung und neben der eigentlichen Halde fanden sich Schlackenstücke, die von den Ausgräbern als zerschlagen bzw. gepocht interpretiert worden sind. Ausgewählte Schlacken- und Metallproben wurden analysiert.[110] Dabei ergab sich ein FeO-Gehalt der Verhüttungsschlacken zwischen 10–20 Gew.-%. Th. Rehren und M. Ganzelewski wiesen neben einem niedrigen Phosphor- und Magnesiumgehalt besonders auf den niedrigen Kalkgehalt der Schlacken hin. Im Gegensatz zu anderen Eisenlandschaften sei Kalk als Flussmittel demnach nicht eingesetzt worden, um die Eisenausbringung zu verbessern. Aufgrund der Schlackenchemie ließ sich eine Bildungstemperatur der analysierten Verhüttungsschlacken von etwa 1400 °C angeben.

Die von Knau und Sönnecken als Frischschlacken angesprochenen Objekte unterscheiden sich deutlich von den Verhüttungsschlacken. Dies belegen ein FeO-Gehalt von mehr als 85 Gew.-% und ein SiO_2-Gehalt von weniger als 10 Gew.-% (gegenüber 56,6 und 51,9 Gew.-% SiO_2 bei den Verhüttungsschlacken). Ein massives Stück Roheisen, das nahe dem Ofen gefunden wurde, enthält mehr als 3 Gew.-% C (graues Roheisen) (*Abb. 22*). Ein rechteckiger Barren aus Schmiedeeisen (Länge: 10 cm; Breite: 2,5 cm) ist ein Oberflächenfund aus der Schmiede- und Frischzone (*Abb. 17*). Zusammenfassend weisen Rehren/Ganzelewski darauf hin, dass an diesem Fundplatz sämtliche Verarbeitungsschritte von der Roheisenproduktion über das Frischen bis hin zum Schmiedeeisen nachgewiesen sind.

Ein der Wasserzuführung dienender Obergraben war im Gelände noch erkennbar und belegt die ehemalige Existenz eines Wasserrades zum Antrieb der Blasebälge. Mit der primären Verhüttung im Hochofen ist darüber hinaus noch eine zugehörige, mit Gestellresten aus verziegeltem Ton durchsetzte Schlackenhalde zu verbinden, die unmittelbar neben dem Ofen lag (*Abb. 19*). Ein Holzkohlelager konnte ebenfalls identifiziert werden; ein Erzlager fand sich nicht. Es wird allerdings von den Ausgräbern in einem zum Zeitpunkt der Notgrabung nicht erschließbaren Teil der Untersuchungsfläche vermutet.

In etwa 2 m Entfernung von der Haupthalde befand sich eine etwa 1 m mächtige Schlackenschicht aus regelhaft zerkleinerten, wahrscheinlich gepochten Schla-

[109] Sönnecken/Knau 1994, 441–446.

[110] Rehren/Ganzelewski 1995.

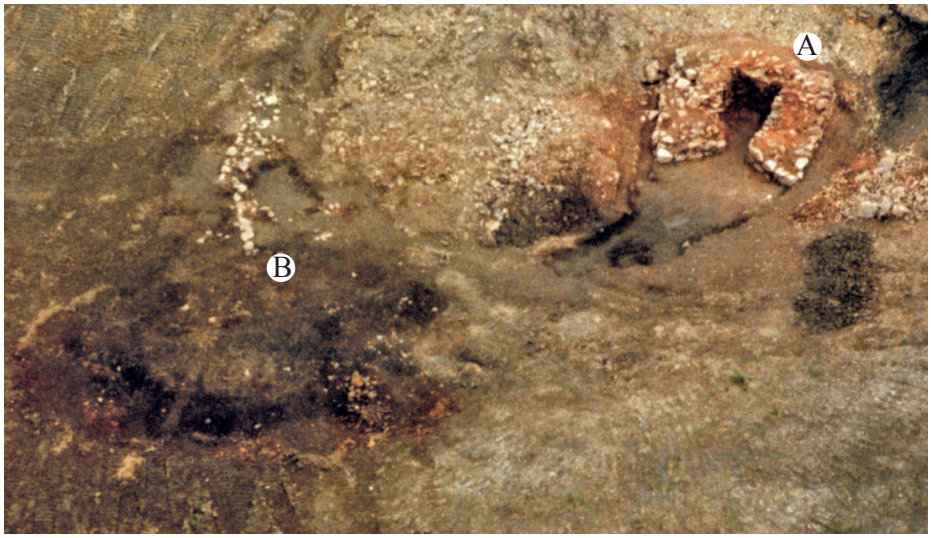


Abb. 17. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Ofen mit Holzkohlelager und Schlackenhalde (A). Der Frisch- und Schmiedeplatz (B) ist als dunkel verfärbte Zone am linken Bildrand zu erkennen (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 18. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Gesamtansicht der im Rahmen der Notgrabung geöffneten Fläche: Im Zentrum der Ofen, am linken Bildrand der Frisch- und Schmiedeplatz, am rechten Bildrand die Schlackenhalde, oberhalb des Ofens das Holzkohlelager (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).

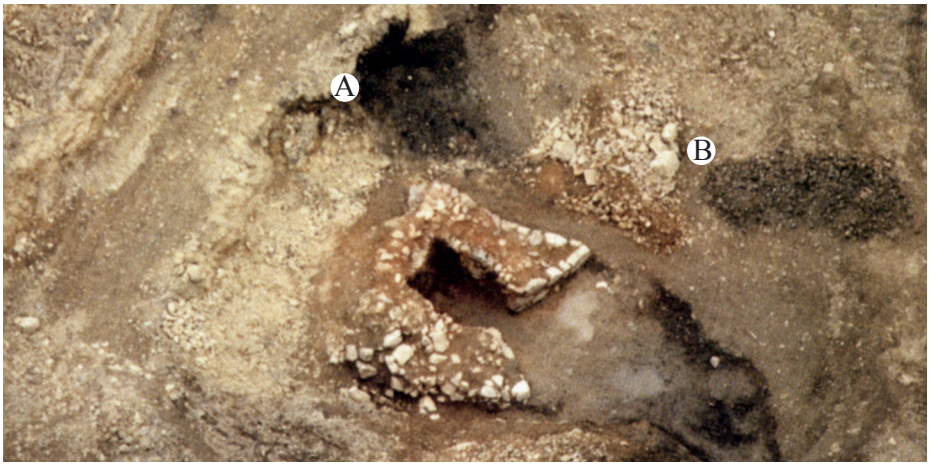


Abb. 19. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Der Ofen mit zugehörigem Holzkohlelager (oberhalb des Ofens) (A) und Schlackenhalde (B) (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 20. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Blick auf die zerstörte Ofenbrust (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 21. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Deutlich ist der Aufbau der Ofenwand, bestehend aus einer Lehmfüllung mit umgebendem Raugemäuer zu erkennen. Auf seiner linken Seite ist der Ofen verstürzt. Auf der Rückseite war kein äußeres Raugemäuer vorhanden (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).



Abb. 22. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Vorgefrischtes Stück Roheisen aus dem Grabungsbefund (Foto R. Potyka, aus Knau/Potyka 1994).

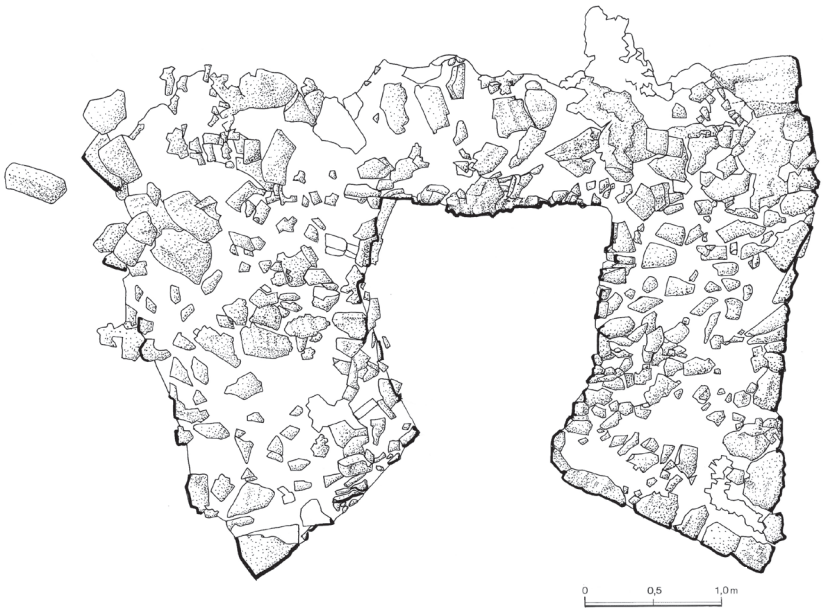


Abb. 23. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Der Ofen in der Draufsicht (Umzeichnung M. Loevenich nach Abb. 21).

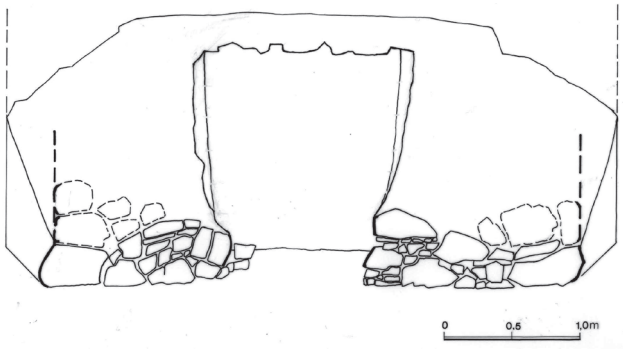


Abb. 24. Jubachtalsperre, Stadt Kierspe. Die Brustseite des Ofens (Umzeichnung M. Loevenich nach Abb. 20).

cken, die von den Ausgräbern als möglicher Zuschlag angesprochen worden ist. Einige Meter entfernt wurde vor der Ofenbrust und leicht seitlich versetzt ein etwa 10 x 10 m großer Frisch- und Schmiedeplatz entdeckt (*Abb. 17–18*). Unterschiedliche Verarbeitungsschlacken (u. a. Kalottenschlacke, Hammerschlag, eisenreiche Schlacke) belegen zusammen mit verarbeitetem Metall verschiedene Verfahrensschritte. Insgesamt konnten sechs Frischherde mit Steinringen und verschiedene Schmiedestellen (u. a. Hammerschlagkonzentration) identifiziert werden. Eine eingehende Dokumentation dieser Befunde war jedoch im Rahmen der Rettungsgrabung nicht mehr möglich. Im Bereich des Frisch- und Schmiedeplatzes konnten allerdings noch „Mauerreste von Schuppen oder Werkstätten" freigelegt werden. Ein ebenfalls im Bereich des Frisch- und Schmiedeplatzes aufgefundenes, größeres, vorgefrischtes (Bruch-)Stück Roheisen in Barrenform zeigt an, dass Roheisen vor der Ofenbrust in ein Masselbett abgestochen und im Anschluss die Masseln zerschlagen worden sind (*Abb. 22*). Das produzierte Roheisen enthielt 2 Massen-% C, ca. 2,5 Massen-% SiO_2, 0,5–0,6 Massen-% Mn sowie ca. 1,5 Massen-% P_2O_5 und etwas S. Die von D. Horstmann und F. Toussaint durchgeführten metallografischen Untersuchungen belegen außerdem, „daß der Kohlenstoff ausschließlich als Graphit vorliegt, und zwar nicht nur in Form des Lamellengraphits, sondern daneben auch als Kugelgraphit", ein Befund, der von den Bearbeitern auf das spezifische vor Ort eingesetzte Frischverfahren zurückgeführt wird.

Über Keramikfunde, die aus den oberen Bodenschichten stammen, wurde der Ofen in das 14./15. Jahrhundert datiert, wobei nach Ansicht der Ausgräber die Aufgabe der Eisenhütte im 15. Jahrhundert erfolgte.

Kierspe-Wehe

Aufgrund seines ruinösen Erhaltungszustands ist über den Floßofen am Wehe-Bach in der Bauernschaft Wehe (Stadt Kierspe, Märkischer Kreis) kaum etwas bekannt.[111] Der Ofen selbst ist bis auf einige Steine vom Raugemäuer und Lehmfragmente vom Ofenschacht so stark verfallen, dass sich keine Befunde *in situ* dokumentieren ließen. Gefunden wurden u. a. zahlreiche glasige Schlacken und Holzkohlen. Keramikfunde datieren die Anlage in das 14.–16. Jahrhundert.

Hemecke

Ca. 3,8 km nordöstlich der Stadt Kierspe konnten an einem Zufluss der Kierspe in Hemecke (Stadt Kierspe, Märkischer Kreis) die Reste eines Floßofens lokalisiert werden, von dem nur wenige Teile des Raugemäuers übrig waren.[112] Immerhin ließ sich der Grundriss des Ofens mit 3–3,5 m Fläche angeben; seine ursprüngliche Höhe wird auf ca. 3,5 m rekonstruiert. Neben der mittlerweile teilweise abgefahrenen Halde aus glasigen Schlacken war der Wassergraben noch erkennbar. Die Betriebszeit wird vom späten 13. Jahrhundert bis zum 14./15. Jahrhundert angegeben.[113]

Olsberg-Assinghausen

Im Rahmen einer Rettungsgrabung wurde im Jahr 1983 in Olsberg-Assinghausen (Hochsauerlandkreis, Nordrhein-Westfalen) ein Floßofen ausgegraben.[114] Die Ruine des „im Grundriss ovalen" Schmelzofens (*Abb. 27*) war noch bis zu einer Höhe von etwa 0,80–1,20 m erhalten. Der Ofen war raugemauert aus bis zu 50 cm mächtigen, „schlecht in Lehm verlegten Bruchsteinen". Der Ofenschacht verjüngte sich „trichterförmig" zur Basis, die „von einem großen Stein abgeschlossen wurde". Das etwa 24 x 25 cm große Einblasloch/Formkanal war in der im Inneren stark verschlackten, vollständig aus Lehm aufbauten Ofenwand erhalten. Seitlich des Ofens verlief eine aus senkrecht gestellten flachen Platten und waagerecht liegenden Deckplatten angelegte Drainage, die jedoch einer „älteren Bauphase" (von einem früheren Ofen?) zugeschrieben wurde (*Abb. 25–26*). Im näheren Umfeld des Floßofens fanden sich brandgerötete „Steinkonzentrationen" und große „Flächen mit Holzkohleschichten", offenbar Reste des ehemaligen Holzkohlestapels. Obwohl die Anlage aufgrund fehlender Funde nicht sicher datiert werden kann, wird ein „frühneuzeitliches Alter" angenommen.



Abb. 25. Olsberg-Assinghausen, Hochsauerlandkreis. Drainagekanal mit Abdeckplatten (aus Heidinger 1983).



Abb. 26. Olsberg-Assinghausen, Hochsauerlandkreis. Drainagekanäle ohne Abdeckplatten (aus Heidinger 1983).

[111] Sönnecken 1975; Sönnecken/Knau 1994, 431 ff.
[112] Dies. 1994, 430 f.
[113] Sönnecken 1973, 14.
[114] Heidinger 1983, 160 f.



Abb. 27. Olsberg-Assinghausen, Hochsauerlandkreis. Blick in das Ofeninnere während der Ausgrabung (aus Heidinger 1983).



Abb. 28. Wissen, Kreis Altenkirchen. Blick von Südosten auf die Abstichseite (aus Weber 2004).



Abb. 29. Wissen, Kreis Altenkirchen. Blick von Osten auf die Blaseseite (aus Weber 2004).

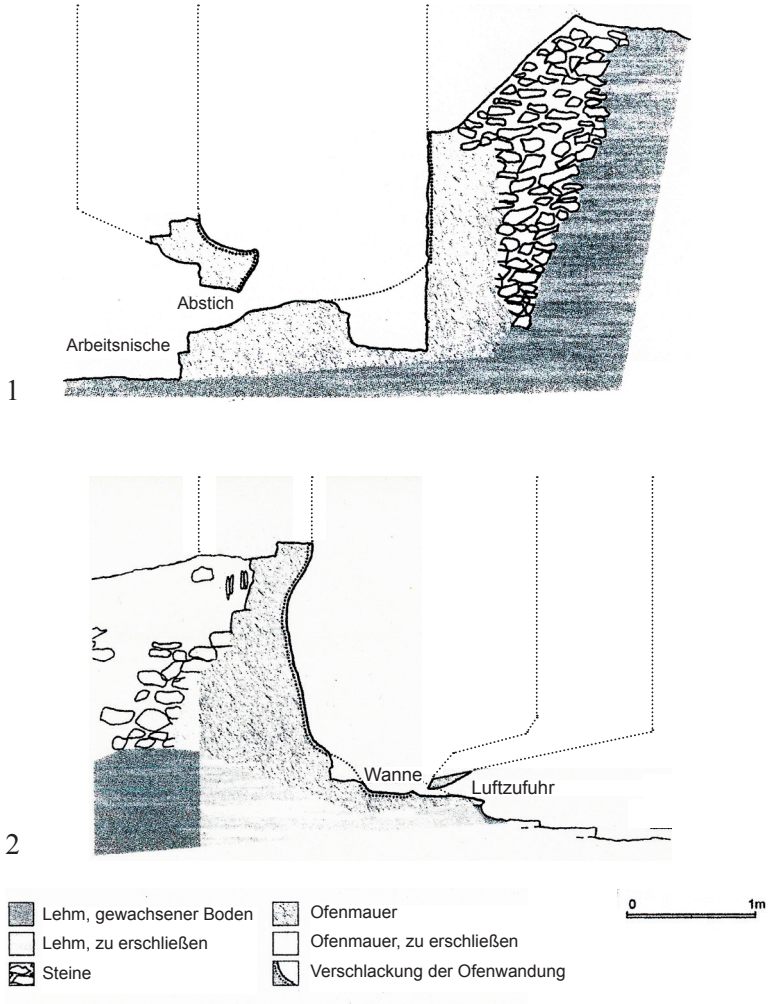


Abb. 30. Wissen, Kreis Altenkirchen. 1: Nord-Süd-Profil durch den Ofen; 2: Ost-West-Profil durch den Ofen (aus Weber 2004).

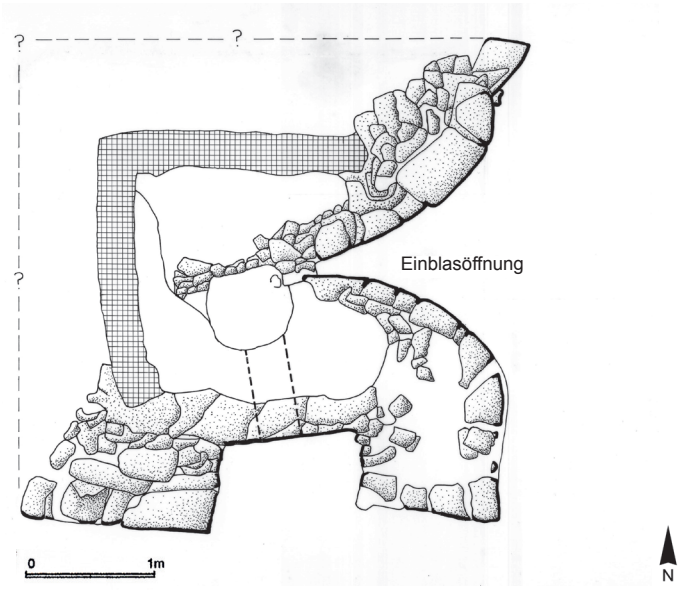


Abb. 31. Wissen, Kreis Altenkirchen. Der Ofen (Umzeichnung M. Loevenich nach Weber 2004).

Wissen

In Wissen (Kr. Altenkirchen [Westerwald], Nordrhein-Westfalen) wurde bereits im Jahre 1889 am linken Ufer des Wisserbaches, eines Nebenflüsschens der Sieg, der Standort eines frühen Hochofens erfasst und im Zuge von Nachgrabungen 1989/1990 untersucht (*Abb. 28, 29*).[115]

Bei annähernd quadratischer Grundform messen die Außenseiten der Anlage 3,60 x 3,70 m. Der raugemauerte Ofen wurde mit seiner Hinterseite in einen Hang gebaut. Die Weite des nahezu quadratischen Innenraumes betrug 1,70 m (*Abb. 30*). Die ehemalige Höhe des Ofens kann mit etwa 3 m rekonstruiert werden. Im Osten liegt die flügelartige Blaseseite mit der erhaltenen Einblasöffnung (Dm. 15 cm) (*Abb. 31*); im Süden die Brust-/Stichseite mit der Abstichöffnung (20 x 30 cm). Trotz des ungewöhnlich großen Schmelzraumes ist der Ofen insgesamt vergleichsweise klein und niedrig. Diese Merkmale könnten für eine relativ frühe Datierung, evtl. in das 14./15. Jahrhundert sprechen. Sicher ist dieser Ofen älter als die im Jahre 1774 gegründete „alte Hütte" von Wissen.

Aussagen zum Verhüttungsprozess sind aufgrund fehlender Schlacken- und Metallfunde im Rahmen einer modernen Nachgrabung 1989/90 nicht zu treffen. Ein Nachweis des Roheisenverfahrens ist lediglich anhand von Indizien zu führen.

Frankreich

Glinet

Frühe Floßöfen/Hochöfen sind aus Frankreich für das Spätmittelalter mehrfach urkundlich belegt, archäologisch ist jedoch bisher nur die Anlage von Glinet (Gem. Compainville, Dép. Seine-Maritime, Normandie) in den Jahren 1992–2000 erforscht worden (*Abb. 32*).[116] Es liegt noch keine abschließende Publikation vor.

Die Eisenhütte wurde im oberen Abschnitt des Béthune-Tals errichtet. Die Region gehört zum Pays de Bray, eine bis in die vorrömische Eisenzeit zurückreichende Landschaft mit intensiver Eisenverhüttung.

Vom Ofen ist lediglich der untere Bereich einer trapezoiden Ofenbasis erhalten, das Ofeninnere ist nahezu vollständig zerstört. Glasig verschmolzene Reste werden als Hinweis auf eine letzte missglückte Ofenreise gedeutet. Nur der hintere Teil des Ofens ist überliefert. Er besteht aus großen Sandsteinblöcken, die Ofenwand aus einem äußeren Raugemäuer mit einem Kern aus Lehm. Durch eine Öffnung in der Seitenwand wurde Wind in den Ofen eingeblasen. Die Rückseite des in den Hang gebauten Ofens ist etwa 5 m lang, die Brustseite hingegen etwa 6,5 m. Der Roheisenabstich wurde auf derselben Seite vorgenommen, auf der sich auch das Wasserrad befand.

Metallografische Untersuchungen verschiedener Produkten der Eisenhütte belegen das indirekte Verfahren. Als Metall sind sowohl phosphorreiches Roheisen als auch gefrischtes phosphorreiches Eisen belegt, das nahezu frei von Kohlenstoff ist. Die Rohstoffbasis bildeten Erze aus der Kreideformation (sog. „Wealdian") des Pays de Bray.

Zum Hochofen gehörte ein Hammerwerk, in dem das produzierte Roheisen vor Ort weiterverarbeitet werden konnte. Wasser zum Antrieb der Blasebälge und des Hammers wurde aus einem ca. 7 ha großen Stauteich herangeführt. Überreste des hydraulischen Hammers konnten in den Jahren 2003–2010 ergraben werden. Zwei Herde – „*finery*" und „*chafery*" – gehörten zu dieser Anlage die in ihrer Ausprägung typisch für das Walloon-Verfahren ist, das sich seit dem 15. Jahrhundert in Europa verbreitete. Der letztgenannte Herd war ebenerdig angelegt und von großen Steinen eingefasst. Von ersterem ist hingegen nichts mehr erhalten, lediglich Pfostenspuren lassen einen Kaminaufbau, und ein hölzernes Balggerüst vermuten. Den Ausgräbern zufolge bestand dieser Herd, vor dem sich außerdem Spuren eines kleinen Ambosses fanden, ausschließlich aus Lehm. Pfostenlöcher deuten auf weitere Anbauten. Am Hammerwerk sind neben der Radstube die Überreste einer Konstruktion aus Eichenholz für einen hydraulischen Hammer („*marteau à drôme*") überliefert. Dieser Hammer schlug auf einen teilweise erhaltenen massiven Amboss aus Holz.

Dank der guten Erhaltungsbedingungen konnten verschiedene Hölzer dendrochronologisch datiert werden. Die Hölzer der zum Hochofen gehörenden Radstube stammen demnach aus den 1480er Jahren; dies deckt sich mit überlieferten Schriftquellen, die eine Betriebszeit des Ofens für die Jahre 1486–1564 belegen. Das Hammerwerk wurde in den 1530er Jahren errichtet und 1558 erneuert. Holzreste eines älteren Ambosses belegen eine vorausgegangene Betriebsphase, die in die 1480er Jahre datiert.

Nordwesteuropa

Mit den kontinentalen Befunden vergleichbare Hochöfen sind aus England überliefert. Die Tradition der britischen „*blast furnaces*" beginnt im frühen 16. Jahrhundert. Besonders aus Südengland sind einige Hochöfen im archäologischen Befund überliefert. Die bisher bekannten Befunde bestätigen die Annahme, dass die Roh-

[115] Knaff 1911; Weber 1993; Willms 1997a, 11.

[116] Arribet-Deroin 1997; ders. 2001, 799; Dillmann et al. 2007; mündl. Mitteilung Ph. Dillmann während der Konferenz „Metallurgy – a touchstone for cross-cultural interaction" vom 28.–30. April 2005 im Britischen Museum London; Arribet-Deroin 2011, 71–72.



Abb. 32. Glinet bei Compainville, Normandie (Frankreich). Blick auf die Abstichseite des Ofens (aus Arribet-Deroin 2011).

eisentechnologie Englands auf die Vermittlung des europäischen Festlandes zu Beginn des 16. Jahrhunderts zurückgeht.[117] Der Vergleich der Befunde z. B. aus Wissen, Kr. Altenkirchen (*Abb. 28–31*), und aus England deutet eine möglicherweise einheitliche europäische Bauform an. H. Kellenbenz geht von einer Vermittlung durch deutsche und wallonische Hüttenmeister aus.[118]

England

Chingley

Der Hochofen von Chingley (Kent, Südostengland) liegt südlich von Lamberhurst am Rande des ausgedehnten Chingley Wood in einem engen Talabschnitt unmittelbar am Fluss Bewl, der u. a. die Grenze zwischen den Grafschaften Kent und Sussex markiert.[119] Der von D. W. Crossley untersuchte Ofenstandort wurde bewusst in einem besonders engen Talabschnitt gewählt (*Abb. 33*). So bot sich den Betreibern die Möglichkeit einen kurzen Staudamm aufzuschütten. Unmittelbar hinter dem Damm wurde am Fuß eines Hanges eine künstliche Plattform geschaffen, um darauf den Ofen zu errichten. Nur wenige hundert Meter entfernt befindet sich nordöstlich die Fundstelle der Chingley Forge, ebenfalls mit einem eigenen Stauteich.

Die Ausgrabungen beschränkten sich ausschließlich auf den Ofen selbst und sein unmittelbares Umfeld. Erfasst wurden daher z. B. die Radstube, der Standort des Gebläses (*Abb. 36, 37*) sowie in unmittelbarer Ofennähe der Verlauf des holzarmierten Kanals zum Antrieb eines Wasserrades und der äußere Rand einer südlich vor dem Abstich gelegenen Schlackenhalde (*Abb. 34*).

Der vollständig raugemauerte Ofen besaß einen quadratischen Grundriss. Einblasöffnung und Blasebälge waren rechtwinklig zum Abstich auf der Ostseite angebracht. Der Abstich befand sich auf der Südseite (*Abb. 35*). Mit ca. 5,5 x 5,5 m ist der Ofen freistehend und bis zu einer Höhe von ca. 1,3–2,4 m erhalten. Seine ehemalige Höhe wird mit ca. 4,6–5,5 m rekonstruiert. Der Ofen verfügte über ein Holzgerüst; an jeder der vier Ecken war ein Pfosten verankert. Der wahrscheinlich ehemals ovale Herd ist stark beschädigt und wurde – wie Crossley anhand des Befundes vermutet – mehrfach ausgebessert bzw. erneuert; nur der nördliche Teil ist erhalten. Die Ofenbrust ist hingegen vollkommen zerstört. Im Querschnitt durch den erhaltenen Teil wird deutlich, dass sich die Weite des Ofens zum Herdboden offenbar immer weiter verringert (*Abb. 36*). Die Grabungsfotos zeigen, dass die lichte Weite einschließlich der starken Verschlackung der Innenwand ca. 53 cm oberhalb der erhaltenen Basis lediglich ca. 33 cm betrug, leider können aufgrund des insgesamt schlechten Erhaltungszustandes kaum gesicherte Aussage zur ursprünglichen Form des Herdes gemacht werden.

Unterhalb der Ofenbasis befand sich eine einfache, in den Untergrund eingegrabene Drainage ohne stützende Einbauten. Es handelte sich insgesamt um zwei Kanäle, die in südlicher Richtung verliefen. Vor dem Abstich konnten keine Masselbetten o. Ä. festgestellt werden; lediglich eine mehrere Zentimeter mächtige Sandschicht im Bereich des ehemaligen Abstichs sowie verlagerter

[117] Craddock 1997.
[118] Kellenbenz 1974.
[119] Crossley 1975.

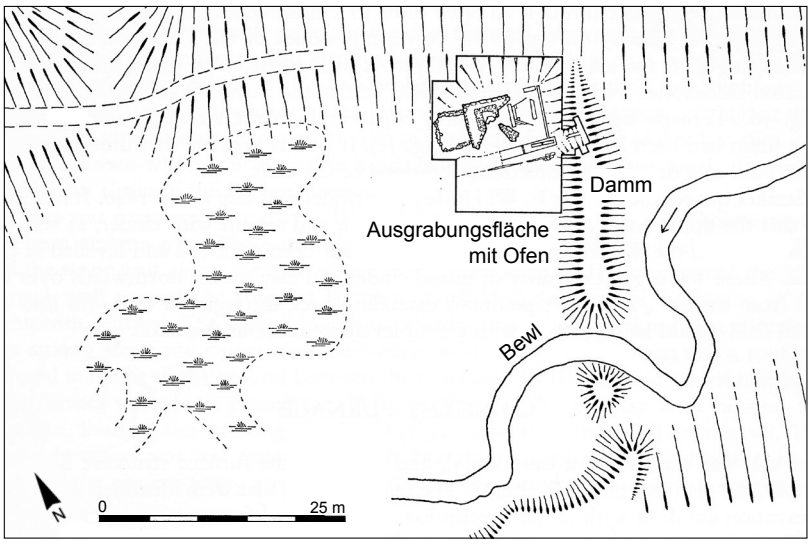


Abb. 33. Chingley, Kent. Lageplan der Ausgrabungsfläche (nach Crossley 1975).

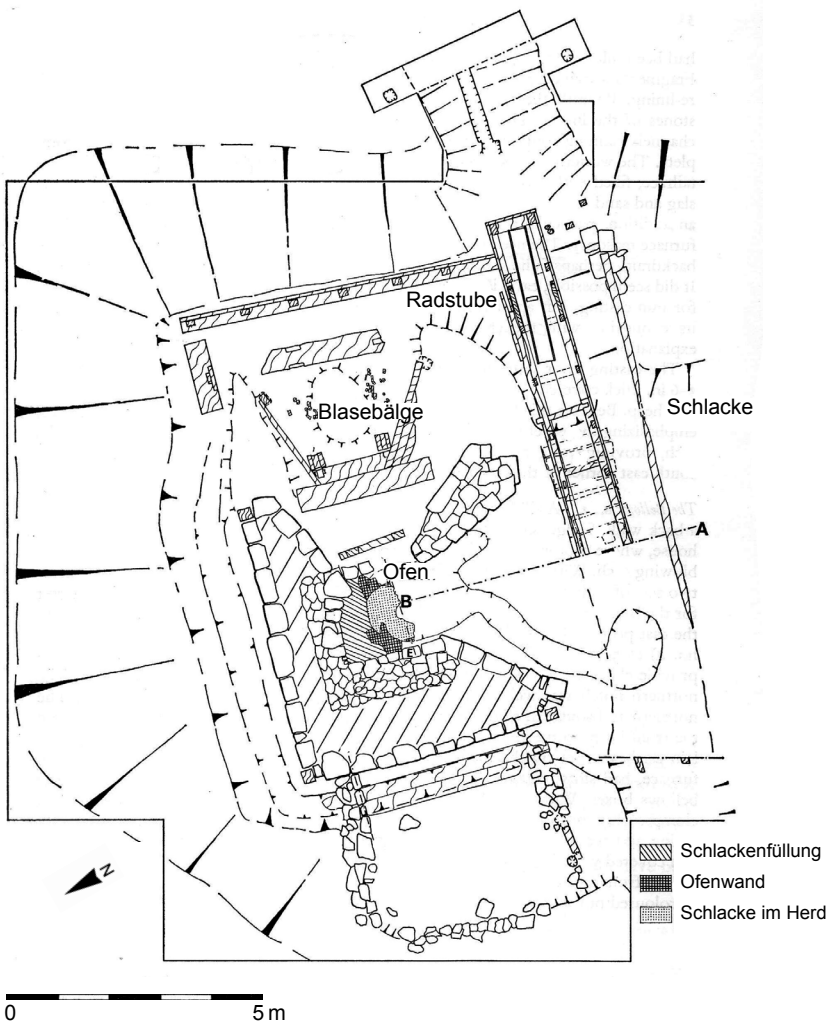


Abb. 34. Chingley, Kent. Plan der Ofenanlage (nach Crossley 1975).



Abb. 37. Chingley, Kent. Wasserrad während der Ausgrabung (aus Crossley 1975).



Abb. 38. Chingley, Kent. Blick von Südost auf die Reste des Balggerüsts (aus Crossley 1975).

Sand werden von Crossley als Hinweis darauf interpretiert, dass in diesem Bereich Roheisen aus dem Ofen abgelassen worden ist. Zudem sind Teile eines holzgefassten Gerinnes, des Wasserrades und der Blasebälge erhalten. Die paarig betriebenen Blasebälge wurden durch eine Holzkonstruktion überdacht und so gegen die Witterung geschützt. Bemerkenswert ist die außergewöhnlich gute Holzerhaltung aufgrund des hohen Grundwasserstands. Neben dem Kanal, über den Wasser auf das Rad geleitet werden konnte, waren Teile der die Blasebälge umgebenden Konstruktion (einige Fragmente aus Eichenholz wurden unter Vorbehalt als Teile der Blasebälge angespochen)[120], die Radstube und sogar Teile des oberschlächtigen Wasserrads jeweils teilweise erhalten.

Der Durchmesser des Wasserrads wird von Crossley anhand eines erhaltenen Fragments mit ca. 3,4 m rekonstruiert. Nach Berechnungen von P. Strange lieferte das Rad eine Antriebskraft von 0,9 kW.[121]

Zahlreiche Funde belegen die Arbeiten am Ofen. Bemerkenswert sind die zahlreichen Nägel und Lederfragmente, die im Bereich der wartungsintensiven Blasebälge gefunden worden sind und von deren zahlreichen Ausbesserungen zeugen (mindestens einen Vorgänger des Wasserrades muss es gegeben haben). Über Erz-

[120] Crossley 1975, 43.

[121] Ebd. 42.



Abb. 35. Chingley, Kent. Blick von Süden auf den Ofen (aus Crossley 1975).



Abb. 36. Chingley, Kent. Schnitt durch den Schmelzraum des Ofens (aus Crossley 1975).

funde ist nichts bekannt, aber Crossley weist in diesem Zusammenhang auf die benachbarten Tagebaue (Pingen) von Pit Shaw hin.[122] Bemerkenswert ist der Fund einer Luppe aus Schmiedeeisen, die nach Analysen von R. F Tylecote ehemals im direkten Verfahren produziert, im unteren Teil der Radstube gefunden wurde.[123] Die Interpretation dieses Fundes bereitet Schwierigkeiten, wurde aber auf das Vorhandensein bisher nicht bekannter, älterer Öfen in der unmittelbaren Umgebung oder auf bisher nicht erkannte Frischherde zurückgeführt. Neben verschiedenen Eisenobjekten wurde ein kleiner Kessel aus Gusseisen gefunden. Die von Tylecote durchgeführte Analyse des Metalls ergab für den Kessel ein sehr hartes (700 HV 5) weißes Gusseisen.[124] Ob der Kessel in Zusammenhang mit dem Ofen steht bleibt unklar. Erz- und Schlackenfunde wurden von Crossley nicht beschrieben. Demzufolge fehlen entsprechende Analysen. Auch Aussagen über die Art und Qualität des im Ofen produzierten Metalls können mangels fehlender Analysen nicht gemacht werden.

Obwohl es Hinweise auf bauliche Veränderungen am Ofen gibt, lässt sich seine Betriebszeit auf einen

[122] Crossley 1975, 1.
[123] Ebd. 58 f.
[124] Ebd. 95.

engen Zeitraum festlegen. Der Zustand, der während der Ausgrabung dokumentiert wurde, entspricht also demjenigen, der durch die Datierungen (Schriftquellen und Funde) belegt ist. Vorgängeröfen, die sich in ihrer Konstruktions- und evtl. Funktionsweise deutlich unterscheiden, existieren offenbar an diesem Fundplatz nicht.[125] Crossley bezieht sich auf verschiedene Schriftquellen (u. a. Robertsbridge Steelworks accounts) und datiert die Errichtung der Eisenhütte in die Zeit zwischen 1558–1565. Im Jahr 1574 ist die Anlage im Eigentum von Thomas Darell (dem Jüngeren) und wird von Thomas Dyke of Horsmonden betrieben. Der Hochofen von Chingley wurde schließlich 1588 endgültig ausgeblasen.

Aus dem England des 16. Jahrhunderts liegen noch weitere Beispiele für frühe Hochöfen vor (z. B. Panningridge [Sussex][126], Stocksfield [Northumberland][127]); der Ofen von Chingley soll an dieser Stelle jedoch als aussagefähigstes Beispiel genügen und den zeitlichen Abschluss der in dieser Arbeit behandelten historischen Ofenbefunde markieren.

VERGLEICHENDE ZUSAMMENSCHAU

Die folgende Zusammenschau der derzeit erforschten Standorte von hoch- und spätmittelalterlichen Floß- bzw. Hochöfen beschränkt sich schwerpunktmäßig auf archäologische Befunde; sie kann beim aktuellen Forschungsstand, der sich in seinen Anfängen befindet, keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben oder gar einen bestimmten Innovationsherd für die neue Eisentechnologie lokalisieren. Auch eine detaillierte Betrachtung der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung von Erzen, Schlacken und Metall soll daher an dieser Stelle unterbleiben.

Topografie der Standorte

Allen Anlagen gemeinsam ist die Lage an Wasserläufen, die die Grundlage für den Betrieb der auf den Einsatz von Wasserkraft angewiesenen Floß- und Hochöfen bildete. Die Beschaffung von Holzkohle und Erzen war mobiler und konnte mit den zur Verfügung stehenden Transportmitteln im Rahmen einer wirtschaftlichen Vertretbarkeit über größere Entfernungen durchgeführt werden. Meistens lagen die Rohstoffquellen jedoch nicht allzu weit entfernt. Wegen der großen einzusetzenden Holzmengen wurde besonders zu diesem Rohstoff eine möglichst geringe Entfernung gesucht – auch um dem Zerfall der Holzkohlestücke zu schlecht einsetzbarem Kohlenstaub während des Transportes vorzubeugen –, während für Erze ein längerer Transportweg in Kauf genommen wurde. Regelmäßig lehnten sich die Öfen mit ihrer Rückseite an einen Hang an oder wurden in diesen hinein gebaut, was die Beschickung über eine Rampe zur Ofengicht erleichterte (Kerspetalsperre, Wippertal, Dürstel).

Platzstruktur

Größe und Ausstattung eines Schmelzplatzes sind abhängig von der zugrunde liegenden Organisationsstruktur. Handelt es sich um eine kleine Produktionseinheit (so nach G. Magnusson für die Frühphase [12. Jahrhundert?] von Lapphyttan) mit einer Betriebsmannschaft von nur wenigen Personen, oder handelt es sich wie in der Spätphase (14. Jahrhundert) desselben Fundplatzes um ein Unternehmen mit hohem Personalaufwand? Wie groß die Unterschiede auch gewesen sein mögen, die grundlegende Infrastruktur eines Floßofenstandorts ist stets die gleiche.

So können ehemalige Stauteiche und im Gelände z. T. auch heute noch über mehrere hundert Meter obertägig sichtbare Gräben in Verbindung mit Radstuben regelmäßig angetroffen werden. Bei besonders günstigen Erhaltungsbedingungen sind sogar Holzfragmente von Wasserrädern und/oder der Verzimmerung der Radstuben erhalten (Glinet, Chingley). Handelt es sich hingegen um stark zerstörte Befunde, deuten zumeist nur noch Reste einer Mauer oder Steinsetzung die ehemalige Position einer Radstube oder eines Wasserrades an. Verschiedene Gerinne aus Holz verliefen obertägig oder waren als holzarmierte Kanäle in den Boden eingelassen. Sie dienten entweder dazu, ausgehend vom höher gelegenen Stauteich Wasser auf das Rad der Hütte zu leiten oder aber von der Hütte abzuführen. Kleine Drainagen zum Schutz vor Hang- bzw. Grundwasser verliefen zusätzlich unter oder im unmittelbaren Umkreis eines Ofens („Abzucht“). Sie wurden ausschließlich aus Stein gesetzt und mit Steinplatten abgedeckt (u. a. Kerspetalsperre, Wippertal, Olsberg-Assinghausen). In Chingley erfüllte eine Drainage ohne stützende Einbauten, die unterhalb des Ofens verlief, dieselbe Funktion.

Bei den ausgedehnten Schlackenhalden (oftmals eine Haupthalde mit mehreren Nebenhalden) handelt es sich um ein charakteristisches Merkmal, durch das Standorte von Floß- und Hochöfen schon vor Beginn einer Ausgrabung gut im Gelände zu erkennen sind.[128] Neben zum Teil überdachten Rohstoffdepots für vor allem Erz und Holzkohle finden sich zusätzlich zu den Schlackenhalden auch immer wieder verschiedene, oft geringmächtige Schüttungen aus Abfallmaterial. Dass auch die-

[125] Ebd. 2–5.
[126] Ders. 1972.
[127] Ders. 1975, 161.

[128] Sofern die Schlacken nicht in der Neuzeit abgefahren worden sind.

ses Material nicht unbedingt achtlos entsorgt, sondern durchaus noch einmal „aufbereitet“ werden konnte, zeigt u. a. der Fundplatz in der Jubachtalsperre. Dort fand sich eine lokal begrenzte Ansammlung zerschlagener Schlackenstücke; aus den Metalleinschlüssen (sog. Prills) konnte Eisen gewonnen werden oder diese Schlacken dienten, dem Schmelzgut zugeschlagen, als Flussmittel. Zu den Abfalldepots zählen noch geringmächtige Lagen oder größere Ansammlungen von minderwertigem Erz, das z. B. wie im Fall des Schmelzplatzes von Dürstel im Rahmen der Aufbereitung vor Ort ausgesondert worden ist. Die Erzaufbereitung vor Ort kann durch verschiedene Befunde regelhaft belegt werden. So zeugt neben unterschiedlichen Fraktionsgrößen der Erze, die u. a. im Wippertal für eine Pochung der Erze sprechen, in Lapphyttan z. B. eine Röstgrube, nur wenige Meter vom Ofen entfernt, von einer thermischen Vorbehandlung der Erze. Bisher singulär ist der Befund eines unter Vorbehalt als „Probierofen“ interpretierten kleinen Ofens (Innendurchmesser ca. 60 cm) in Dürstel, der möglicherweise dazu gedient haben soll, vor Inbetriebnahme des Floßofens Erfahrungen mit dem lokalen Erz zu sammeln.

Regelmäßig kommen an den Floßöfen, die im Vergleich zu den Rennöfen über deutlich längere Zeiträume kontinuierlich genutzt wurden, mehr oder weniger aufwändige Anbauten vor. Dazu zählen neben den obligatorischen Holzkanälen, Auszimmerungen von Radstuben und Balggerüsten auch hölzerne Rampen, über die jeweils die benötigten Rohstoffe zur Ofengicht transportiert werden konnten, sowie u. a. Überdachungen bestimmter Teilflächen des Schmelzplatzes. So waren z. B. in Dürstel der Frischherd und das Holzkohlelager gegen die Witterung möglicherweise überdacht. In Chingley wurden die wartungs- und kostenintensiven Blasebälge durch eine Holzkonstruktion geschützt. Zusätzlich können an einigen Fundplätzen Wirtschafts- und Wohngebäude für die Betriebsmannschaft rekonstruiert werden. In der Jubachtalsperre sind aus dem Bereich des Frisch- und Schmiedeplatzes „Mauerreste von Schuppen oder Werkstätten“ belegt.

Eine besonders umfangreiche Platzstruktur, die bereits auf eine straff organisierte Belegschaft schließen lässt, ist exemplarisch belegt durch die Ausgrabung in Lapphyttan. Neben den Resten eines Stauteichs und der Radstube sind dort auch Erzlager, eine Röstgrube (Erzaufbereitung), mehrere Schlackenhalden, ein Holzkohlelager, acht Frischherde, ein Eisenspeicher und ein Wohnhaus überliefert, dem mindestens ein Stall zugeordnet werden kann (*Abb. 5*).

Erhaltungszustand der Öfen

In der Regel ist lediglich der untere Teil der Ofenbasis erhalten, aufgrund der gegenüber den Rennöfen wesentlich massiveren Bauweise der Ofenwände als Raugemäuer jedoch bis zu einer Höhe von 2,5 m (Lapphyttan). Dennoch ist der allgemeine Erhaltungszustand eher schlecht. Zahlreiche konstruktionstechnische Details der Öfen sind daher nicht überliefert und können lediglich auf Basis der Grabungsergebnisse rekonstruiert werden.

Grundriss der Öfen

Die frühen Öfen des 13./14. Jahrhunderts waren gegenüber den Anlagen des 15./16. Jahrhunderts noch vergleichsweise klein und übernahmen zunächst zahlreiche konstruktionstechnische Elemente „traditioneller“ Rennöfen. So besaßen z. B. die Floßöfen von Haus Rhade (13.–15. Jahrhundert) und Dürstel (13./14. Jahrhundert) jeweils einen runden Querschnitt an der Ofenbasis. Diese bemerkenswerte Form, die offenbar nur in der Frühzeit des indirekten Verfahrens zur Ausführung kam, spricht für die Theorie, dass sich die frühen Floßöfen ursprünglich aus mittelalterlichen Schachtöfen (d. h. Rennöfen) entwickelt haben. Auch die beiden Öfen aus der Kerspetalsperre (13./14. Jahrhundert) lassen noch zahlreiche Anklänge an die älteren Rennöfen erkennen. So belegen ihre Abmessungen mit einer maximalen Seitenlänge von ca. 2 m vergleichsweise klein dimensionierte Anlagen, die wahrscheinlich kaum eine Gesamthöhe von 3,0–3,5 m erreichten. Ihr hufeisenförmiger Grundriss ist singulär. In Lapphyttan besaß der rekonstruierte Ofen des 14. Jahrhunderts bereits einen quadratischen Grundriss mit einer Seitenlänge von jeweils etwa 5 m. Er wird ab dieser Zeit zum Standardgrundriss bei wechselnder Ofengeometrie. Bei sämtlichen Anlagen wird bis in das 16. Jahrhundert hinein eine Ofenhöhe von 5,0–5,5 m nicht überschritten.

Baumaterial

Wie bei den traditionellen Rennöfen wurde an den frühen Floßöfen weiterhin Lehm als Baumaterial in großem Umfang eingesetzt. Als Beispiel für eine (noch) weitgehend steinlose Bauweise können die beiden Öfen aus der Kerspetalsperre genannt werden. Auch der Ofen von Olsberg-Assinghausen scheint noch kein umfassendes Raugemäuer besessen zu haben. Sämtliche anderen Anlagen verfügten über ein mehr oder weniger mächtiges Raugemäuer aus lokal anstehendem Gestein, das entweder den gesamten Ofen umgab oder aber, wenn der Ofen in den Hang hinein gebaut worden war, gegebenenfalls die Rückseite aussparte. Die Öfen aus der Jubachtalsperre und aus Glinet besaßen eine raugemauerte Steinschale mit einem Lehmkern. Eine Besonderheit weist der mit einem Holzgerüst versehene Ofen aus Chingley auf. Hölzerne Pfosten an allen vier Ecken stabilisieren das umgebende Raugemäuer aus Lehm und Stein.

Fundort	Datierung	Grundform	Abmessungen
Dürstel	13./14. Jahrhundert	rund	D: 4,5 m
Kerspetalsperre	13./14. Jahrhundert	hufeisenförmig	SL: ca. 1,8 x 2 m
Lapphyttan	12.–14. Jahrhundert	quadratisch	SL: 5 x 5 m
Haus Rhade	13.–15. Jahrhundert	rund	D: 3,5 m
Jubachtalsperre	13./15. Jahrhundert	quadratisch	SL: 4,5 x 5 m
Wissen	14./15. Jahrhundert(?)	quadratisch	SL: 3,6 x 3,7 m
Wippertal	14./15. Jahrhundert	hufeisenförmig	SL: ca. 3,5 x 3,6 m
Glinet	15./16. Jahrhundert	trapezoid	Rückseite: 5 m Brustseite: 6,5 m
Chingley	16. Jahrhundert	quadratisch	SL: 5,5 x 5,5 m

Abb. 39. Verschiedene frühe Floßöfen/Hochöfen im Vergleich (D = max. äußerer Durchmesser; SL = max. Seitenlänge).

Gestell

Für die örtliche Prozesstechnik sind Durchmesser und Form des Ofeninneren, des Schmelzraumes, wesentlich entscheidender als die Stärke der Ofenwand, die letztlich nur für die Statik des Ofens von Bedeutung ist, wobei die Isolationswirkung der Ofenwand nur eine untergeordnete Rolle spielt. Mit Ausnahme von Ofen 1 aus der Kerspetalsperre ist das Gestell an sämtlichen Floßöfen entweder nahezu vollständig zerstört oder überhaupt nicht erhalten; so sind Vergleiche noch kaum möglich, zumal auch detaillierte technische Beschreibungen in Form von Bild- und Schriftquellen für diesen Zeitabschnitt fehlen.

Die bisher überlieferten Öfen belegen, dass sich mit Einführung des indirekten Verfahrens das rechtwinklig zum Abstich angebrachte Gebläse durchsetzte. Davon weichen die Öfen von Glinet und Chingley ab; an ihnen wurde der Abstich des Roheisens auf derselben Seite vorgenommen, an der sich auch das Wasserrad befand. Der Wind wurde in der Regel wohl über eine in einen Formkanal eingelegte Windform, die höchstwahrscheinlich aus Metall (Kupfer oder Eisen) bestand, in den Schmelzraum eingeblasen. Nur in Dürstel fanden sich Düsenfragmente aus Ton mit einem Durchmesser von 4,5 cm. Reste eines teilweise oder vollständig erhaltenen Formkanals sind an verschiedenen Fundplätzen überliefert, so u. a. in Lapphyttan. In der Kerspetalsperre betrug der Durchmesser des weitestgehend erhaltenen und annähernd 0,5 m langen, kreisrunden Formkanals an Ofen 2 etwa 20 cm. In Olsberg-Assinghausen war der Formkanal 24 x 25 cm groß, und in Wissen fand sich ein Formkanal mit einem Durchmesser von 15 cm.

Die Ausgrabungen in der Kerspetalsperre erbrachten den Nachweis, dass die Einführung des indirekten Verfahrens (zumindest im Märkischen Sauerland) einherging mit charakteristischen baulichen Veränderungen im Bereich der Ofenbasis (Bereich des Gestells, Herd). An Ofen 1, der wahrscheinlich in der zweiten Hälfte des 13. bzw. zu Anfang des 14. Jahrhunderts betrieben wurde, ist das bisher älteste vollständig erhaltene Gestell eines Floßofens überliefert; es besitzt einen rechteckigen Querschnitt. Der flache Herdboden befand sich etwa 40 cm unterhalb der Oberkante des Gestells. Im Gegensatz zur senkrechten Blaseseite wurden Wind- und Rückseite in einem Winkel von etwa 50° abgeschrägt. Durch diese Bauweise wurde der Herd zum Boden hin stark verengt. Seine Weite betrug am oberen Rand 65 cm und verringert sich auf 25–30 cm am Herdboden. Dadurch ergab sich ein schmaler, langrechteckiger Herdboden mit einer Tiefe von 80 cm, der zur Abstichöffnung leicht geneigt war, um ein Abfließen von Roheisen und Schlacke zu erleichtern. Vor allem durch eine charakteristische Verengung des Gestells konnte die Hitze in dem relativ kleinen Gestellraum konzentriert werden.[129] Das erzeugte Schmelzprodukt wurde infolgedessen vollständiger reduziert und höher aufgekohlt.[130] Nach L. Beck war der stark verengte Herd ein charakteristisches Merkmal der späteren Hochöfen, das sie z. B. von den Stucköfen unterschied. Der Befund aus der Kerspetalsperre belegt in diesem Zusammenhang die historische Tiefe dieser Gestellform.

[129] Köstler 1986, 29.

[130] Beck 1893–95, 178 f.

Ofenbrust: offen oder geschlossen?

An sämtlichen Anlagen ist der Bereich der Ofenbrust, an der ehemals der Abstich des Roheisens vorgenommen wurde, weitgehend zerstört. Eine Ausnahme bildet nur der Ofen von Wissen mit seiner etwa 0,20 x 0,30 m messenden Abstichöffnung in einer Nische auf der Südseite des Ofens. Die Frage, ob die Öfen über eine offene oder eine geschlossene Brust verfügten, ist daher schwer zu beantworten und hängt von der jeweiligen Interpretation der Befunde ab. So verfügte der Ofen von Lapphyttan wohl über eine geschlossene Brust, die auch für die Öfen aus der Kerspetalsperre, dem Wippertal und Haus Rhade nicht ausgeschlossen werden kann (s. auch S. 327).

Drainagen

Wie in der Kerspetalsperre und im Wippertal, konnten auch an dem Ofen von Olsberg-Assinghausen seitlich der Ofenwand verlaufenden Drainagekanäle aus senkrecht gestellten flachen Platten und waagerecht liegenden Deckplatten nachgewiesen werden. In Chingley erfüllte ein schlichter Graben diese Funktion.

Frischherde vor Ort?

An verschiedenen Fundplätzen ist die Weiterverarbeitung des produzierten Roheisens unmittelbar vor Ort archäologisch und archäometallurgisch belegt. Dabei ist stets die Frage zu stellen, ob es sich um Frischen von Roheisen oder aber um das Ausschmieden von zuvor bereits gefrischtem Roheisen handelt. So fand sich in Dürstel ein aus verschlackten Kalksteinen aufgebauter Frischherd zusammen mit einem möglicherweise als Amboss genutzten Granitblock, eisenreichen Schlacken und einem Holzkohledepot. Auch am Ofen aus der Jubachtalsperre wiesen Schlackenfunde auf ein vor Ort praktiziertes Frischverfahren. Unterschiedliche Verarbeitungsschlacken (u. a. Kalottenschlacke, Hammerschlag, eisenreiche Schlacke) belegen zusammen mit verarbeitetem Metall verschiedene Verfahrensschritte. Insgesamt konnten sechs Frischherde mit Steinringen und verschiedene Schmiedestellen (u. a. Hammerschlagkonzentration) identifiziert werden. Für Haus Rhade wird hingegen ausschließlich auf Grundlage von Schlackenanalysen von einem mit dem Floßofen gekoppelten „Frischherdverfahren“ ausgegangen. In Glinet ist der höchstwahrscheinlich aus Lehm errichtete Frischherd mit zugehörigem Amboss ebenfalls vollständig zerstört. Auch hier belegen spezifische Schlackenfunde das Frischen von Roheisen. In Lapphyttan deuten acht Frischherde ebenfalls auf eine Weiterverarbeitung des produzierten Roheisens vor Ort.

Der Ofen von Chingley (16. Jahrhundert) erbrachte keine Belege für ein Frischen des produzierten Metalls; möglicherweise ist dies ein Hinweis darauf, dass sich die Weiterverarbeitung des Roheisens nur in der Frühzeit des indirekten Verfahrens an Ort und Stelle befand und in späterer Zeit räumlich verlagerte (in städtisches Umfeld?).

Datierung

Eine genaue Datierung der Öfen ist schwierig. Sie waren z. T. über mehrere Jahrzehnte in Betrieb und erfuhren in dieser Zeit sehr wahrscheinlich zahlreiche Um- bzw. Ausbauten. Archäologisch überliefert ist meist nur der jüngste Zustand. Ältere Bauphasen sind archäologisch also schwer zu fassen und nur in Ausnahmefällen überliefert. Dadurch können für die Datierung Probleme auftreten, wenn ein Verhüttungsplatz mehrfach oder über Jahrzehnte hinweg genutzt worden ist. In diesen Fällen können die vor Ort gefundenen Schlacken und Metall fälschlicherweise dem jüngsten Befund zugewiesen werden. So wird z. B. in Lapphyttan der älteste, allerdings zerstörte Ofen in das 12. Jahrhundert datiert. Die Produktion im ergrabenen Ofen wurde jedoch erst in der Mitte des 14. Jahrhunderts eingestellt. Ältere Betriebsphasen sind ebenfalls aus der Jubachtalsperre bekannt, ohne dass sich diese näher charakterisieren ließen. Im Wippertal deutet der Fund eines kleinen Rennofens darauf hin, dass der Produktion von Roheisen das direkte Verfahren unmittelbar vorausgegangen ist.

Entwicklung

In Form und Bauweise der Öfen ist im direkten Vergleich eine deutliche Entwicklung zu erkennen. Typologisch können die relativ kleinen Anlagen der Kerspetalsperre (13./14. Jahrhundert), die bei der Konstruktion der Ofenwand noch weitgehend ohne Raugemäuer auskamen, von Dürstel (13.–14. Jahrhundert), der aber bereits mit einer Steinmauer errichtet wurde, am Beginn einer Entwicklung zu immer höheren und fester gebauten Öfen stehen. Die weitere Entwicklung verläuft über die Öfen aus Lapphyttan (12.–14. Jahrhundert), der Jubachtalsperre (14./15. Jahrhundert) und dem oberen Wippertal (15. Jahrhundert). Sie sind bereits um einen halben bis zwei Meter größer und mit einer stabilen Steinmauerung versehen. Auch die französische Anlage von Glinet reiht sich in diese Entwicklung ein. Die in ihrem Grundriss einheitlichen Öfen von Wissen und Chingley stehen am Ende der frühen Phase der Hochofenentwicklung und geben den Standard späterer Hochöfen vor; die beiden ca. 500 km (Luftlinie) voneinander entfernten Öfen verdeutlichen die Verbreitung von technischem Wissen im frühneuzeitlichen Europa.

	Rennofen	Stuckofen	Floßofen/Hochofen
Gebläseantrieb	ohne Wasserkraft	Wasserkraft	Wasserkraft
Erzqualität	>70 % Fe_2O_3	auch <70 % Fe_2O_3	auch <70 % Fe_2O_3
Verhüttungsverfahren	direkt	direkt (indirekt)	indirekt
Betriebsweise	diskontinuierlich	diskontinuierlich	kontinuierlich
Standort	Bergkuppe/Hang	Talniederung	Talniederung
Endprodukt	Weicheisen/Stahl	Weicheisen/ Stahl/Roheisen	Roheisen

Abb. 40. Versuch eines allgemeinen Vergleiches zwischen Rennofen, Stuckofen und Floß- bzw. Hochofen.

TECHNISCHE ASPEKTE DER FRÜHEN ROHEISENTECHNOLOGIE

Im Zuge einer allgemeinen Bevölkerungszunahme, zahlreicher Städtegründungen, enormer Bautätigkeiten und frühgewerblicher Spezialisierung usw. stieg im zivilen Sektor der Bedarf an Eisen im Spätmittelalter stark an.[131] Diese Nachfrage konnte zunehmend nicht mehr im direkten, „absetzigen" Verfahren mit den tradierten kleinen Rennöfen gedeckt werden. Man musste daher die bestehenden technischen Grenzen überschreiten. Die Lösung kam mit Einzug der Wasserkraft in der Eisengewinnung; es waren sog. Eisenmühlen, evtl. zunächst nur zum Pochen von Eisenerz, aber dann zur Übertragung der Wasserkraft auf die Blasebälge zur Erzielung höheren Luftdrucks im Ofeninnern.[132]

Man beschritt zwei Wege, Schmiedeeisen zu erhalten; einer war das direkte Verfahren über die Stucköfen (s. S. 321 f.), der andere das indirekte Verfahren über die Floßöfen mit anschließendem Frischen. Die Möglichkeit, Eisen direkt in Formen zu gießen, wurde wohl erst kurz nach dem Aufkommen der Floßöfen geläufig.

Organisatorische Grundlagen

Der Bau und die Einrichtung einer wasserkraftgetriebenen Eisenhütte – eine *ferraria,* wie sie Nicolas Bourbon beschrieb (s. S. 364) – erforderte gegenüber der Rennfeuerverhüttung einen bedeutend höheren Kapitaleinsatz, wie er im alten, zumeist kleinteiligen grundherrschaftlichen System nicht mehr erbracht werden konnte, sondern nun von kapitalkräftigen „Unternehmern", seien es spätmittelalterliche Landesherrn, Klöster, finanzkräftige Stadtbürger oder andere Personen (Zusammenschluss zu Gewerken).[133] Möglicherweise deuten die Frischherde an den Hochofenstandorten auf die Zahl der Betreiber einer solchen Hütte hin (Lapphyttan: acht Frischherde; Jubachtalsperre: fünf Frischherde).

Technische Aspekte des Roheisenverfahrens

Die Einführung des Hochofenverfahrens musste Vorteile mit sich bringen, die groß genug waren, um gleichzeitig auch die mit dieser Technologie verbundenen Nachteile in Kauf zu nehmen. An dieser Stelle sollen aber zunächst nur diejenigen Aspekte genannt werden, die unmittelbar mit dem Betrieb des Ofens und dem Schmelzverfahren selbst verbunden sind.

Das indirekte Verfahren bietet zunächst viele Vorteile. Es erlaubt längere Beschickungs- und Betriebsphasen bis hin zu mehreren Wochen und Monaten (heute sogar Jahren), was die Eisenproduktion stark erhöhte. Mit einem in der Relation zum Rennfeuerverfahren geringeren Einsatz von Holzkohle fördern die höheren Schmelztemperaturen erheblich die Trennung von Eisen und Schlacke. Die Ausbringung des Eisens wurde fast vollständig erreicht. Das Roheisen läuft aus dem Ofen ab und konnte neben der Gewinnung von Masseln direkt in Formen gegossen werden, so zunächst vor al-

[131] Sprandel 1968; Kellenbenz 1974.

[132] Arnoux 1994; s. S. 319 ff.

[133] Zu den Investitionskosten einer Eisenhütte: vgl. Schubert 1937, 34; Jockenhövel/Willms 2005, 560 Anm. 38. – Die Zahlen seien hier noch einmal wiederholt: Kostenvoranschlag von 1593 für eine geplante Waldschmiede (Stuckofen) im Büdinger Wald (Hessen). Die Gesamtkosten von ca. 1000 Gulden setzen sich aus folgenden Einzelposten zusammen: Rennherd und Schmiedeherd je 14 Gulden; je zwei Blasebälge zusammen 125 Gulden (die teuerste Investition!); drei Wasserräder (nur!) 50 Gulden; übrige Gerätschaften 80 Gulden; eingeschossiges Hüttengebäude (30 x 12 m Grundmaße) 150 Gulden; zwei Kohlenschuppen 60 Gulden; zweigeschossiges Wohngebäude 250 Gulden; Stall für Pferde und sonstiges Vieh 50 Gulden; Kauf von vier Pferden einschließlich Anschirrung 200 Gulden. Hinzu kamen noch Arbeitskosten von ca. 781 Gulden. Die frühen Waldschmieden waren wesentlich billiger, was sich an Verkaufserlösen belegen lässt: 1438 151 Gulden; 1494 140 Gulden; 1506 331 Gulden; eine Eisenhütte im Siegerland erzielte 560 Gulden (1 Gulden um 1600 = 40–50 Euro).

lem für militärische Güter, wie Kanonen oder Kanonenkugeln, kurz darauf gefolgt von zivilen Gütern, wie Kaminplatten, Gefäßen oder Glocken (s. S. 355).[134] Da sich das Gussverfahren aber nicht zur Herstellung einer großen Anzahl verschiedener Produkte eignet, musste weiter schmiedbares Eisen über den energie- und arbeitsaufwendigen Frischprozess gewonnen werden. Hierzu war es notwendig, erneut Holzkohle einzusetzen, was den oben genannten Vorteil hinsichtlich des geringeren Energieaufwandes wiederum reduzierte.

Durch den Einsatz wasserkraftgetriebener Gebläse und die dadurch erzielten höheren Temperaturen im Ofeninneren war es nun möglich, in größerem Umfang qualitativ schlechtere sowie schwer reduzierbare Erze zu verhütten und eine größere Menge an Roheisen auszubringen.[135] Aufgrund der gesteigerten Gebläseleistung und damit einhergehenden baulichen sowie prozesstechnischen Veränderungen wurde anstelle einer schwammartigen oder festen Luppe (mit vielen Verunreinigungen [Erz, Holzkohle, Lehm usw.]) bei Temperaturen von mehr als ca. 1250 °C ausschließlich flüssiges Roh- bzw. Gusseisen produziert.[136] Die verhütteten Erze schmolzen vollständig auf. Besonders eisenarme (<10 % FeO), glasig erstarrte Schlacken sind daher ein charakteristisches Produkt der Roheisentechnologie (zu mineralogischen Untersuchungen von Roheisenschlacken aus dem Märkischen Sauerland siehe Beiträge I. Keesmann/A. Kronz, S. 251 ff. sowie I. Keesmann/Z. Hezarkhani/A. Kronz, S. 265 ff.).

Die Nachteile des indirekten Verfahrens liegen in der erheblich größer dimensionierten Verhüttungsanlage, die wesentlich höhere Investitions- und Unterhaltungskosten sowie einen hohen Personalaufwand erforderten. Insgesamt wurde mehr Landschaft „verbraucht", besonders unter Berücksichtigung der notwendigen Anlage für die Wasserwirtschaft (Stauteiche, Wasserkanäle) und des Holzkohlenbedarfs. Auch war das gewonnene Roheisen wegen der unterschiedlichen verwendbaren Eisensteine nicht immer von der gewünschten Qualität, sodass man in manchen Eisenlandschaften, wie zum Beispiel in Innerösterreich noch bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts am direkten Verfahren (in Form der Stucköfen) mit seinem ausgezeichneten Schmiedeeisen festhielt.[137]

Frischen als archäologisches und archäometallurgisches Problemfeld

Roheisen besitzt gegenüber Weicheisen oder Stahl („Schmiedeeisen") aus dem Rennverfahren einen stark erhöhten Kohlenstoffanteil (mehr als 2 % C), der das Eisen spröde und brüchig macht. Es ließ sich daher nicht unmittelbar ausschmieden, sondern musste zuvor in einem nachgeschalteten Prozessschritt, dem sog. *Frischen* von überschüssigem Kohlenstoff befreit werden, daher der Terminus *indirektes Verfahren*. Das Roheisen wurde auf eigens dafür gebauten Herden mit Holzkohle vermischt. Zusätzlich wurde Luft eingeblasen, wobei die ablaufende Oxidation dem flüssigen Eisen überschüssigen Kohlenstoff entzog. Schädliche Begleitelemente, wie Mangan, Silizium, Schwefel und Phosphor verflüssigen sich zu einer Schlacke, die den Schlacken des Rennfeuerprozesses makroskopisch täuschend ähnlich sieht. Diesen Vorgang, der in der Nähe des Hochofens oder von ihm getrennt in eigens angelegten „Rennwerken"[138] vorgenommen, wurde, nennt man *Frischen*.

Für den spätmittelaterlichen und früneuzeitlichen Frischprozess gibt es bisher nur wenige archäologische Befunde. Offenbar lagen in unmittelbarer Nähe an den Floßöfen aus der Jubachtalsperre, von Haus Rhade, Dürstel und Lapphyttan Frischherde; sie belegen das Frischen von Roheisen am Ort der Verhüttung. Das Roheisenstück vom Gelände des Floßofens aus der Jubachtalsperre (s. S. 337 *Abb. 22*) kann als Barrenfragment angesprochen werden, was für eine örtliche Barrenproduktion spricht. Auch Bildquellen belegen Roheisen in Barrenform (Schienen, Ronden) am Verhüttungsort (s. S. 374 *Abb. 8,1*). Diese Barren wären dann an vom Hüttenstandort weiter entfernt gelegene Weiterarbeitungsstätten vermutlich auch in Städte gebracht worden.

Wenn die größeren Roheisen-Halbstücke gefrischt wurden, dürften erhebliche Mengen an Frischschlacken angefallen ein. Möglicherweise gehen die dicken Schlackenschichten von ca. 350–400 t Gewicht aus Bielefeld-„Welle" (Ostwestfalen), die in das 13. (und 14.?) Jahrhundert zu datieren sind, auf das Frischen von angeliefertem Roheisen zurück. Es überlagerten sich mindestens drei Herde mit einem Sockeldurchmesser von 0,8–1,0 m.[139]

Nach E. Tholander und S. Blomgren ist das Frischen von Roheisen in Schweden urkundlich erstmals Mitte des 15. Jahrhunderts belegt. Wie vielfältig gefrischt wurde, wird aus den Erhebungen des österreichischen Eisenhüttenpioniers Peter Tunner (1809–1897) deutlich. Er beschrieb über ein Dutzend verschiedener, jeweils auf einer regionalen Empirie entwickelter Frischverfahren, die er auf seinen Inspektionsreisen quer durch Mittel-, West- und Nordeuropa vorfand.[140]

[134] Johannsen 1912/1915/1918.

[135] Steffes 1946, 61.

[136] Die Arbeitstemperaturen sind nach Kronz/Keesmann zu relativieren, da Roheisen schon knapp über 1150 °C flüssig ist und z. B. Proben saurer Floßofenschlacke aus dem Märkischen Kreis (D) sogar schon unter 1100 °C flüssig vorliegen (Kronz/Keesmann 2003, 271); für Temperaturen von 1600–2000 °C spricht sich hingegen R. Pleiner aus (Pleiner 2001, 97).

[137] Paulinyi 1974; ders. 2007.

[138] Jockenhövel/Willms 2005, 564.

[139] Brand/Lammers 2004, 93 ff.

[140] Tunner 1858 [zur Person: Lackner 1980].

Entwicklung der Produktionsmengen

Um die enorme Nachfrage nach Eisen des Spätmittelalters und der frühen Neuzeit befriedigen zu können, war man gezwungen, deutlich größere Mengen in kürzerer Zeit zu produzieren. Einige Autoren sehen als mögliche Antwort eine Extensivierung der Produktion, z. B. durch die Catalan-Öfen Spaniens oder die Stucköfen Österreichs, wobei die verfügbaren Rohstoffvorkommen (besonders Erze) die jeweils gewählte Methode beförderten.[141] Sicher ist, dass eine nachhaltige Produktionssteigerung nur in kontinuierlich betriebenen, stark vergrößerten Öfen gelingen konnte, deren Betrieb nicht zur Entnahme der Luppen unterbrochen werden musste.[142]

R. Sprandel geht für einen mitteleuropäischen Hochofen von etwa 40 Betriebswochen pro Jahr aus.[143] Einzelne Schriftquellen geben ergänzend Aufschluss über Produktionsmengen:[144] So schmolz der Hochofen von Grottaferrata (Albaner Berge, Italien) im Jahr 1464 bereits 200 kg Roheisen pro Tag. Der Ofen „Canecchio" von Fornovolasco[145] (West-Toskana, Italien) hatte 1497 eine Tagesproduktion von ca. 1.000 kg, der Ofen von Isolasanta (West-Toskana, Italien) brachte es im Jahr 1545 schon auf etwa 1.500 kg Roheisen. Ein Hochofen im nassauischen Siegerland (Deutschland) lieferte 1567 mit täglich 1.250 kg Roheisen nur eine unwesentlich geringere Menge.[146] Im lothringischen Moyeuvre (Frankreich) lag die Produktionsmenge 1565 in etwa derselben Größenordnung, während in Robertsbridge (East Sussex, England) in den Jahren 1542 bis 1573 jährlich bereits mehr als doppelt soviel produziert wurde.[147] Kellenbenz gibt eine durchschnittliche Tagesmenge von 600–700 kg Roheisen bei 3,6–4,2 m hohen Öfen des 15. Jahrhunderts an.[148] Anlagen mit einer Höhe von 7,2 m bringen um 1540 ca. 900–1.050 kg Roheisen aus.[149] Obwohl derartige Schätzungen stets problematisch sind und lediglich als ungefähre Größenordnung verstanden werden wollen, errechnete Sprandel für die Zeit um 1500 eine europäische Gesamtproduktion von 40.000 t, Nef für 1525 eine Produktion von 100.000 t und Johannsen für das ausgehende Mittelalter eine Menge von 60.000 t Roheisen.[150]

Trotz allem fehlen bisher für die Frühzeit der Roheisentechnologie – also für die Zeit vor dem 15. Jahrhundert – verlässliche Daten zu den Produktionsmengen der frühen Hochöfen.

SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

In Zusammenschau der allgemeinen Kulturverhältnisse des 12.–14. Jahrhunderts lagen die innovativen kulturellen und wirtschaftlichen Zentren vor allem in Italien, im Alpenraum, in Ober-, Süd- und Westdeutschland, im östlichen und mittleren Frankreich sowie in den burgundischen Territorien. Besonders in diesen Landschaften kam es zum Aufschwung eines hoch- und spätmittelalterlichen Städtewesens mit tiefgreifenden Auswirkungen auf das traditionelle Wirtschafts- und Sozialgefüge. Im Zuge einer raschen Bevölkerungszunahme (bis zu den Pestzügen um 1350: *Abb. 41*) entstanden unzählige Städte mit einer auf sie bezogenen frühgewerblichen Arbeitsteilung und ein deutliches Abhängigkeitsverhältnis zwischen Stadt und Land, wobei auf dem Land die Zahl der Dörfer ebenfalls anstieg.[151] In diesen Kontext sind das in dieser Zeit verstärkt einsetzende Montanwesen, das zur Gründung von eigenständigen Bergstädten führte, und die zugehörigen Verhüttungsanlagen einzuordnen, die, wie die frühen Floßöfen zeigen, in Nachbarschaft zu den Erzlagerstätten und zum Wald als Holzkohlelieferant ihre Standorte hatten.

Verstädterung und Eisenbedarf

Vor Ausbruch der Pest wurden in Europa, einhergehend mit einer allgemeinen Verstädterung Zentraleuropas, allein zwischen den Jahren 1240 und 1300 jährlich etwa 300 neue Städte gegründet.[152] Mit dem Bedeutungszuwachs der Städte und deren besonderer Funktion im Wirtschaftsgefüge erfuhr Eisen als Werkstoff eine weite Verbreitung und wurde in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens benötigt. In diesem Kontext ist z. B. nicht zu übersehen, dass es vor allem geschmiedetes Baueisen war, das im Innern die gotischen

[141] Berglund 2011, 67.

[142] Nach Berglund konnten die frühen Hochöfen Schwedens und Westfalens die stetig wachsende Nachfrage in Europa nicht befriedigen (Berglund 2011, 67).

[143] Sprandel 1968, 260.

[144] Die folgenden Angaben zu Produktionsmengen sind der unveröffentlichten Magisterarbeit von Th. Abdinghoff entnommen.

[145] Schriftquellen geben Auskunft über Details zum Betrieb (u. a. Dauer des Vorheizens) und Produktionsumfang des Ofens. So ist für eine Ofenreise z. B. die Dauer von 64 Tagen belegt (21. Juni–29. August 1497). Die genannte Produktionsmenge bezieht sich auf die ersten Betriebstage (5.–25. Juli 1497), in denen insgesamt ca. 20 t Roheisen gewonnen wurden. Dabei mussten täglich 3,7 t Kohle und 3 t Erz aufgegeben werden (Nicodemi et al. 2011, 109. 111).

[146] Schubert 1937, 20 ff.; Sprandel 1968, Tab. V.

[147] Sprandel 1968, Tab. V.

[148] Kellenbenz 1974, 417.

[149] Ebd.

[150] Johannsen 1953, 213; Nef 1964, 114; Sprandel 1968, 277.

[151] Henning 1994.

[152] Flüeler/Flüeler 1993, 381; der Prozess der Verstädterung verlangsamte sich erst zu Beginn des 15. Jahrhunderts n. Chr.

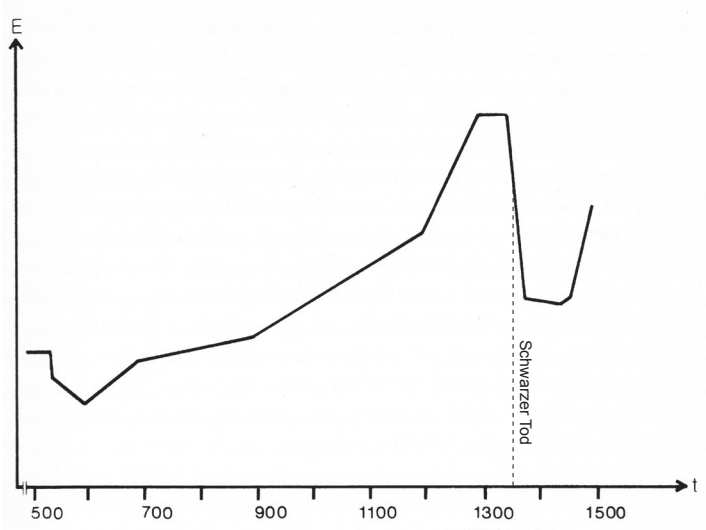


Abb. 41. Modell der Bevölkerungsentwicklung in Europa von 500 bis 1500 (aus Grupe 1996).



Abb. 42. Schlacht von Roosebeke (heute: Westrozebeke, Flandern) (27. November 1382). Links die flämische Streitmacht unter Philipp van Artevelde, rechts das französische Heer unter Karl VI. Nach einer Miniatur des 15. Jahrhunderts in den „Chroniques “ von Jean Froissart (aus Holle, B./du Ry van, G.[Hrsg.], Holle Welt- und Kulturgeschichte 5 [Baden-Baden 1987, Sp. 265/266]).

Kathedralen zusammenhielt;[153] für sie musste viel Eisen gewonnen werden (ev. auch durch Frischen von Roheisen, was analytisch nachzuweisen wäre). Man schätzt den Anteil von Baueisen auf etwa 10 % ihrer Bausubstanz.[154]

Kriegswesen und Eisenbedarf

Im Spätmittelalter fand im militärischen Sektor eine deutliche Aufrüstung statt. Von Kopf bis Fuß deckten eiserne Schutzwaffen den Ritter. Die älteren Ringel- und Schuppenpanzer wurden von den flächigeren Plattenpanzern abgelöst.[155] Auch sein Pferd wurde auf diese Weise geschützt; für die Vollharnische benötigte man ca. 40–60 kg Schmiedeeisen. Bildnisse von großen Ritterschlachten des 13.–15. Jahrhunderts zeigen eisenstarrende Kampfformationen (*Abb. 42*), wobei auch die zumeist kriegsentscheidenen Bogen- und Armbrustschützen viel Eisen für ihre Pfeilspitzen benötigten.[156] Diese Waffen sind alle geschmiedet worden, die Harnische in speziellen Plattnerwerkstätten, besonders in den führenden Städten Oberdeutschlands (Nürnberg, Augsburg) und Oberitaliens (Mailand), aber auch in königlichen und fürstlichen Hofschmieden.[157]

Zivile und militärische Nutzung von Roh-/Gusseisen

Beim derzeitigen Forschungsstand zeichnet sich ab, dass die reine Roheisendarstellung einige Generationen älter ist als die Technik, Roheisen in Formen zu gießen. Im Umkehrschluss heißt dies, dass das frühe Roheisen stets gefrischt wurde, um es schmiedbar zu machen. Aus relevanten Fundkomplexen der Eisenweiterverarbeitung des 10.–16. Jahrhunderts ist bisher nur Schmiedeeisen überliefert,[158] und zwar teilweise in erheblichen Mengen (Wiesloch [Baden]: ca. 60 kg[159]; Bockhart-Revier [Gasteiner Tal, Salzburg]: ca. 140 kg[160]). Eine Erklärung für das völlige Fehlen von Roh-/Gusseisen liegt wohl in dem funktionalen Unterschied zwischen geschmiedeten und gegossenen Fundgruppen, denn letztere finden sich zunächst fast nur im militärischen Kontext, wenn auch die ältesten datierten Gusseisenprodukte Mitteleuropas[161] die zwischen 1345/64 gefertigten, ca. 75 kg schweren Grenzpfähle vom pommerischen Tempelburg (heute Czaplinek, Powiat Drawski) sind.[162]

Die ältesten Gusseisenobjekte konzentrieren sich besonders zwischen Rhein und Maas und stehen mit dem hohen Bedarf an Rüstungsgütern im Zuge der burgundischen Expansionspolitik in Verbindung.[163] Zeitlich folgen Belege für den Guss von eisernen Geschützen, so ein Empfehlungsbrief für den Frankfurter Büchsenmeister Merkel Gast (1391), Rechnungsbelege aus der niederrheinischen Stadt Wesel (1400) und ein gräflicher Auftrag in der Stadt Siegen (1445–1445) für den Guss von 30 Geschützen („bussen“, mit einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 250 kg pro Geschütz = insgesamt ca. 7,5 t Gusseisen).[164]

Im spätmittelalterlichen Kriegswesen nahm der Eisenbedarf durch die zunehmende Verbreitung von Feuerwaffen zu.[165] Kanonen („Büchsen“), Mörser und Kugeln sind die nachgefragten Gusseisenprodukte.[166] Gusseisen war Schmiedeeisen und Bronze qualitätsmäßig jedoch unterlegen; die berühmten „Riesengeschütze“ des 15. Jahrhunderts waren entweder geschmiedet oder aus Bronze gegossen.[167] Die zunächst aus Bronze gegossenen Kanonen wurden jedoch allmählich zu teuer, so dass Gusseisen als billigerer Ersatzstoff seinen Aufschwung erlebte. Deshalb unterstanden viele Hütten oft landesherrschaftlichen Wehrmeistern, und der Eisenguss wurde als damalige „Spitzentechnologie“ mit höchster Geheimhaltungsstufe angesehen.

Erst ab der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts griff der Eisenguss verstärkt in den zivilen Sektor über, indem besonders Ofen-, Kaminplatten („Takenplatten“), Rohre, Grabkreuze oder Glocken gegossen wurden.[168]

[153] Haas 1979; L´Héritier et al. 2011, 107–108; Dillmann/L´Héritier 2007, 1810–1823.

[154] http://www.arte.tv/de/3804468,CmC=3817936.html, abgerufen am 21.05.2012.

[155] Quaas 1992.

[156] Harmuth 1986; Zimmermann 2000; Seehase/Krekeler 2001.

[157] Williams 2003.

[158] Melzer 2004.

[159] Gross/Hildebrandt 2004.

[160] Cech/Walach 2004.

[161] Johannsen 1912/1915/1918.

[162] Niezoldi 1942; Wilsdorf 1987, 125.

[163] Beck 1884, 911; Awty 1981; 1987; 2007.

[164] Johannsen 1918.

[165] Zahlreiche Schriftquellen geben hierüber Auskunft, zum Beispiel für die Floßöfen des 16./17. Jahrhunderts in Kärnten oder auch die die frühen Hochöfen des 16. Jahrhunderts in Böhmen. Siehe dazu: Paulinyi 1996, 144. 146; in Südwestdeutschland produzierte der Hochofen von Kandern (Südbaden), „der bereits vor 1512 existierte“, von Beginn an Gusseisen für Kanonenkugeln (Gassmann 2002, 32).

[166] Die ältesten datierten Gusseisenprodukte Mitteleuropas sind die 1345/61 gegossenen, ca. 75 kg schweren Grenzpfähle von Tempelburg (Pommern) (Wilsdorf 1987, 125). – Im Zusammenhang mit der Frage nach den ersten gusseisernen Kanonen in Europa erwähnt L. Beck die Stadtrechnungen von Lille (Belgien), aus denen für das Jahr 1412 und 1414 hervorgeht, dass jeweils Kanonen aus Gusseisen hergestellt wurden. Er hielt aufgrund der Schriftquellen Flandern für diejenige Region in Europa, von der „die Kunst des Eisengusses ausging“ (Beck 1884, 912–913. 915).

[167] Schmidtchen 1977.

[168] Kippenberger 1957; Jockenhövel 1995, 93 ff.; für einzelne Landschaften, wie Eifel/Rheinland (Neu 1989; von den Driesch 1990), Oberpfalz (Wald/Sahm 1987).

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In den letzten Jahren vermehrten sich die archäologischen und analytischen Zeugnisse für ein wesentlich früheres Aufkommen der Hochöfen als gegenüber dem bis in die 1970er Jahre tradierten und fortgeschriebenen Forschungsstand. Zur Festigung dieser neuen Ansicht haben die Feldforschungen in Mittelschweden und im Märkischen Sauerland nachhaltig beigetragen.

Bisher ist dieses Bild jedoch bei weitem noch zu lückenhaft, um ein zusammenhängendes, überregional gültiges Entwicklungsmodell zu entwerfen. Sicher ist jedoch, dass sich die im Zuge einer angestrebten Produktionssteigerung an den Schmelzöfen vorgenommenen baulichen und technischen Veränderungen gegenseitig bedingten.

So musste man analog zum Anstieg des Ofenvolumens z. B. auch die Gebläseleistung erhöhen, um einen erfolgreichen Verhüttungsprozess zu gewährleisten. Somit waren stark vergrößerte, paarig betriebene Blasebälge nötig, um die erforderlichen Temperaturen im Inneren der Öfen erzielen zu können. Diese Blasebälge konnten von nun an nicht mehr allein durch Muskelkraft, sondern durch Wasserkraft (s. S. 319 ff.) bewegt werden. Wasserkraft wurde im Hochmittelalter zur einer „Schlüsseltechnologie“ und beschleunigte die rasante Entwicklung zu den „hohen Öfen“. Im Zusammenwirken sämtlicher technologischer Veränderungen ist die nachhaltige Produktion von Roheisen das Endprodukt, jedoch kamen manche dieser Modifikationen auch beim direkten Verfahrens, also der Verhüttung im Rennofen zum Tragen, wie spezifische Ofenbauweisen (z. B. vergrößerte Ofenvolumen, steinverstärkte Ofenbasis) und unterschiedlich ausgelegte Prozessführungen.

Im Hinblick auf die frühe Produktion von Roheisen ist dabei zu berücksichtigen, dass nicht nur die zugeführte Menge an Sauerstoff und Kohlenstoff bzw. die Reduktionszeit, sondern vor allem auch die spezielle Erzchemie (z. B. über den Kalkgehalt) bzw. die Chemie des gesamten Schmelzsystems (Erz, Ofenwand, Holzkohleasche, evtl. Zuschläge) die Bildung von Roheisen begünstigen können (s. S. 322 ff.).

Soziökonomische Rahmenbedingungen

Aktuell gilt spätestens das hohe Mittelalter als derjenige Zeitabschnitt, in dem sich das Roheisenverfahren in einigen Regionen Mitteleuropas etablierte, bevor es schließlich – innerhalb von nur wenigen Jahrhunderten – eine weite Verbreitung und eine vergleichsweise rasante Weiterentwicklung erfuhr. Unstrittig ist, dass in dieser Zeit verschiedene soziokönomische Rahmenbedingungen die Einführung des indirekten Verfahrens begünstigten.

Nimmt man mit der vor dem Hintergrund von Verstädterung und Bevölkerungswachstum (s. S. 353 f.) sowie militärischer Verwendung (s. S. 355) stark gestiegenen Nachfrage die sozioökonomischen Rahmenbedingungen als Auslöser für die Einführung des neuen Verfahrens in Mitteleuropa, so lässt sich durchaus plausibel darlegen, warum Hochöfen nicht schon früher, sondern erst seit dem Hohen Mittelalter in Betrieb genommen wurden.

Erst als der Bedarf an Eisen im Hoch- und Spätmittelalter deutlich angestiegen war (s. S. 353 ff.), machte es wirtschaftlichen Sinn, die technisch aufwändigen, im Betrieb anfälligen, standortgebundenen und somit unflexiblen sowie kapitalkosten- und personalintensiven Schmelzöfen zu errichten und zu unterhalten.

Europäische Innovationslandschaften

Wenn das vorrangige Alter der schwedischen Hochöfen zutrifft (s. S. 328 f.), würde in dieser Region das früheste Zentrum der europäischen Roheisendarstellung liegen. Sie könnte von dort ihren Weg in das südlich angrenzende Europa genommen haben. Unseres Erachtens ist es beim jetzigen Forschungsstand jedoch noch verfrüht, einzelnen Landschaften Europas die Priorität in der Einführung der Roheisengewinnung zuzubilligen, denn es fehlen vergleichbare Geländeuntersuchungen in wichtigen „innovativen“ spätmittelalterlichen Kernlandschaften, wie Oberitalien, Oberdeutschland, Rheinlande, Frankreich oder Burgund. Betrachtet man das Verbreitungsbild der bisher durch archäologische Ausgrabungen erschlossenen frühen Floß-/Hochöfen in Mitteleuropa (s. S. 326 *Abb. 3*), zeichnet sich ab, dass sich das indirekte Verfahren in einem Gebiet von Mittelschweden über die Rheinlande bis nach Mittel- und Oberitalien im 13. Jahrhundert immer mehr durchsetzte. Als noch zu lösendes Rätsel bleibt jedoch die Frage nach dem Ursprung bzw. der Herkunft der neuartigen Roheisentechnologie. Grundsätzlich lassen sich verschiedene Argumente sowohl für eine indigene, autochthone Entwicklung einerseits und/oder eine exogene Entwicklung im Zuge eines Technologietransfers andererseits anführen.

Indigene Entwicklung?

Für Mitteleuropa muss der technologische Wandel vom direkten zum indirekten Verfahren keinesfalls zwingend mit einem exogenen Technologietransfer erklärt werden. Auf der Grundlage der bisherigen Forschungsergebnisse kann man mit einiger Berechtigung davon ausgehen, dass dieser Übergang, besonders in der Frühzeit der Roheisenproduktion, die Hüttenleute traditioneller Eisenlandschaften aufgrund eines hohen Erfahrungswissens längst nicht vor so große Probleme gestellt hat, wie teilweise vermutet wurde. Eisen als Werkstoff war seit ca. 2000 Jahren bekannt.

Betrachtet man die zahlreichen Übergangsformen und Varianten des Gebläseschachtofens im Mittelalter

(und auch der verschiedenen Rennofenvarianten in der Zeit davor), in denen immer wieder hochaufgekohlter Stahl und Roheisen (s. S. 322) zusammen mit einem gewissen Anteil mehr oder weniger amorpher Schlacken entstanden sind, ohne dass sich die Roheisentechnologie in dieser Form dauerhaft durchgesetzt hat, so kommt man nicht umhin, in Übereinstimmung mit anderen Autoren für bestimmte Landschaften von einer durchaus jeweils regionalspezifischen „Experimentierphase" zu sprechen.[169] Das Postulat einer solchen Phase schließt die Adaption einer bereits mehr oder weniger ausgereiften Technologie von außerhalb aus. Ein Technologietransfer würde sich archäologisch wohl viel eher in einem plötzlichen Auftauchen einer völlig neuartigen Technologie in Verbindung mit auffällig neuartigen Ofenkonstruktionen äußern, die sich in jeder Hinsicht deutlich von den „traditionellen" Verfahren unterscheiden.

Wenn es in Mitteleuropa auch nur eine Landschaft gibt, in der ein allmählicher Übergang vom direkten zum indirekten Verfahren – in Verbindung mit einer wie auch immer gearteten „Experimentierphase" – beobachtet werden kann, ist mindestens für diese Region die autochthone Entwicklung der Roheisentechnologie mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Derzeit stehen u. a. Gebiete in Südwestdeutschland im Fokus derartiger Betrachtungen, in denen schwach eisenhaltige Doggererze des Minette-Typs vorkommen.[170]

Man muss sich diesen Entwicklungsprozess in den Regionen, in denen das Roheisenverfahren zuerst bzw. besonders früh aufkam, als allmählichen Wandel vorstellen, bei dem wohl jede dieser Eisenlandschaften ihr spezifisches Missing Link hervorbrachte, das ein technologisches Bindeglied zwischen dem direkten und dem indirekten Verfahren bildet. Jene innovativen Anlagen ähnelten im Aufbau wahrscheinlich noch mehr oder weniger stark den „traditionellen" Rennöfen. Als Beispiel können an dieser Stelle die beiden Floßöfen aus der Kerspetalsperre (Fundplatz Nr. 105, s. S. 103 ff.) genannt werden. Ausschließlich aus Lehm konstruiert, erreichten sie kaum eine Höhe von 3–3,5 m. Obwohl die beiden Floßöfen noch deutlich an „vergrößerte" Rennöfen erinnern, lieferten sie als Endprodukt ausschließlich Roheisen.

Exogene Wurzeln?

Die frühen Datierungen von Verhüttungsplätzen in Süd- und Mittelschweden, die der Darstellung von Roheisen zugeschrieben werden (s. S. 328 f.), werfen die Frage auf, ob es sich auch um eine exogene Innovation handeln kann. Dies gilt in gleichem Maße für die frühen Floßöfen im Märkischen Sauerland in ihrem zeitlichen und technologischen Kontext zu vergleichbaren Anlagen in Mitteleuropa (s. S. 327 ff.). Auf die einheimischen Wurzeln Europas in der Nutzung der Wasserkraft als antikes Erbe wurde schon hingewiesen (s. S. 319 ff.), ebenso auf das unerwünschte Abfallprodukt von nicht weiter verwertbarem Roheisen an vielen Rennfeuerplätzen (s. S. 322 ff.).

Chinesische Wurzeln?

Auch heute noch wird China als mögliche Ursprungsregion der Roheisentechnologie in Betracht gezogen.[171] Von China aus könnte die Technologie durch die arabische Welt vermittelt und schon frühzeitig nach Nordeuropa und bis nach Schweden gelangt sein. Die skandinavische Forschung ist durchaus geneigt, für die schwedische Roheisengewinnung Einflüsse aus dem eurasischen Gebiet,[172] letztlich sogar aus dem chinesischen Kulturraum anzunehmen.[173]

Die Produktion von Roh- und Gusseisen war in China ohne Zweifel bereits im ausgehenden 1. Jahrtausend v. Chr. sehr geläufig, also ca. 1500–2000 Jahre bevor sich diese Technologie in der übrigen Welt etablierte. Die Umwandlung von „weißem" Roheisen in Schmiedeeisen über das entkohlende Frischen war zu dieser Zeit ebenfalls bereits bekannt.[174]

Belege für den Einsatz von wasserkraftbetriebenen Blasbälge gibt es in China erst seit den ersten Jahrhunderten n. Chr. Diese ermöglichten kontinuierlich noch höhere Temperaturen, so dass nun „graues" Gusseisen mit niedrigen Werten von Silizium und Phosphor hergestellt werden konnte.[175] Ab dem 10. Jahrhundert n. Chr. gab es die größte Veränderung des Hochofens durch eine veränderte Innenkonfiguration: Die Öfen werden bis zu 3–6 m hoch und der ca. 2,5–3,5 m breite Schacht verjüngt sich zur Gichtöffnung. Ihr Rauminhalt beträgt bis ca. 30 m^3. Erst in der frühen Neuzeit wurde das Kasten- und Kolbengebläse eingeführt. Als Energieträger dieser frühen Roheisengewinnung diente bis zum 10./11. Jahrhundert ausschließlich Holzkohle. Für den Einsatz von Koks gibt es erste schriftliche Belege für das 11. Jahrhundert, jedoch fehlen archäologische Belege. Die traditionsreiche und sehr differenzierte chinesische Eisentechnologie stagnierte seit der Ming-Dynastie (1368–1644) und erst unter modern-europäischem Einfluss stieg China wieder zu einem führenden Eisenproduzenten der Welt auf.[176]

[169] Gassmann 2002, 27.

[170] Szöke 1990; Gassmann/Yalçın/Hauptmann 1995, 43–52; Kempa 1995a, 189 ff.; Yalçın/Lychatz 1995, 53.

[171] Zurückgehend bis Needham 1964.

[172] Buchwald 2005; ders. 2008.

[173] Wagner 2008.

[174] Rubin 2002a; dies. 2002b; Sun 2002; Wagner 2008.

[175] Vgl. auch zum folgenden Wagner 2008.

[176] Zur weiteren Entwicklung bis zu Maos bäuerlichen Hochöfen des „Großen Sprungs" in den Jahren 1958–1962: Wagner 1997.

Vermittlungswege nach Westen?

Als konstanter Leitweg für direkte und indirekte Kontakte zwischen China, Innerasien und dem Vorderen Orient spielte die „Seidenstraße“ eine zentrale Rolle, besonders in ihrer Blütezeit im ersten Jahrtausend n. Chr. Neben der Hauptintention, begehrte Güter („Seide“ ist nur eine Metapher für die Vielfalt begehrter Waren) auf ihrer Gesamtstrecke oder auf Teilstrecken hin und her zu verhandeln, bot sie stets neben der persönlichen Mobilität einen Transfer von Informationen aller Art, Wissen, Religionen, Philosophien usw.[177]

Ob, wie und wann sich die Roheisentechnologie von China aus in seine Nachbargebiete und darüber hinaus tatsächlich ausbreitete, liegt jedoch noch völlig im Dunklen. Es gibt noch zu wenige Untersuchungen zur frühen Eisentechnologie in diesen weiten Gebieten, die vor allem von reiternomadischen Völkern mit ihrer wechselvollen Geschichte geprägt wurden,[178] die einen großen Bedarf an eisernen Waffen, vor allem Pfeilspitzen und Schuppenpanzern hatten.[179] Bei vielen eurasischen Völkern spielte Eisen in der Mythologie eine zentrale Rolle.[180] Man kann das Bild gewinnen,[181] dass die aus China stammende Gusseisen-Technologie in Nordwestasien (Mongolei, Sibirien) und in Zentralasien neben die dort vorhandene und vorherrschende Rennfeuer-Technologie trat, jedoch in wesentlich geringerem Umfang. Hinweise auf Gusseisenfundgruppen gibt es in den an China angrenzenden Gebieten der Xiongnu[182], Göktürken[183], Khitan[184], Mongolen[185] und Goldenen Horde.[186]

Wir können arbeitshypothetisch davon ausgehen, dass chinesisches Gusseisen in die Nachbarregionen gelangte, sei es als Export, sei es als Kenntnis von seiner Produktion. Inwieweit die primären Produktionskenntnisse weiter nach Westen bis an den Rand Europas gelangten, dies gilt es zukünftig zu erforschen. Hierbei könnten als Vermittlungsregionen das Reich der Chasaren[187] und Wolgabulgaren (von dort zu den Kiewer Rus[188] und nach dem östlichen Ostseegebiet[189]), später der Goldenen Horde eine Rolle gespielt haben.

Ein weiterer Verbindungsstrang zwischen Vorderasien/Levante und dem christlichen Europa wurde geknüpft, als die christliche Welt ab dem Jahre 1096 in eine bis Ende des 13. Jahrhunderts andauernde militärische Konfrontation mit der islamischen Welt trat. Unbestritten ist dabei die sich aus diesen wechselvollen Kontakten ergebende nachhaltige Wirkung auf die abendländische Zivilisation, Wirtschaft, Wissenschaft und Technik.[190] Die Anfänge der islamischen Eisentechnologie sind archäologisch noch kaum erforscht, so dass derzeit keine relevanten Angaben zu Schmiedeeisen und Roheisen zu machen sind.[191]

Exkurs: Historische Hochofenlandschaft am Südrand des Kaspischen Meeres – Fallbeispiel Māzandarān

Eine gute paläo-ethnografische Parallele zu den leicht gebauten Floßöfen in der Kerspetalsperre liegt mit einem altertümlichen Floßofen vom Nordhang des Elbursgebirges in der regenreichen Region Māzandarān an der Südküste des Kaspischen Meeres im Nordiran vor, den der aus Betzdorf (bei Siegen) stammende Bergassessor Erich Böhne im Jahre 1928 noch angetroffen hat.[192] Böhne fand neben dem Floßofen letzte Relikte einer offenbar bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts zurückreichenden extensiven Roheisengewinnung vor (*Abb. 43*).[193] In der Nähe von Eisenerzlagerstätten (unverwitterte Toneisenerz-Nieren mit ca. 30–40 % Fe)[194] und Holzkohlenmeilern fand er „nur noch von Efeu übersponnene Ofengestelle und zahlreiche Schlackenhalden“, aber den letzten in Betrieb befindlichen Hochofen. Er beschreibt den Standort wie folgt:[195]

„Der Hochofen liegt unter einer offenen, schindelgedeckten Halle mit großem Abzugsloch für Rauch in der Mitte. An der Längsseite der Halle liegen drei Stadel, einer für die Holzkohle, zwei für den Eisenstein. In der Mitte steht der Ofen, eine Lehmpyramide von rd. 3 m Höhe, deren Schacht einen äußeren Querschnitt von 1,2 x 1,2 m in halber Höhe und eine Gichtöffnung von 0,5 x 0,4 m hat. An der Vorderseite befindet sich, unter eingelegten Eisenschienen zurückspringend, das Stichloch, an der Rückseite, erhöht, die Düse für den Wind und daran anschließend ein liegender, zweiteiliger Blasebalg. Der Antrieb erfolgt recht geschickt mit Hilfe einer hölzernen Pleuelstange und kurzen Eisen-

[177] Uhlig 1986; Kuhn 1993; Hansen 2006; Wieczorek/Lind 2007; Foltz 2010.
[178] Brentjes 1988.
[179] Rudenko 1969.
[180] Eliade 1992.
[181] Wagner 2008.
[182] Ebd. 221 ff.; Gelegdorj et al. 2007; Park et al. 2010.
[183] Scharlipp 1992; Stark 2008; zu Eisenfunden: Kenk 1982; Geledorij et al. 2007, 1188 ff. Abb. 2,c [Gusseisen].
[184] Gusseisen: Gelegdori et al. 2007, 1189 f. Abb. 2,d.
[185] Gusseisen: Ebd. 1189 f. Abb. 2,e–g.
[186] Spuler 1943/1965; gusseisernes Objekt: Fedorov-Davydov 1984, 98. 95 Abb. 101 [Radbüchse].
[187] Pletneva 1978; Roth 2006.
[188] Dolukhanov 1996.
[189] Steuer 2004.
[190] Lohrmann 1995b; 2000; 2004; Kotzur et al. 2004; Mayer 2005; Wieczorek et al. 2005.
[191] vgl. Hoyland/Gilmour 2004.
[192] Böhne 1928; Johannsen 1953, 138 ff.; Wertime 1964; Wagner 2008, 349 ff.
[193] Wagner 2008, 349.
[194] Böhne 1928, 1578.
[195] Ebd. 1579.

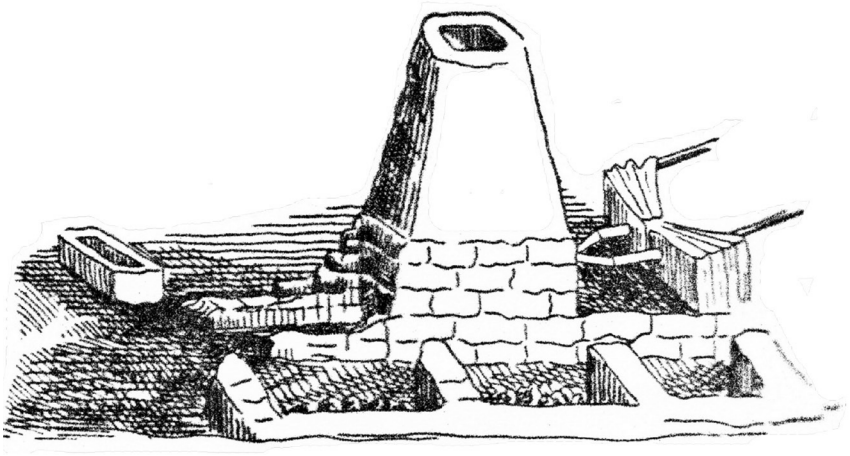


Abb. 43. Māzandarān, Elbursgebirge (Nordiran). Umzeichnung der Befundsituation (aus Böhne 1928).

kurbel durch ein stehendes Wasserrad, eine Art Turbine, wie sie sich bei allen persischen Mühlen findet. An der senkrechten Welle sind 24 Holzschaufeln mit sorgfältig ausgekehltem Blatt im Winkel von 55° befestigt. Das abnehmbare Verbindungsstück zwischen Bälgen und Düse besteht aus Leder mit Eisenblechende. Vor dem Stichloch liegt vertieft der mauerumgebene flache Vorherd, davon eine breiter Lehmestrich und daneben der lange Holztrog für das fertige Erzeugnis" (*Abb. 43*).

„Der Eisenstein wird in den Stadeln geröstet, auf Nußgröße zerkleinert und etwa 440 kg (auf ungerösteten Stein gerechnet) mit 320 kg Holzkohle gemöllert in 24 h aufgegeben. Etwa alle 2½ h, bei gutem Ofengang alle 1½ h werden etwa 7,5 kg Eisen gleichzeitig mit der Schlacke in den Vorherd abgelassen. Mit Kellen wird das Eisen aus dem Vorherd geschöpft und unter Schütteln auf dem feuchten Estrich verteilt, wobei es zu Schrotpulver zersprazt. Die Kügelchen werden in dem Holztrog aufbewahrt, ausgesucht und als Flintenschrot [...] verkauft. Die tägliche Erzeugung beträgt etwa 60 bis 90 kg, bei gutem Ofengang bis 120 kg Schrot. Früher soll auch Eisen für Werkzeuge und Waffen erschmolzen worden sein, das von herumziehenden Schmieden in *kleinen Frischfeuern* [kursiv A. J./M. O.] verarbeitet wurde; noch vor wenigen Jahren lieferten die Oefen Masenderans das Gießereiroheisen für das Arsenal in Teheran".

„Der Schmelzbetrieb findet hauptsächlich im Winter statt, je nachdem die Arbeiter in der Landwirtschaft frei sind und je nachdem Eisenerze vom Wasser angeliefert werden; nach einem Monat Vorbereitungsarbeiten – Erzsammeln usw. – ist der Ofen 4 bis 5 Monate in Betrieb. In der Regel erfordert ein Ofen 13 Mann und zwei Maultiere zur Bedienung; vier Mann sind mit Sammeln und Zerkleinern des Eisensteins, fünf Mann mit Kohlenbrennen und vier am Ofen selbst beschäftigt [...]".

Diese historische Eisenlandschaft – über eine Eisenverarbeitung wird schon im 13. Jahrhundert berichtet[196] – liegt auf halbem Weg zwischen Ost-/Südostasien einerseits und der Levante bzw. Europa andererseits und lässt hinsichtlich der Frage nach dem Ursprung des europäischen Hochofenverfahrens noch alles offen, zumal die zeitliche Tiefe dieser Roheisengewinnung im Elbursgebirge derzeit noch nicht gegeben ist. Von großer Bedeutung sind die detaillierten Angaben zur saisonalen Betriebsweise und Arbeitsorganisation sowie zu den Produktionsmengen.

In einer wegen des derzeitigen archäologischen und archäometallurgischen Forschungsstandes zur frühen Eisentechnologie in Zentralasien und dem Vorderen Orient vagen Zusammenschau können wir davon ausgehen, dass chinesisches Gusseisen in die Nachbarregionen gelangte, sei es als Export sei es als Kenntnis von seiner Produktion. Es stieß auf die Tradition des Schmiedeeisens. Inwieweit die primären Produktionskenntnisse weiter nach Westen bis an den Rand Europas gelangten, gilt es zukünftig zu erforschen.

Ausbreitung der Roheisentechnologie

Unabhängig davon, ob die Roheisentechnologie auf eine indigene Entwicklung oder auf einen Technologietransfer von außerhalb Europas zurückzuführen ist, setzte sich diese neue Technik nach ihrer Einführung rasch im Zuge der auch auf vielen anderen Gebieten fassbaren Mobilität in Gesamteuropa durch. „Fortschrittliche Erfindungen haben die Tendenz, sich zu verbreiten".[197]

[196] Needham 1964; Wagner 2008, 349.

[197] Sprandel 1984, 74.

Das bedeutet, dass Mobilität von Spezialisten innerhalb Europas erst nach Etablierung der Technologie in mindestens einer oder mehreren Innovationsregionen eine große Bedeutung gehabt haben kann. Galt eine Technologie u. a. vor dem Hintergrund der Lohnkosten und der Verfügbarkeit von Rohstoffen (Erz, Holzkohle) als attraktiv, wurden nachweislich Spezialisten gezielt angefordert.[198] So waren es neben den Ofenbauern z. B. auch wandernde Büchsenmacher und Geschützgießer, die wesentlich zur Verbreitung von Wissen und Technologie beitrugen. Kaiser Maximilian I. (1459–1519) erbittet 1493 von seinem Cousin, Markgraf Christoph I. von Baden (1453–1527) die Entsendung eines Spezialisten:[199] „*Als wir deiner liebe vormalen geschriben und begert haben, uns den mittleren brueder der eysengießer, so zu Lützelnburg heuslich sitzen, zu schicken, der aber bisher nicht komen ist, begern wir an dein liebe mit ernst, du wellest uns denselben eysengießer, nemlichen den mittleren brueder, nochmals fürderlichen zuschicken, und das nit laßen, den wir ain mercklichen zeug von eysen beieinander haben, die derselbe gießer verarbeiten sol*“. Schriftquellen belegen, dass neben dem Handel mit Eisen (z. B. Osemundeisen, s. S. 309 ff.) und Fertigprodukten auch „Industriespionage“ von Bedeutung war, ging es doch um erhebliche wirtschaftliche und nicht zuletzt auch militärische Vorteile.

Möglicherweise steht die Einführung der Roheisentechnologie in einem engen Zusammenhang von z. B. dynastischen Allianzen, Klöstergründungen (besonders der Zisterzienser), in die Weite führenden Pilgerfahrten,[200] individueller Mobilität von Handwerkern und technischen Spezialisten, wie z. B. von Baustelle zu Baustelle „wandernden“ Bauhütten usw.[201]

Die weitgehende Einheitlichkeit in der Bauweise der frühen Massenhütten des Märkischen Sauerlandes und seiner Nachbarlandschaften (Jubachtalsperre, Wissen) und Schwedens (Lapphyttan) ist am besten durch eine hohe Mobilität von Verhüttungsspezialisten zu erklären. Ihre Kenntnisse ermöglichten den Hüttenbetreibern eine Emanzipation aus der engen grundherrschaftlich ausgerichteten Welt in das aufkommende frühe Bürgertum hinein mit seinen gewissen Freiheiten.

Die bisherigen archäologischen und schriftlichen Belege verdichten das Bild, dass die Roheisentechnologie sich in einem Gebiet von Oberitalien bis Südschweden mit Seitenwegen nach Burgund/England und Südfrankreich/Spanien etablierte und in dieser Region ihren Ursprung hatte (s. S. 11 *Abb. 3*).

Mitteleuropa wurde jedoch von dieser Entwicklung nicht gleichmäßig erfasst. Einige Regionen verharrten noch lange Zeit in der traditionellen Technologie (Rennöfen), während in anderen Landschaften längst innovative Öfen (Stucköfen oder frühe Floß-/Hochöfen) zum Einsatz kamen. Die Übergänge vom direkten zum indirekten Verfahren der Eisenproduktion sind wahrscheinlich fließend, regional unterschiedlich zu bewerten und in ihren archäologisch fassbaren Anfängen, zumindest in einigen Landschaften Mitteleuropas, wohl spätestens in der frühmittelalterlichen Rennofentechnologie begründet.

In solchen Landschaften Mitteleuropas, in denen das indirekte Verfahren nicht zur Anwendung kam, stellt sich die Frage, ob die neue Technologie prinzipiell unbekannt war oder aber bewusst nicht zur Anwendung kam. Exemplarisch sei hier auf die späte Übernahme der Hochofentechnologie im frühneuzeitlichen Inneröster reich (Kärnten, Steiermark) verwiesen. Obwohl Hochöfen in Mitteleuropa längst etabliert waren, adaptierte man dieses Verfahren nicht, weil Stucköfen mit ihrer gegenüber Rennöfen deutlichen Produktionssteigerung des direkt gewonnenen Schmiedeeisens für lange Zeit besser auf die lokalen Bedürfnisse abgestimmt waren. Eine ähnliche Situation zeigt sich in anderen Regionen, wie z. B. in der Oberpfalz und in weiten Teilen des östlichen Mitteleuropas, wo die Roheisenproduktion erst im 16. oder 17. Jahrhundert aufgenommen wurde.

FAZIT

Die Frage nach dem Aufkommen der Roheisentechnologie, seinen Ursachen und Abläufen ist nur vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Eisenlandschaften Europas zu klären. In diesen Eisenlandschaften muss jeweils auch geklärt werden, wie sich die Produktion von Eisen und Stahl über die Jahrhunderte verändert hat, bevor zusammenfassend für den gesamten europäischen Raum Rückschlüsse gezogen und allgemeingültige Parameter herausgestellt werden können. Tatsächlich sind die Eisenlandschaften untereinander nur eingeschränkt vergleichbar. Zu unterschiedlich sind u. a. die verfügbaren Rohstoffe, Produktionsbedingungen und die angewandten Verhüttungsverfahren.

Sicher wird es noch einiger Jahre intensiver montanarchäologischer Forschung im Rahmen interdisziplinär ausgerichteter Projekte bedürfen, um den Weg vom direkten (Verhüttung im Rennofen) zum indirekten Verfahren (Verhüttung im Floß-/Hochofen) auf der Grundlage einer ausreichend großen Datenbasis verlässlich nachzeichnen zu können.

[198] Ebd.

[199] Kurzel-Runtscheiner 1938, 55. 57.

[200] Zum archäologischen Nachweis u. a. Haasis-Berner 2003.

[201] Binding 1997; Freigang 1998.

SCHRIFT- UND BILDQUELLEN ZUR FRÜHEN HOCHOFENTECHNOLOGIE

Thorsten Abdinghoff und Albrecht Jockenhövel

Im Spätmittelalter ist auf vielen Gebieten eine Verwissenschaftlichung menschlicher Lebensbereiche, darunter der Technik bzw. technischer Vorgänge festzustellen. Die sich immer weiter durchsetzende Schriftlichkeit führte zur Herausbildung erster technischer „Spezialliteratur", die zwar zunächst noch tief im tradierten antik-christlichen Weltbild verankert war, sich aber allmählich aus ihren engen Fesseln lösen konnte. Ab dem 14. Jahrhundert erscheinen im Kontext der Schaffung und Sicherung von größeren zusammenhängenden Territorien grundlegende Schriften zum zivilen und militärischen Ingenieurwesen sowie um die Epochenwende um das Jahr 1500 erste, im neuen Buchdruckverfahren weit verbreitete Bücher zum Montan- und Verhüttungswesen, die in den enzyklopädischen Werken von Vannoccio Biringuccio (erschienen 1540) und Georg Agricola (erschienen 1556 [lateinisch]/1557 [Frühneuhochdeutsch]) ihren vorläufigen Höhepunkt finden. Diese Schriften sind teilweise so anschaulich illustriert, dass sie noch heute nutzbar sind und – wie besonders die Holzschnitte Agricolas – immer wieder zur Illustration früher technischer Vorgänge reproduziert werden. Da durch unsere Feldforschungen zur frühen Hochofentechnologie für diesen innovativen Zeitraum zwischen dem 13./14. und 16. Jahrhundert nicht nur Grundrisse von Hochöfen, sondern auch die räumliche Hüttenplatzstruktur zu Tage gefördert wurden, sollen im Folgenden für das Thema relevante Schrift- und Bildquellen zur Erhellung der archäologischen Befunde herangezogen werden, wobei sich eine Wechselwirkung ergibt.

VORLÄUFER

In bis in die Karolingerzeit zurückgehenden hochmittelalterlichen Rezeptsammlungen, wie den *Mappae Clavicula* und der *Handschrift Lucca* wird beschrieben, dass aus Verhüttungsöfen Eisen abfloss wie Kupfer und Blei. Um daraus jedoch auf die durchgängige Gewinnung von flüssigem Roheisen zu schließen, sind die Angaben zu dürftig.[1] Falls es so gewesen war, ging diese Kenntnis offenbar rasch verloren, denn der Universalgelehrte Albertus Magnus (um 1200–1280) beschreibt, dass Eisen nur erweichbar bzw. nicht schmelzbar ist. Es wird von ihm wohl das direkte Verfahren, die Rennfeuerverhüttung, beschrieben worden sein.[2]

Ein Bericht über ein Gottesurteil aus dem Jahre 1130 kann als Schriftquelle für die Existenz von alpinen Stucköfen in dieser Zeit gelten: Auf der zum Kloster gehörigen Eisenhütte von Rudendorf-Blahberg im oberen Ennstal unterwirft sich der Abt des Benediktinerklosters Admont (Bez. Liezen, Obersteiermark), Wolfhold (vor 1100–1137) einem Feuerordal, um böswilligen Verdächtigungen entgegen zu treten. Er lässt die Ofenbrust (*in fornace*) öffnen, die „strahlende" (*candida*) Maß (*massa ferri*) herauszängen, greift sie mit bloßen Händen und schwingt sie über seinen Kopf; seine Hände bleiben wie durch ein Wunder unverletzt. Die Schilderung des Verhüttungsvorganges erschließt einen Rennfeuerprozess. Archäologische Forschungen erbrachten einen in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden und in die erste Hälfte des 12. Jahrhunderts zu datierende Rennofenstandort am Dürrnschöberl, jedoch ohne direkten Nachweis für die Nutzung der Wasserkraft, die aber von den Ausgräbern in Betracht gezogen wird, so dass zunächst von einem Stuckofen gesprochen wurde. Auch an diesem Standort wurden im Ofen höhere Temperaturen erzielt, wie eine ungenutzte Roheisenluppe beweist. In unmittelbarer Nähe liegen Eisenerzpingen.[3]

Wenn auf dem Siegel (an einer Urkunde von 1338) des Eisengewerken Herzog Konrad von Plahberg im Admonttal tatsächlich ein Schmelzofen dargestellt ist, dürfte es sich um den ältesten Nachweis für einen aus dem Namen „Plah" (für Bläher; Windpressung) erschließbaren Stuckofen in dieser Region handeln. Abgebildet ist eine Art zinnengekrönter Turm mit Mauerleiste, vor dem sich das alte Hüttenemblem, drei züngelnde Flammen befinden (*Abb. 1*).[4]

Noch ohne technische Kenntnisse schildert die schwedische Heilige Birgitta (auch Brigitta, Brigida) (1302/1303–1373) in einer ihrer um 1340/50 erfahrenen Offenbarungen einige Details aus dem damaligen Hüttenwesen. Als Tochter eines Hüttenbesitzers in Finsta bzw. Finstad (Prov. Uppland) war sie – wie später der Franzose Nicolas Bourbon – durchaus vertraut mit ihrer technischen Umwelt: Sie beschreibt fauchende Blasebälge, einen großen Schmelzofen, aus ihm züngelnde Flammen; alles wird mit dem Feuer der Hölle verglichen. Auch die räumliche Struktur einer solchen Hütte ist ihr vor Augen: Das im Ofen erschmolzene Metall wird an der Hütte zu einer anderen Stelle zur weiteren Aufarbeitung (Frischherd?, Schmiede) und von dort zur Aufbewahrung (Lager, Speicher) für den Eigentümer gebracht. Jedoch können sich – entgegen ihren Angaben – ihre Ausführungen nicht auf Schmelzvorgänge von Gold, sondern auf die von Eisen beziehen.[5]

[1] Johannsen 1933.
[2] Ders., 74.
[3] Preßlinger/Eibner 1982; Eibner/Preßlinger 1990.
[4] Preßlinger 1980.
[5] Johannsen 1953, 145 f.



Abb. 1. Stuckofen (?). Darstellung auf einem Siegel des Eisengewerken Herzog Konrad von Plahberg im Admonttal aus dem Jahr 1338 (unten: Ausschnitt).

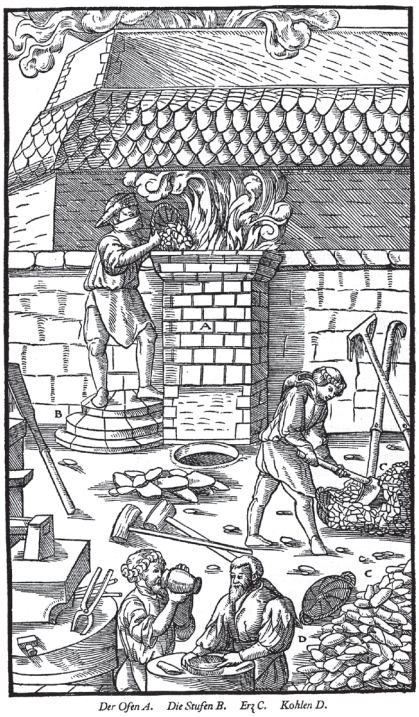


Abb 2. Stuckofen (?). Holzschnitt aus Georgius Agricola „De re metallica libri XII“, Neuntes Buch (1556).

Uppland war bekanntlich seit dem späten Mittelalter ein Zentrum der frühen schwedischen Eisenindustrie und der frühe Hochofen von Lapphyttan bei Norberg (im westlich benachbarten Västmanland) war in dieser Zeit in Betrieb (s. S. 328 f.).

Antonio Averlino, genannt Filarete

Mit dem Wirken des in Florenz geborenen Antonio Averlino, genannt Filarete (= Tugendfreund) (um 1400–um 1469 [in Rom]) beginnt die lange Reihe hervorragender Ingenieure, die ihren Höhepunkt im genialen Leonardo da Vinci (1452 –1519) findet. Sie waren meistens in Personalunion Architekt, Ingenieur und bildender Künstler (Plastik, Malerei, Metallgießerei). Über ihre wechselnden Auftraggeber (Städte, fürstliche und päpstliche Residenzen) waren sie als begehrte Spezialisten in den führenden Zentren der italienischen Frührenaissance tätig (wie Rom, Florenz, Siena, Mailand, Venedig). In seinem zwischen 1460 und 1464 entstandenen 25-bändigen *Trattato d'architettura* wird im Zusammenhang mit der Planung einer idealen Stadt eine in wilder Gebirgslandschaft des nördlichen Apennin bei Ferriere im Val Nure (Prov. Piacenza)[6] gelegene Eisenhütte beschrieben:[7] Am Fluss steht die wasserkraftbetriebene Anlage, die aus zwei gemauerten Räumen besteht. In dem einen, dem größeren, befinden sich die beiden stehend(!) angebrachten, rindsledernen und mit Eisen beschlagenen Blasebälge (L. 6,6 m; Br. 2,4 m), die in ein „Rohr“ einmünden. Sie erzeugen ein „wahrhaft donnerähnliches Geräusch“. In dem anderen, kleineren Raum, steht der „mit feuerfesten Steinen“ raugemauerte Ofen. „Das geschmolzene Eisen ist flüssig wie Glockenmetall“. Da an diesem Standort der zugehörige Frischherd noch nicht fertiggestellt war, schildert Filarete für diese Installation eine andere wasserkraftbetriebene kombinierte Eisenhütte (Ofen, Hammer) bei Grotta Ferrata in Nähe Roms. Das aus nahe gelegenen Gruben gewonnene Erz wird auf Bohnengröße gepocht und in einem Kalkofen(!) geröstet. Das Schmelzgut wird alle zwölf Stunden abgelassen. Nach diesen detaillierten Schilderungen handelt es sich wohl eindeutig um Floßöfen, die Roheisen produzierten, das anschließend gefrischt wurde.

Mariano di Jacopo, genannt Taccola

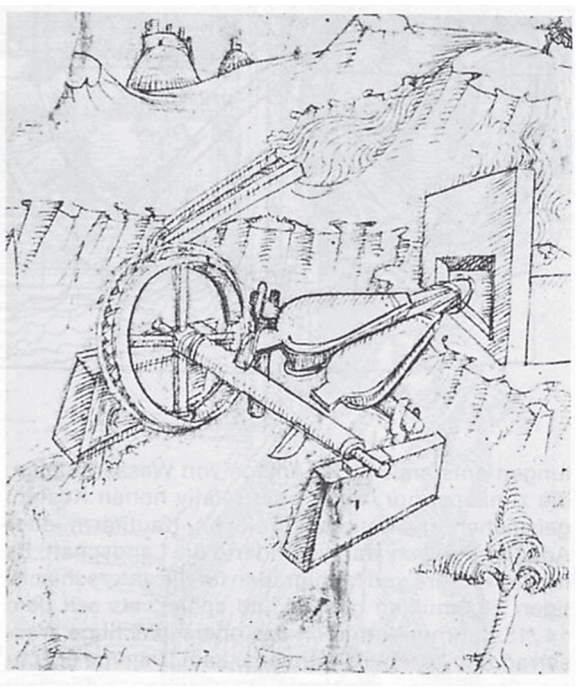
Sehr begehrt, auch von dem römisch-deutschen Kaiser Sigismund (1368 –1437; Kaiser seit 1419), waren die umfassenden Kenntnisse des aus Siena stammenden Mariano di Jacopo, genannt Taccola (1381– ca.1458), der in seinen reich bebilderten Schriften zum Militär-

[6] Ortsangabe nach Baraldi/Calegari 2001, 107 ff. sowie Taf. 4.

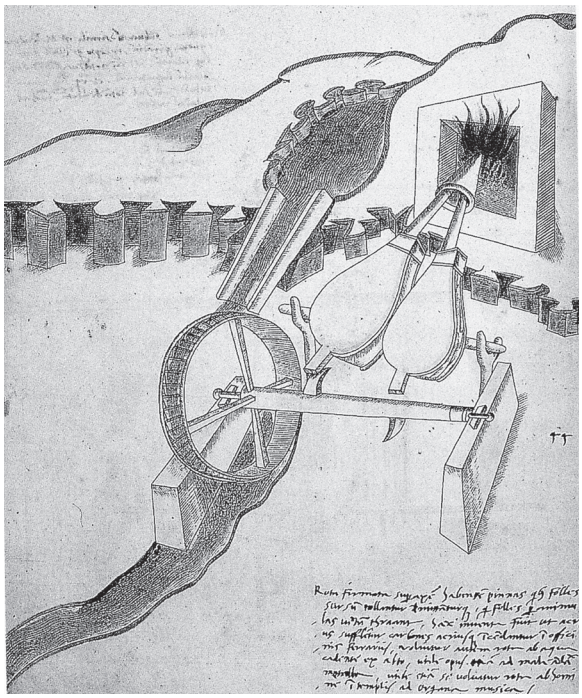
[7] Nach v. Oettingen 1890, 470 ff.; Johannsen 1953.



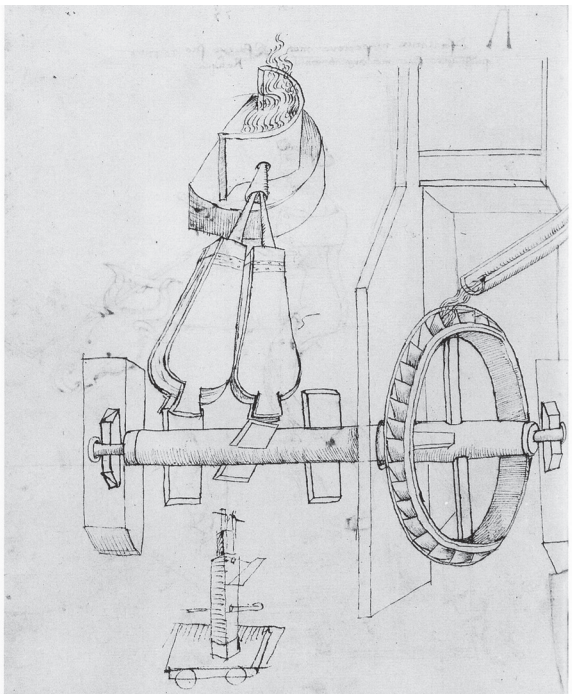
1



2



3



4

Abb. 3. Rennwerk (?) mit oberschlächtigem Wasserrad und Blasebälgen. Handzeichnungen aus Mariano di Jacopo, genannt Taccola „De machinis“ (1449).1: Nationalbibliothek Paris; 2: Bayer. Staatsbibliothek München; 3: Biblioteka Nazionale Marciana,Venedig; 4: Bayer. Staatsbibliothek München.

und Maschinenwesen wasserkraftbetriebene Schmelzanlagen darstellt, bei denen es sich – Taccola nennt keine Metallart – möglicherweise um ein Rennwerk handelt *(Abb. 3*), denn es ähnelt im Aufbau der später von G. Agricola geschilderten und abgebildeten Anlage (*Abb. 2*).

Drei der vier Zeichnungen in den Handschriften (Bibliotheken in München, Venedig, Mailand, Paris) sind sich recht ähnlich: Aus einer gebirgigen Landschaft wird über eine Hangkante ein hölzernes Gerinne verlegt, das oberschlächtig Wasser auf ein Rad leitet. Über den nockenbesetzten Wellbaum werden zwei gegeneinander versetzte Blasebälge aus holzverstärktem Leder im Wechsel angetrieben. Die beiden Spitzen der Bälge münden in eine metallene Düse, die durch eine Trennwand in den hinter ihr liegenden quadratischen Ofen reicht, aus dem Flammen schlagen. Nach der farbigen Abbildung sind die Blasebalgnasen und die Düse bläulich angelegt, also bestehen beide Teile aus Metall (Eisen, Kupfer?) (*Abb. 3,1–3*). In einer nur die Ofenanlage darstellenden Zeichnung weicht der Ofen mit seiner halbrunden Form davon ab (*Abb. 3,4*). Bei der Metalldüse handelt es sich um die bei Agricola beschriebene „*Form*" bzw. das „*Rohr*". Es war ein Glücksfall, dass eine solche Düse, eine Windform aus Schmiedeeisen, bei den Feldforschungen im Genoeserbusch bei Peppange (Luxemburg) aufgefunden wurde, die zu einem größeren Rennofen des 13./14. Jahrhundert gehört und bisher singulär im spätmittelalterlichen Fundstoff Europas ist.[8]

Nicolas Bourbon

Im Alter von 14 Jahren verarbeitete der humanistische Dichter Nicolas Bourbon (1503/1505–nach 1550) die Eisenhütte seines Vaters, die in der Nähe von Vendeuvre-sur-Barse (Dép. Aube) an der Barse, ein kleiner Nebenflusse der Seine, unmittelbar in der Nähe eines großen Waldgebietes lag, in einem auf Latein abgefassten Loblieb, das als „*Ferraria"* Bestandteil seiner zuerst 1533 erschienenen Epigrammsammlung „*Nugae"* ist. Es sind in ihm eine Reihe wichtiger Details enthalten, die insgesamt ein Licht auf diese Frühphase der Roheisenproduktion werfen und die archäologischen Befunde und zeitgenössischen Bildquellen ergänzen. Daher seien die wichtigsten Passagen hier wörtlich wiedergegeben (*Abb. 4*).[9]

Bourbon teilt uns eine Menge an Informationen über die Gestalt des Hochofens, seine Ausstattung, die technischen Prozesse und den Arbeitsablauf einer frühneuzeitlichen Eisenhütte mit. Kurz zusammengefasst entsteht folgendes Bild: An einem Wasserlauf steht eine mächtige Eisenhütte von quadratischer Form. Ihre Außenwände sind raugemauert; der Schachtmantel des Schmelzraumes ist innen mit feuerfestem Material (Kieseln) ausgekleidet. Ein Wasserrad treibt im Wechsel zwei aus Rinderhäuten gefertigte Blasebälge, die in die hintere Wand kontinuierlich und gleichmäßig den Wind einblasen. Ein fast schlafloser Gießer überwacht den Schmelzvorgang und trennt mit Haken Schlacke vom flüssigen Eisen. Über die Gicht gibt ein Helfer weiteres Schmelzgut auf; eine Hüttenreise dauert acht Wochen. Das Gusseisen wird in Lehmformen gestürzt, darunter auch solche für Kanonen (= Bombarden) und Kanonenkugeln. Weiteres Roheisen wird in einem zweiten Ofen, besser Herd, gefrischt (= Frischhütte) und dann unter einem mit Wasserkraft angetriebenen Hammer (= Hammerwerk) ausgeschmiedet und mit Zangen in Wasser abgeschreckt.

Vannoccio Biringuccio

Der Sieneser Vannoccio Biringuccio (1480–1537 [in Rom]) stieg aus einfachen Verhältnissen zu einem nachgefragten Bergbaumanager, Metallurgen, Architekten und Ingenieur auf. Seinen Werken kamen seine empirischen Erfahrungen auf verschiedenen Eisenbergwerken und Eisenhütten sowie in der Leitung von Silberminen am Avanzaberg (Karnische Alpen) zugute. Durch zwei Reisen in das seiner Zeit im Montanwesen führende Tirol (Schwaz, Hall) gewann er weiteres Wissen, auch später als Leiter des Bergbaus und der Münze in Siena. Nach weiteren Tätigkeiten wurde er kurz vor seinem Tode in Rom Geschützgießer und Baumeister des Petersdomes. Sein chemisches und metallurgisches Wissen kulminierte in seinem um 1534/35 in seiner Muttersprache verfassten zehnbändigen Werk „*De la Pirotechnia"*, das jedoch erst 1540 posthum erschien, auch in deutscher Übersetzung als „*Die zehn Bücher von der Feuerwerkskunst"*. Es kann in seiner enzyklopädischen Anlage als Vorläufer der Arbeiten G. Agricolas gelten.

Im ersten Buch geht Biringuccio auf die Eigenschaften der Metalle ein, darunter auch die des Eisens. Er betont, „dass es nicht der Kraft mächtiger Feuer, vieler Vorrichtungen oder besonderer Arbeit und Kunst bedarf", um aus dem „Schmiedeherd vor der Winddüse" [...] sehr weiches und dehnbares" schmiedbares Eisen im direkten Verfahren zu gewinnen, wobei die Blasebälge von „Rad und Wasser" angetrieben werden**.** Es wird ein großes Stück Eisen erzielt, das aus dem Ofen herausgezogen und unter einem Hammer zu Luppen, in einem weiteren Verfahren noch einmal unter einem „Wasserhammer" zu „Rund- oder Vierkantstäben" oder anderen Formen verarbeitet wird.[10] Nach diesen Schilderungen handelt es sich offenbar um einen wasserkraftbetriebenen Stuckofen. Floßöfen zur Roheisengewinnung werden nicht genannt und waren Biringuccio anscheinend unbekannt, obwohl das indirekte Verfahren in Italien bereits in Gebrauch war, von dem Filarete berichtet.

[8] Overbeck 2011, 157 ff.
[9] Nach Slotta/Bartels 1990, 230 f.
[10] Nach Johannsen 1925, 69 f.

„Ein mächtiger Bau in der Nähe der Barse
Von quadratischer Form und unbehauen erhebt sich,
‚Der Hochofen' genannt, er wird aus gewöhnlichen Steinen
Aufgebaut und im Innern allein mit Kieseln bekleidet,
Hartem Gestein von erstaunlicher Kraft gegen lodernde Flammen.
Von der hinteren Wand her blasen mächtige Schläuche
Beide aus Ochsenhäuten gefügt vom Rade getrieben,
Das fortwährend sich dreht, bewegt vom fließenden Wasser,
Immer wechselnd im Blasen und immer blasend im Wechsel,
Beide mit gleicher Gewalt. Hier steht der Gießer, so heißt er;
Dieser nimmt mit Geschick in Empfang die geschmolzene Masse,
Die Gusseisen man nennt, und lenkt die Ströme des Windes.
Nimmt mit eisernen Hacken die Schlacken, regelt die Gluten,
Trennt das gereinigte Eisen vom ungereinigten, wacht auch
Ganze Tage hindurch und Nächte, alles ertragend.
Schlaf auch nur sechs Stunden auf einmal gälte für Sünde,
Während der ganzen Zeit, acht Wochen gehen vorüber,
Da der Ofen gefüllt mit derselben eisernen Füllung.
Starke Bälge eilen zu Hülf' den ermatteten Brüdern
Und erneuern die Glut: In Bächen flutet das Eisen
Und mit lauten Gebrüll entstürzt die geschmolzene Masse,
Flammen lodern empor in schwarz aufwirbelndem Rauche.
Feurige Bälle von Riesengestalt erreichen die Sterne
Fast im Fluge; so haucht die Schwefeldämpfe der Ätna,
Will vergebens unter der Last des Berges der Riese
Die ermüdete Seite befrein, aufheult er im Ingrimm.
Donnernd entsprühen die Flammen, es türmt die Wogen das Meer auf.
Kohle inzwischen und Erz dem hungrigen Ofen zu schaffen,
Falls nicht gänzlich gefüllt der weit geöffnete Schlund ist,
Hilft dem Gießer ein Mann, der auch oben als Wächter
Haust, ein treuer Gesell, doch schwarz und finster wie Satan.
Emsig bilden zugleich geschickte Hände Gefäße,
Machen erst die Formen aus Lehm und drehen sie zierlich.
In die fertigen Formen wird dann das Eisen gegossen.
Auch Bombarden gießen sie dort, die schrecklichen Wunder,
Eine Erfindung der Hölle, die Götter zürnten den Menschen,
Als den Deutschen Vulkan die tödliche Waffe verliehen.
Kugeln machen sie auch, die donnernd Mauern zertrümmern.
Städte und Türme werden zerstört und Riesengestalten
Weggefegt, es fliegen den Blitzesflammen vergleichbar
Diese Martern dahin, es mahnt an den Donner ihr Krachen.
Ist die geschmolzene Masse erst eben dem Ofen entnommen,
So verdient sie noch nicht den Namen richtiges Eisen.
Nochmals schmilzt ein Gießer sie ein, nachdem er zertrümmert,
Was erst eben entstand; der zweite Ofen verbessert,
Macht geschmeidig das Eisen und bringt zur Kugelgestalt es.
Kräftige Schmiede müssen sodann es strecken und glätten.
Sie verwenden dabei den Riesenhammer aus Eisen,
Von gewaltiger Kraft des Wassers wird er getrieben.
Wieder glüht sie geduldig das Eisen, drehen's im Feuer
Starke Zangen verwendend herum und tauchen es glühend
Ein in bereitetes Wasser."

Abb. 4. „*Ferraria*" (Auszug). Eisenhüttenmännisches Gedicht aus der Epigrammsammlung *„Nugae"* (1533) von Nicolas Bourbon.

Georgius Agricola

Der bis heute anerkannte Fachmann auf dem Gebiet des frühneuzeitlichen Montan- und Hüttenwesens ist der sächsische Arzt und Naturforscher Georgius Agricola (= Georg Pawer [Bauer]) (1494–1555). Seine posthum (1556) auf lateinisch und Frühneuhochdeutsch (1557) erschienenen zwölf Bücher „*De re metallica libri XII"* bzw. „*Vom Bergkwerck XII Bücher"* fassen den gesamten antiken, mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Wissensstand zusammen, wobei Agricola selbst als Praktiker wesentlich zu einer ersten Verwissenschaftlichung der Geowissenschaften beitrug. Trotz seiner enzyklopädischen Gelehrsamkeit beschreibt er jedoch keinen frühen Hochofen, sondern nur den Stuckofen, so wie Eisen in seinem Werk generell gegenüber den Edel- und Buntmetallen zurücktritt. Offenbar hat Agricola in seinen Wirkungsgebieten und auf seinen Reisen, die ihn über Böhmen bis nach Oberitalien führten, frühe Hochöfen oder Berichte über sie nicht kennengelernt.

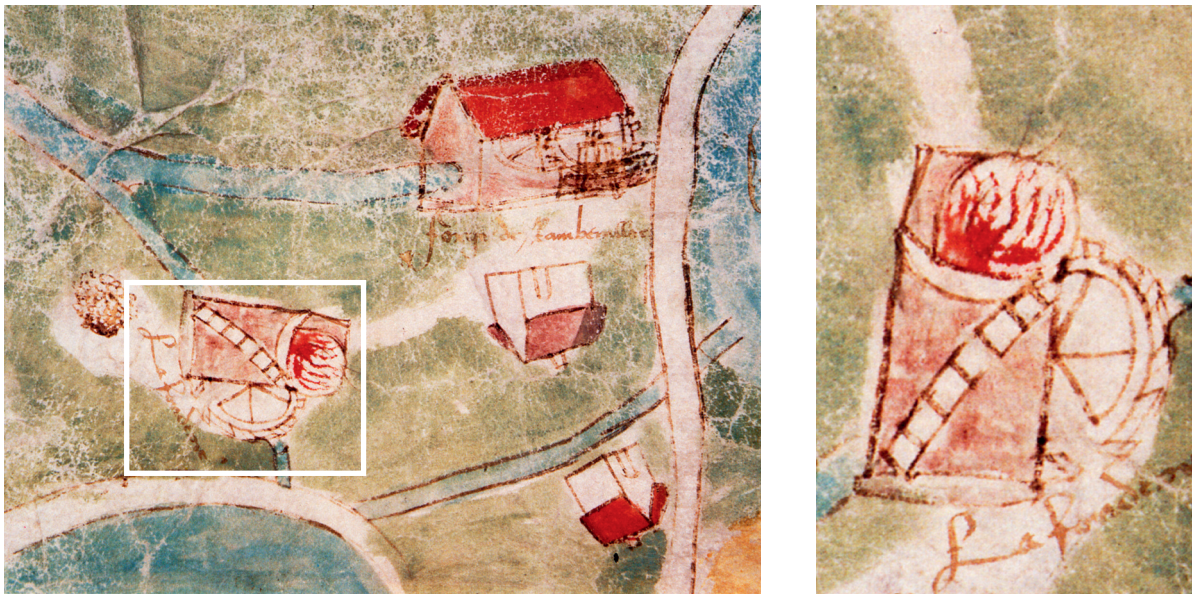
Agricola schildert einen „Ofen", bei dem es sich um einen Stuckofen handeln wird. Der aus Ziegelwerk sorgfältig aufgemauerte, rechteckige Ofen besaß eine Höhe von ca. 1,5 m und Seitenmaße von ca. 1,0 x 0,7 m. Ein auf einer ca. 0,6 m hohen dreistufigen gemauerten Treppe stehender Arbeiter schüttet einen mit Erz gefüllten Korb in die überkragende Gicht. Im unteren Bereich des Ofens liegt die mit Lehm (es sind keine Ziegel angedeutet) verschlossene Ofenbrust, durch die die Luppe herausgezogen werden kann. Vor dem Ofen liegen unregelmäßige Luppenstücke, die mit dabei liegenden Holzschlegeln zerkleinert werden konnten (*Abb. 2*).

HOCHÖFEN AUF FRÜHEN KARTEN

Neben den Darstellungen auf Gemälden (s. S. 368 ff.) gibt es auch auf frühen Karten Darstellungen von Ofenstandorten. Naturgemäß lassen diese den Detailreichtum der Gemälde vermissen, denn Karten dienten der rechtlichen Fixierung der Lage und Ausdehnung dieser wichtigen frühindustriellen Anlagen. Ausgewählte Beispiele sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Über die Topografie und Binnenstruktur einer solchen Eisenhütte gibt eine von Jacques Potier im Jahre 1508 angefertigte Karte vom Wald von Belloy (Rainvillers, Dép. de1'Oise, Normandie) südwestlich von Beauvais einigen Aufschluss (*Abb. 5*):

Der nur sehr schematisch dargestellte Ofen („*la fonderie*") liegt an einem Wasserlauf, ist quadratisch und etwa doppelt so hoch wie breit. Er weist neben einem wahrscheinlich unterschlächtigen Wasserrad auch eine



1 2

Abb. 5. Eisenhütte und Schmiede/Hammerwerk im Wald von Belloy, Rainvillers, Dép. de1'Oise, Normandie. 1: Ausschnitt aus einer Karte von Jacques Potier (1508); 2: Der Hochofen im Detail (gedreht) (aus Arnoux et al. 1991).

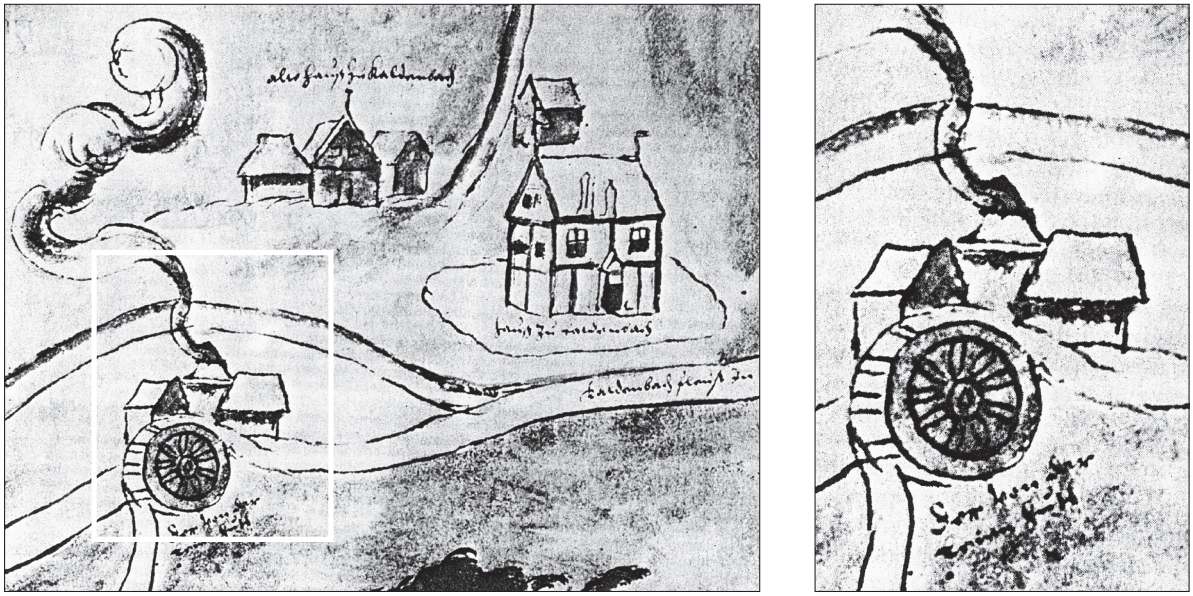
zu Gicht hinaufführende Treppe auf, aus der Flammen schlagen. Die unterschiedliche Farbstruktur der Ofenmauer deutet auf ein Raumauerwerk. Vor dem Ofen befindet sich eine Halde (Holz, Erz, Schlacke?). Da ein Abstich fehlt und die genaue Größe des Ofens nicht erkennbar ist, kann es sich hier um einen Stuck- oder Hochofen handeln. Im Vergleich mit den anderen Gebäuden kann man aber wohl von einer Größe ausgehen, die eher für einen Hochofen spricht. Nicht weit entfernt liegt links vom Ofen, ebenfalls an einem Wasserlauf, ein Gebäude mit zwei Wasserrädern, das als Schmiede („*forge de Rambevillers*“) bezeichnet wird. Zwei kleinere Nebengebäude ohne nähere Merkmale runden den Gebäudekomplex ab. Hochofen und Hammerwerk sind also in einiger Distanz voneinander errichtet.

Aus dem Märkischen Sauerland liegt eine aus dem Jahre 1581 stammende und farblich angelegte Karte der Kaltenbacher Region vor, die älteste Darstellung eines Eisenwerks in dieser Region (Hauptstaatsarchiv Düsseldorf) (*Abb. 6*).

Am Unterlauf des Kaltenbachs (oder der Kaltenbach?) (Nähe der Gemarkung Engelskirchen) erbauten die Grundherren von Ley nahe ihres Adelssitzes eine Eisenhütte. Auf der Karte sind zwei Gebäude dargestellt, zwischen denen die rauchende Gicht des eigentlichen Ofens zu erkennen ist. Ein überdimensionales Wasserrad verdeutlicht die Nutzung von Wasserkraft.

Eine unlängst an entlegener Stelle publizierte farbige Karte, die um ca. 1600 angefertigt wurde, vermittelt sehr aufschlussreich die engen topografischen Bezüge zwischen Eisenerzlagerstätte, Hochofen und Hammerwerk (*Abb. 7*).

Es handelt sich um die erst 1973 durch Bruno Andre (Wehr) im Gelände wiederaufgefundene Anlage am „Hüttenberg“ bei Wehr (Verbandsgemeinde Brohltal, Kr. Ahrweiler, Rheinland-Pfalz) im Brohltal. Sie gehörte zur Grundherrschaft des Prämonstratenserklosters Steinfeld (Hocheifel) und wurde von Abt Balthasar Panhausen (Abt von 1582–1602/1606) im Jahre 1585 errichtet, wofür ca. „*zweytausendt Goltgulden Capithals*“(!) aufgenommen werden mussten. Der heute eingeebnete Hochofen lag dicht unterhalb der „*izenbergkulen*“, aus denen das Eisenerz – vermutlich im Tagebau („*Veithe Loch*“) – gewonnen wurde. Aus den Relationen zwischen Wasserrad und Höhe des raugemauerten Hochofens ergibt sich für diesen immerhin eine imposante Höhe von ca. 12–15 m (*Abb. 7,2*). Er stand nach einer später, um 1622 gemachten Skizze in einem Fachwerkbau. Die Hüttenreise betrug im Jahre 1624 bereits neun Monate(!) mit einer Tagesproduktion von etwa 1 t Roheisen. Die benötigte Holzkohle wurde aus Beständen der Grafen von Virneburg zugekauft. Unterhalb des Ofens wurde in einiger Distanz der Hammer errichtet, auf dem das Roheisen gefrischt wurde; danach stellte man um 1625 wegen der geringen Güte des Roheisens das Frischen ein. Stattdessen wurde ein neben dem Ofen gelegenes Gießwerk – hauptsächlich für militärische Güter, besonders Kanonenkugel, die der Kölner Kurfürst als Landesherr bestellte – in Betrieb genommen. Eisen wurde u. a. auch täglich in Bonn verkauft, d. h. es wurde rheinabwärts verschifft. Die Eisenhütte wurde von wallonischen Pächtern bis zum zweiten Drittel des 17. Jahrhunderts betrieben, die ein entsprechendes *Know-how* aus ihrer Heimat mitbrachten.



1 2

Abb. 6. Eisenwerk mit Hochofen in der Region Kaltenbach, Märkisches Sauerland. 1: Kartenausschnitt (1581); Hauptstaatsarchiv Düsseldorf; 2: Massenhütte im Detail (aus Knau/Sönnecken 1990).



1 2

Abb. 7. Wehr (Brohltal, Kr. Ahrweiler, Rheinland –Pfalz). 1: Hochofen mit Eisenerzbergbau und Hammerwerk (Ausschnitt aus einer Karte um 1600 [Landeshauptarchiv Koblenz]); 2: Floßofen im Detail (aus Andre 1986).

FLÄMISCHE UND NIEDERLÄNDISCHE LANDSCHAFTSMALEREI

Die technische Entwicklung im spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Montan- und Hüttenwesen erlangte ab dem frühen 16. Jahrhundert als Motiv eine große Bedeutung in der sich jetzt entwickelnden Landschaftsmalerei, die nach Anregungen aus Italien vor allem in den frühindustriellen Zentren Südflanderns und der Wallonie bedeutende Werke hervorbringt. Bahnbrecher ist der aus Dinant stammende Maler Joachim Patinir (auch Patenir, Patenier) (1480 –1542), der in seinen fantastisch-dramatisch konstruierten „Weltlandschaften“[11], die als Ideallandschaften auf keine Region Bezug nehmen, noch überwiegend religiöse und mythologische Themen integriert, aber in seinem Tafelbild sehr realistisch eine Eisenhütte als das zentrale Motiv aufnimmt. In seiner Nachfolge stehen vor allem Herri met de Bles (wohl sein Neffe), die Brüder Lucas und Marten van Valckenborch und Jan Brueghel (der Ältere). Gegen Anfang des 17. Jahrhunderts verschwindet die technische Welt aus der bildenden Kunst und erlangt erst am aufklärerischen Vorabend der Französischen Revolution wieder an Bedeutung.

Inspiriert durch die technischen Möglichkeiten, die man sowohl durch eigenen Augenschein als auch durch die Lektüre von zum Beispiel Georg Agricola aufnehmen konnte, entstanden auch die Darstellungen des Eisenhüttenwesens. Wie genau die Wiedergaben sind, darüber gehen die Meinungen auseinander, denn obwohl die Anlagen und Vorgänge dem einen oder anderen Maler, wie Patinir, selbst anschaulich waren, bleibt die Frage offen, inwieweit die Maler auf Genauigkeit in diesem Bereich Wert legten. Keinem der Künstler kann in seinem Lebenslauf eine direkte Verbindung zu dem Gewerbe der Eisentechnologie – im Gegensatz zu Nicolas Bourbon (s. S. 364) – nachgewiesen werden, doch alle hatten wohl auf Reisen oder in ihrer Region die Möglichkeit, solche Stätten kennen zu lernen. Allerdings bleibt der Eindruck bestehen, dass die Darstellung der Eisentechnologie zwar ein wichtiger Bildbestandteil war, dass es sich aber bei diesen Bildern, im Gegensatz zu den Darstellungen, zum Beispiel bei Agricola, nicht um ein Lehrmittel handeln sollte, sondern um ein den Betrachter zu beeindruckendes allegorisch-symbolisches Landschaftsbild. Die Künstler mögen allerdings die repräsentativen Darstellungen so realistisch wie ihnen möglich gehalten haben, nicht zuletzt, um ihre Auftraggeber (Landesherren, Bergwerks- und Hüttenbesitzer, Kaufleute, Händler) zufrieden zu stellen.

Im Nachfolgenden werden nur einige wenige Beispiele ausführlicher dargestellt, ansonsten wird eine Zusammenschau relevanter Einzelelemente der jeweiligen Ofenanlagen versucht, wobei wir uns auf die wichtigsten Arbeiten beziehen.[12]

Joachim Patinir

Dem aus Dinant (Flandern) stammenden Joachim Patinir (auch Patinier; Patenier) oder seiner Schule wird das Werk „Landschaft mit Eisenhütte“ (moderner Titel) zugeschrieben, das wohl um 1530–1540 entstanden ist (*Abb. 8,1–4)*:[13] Links im Bild ist ein raugemauerter Ofen zu sehen, der in Relation zur Größe der Arbeiter ca. 6 m hoch und nur etwa 2 m breit ist (*Abb. 8,2*). An seiner rechten Seite führt eine Treppe zum Beschicken des Ofens zur Gicht. Offenbar drückt mit einer Stange ein Arbeiter die Materialien der letzten Beschickung im Ofen dicht zusammen. Im vorderen Mittelgrund wird rechts vom Ofen an einigen Halden von zwei Arbeitern gerade ein weiterer Tragekorb mit Beschickungsmaterial gefüllt, ein wenig weiter hinten schütten zwei Arbeiter aus einer Trage Erz(?) auf eine Halde. Der Ofen wird von zwei Arbeitern abgestochen; das Roheisen fließt in ein längliches Masselbett. Im Bildvordergrund werden sieben bereits gewonnene stangenartige Masseln, sog. Zaine, von zwei Arbeitern zwischen Halden gestapelt. Ein Schlackenabstich ist nicht zu erkennen. Wasserrad oder Blasebälge sind nicht zu sehen, doch im rechten Vordergrund ist ein weiterer Hochofen mit wahrscheinlich oberschlächtigem Wasserradantrieb angesiedelt, an dem sich die gleichen Arbeitsprozesse vollziehen (*Abb. 8,3*). Zwischen diesen beiden Hochöfen liegt direkt am Fluss ein weiterer, von dem nur die rauchende Gicht und ein zugehöriges Gebäude zu sehen sind. Einen teilweisen Einblick in diese Gebäude erhält der Betrachter am linken Bildrand; eine Massel wird schräg auf eine rechteckige Vorrichtung geschoben, im Hintergrund lodert ein Feuer (*Abb. 8,4*). Es wird sich um ein Frischfeuer und um einen Hammer zum Ausschmieden der Schiene handeln. An der linken Hüttenanlage sind insgesamt sind elf Arbeiter tätig. Jenseits des breiten Flusses liegen zugehörige Bergwerke, deren Schächte durch Holzdächer geschützt werden, und Kalköfen. Schiffe transportieren die Rohstoffe zu den drei Hütten. Im Hintergrund liegt eine Stadt (*Abb. 8,1*).

Die Vorlagen für die Darstellung der Eisentechnologie könnte Patinir in seiner Heimat im Tal der Maas gefunden haben, genauso wie Herri met de Bles; allerdings ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass aus dieser historischen Eisenlandschaft bisher leider keine archäologische Nachweise zur Eisenverhüttung dieser frühen Periode bekannt sind.

[11] Zinke 1977.

[12] Evrard 1955; Braunfels 1957; Slotta/Bartels 1990.

[13] Nachweise: W. Braunfels, Industrielle Frühzeit im Gemälde. Erzbergbau und Eisenhütten in der europäischen Malerei 1500–1850 (Düsseldorf 1957) 24 f.; H. L. Knau, Vom Rennfeuer zum Osemund. Neuere Forschungen zur Frühgeschichte des Eisens. Der Märker 41, 1992, 104–111 (Titelblatt).

Herri met de Bles

Im Œvre des ebenfalls aus Dinant stammenden Herri met de Bles (um 1500/1510–1555/1560), dessen Lebensweg noch vielfach im Dunkeln liegt, spielt das Montan- und Hüttenwesen eine große Rolle. Allein von dem Tafelbild „Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk" bzw. „Flucht nach Ägypten" gibt es fünf Versionen (Florenz [im Folgenden abgebildet], Graz, Prag, Saarbrücken, Budapest), die sich in der Darstellung der technischen Details jedoch nicht allzu sehr unterscheiden,[14] aber vermutlich nicht alle von Herri met de Bles selbst stammen (wie vermutlich die Saarbrückener und Budapester Fassung).

In der Florentiner Fassung (*Abb. 9,1–4*) gesellen sich vor dem Hintergrund einer fantasievollen Gebirgslandschaft mit Burgen und mit einer im linken Hintergrund an einem breiten Fluss liegenden Stadt zu dem biblischen Motiv der Flucht der Heiligen Familie aus Ägypten die sehr detaillierten Darstellungen von der Erzgewinnung bis hin zur Eisenverhüttung. Zudem ist der vollständige Eisenverarbeitungsprozess zu sehen: so finden sich links neben dem im Zentrum stehenden Hochofen Frischfeuer und Hammerwerk, beides gemauerte Anlagen. Der Hochofen liegt in einem länglichen Steingebäude von ca. 8 x 4 m Seitenmaßen mit einem Sparrendach, das wohl mit Stroh(!) oder einem anderen vegetabilen Material gedeckt ist (*Abb. 9,2*). Die Gicht ragt über den Dachfirst hinaus. Der Hochofen erscheint etwa 8 m hoch (*Abb. 13*). Die Art der Beschickung ist nicht zu erkennen, da sie wohl auf der vom Betrachter abgewandten Seite des Hauses liegt. Lediglich in der Grazer Fassung sind rechts hinter dem Ofen einige Halden auszumachen. In der Saarbrücker Fassung des Gemäldes wird gerade Schlacke abgestochen, oberhalb eines kleinen etwa 0,5 m hohen Mauervorsprungs, der anscheinend der Eisenabstich ist. Davon ausgehend findet sich noch glühendes Eisen in einer länglichen, in den Boden eingebrachten Vertiefung (Masselbett). Auf allen Fassungen finden sich nicht weit von dem Ofen unterschiedlich viele längliche Barren (Masseln bzw. Zaine) gestapelt. Ein vierrädriger Wagen mit Pferdegespann fährt vom Hochofen nach links. Auf mindestens zwei Fassungen des Gemäldes (Florenz, Graz) befindet sich rechts neben dem Hochofen eine in einem Holzgerüst aufgehängte große Balkenwaage zum Bestimmen des Gewichts der schweren Masseln; eine wird von sieben Personen, darunter auch eine Frau, zur Waage geschleppt. Auf der Saarbrücker Fassung lehnen einige langstielige Arbeitsgeräte an der Wand des Hochofens. Die Hochofenanlage hat zwei Eingänge: einer führt in einen kleineren Seitenteil des Gebäudes, in dem sich wohl die Blasebälge befinden, wie das davor liegende oberschlächtige Wasserrad andeutet. Ein hölzernes Gerinne führt anscheinend aus den Bergen kommendes Wasser auf das Rad. Der Wasserabfluss ist nicht gut erkennbar; möglicherweise läuft es unterirdisch durch einen Kanal. Im rechten Bildvordergrund sind ausgesteifte Bergbauschächte mit Haspelvorrichtungen zur Erzförderung in Körben zu erkennen (*Abb. 9,4*). Frauen und Kinder pochen Erz mit einem Hammer. Am linken Bildrand ist ein mit einem hohen Kamin versehener Frischherd zu sehen, an dessen bogenförmiger Brust ein Arbeiter mit Schutzkleidung tätig ist (*Abb. 9,3*). Davor wird auf einem großen runden Block eine glühende Eisenscheibe ausgeschmiedet. An einer hölzernen Schuppenwand hängen Arbeitsgeräte. Links daneben liegt ein weiteres Frischfeuer, dessen Eisen mit einem mechanischen Hammer (der Wasserradantrieb ist nicht sichtbar) zu Halbzeug verarbeitet wird.

Lucas und Marten van Valckenborch

Eine nochmalige Steigerung erfahren die ideal-utopischen „Weltlandschaften" mit Motiven aus dem Eisenhüttenwesen in Gemälden der zunächst in Flandern, zuletzt in Frankfurt am Main tätigen Brüder Lucas (1535–1597) und Marten (auch Maerten) van Valckenborch (1534–1612).[15] Anschauungen gab es für beide Künstler in ihrer Heimat, im Tal der Maas, und für Lucas sicher auch während seines längeren Aufenthaltes am habsburgischen Hof in Linz im Umfeld der Alpen. Einige Bilder zeigen Berg- und Hüttenwerke aus einer größeren Entfernung (*Abb. 10,1–3*), aber einige sind sehr detailreich, so die variierten Fassungen einer „Maaslandschaft mit Bergwerk und Schmelzhütten" (1580; Kunsthist. Mus. Wien) (*Abb. 10,4*). Im mittleren Vordergrund steht ein ca. 5 m hoher und ca. 6 m breiter Hochofen mit einem hölzernen Geländer um die Gicht, einem Dach an drei Seiten und einem nicht zu sehenden Beschickungsaufgang an der vierten. Direkt neben der Gicht ist ein kleiner Verschlag angebaut, dessen Funktion unklar ist. Ein Arbeiter beschickt den Ofen. Über ein langes Gerinne wird Wasser auf das oberschlächtige Rad geführt. Dicht neben dem Ofen sind mehrere Halden – nach ihrer rötlichen Farbe wohl Eisenerz – erkennbar. Auf dem Antwerpener Bild sind andere Halden farblich unterschiedlich angelegt: dabei könnte rot für Erz, schwarz für Holzkohle und gräulich für Schlacke stehen. Letztere liegt direkt bei den anderen Rohstoffen und könnte daher nicht auf Abfall, sondern vielleicht auf wiederverwendete eisenhaltige Schlacke deuten. Neben dem Ofen liegen lange Eisenmasseln (als ein Stapel auf dem Bild in Helsingfors) bzw. sie werden mit einem Dreibockgestell gewogen (*Abb. 10,2*) (Mus. Braunschweig). Auch die auf weiteren Gemälden (Ambras/Tirol; Amsterdam; Antwerpen; Braunschweig; Madrid; Dessau;

[14] Slotta/Bartels 1990, 215 ff.

[15] Wied 1992.

Privatbesitz; Sammlung Görsta Stenman [Helsingfors]; Sammlung Schidloff [Wien]) dargestellten Hochöfen – oft mehrere auf einem Bild – sind von ähnlicher Architektur. Sie sind etwa 5 m hoch und 7 m breit, aus Stein gemauert und haben an drei Seiten ein schräg abfallendes Dach um die Gicht herum, das mit Stroh oder einem ähnlichen Material gedeckt zu sein scheint (*Abb. 10,2*). An der vierten Seite befindet sich eine Treppe, die zur Gicht mit Geländer hinaufführt. Arbeiter tragen Körbe zur Gicht. An drei Hochöfen ist der Antrieb der Blasebälge durch ein unterschlächtiges, vom Bach angetriebenes Wasserrad zu erkennen (Ambras/Tirol; Antwerpen; Braunschweig). Die Blasebälge scheinen sich hier innerhalb des Ofengebäudes zu befinden. In den Bergen wird obertägig Erz gewonnen (*Abb. 10,3*). Alle Hochöfen liegen direkt an bzw. in der Nähe eines größeren Flusses (Maas?), über den Erz aus gegenüberliegenden Bergwerken angeschifft und die Masseln als Halberzeugnisse (Barren) in die entfernt erkennbaren Städte abtransportiert werden konnten.

Marten van Valckenborchs um 1580 entstandenes allegorisches Gemälde „Der Turmbau zu Babel“ (Gemäldegalerie Dresden) stellt als technische Hilfsquelle eine Hüttenanlage im linken Bildvordergrund dar (*Abb. 11,1–4*). Der mit rechteckigen Steinblöcken gemauerte Ofen ist ca. 3–4 m hoch und dürfte die Grundmaße 2 x 4 m besitzen (*Abb. 11,2*). Zur lodernden Gicht führt eine Steintreppe hinauf. Der Ofen wird gerade von einem Arbeiter beschickt. Ein hölzernes Gerinne leitet Wasser von oben auf ein Wasserrad; zur Regelung dient ein Holzwehr. Die Blasebälge befinden sich gegenüber vom Beschickungsaufgang unter einem hölzernen Anbau am Ofen. Ein Abstich ist nicht zu sehen. Direkt rechts neben dem Ofen liegt unter einem Holzdach ein Frischofen oder eine Schmiede mit einem mechanischen Hammer. Das schon erwähnte Gerinne bedient den Ofen und das Hammerwerk. Von einem nahe und höher gelegenen Bergwerk karren Arbeiter Erz an (*Abb. 11,3*), das in einem runden versteiften Becken geröstet und unter einem Schutzdach als Pochgut trocken gelagert wird (*Abb. 11,4*). Von dort trägt ein Arbeiter den mit Erz gefüllten Korb zur Gichtöffnung. Die relativ geringe Höhe des Ofens und das Fehlen von Roheisen-Masseln könnte für die Verhüttung in einem Stuckofen sprechen, was auch für das Gemälde „Felsige Landschaft“ (Sammlung Basner, Danzig–Zoppot) gelten kann (*Abb. 12,1–4*). Der auf ihm abgebildete gemauerte Ofen ist nahezu quadratisch (ca. 2 x 2,5 x 4 m). Die Beschickung erfolgt über eine Treppe an der dem Bildbetrachter abgewandten Seite des Ofens, auf der ein offensichtlich den Ofen füllender Arbeiter steht (*Abb. 12,3*). Die Abstichseite ist mit einem kleinen Vordach versehen. Ein Arbeiter ist dabei, das Abstichloch mit einer Stange zu öffnen. Etwas weiter im Bildhintergrund liegen die Gebäude und die Wasserräder eines Frischherdes (*Abb. 12,2*) und einer Schmiede (*Abb. 12,4*). Einige Meter hinter dem Ofen, am Ufer eines Flusses, der auch das Wasserrad für die Blasebälge des Ofens betreibt, entladen Arbeiter ein Schiff (*Abb. 12,3*). Ein weiteres Bild „Landschaft mit Bergwerk“ ist der schon bekannten Thematik gewidmet und stellt offenbar einen Bergbau auf Steinkohle dar (ein Unikum in dieser Zeit).[16]

Claes Dirckz van der Heck

Den krönenden Abschluss dieser frühen „Industriegemälde“ bildet das dem Niederländer Claes Dirckz van der Heck (Alkmaar: um 1595–1649) zugeschriebene Bild „ Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk“ vom Anfang des 17. Jahrhunderts (Rheinisches Landesmuseum, Bonn) (*Abb. 13,1–4*). Es wurde schon mehrfach eingehend beschrieben,[17] so dass an dieser Stelle nur noch einiges zum Thema Wichtiges ausgeführt sei. Das Bild vereint enzyklopädisch ausschließlich Szenen aus dem Montan- und Hüttenwesen inmitten einer fantastischen Gebirgslandschaft. Ähnlich wie in anderen Bildern findet sich auch hier die gesamte *chaîne opératoire* von der Erzgewinnung bis hin zur Eisenverhüttung. Auf einer Flussinsel finden sich mehrere Bauten, zu denen auch drei raugemauerte Hochöfen gehören (*Abb. 13,2*). Sie sind etwa 3 m breit und 4 m hoch. Die Beschickung erfolgt über eine Treppe. Alle Blasebälge werden von unterschlächtigen(!) Wasserrädern angetrieben, die sich wohl unter den an den Öfen angebauten Pultdächern befinden. Die nicht überdachten Eisenabstiche erfolgen über zwei Öffnungen in der Ofenwand in davor liegende runde Gruben. Die kreisrunden Barren liegen bei einer großen Waage. Ein möglicher Schlackenabstich liegt jeweils rechts vom Abstich. In der Bildmitte findet die Erzaufbereitung statt, u. a. Pochen, Waschen und Klauben, mit denen auch Frauen beschäftigt sind (*Abb. 13,3*). Ein weiterer Hochofen liegt am linken Rand einer Insel; ein zweites Wasserrad treibt offenbar ein Stempelpochwerk an. Das Erz wird jenseits des Flusses im Gebirge aus Schächten zu Tage gefördert und bereits dort geklaubt und gepocht (*Abb. 13,4*). Am Stempelpochwerk stehen zwei mit Degen und Lanze bewaffnete Männer; sie üben wohl die örtliche Aufsicht über die gesamte Anlage aus. Das Gemälde vermittelt mit hohem Kenntnisstand und Einfühlungsvermögen den kurz vor dem Dreißigjährigen Krieg erreichten technischen Stand und die Arbeitsteilung im Montan- und Hüttenwesen, unabhängig von der Frage, ob eine Kupfer- oder Eisenhütte dargestellt werden sollte. Es ist zugleich ein Beleg, in welchem räumlichen Ausmaß diese Anlagen eine Landschaft prägen konnten.

[16] Slotta 1986; Slotta/Bartels 1990, 221 ff.

[17] Saal 1990; Slotta/Bartels 1990, 227 ff. Nr. 35; Pause 1996.

Jan Brueghel (der Ältere) und Remigio Cantagallina

Wesentlich kleinräumiger werden auf zwei Darstellungen Hochöfen gezeigt, die durchaus mit den Hochöfen vom oberen Wippertal (Verhüttungsplatz Nr. 90, s. S. 185 ff.) und der Jubachtalsperre (s. S. 355 ff.) verglichen werden können.

Jan Brueghel (der Ältere, auch Sammet- oder Blumen-Brueghel) (Brüssel 1568 – Antwerpen 1625), Sohn des Pieter Brueghel (des Älteren, auch Bauern-Brueghel) verdanken wir ein um 1600 entstandenes kleines Ölgemälde „Hochofen im Walde" oder „Floßofen im Gebirge" (beides moderne Titel) (Galleria Doria, Rom; *Abb. 14,1–4*).[18] Im Zentrum steht ein raugemauerter Hochofen mit offener Brust. Er ist an der Abstichseite etwa 3–4 m breit und hat in Relation zu den dargestellten Personen eine Höhe von etwa 6 m. Deutlich erkennbar sind der getrennte Schlacken- und Eisenabstich, geschützt von einem aus Holzstämmen, Flechtwerk und Stroh(?)-Dach errichteten schrägen Vorbau (*Abb. 14,2*). Das Roheisen wird von einem Mann abgestochen und fließt in ein längliches Masselbett. Die erkalteten Masseln werden in der rechten Bildhälfte gestapelt. In der linken Bildhälfte ist ein oberschlächtig betriebenes Wasserrad zu sehen, zu dem ein hölzernes Gerinne führt. Das Wasserrad treibt das durch den Ofen teilweise verdeckte Gebläse an. Einer von wahrscheinlich zwei Blasebälgen ist unter dem schrägen Dach an der linken Seite des Hochofens zu sehen. Verschiedenes langstieliges Arbeitsgerät lehnt auf der Abstichseite an der Ofenwand. Die Beschickung des Ofens erfolgt über eine treppenartig angelegte Konstruktion auf der Rückseite des Ofens. Rohstoffhalden befinden sich vor dem Ofen (*Abb. 14,3*). Ein rötlich gefärbter Haufen ist als Erzstapel anzusprechen, ein dunkel gefärbter wohl als Holzkohlenstapel. Letzterer könnte auch eine Schlackenhalde darstellen. Nicht stimmig erscheint hingegen die Anordnung der Rohstoffhalden am Fuß des Hügels, rechts vor dem Ofen: Die Arbeiter müssen beladen mit gefüllten Bütten den Hügel hinauf, um zur Gicht zu gelangen, obwohl der Ofen offensichtlich zur einfacheren Beschickung teilweise in den Hang gebaut wurde (*Abb. 14,4*). Arbeitsökonomischer wäre es gewesen, die Beschickungsstapel (Erz, Holzkohle) auf der Anhöhe nahe des Aufgangs zur feuerspeienden Gicht anzulegen. Es scheint, dass Brueghel aus bildkompositorischen Gründen diesen Teil des Hochofenbetriebs in den Bildvordergrund verlegt hat, um auch diesen Aspekt der Arbeit am Hochofen sichtbar zu machen. Hinter dem Ofen sind weitere Arbeiter und ein kleiner Abschnitt eines Gebäudes sichtbar, vielleicht eine Unterkunft für die Beschäftigten der Hüttenanlage. Aufschlussreich sind die Personen in ihren unterschiedlichen Funktionen. Neben den wenigen Arbeitern (fünf sind sichtbar tätig) sind es eine Mutter mit Kind, die dem Hochofen (mit Nahrung?) über einen Holzsteg zustreben und eine Gruppe von rastenden Besuchern sowie seitlich des Abstiches und zwischen den Masselschienen eine Gruppe von zwei gut gekleideten Männern mit Spitzenkragen und zu Pferd, darunter ein Degenträger, in dem wir den Hüttenbesitzer (oder Käufer?) vermuten können (*Abb. 14,3*). Insgesamt macht jedoch die Anlage keinen aufgeräumten bzw. sauberen Eindruck wie auch den Ofenschacht bereits ein tiefer horizontaler Riss durchzieht, der von einer Übernutzung des Floßofens zeugt. Man kann vermuten, dass Brueghel als Vorlage einen in den Ardennen gelegenen Hochofen kannte.

Eine von ca. 1613 stammende Zeichnung des Florentiner Malers Remigio Cantagallina (1582–1656) könnte sogar die Rückseite des brueghelschen Hochofens darstellen (Museum der Schönen Künste, Brüssel; s. S. 219 *Abb. 41*), so dass sich beide Darstellungen ergänzen.[19] Cantagallina hielt sich nur zwei bis drei Jahre nach Brueghel in der gleichen Region auf, in der wohl dessen Gemälde entstand. Man sieht den oberen Teil des Ofens von dem Hang aus, in den er hinein gebaut ist, um Beschickung und Wasserzufuhr über das rechts im Bild befindliche oberschlächtige Wasserrad zu erleichtern. Die Beschickung erfolgt über eine Treppe. Direkt vor den Stufen steht eine mit Material beladene Schubkarre. Entsprechend zu Brueghel sind hier Balken zu erkennen, wie für eine Dachkonstruktion, die aber nicht fertiggestellt ist. Gleich neben der Gicht findet sich ein kleines überdachtes Gebäude; seine Funktion ist unklar. Im Vordergrund liegen Halden. Am linken Bildrand ist die Ecke eines aus Pfosten mit Flechtwerkwand errichteten Gebäudes zu erkennen, möglicherweise eine Unterkunft für die Arbeiter während ihres Arbeitsaufenthaltes am Ofen abseits von Siedlungen.

Der jeweils dargestellte Hochofen und die Struktur des Platzes entsprechen weitgehend den Befunden an der oberen Wipper (Verhüttungsplatz Nr. 90: s. S. 217 ff. *Abb. 39*) und der Jubachtalsperre (s. S. 336 ff. *Abb. 19*). Die anzunehmende Blasseite und das wahrscheinlich oberschlächtig betriebene Wasserrad von Verhüttungsplatz Nr. 90 finden sich auf den Darstellungen in ähnlicher Lage wieder. Die Rohstofflager sind, der Anordnung von Cantagallina entsprechend, hinter dem Ofen nachgewiesen worden. Weitere Details, wie die genaue Höhe des Ofens, die verschiedenen Anbauten und Gebäude oder das Holzgerüst nahe der Ofengicht, mögen von der Wirklichkeit an Verhüttungsplatz Nr. 90 abweichen. Befund und Gemälde bzw. Zeichnung ergänzen sich hervorragend, so dass mit guten Gründen das Miniatur-Modell für Verhüttungsplatz Nr. 90 nach diesen beiden Bildern – und den ergänzenden archäologischen Quellen angefertigt werden konnte (s. S. 216 f. *Abb. 38, 39*).

[18] Braunfels 1956, 36 f.; Sperl 1998.

[19] Braunfels 1956, 36.

ZUSAMMENFASSUNG

Die frühneuzeitlichen Gemälde verlegen Hüttenwerke in oder an den Rand einer wilden Gebirgslandschaft, so wie man ihr in Europa wohl nur in den Alpen oder an tief eingeschnittenen Flusstälern begegnen konnte. Möglicherweise gab es für die Maler eine Art „Musterbuch". Erinnert sei aber auch an die ältere Schilderung Antonio Averlinos, genannt Filarete von der abseitigen Lage des alpinen Eisenwerks in einem wilden Alpental. Die Künstler konnten sich also auch im Schrifttum informieren, wie generell das aus den Öfen lodernde Feuer und der gewaltige Lärm der fauchenden Blasebälge und Hämmer die Zeitgenossen beeindruckten.

Auf den Bildquellen werden frühe Floßöfen, wie wir sie in der Kerspetalsperre (Verhüttungsplatz Nr. 105) ausgegraben haben, nicht dargestellt. Stets handelt es sich um raugemauerte Hochöfen der Art von der oberen Wipper (Verhüttungsplatz Nr. 90) und der Jubachtalsperre, also den seit dem ausgehenden 15. Jahrhundert standardisierten Typ, wie er bis zum 18. Jahrhundert weitgehend unverändert blieb. Allen diesen Eisenhütten gemeinsam ist ein eher quadratischer Grundriss des eigentlichen Ofens, der auch trotz der Anbauten deutlich erkennbar ist. Nur das Ofengebäude bei Herri met de Bles mit seiner länglichen Form weicht davon ab, zumal es im Gegensatz zu den meisten anderen Anlagen mit aus Holz errichteten Anbauten, ganz aus Stein gebaut scheint (*Abb. 9,1–4*). Die umbauten Hochöfen erscheinen massiger, da sie durch den allseitigen Anbau an Breite gewinnen, aber nicht bedeutend höher sind als die Öfen mit nur ein- bis zweiseitigem Anbau. Allen gemeinsam ist der steinerne Aufbau der Öfen selbst, wobei die Abmessungen unterschiedlich sind. Die Größe nimmt aber nicht auf den jüngeren Bildern zu; so erscheinen die Öfen in dem Gemälde von Claes Dircksz van der Heck noch recht klein (*Abb. 13,1–4*), während der Ofen bei Jan Brueghel (um 1610) mit ca. 8 m *(Abb. 14,1–4*) und der zeitgleiche von Wehr mit 12–15 m eine beträchtliche Höhe erreicht (*Abb. 7*). Die meisten Öfen stehen frei. Soweit erkennbar haben alle Öfen eine gemauerte Treppe, die zur Gicht hinaufführt, selbst der bei Brueghel und Cantagallina dargestellte, in den Hang gebaute Hochofen (*Abb. 14,1–4*).

Beim Vergleich mit den archäologisch nachgewiesenen Befunden findet man entsprechende Abmessungen und, soweit erhalten, ähnliche Formen. Bei keinem konnten die Beschickungstreppen nachgewiesen werden, doch fehlt in der Regel ein Großteil des Aufgehenden der Öfen. Deshalb bleibt auch der weitere Aufbau besonders des oberen Gichtbereiches im Unklaren. Daher ist ein Vergleich mit den Gemälden für diesen Teil der Bauten nicht möglich. An englischen Öfen des 16. Jahrhunderts konnten hölzerne Gestelle, die vielleicht der Beschickung dienten, plausibel gemacht werden, darüber hinaus konnten dort auch hölzerne und steinerne Anbauten, unter anderem für die Radstube sowie für das Wasserrad und für die Blasebälge nachgewiesen werden (s. S. 343 ff. *Abb. 35–38*). Eine längliche Verfärbung neben dem frühen Floßofen Nr. 2 in der Kerspetalsperre wird der Rest u.a. eines Balggerüsts sein (s. S. 123 *Abb. 20,1*). Für diesen Bereich geben die Gemälde wertvolle Anhaltspunkte über die verschiedenen Möglichkeiten zum Betrieb von Wasserrad und Gebläse.

Auf den Gemälden liegen die Öfen selten allein, sondern sind ein integrierter Bestandteil der gesamten *chaîne opératoire*, die von der Erzgewinnung über die Verhüttung bis zur Eisenverarbeitung reicht. Zumindest die Gewinnung der Erze wird in der Realität selten so nah bei den Öfen stattgefunden haben, hier geht es wohl eher um eine ganzheitliche Darstellung als um reelle Entfernungen, auch wenn, wie die Untersuchungen an Verhüttungsplatz Nr. 90 ergeben haben, die Erzvorkommen durchaus in geringer Entfernung von den Öfen zu finden waren, was auch bei der Anlage von Wehr der Fall war (*Abb. 7*). Inwieweit die Weiterverarbeitung am selben Ort erfolgte, muss ebenfalls offen bleiben. Bisher fehlen eindeutige Nachweise, doch ist in der Jubachtalsperre (s. S. 335 ff.) und in Dürstel (s. S. 329 ff.) vor Ort mit dem Frischen des Roheisens zu rechnen. In der Jubachtalsperre ist aufgrund von Hammerschlag auch von einer Schmiedetätigkeit auszugehen. Beide Vorgänge deuten auf weitere Anlagen hin. Doch die archäologisch nachgewiesenen bzw. nachweisbaren Spuren zeugen bisher nicht von derartigen Gebäuden, wie sie in den Gemälden zu erkennen sind. Der Hochofenstandort von Lapphyttan mit seiner Infrastruktur ist durchaus mit manchen umfangreichen Anlagen auf den Gemälden zu vergleichen (s. S. 329 *Abb. 5*).

Auch die dichte Ballung von Floßöfen am Lauf der oberen Kerspe und oberen Wipper findet, eine teilweise Gleichzeitigkeit vorausgesetzt, durchaus in den auf manchen Bildern batterieartig hintereinander an den Flusslauf gesetzten Hochöfen ihre Entsprechung (Claes Dirckz van der Heck: *Abb. 13,1–4*).

Die Anzahl der dargestellten Arbeiter entspricht mit kleinen Abweichungen den aus den Quellen bekannten fünf und mehr Personen. Zum Teil sind sie ihren Tätigkeiten entsprechend als Schmelzer oder Aufgeber anzusprechen.

Anhand des Vergleichs zwischen Bildern und nachgewiesenen Befunden ist nicht auszuschließen, dass die meisten dargestellten Anlagen eine idealtypische Zusammenstellung von Eisenproduktionsanlagen sind, wie sie in der Realität vielleicht nur selten anzutreffen waren. Die abgebildeten Gebäude und wohl auch die technischen Abläufe dürften im Einzelnen jedoch den realen Verhältnissen entsprochen haben. Die Detailgenauigkeit ist eine andere Frage, denn es handelte sich um Künstler, die sicherlich nicht unbedingt über entsprechende Fachkenntnisse verfügten. Auch ging es bei den Bildern nicht, wie zum Beispiel bei den Darstel-

lungen im Werk Agricolas, um eine technische Belehrung, sondern um die Darstellung kunstvoll konstruierter Landschaften. Eine eher der Ästhetik unterworfene Bildkomposition stand dabei sicherlich im Vordergrund. Hinzu kommt, dass ähnlich den Schriftquellen, eine Diskrepanz zwischen den in den Gemälden möglicherweise dargestellten Regionen und denen der archäologischen Befunde auftritt. Die genaue landschaftliche Zuordnung der Gemälde ist zwar meist nicht durchführbar, da sie zum Teil keine realen Landschaften wiedergeben, doch hat wahrscheinlich keiner der Künstler in den Regionen der bisher archäologisch nachgewiesenen Hochöfen gemalt. Unterschiede könnten sich also auch aus diesem Umstand heraus ergeben. Es ist außerdem zu bemerken, dass die einzelnen Ofenformen von Maler zu Maler unterschiedlich sind. Bei den Brüdern Valckenborch zum Beispiel fällt auf, dass jeder Bruder einen anderen Typ bevorzugt (Maerten einen sehr kleine Form, möglicherweise einen Stuckofen). Vielleicht kannte jeder Maler nur einen „Muster-Ofen“, der, sofern er mehrere Bilder dieser Art gemalt hat, als variierte Vorlage verwendet wurde.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen bestätigen und ergänzen die genannten Gemälde das Bild der frühen Hochöfen in Europa sehr realistisch. Auch dem Befund von Verhüttungsplatz Nr. 90 (Kerspetal) konnten entsprechende Darstellungen, das Gemälde von Brueghel und die Zeichnung von Cantagallina, zugewiesen werden, die helfen, ein mögliches Bild der Realität zu rekonstruieren. Andererseits konnte die Archäologie ergänzend weitere, auf den Bildern unsichtbare Sachverhalte, wie Fundamente, Drainagen, Abflusskanäle und die äußeren und inneren Ofendimensionen, sowie die Archäometallurgie (Geologie/Mineralogie) Angaben zum Schmelzprozess bzw. zur Prozessführung erhellen.

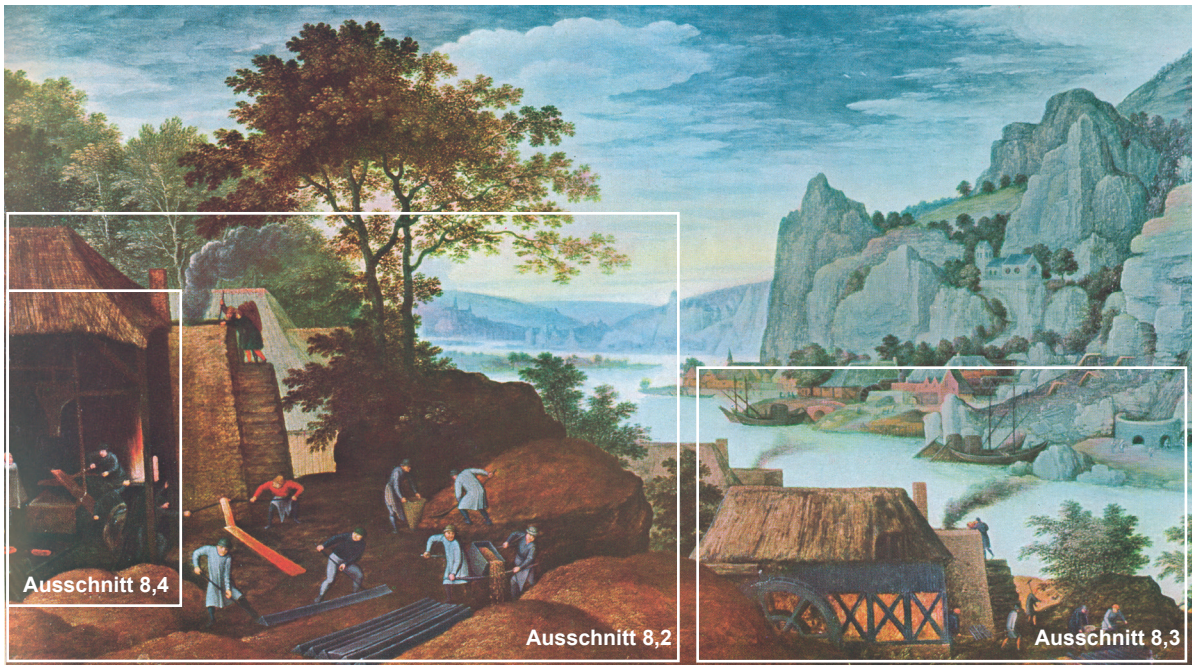


Abb. 8,1. Joachim Patinier (Schule?), „Landschaft mit Eisenhütte“ im Maastal, um 1530–1540; Privatbesitz (aus Braunfels 1957).



Abb. 8,2. Joachim Patinier (Schule?), „Landschaft mit Eisenhütte“ im Maastal, um 1530–1540; Privatbesitz. Ausschnitt aus Abb. 8,1.



Abb. 8,3. Joachim Patinier (Schule?), „Landschaft mit Eisenhütte“ im Maastal, um 1530–1540; Privatbesitz. Ausschnitt aus Abb. 8,1.



Abb. 8,4. Joachim Patinier (Schule?), „Landschaft mit Eisenhütte“ im Maastal, um 1530–1540; Privatbesitz. Ausschnitt aus Abb. 8,1.

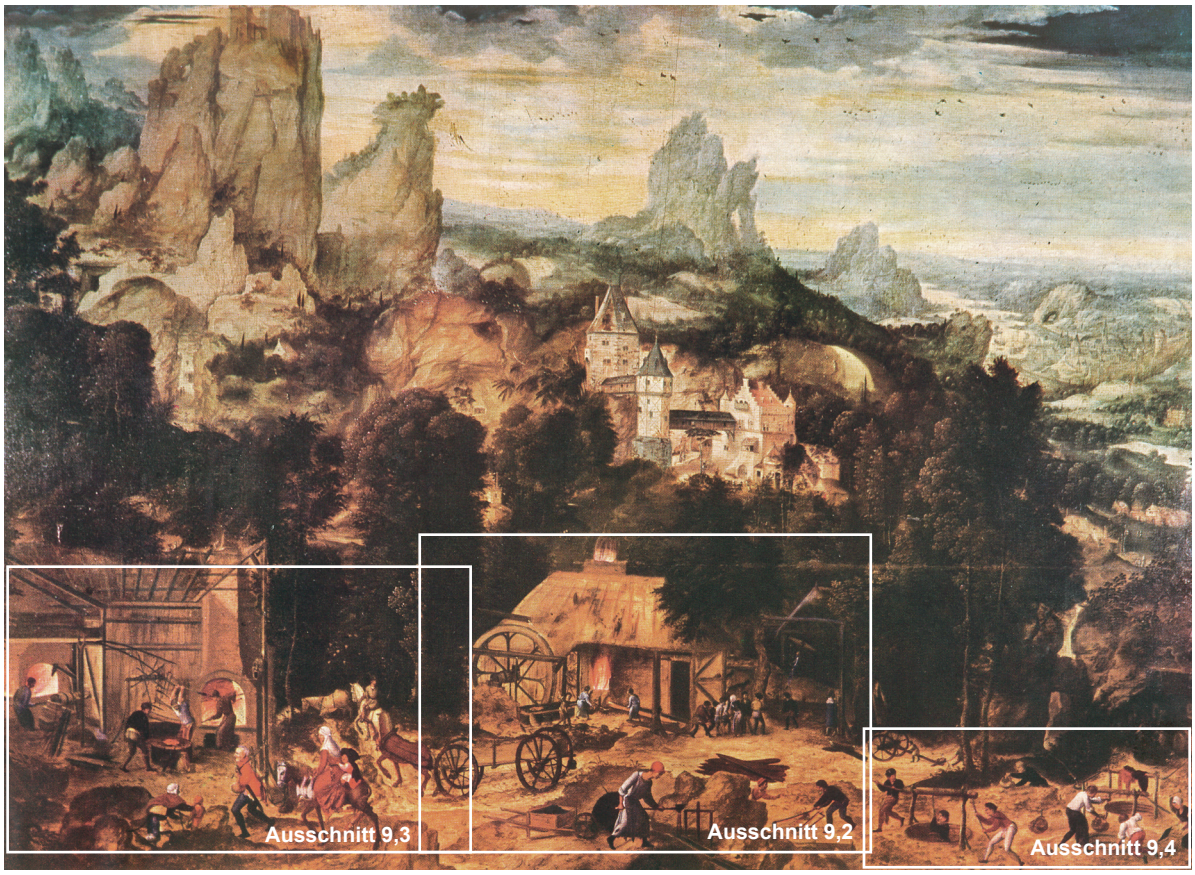


Abb. 9,1. Herri met de Bles, „Landschaft mit Erzbergwerk, Hüttenwerk“ bzw. „Flucht nach Ägypten“, um 1540; Uffizien, Florenz (aus Braunfels 1957).





Abb. 9,3. Herri met de Bles, „Landschaft mit Erzbergwerk, Hüttenwerk“ bzw. „Flucht nach Ägypten“, um 1540; Uffizien, Florenz. Ausschnitt aus Abb. 9,1.



Abb. 9,4. Herri met de Bles, „Landschaft mit Erzbergwerk, Hüttenwerk“ bzw. „Flucht nach Ägypten“, um 1540; Uffizien, Florenz. Ausschnitt aus Abb. 9,1.

◄ Abb. 9,2 (S. 324 unten). Herri met de Bles, „Landschaft mit Erzbergwerk, Hüttenwerk“ bzw. „Flucht nach Ägypten“, um 1540; Uffizien, Florenz. Ausschnitt aus Abb. 9,1.

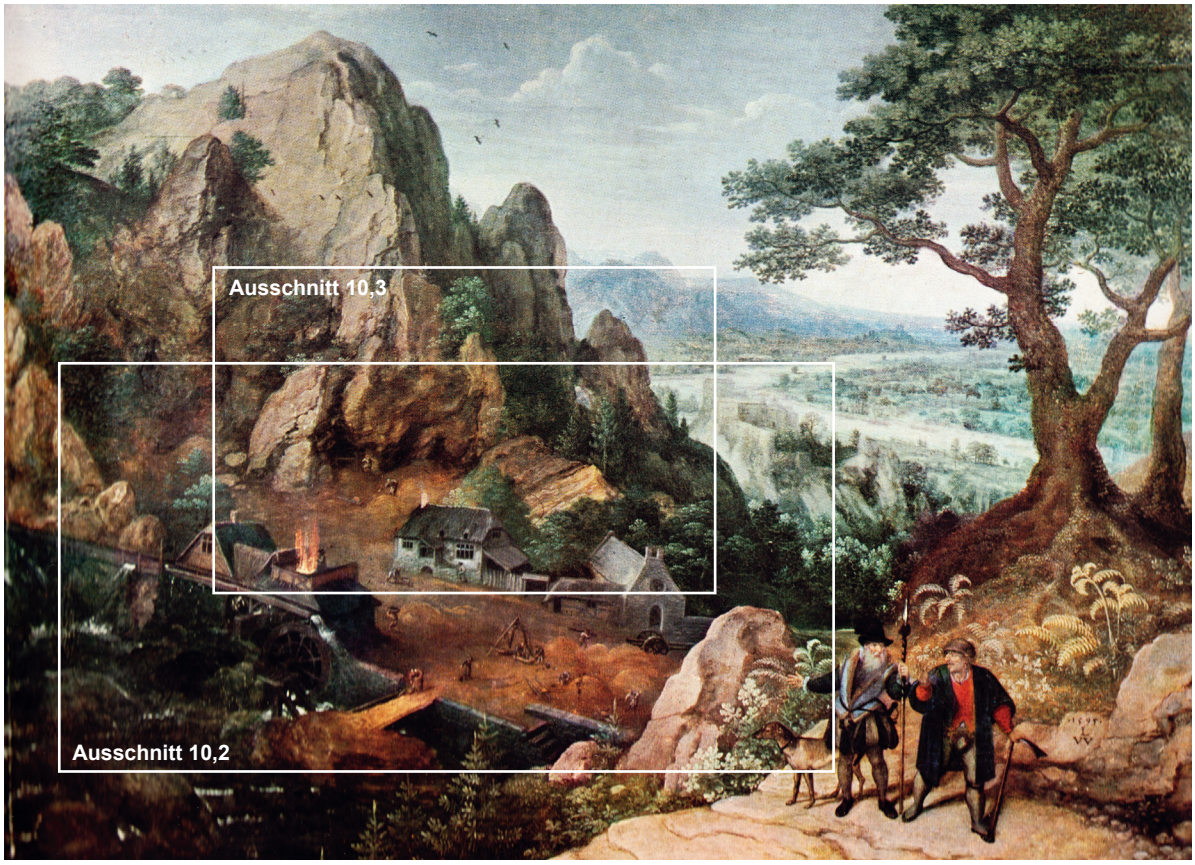


Abb. 10,1. Lucas van Valckenborch, „Flusslandschaft mit Hüttenwerk“, 1595; Herzog-Anton-Ulrich-Museum Braunschweig (aus Braunfels 1957).

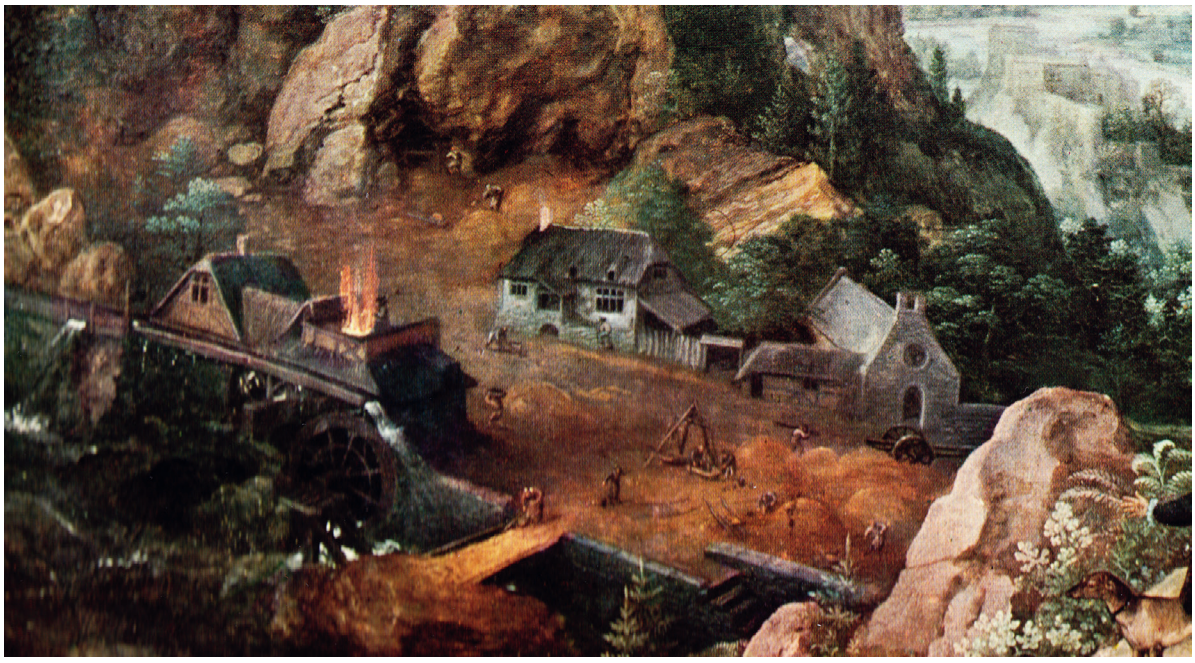


Abb. 10,2. Lucas van Valckenborch, „Flusslandschaft mit Hüttenwerk“, 1595; Herzog-Anton-Ulrich-Museum Braunschweig, Ausschnitt aus Abb. 10,1.



Abb. 10,3. Lucas van Valckenborch, „Flusslandschaft mit Hüttenwerk“, 1595;
Herzog-Anton-Ulrich-Museum Braunschweig, Ausschnitt aus Abb. 10,1.



Abb. 10,4. Lucas van Valckenborch, „Maaslandschaft mit Bergwerk und Schmelzhütten“, 1580;
Kunsthistorisches Museum Wien (aus Wied 1990).

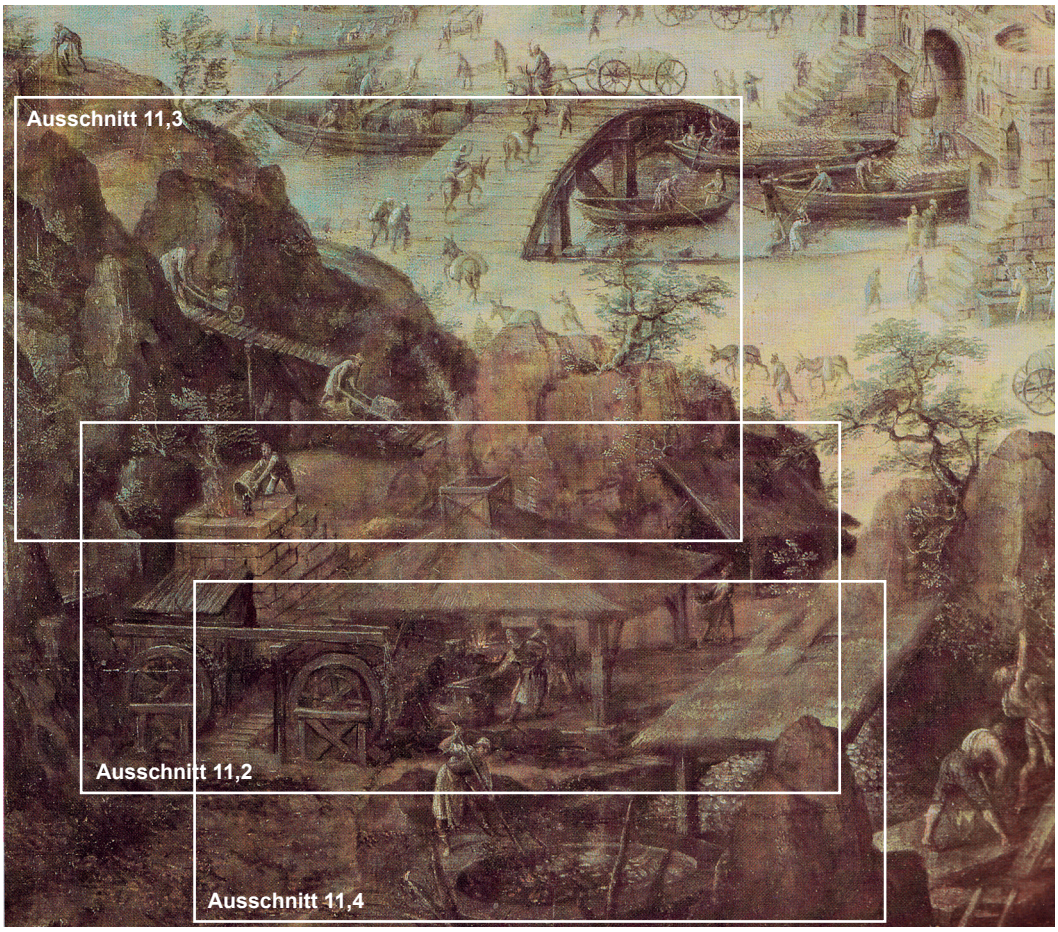


Abb. 11,1. Marten van Valckenborch, „Der Turmbau zu Babel“, um 1580; Gemäldegalerie Dresden, Ausschnitt (aus Braunfels1957).

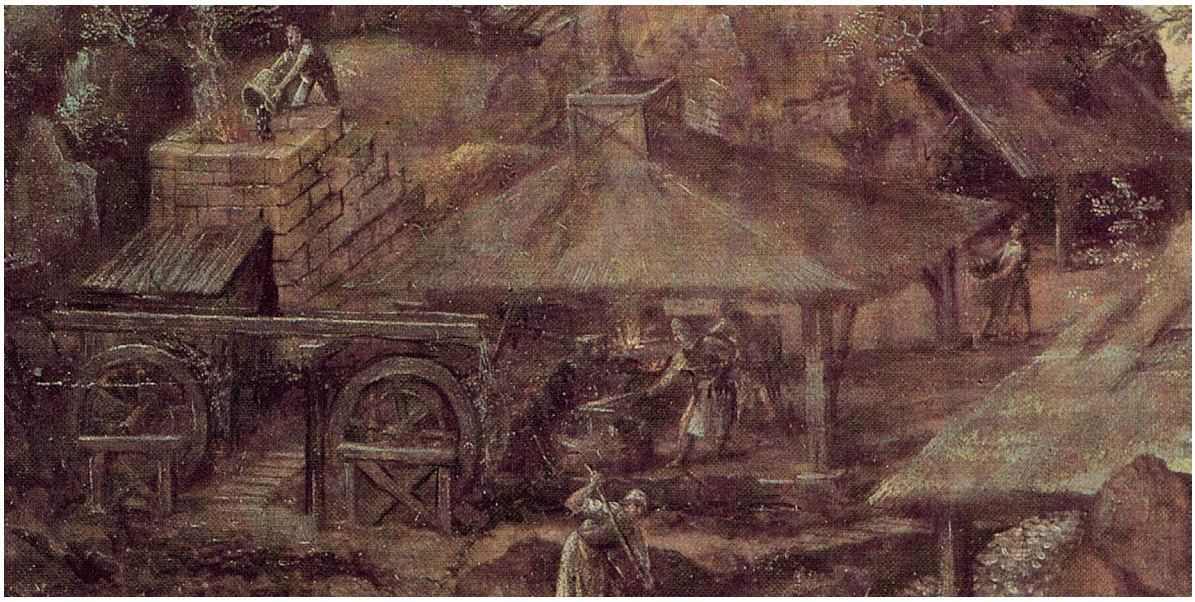


Abb. 11,2. Marten van Valckenborch, „Der Turmbau zu Babel“, um 1580; Gemäldegalerie Dresden. Ausschnitt aus Abb. 11,1.

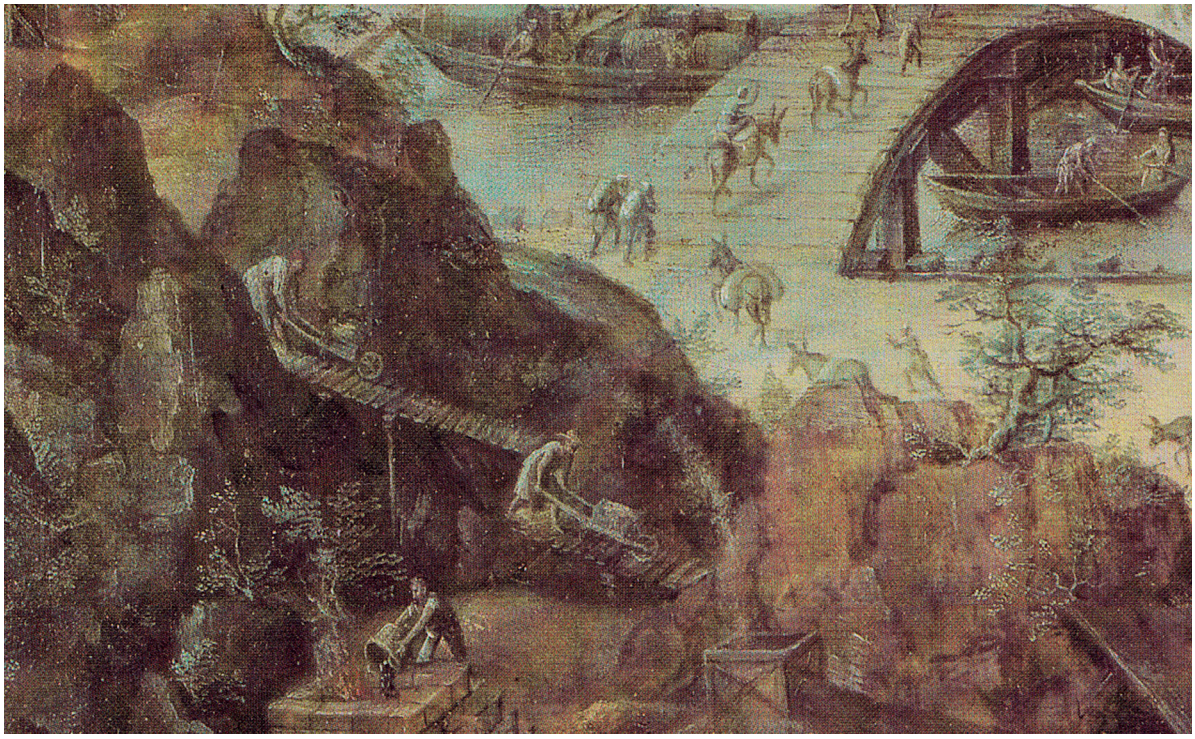


Abb. 11,3. Marten van Valckenborch, „Der Turmbau zu Babel“, um 1580; Gemäldegalerie Dresden.
Ausschnitt aus Abb. 11,1.

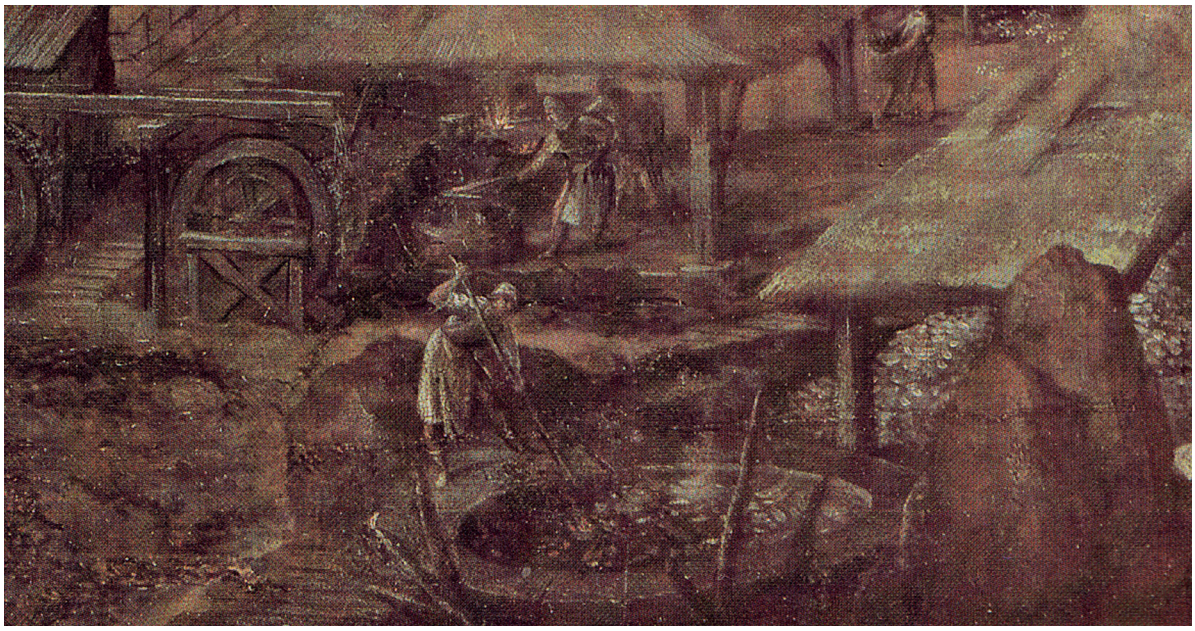


Abb.11,4. Marten van Valckenborch, „Der Turmbau zu Babel“, um 1580; Gemäldegalerie Dresden.
Ausschnitt aus Abb. 11,1.

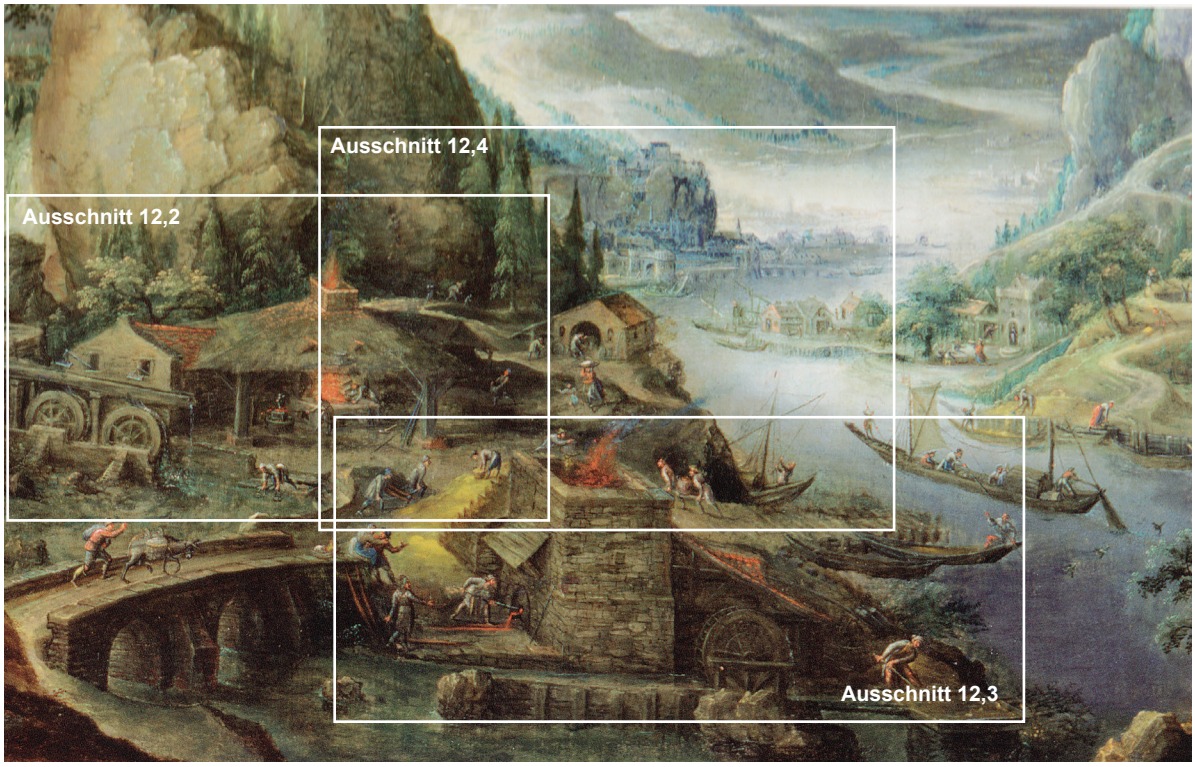


Abb. 12,1. Marten van Valckenborch, „Felsige Landschaft“, um 1600; Sammlung Basner, Danzig-Zoppot (aus Türk 2003).



Abb. 12,2. Marten van Valckenborch, „Felsige Landschaft“, um 1600; Sammlung Basner, Danzig-Zoppot. Ausschnitt aus Abb. 12,1.



Abb. 12,3. Marten van Valckenborch, „Felsige Landschaft“, um 1600; Sammlung Basner, Danzig-Zoppot. Ausschnitt aus Abb. 12,1.



Abb. 12,4. Marten van Valckenborch, „Felsige Landschaft“, um 1600; Sammlung Basner, Danzig-Zoppot. Ausschnitt aus Abb. 12,1.

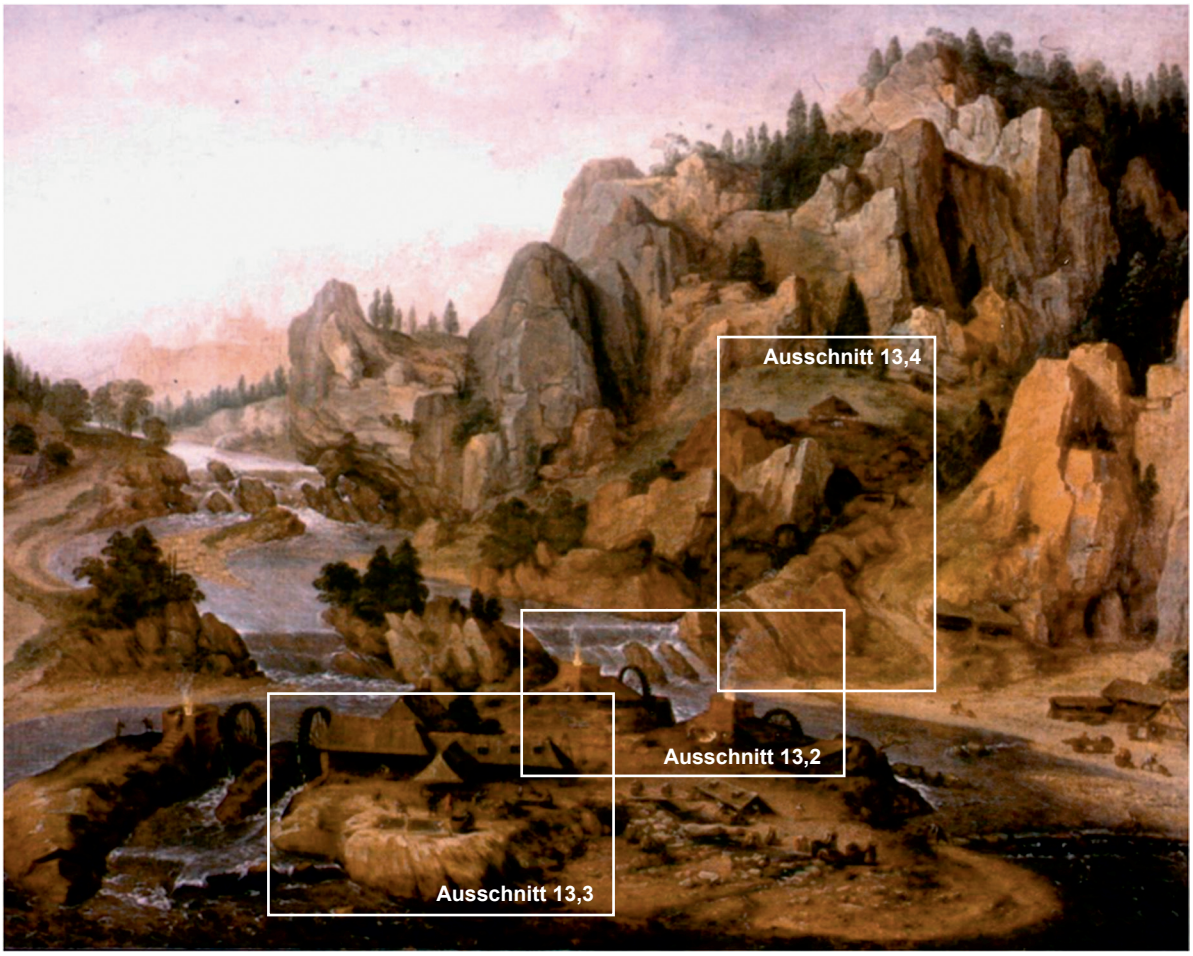


Abb. 13,1. Claes Dirckz van der Heck (zugeschrieben), „Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk“, 17. Jh.; Rheinisches Landesmuseum Bonn (aus Slotta/Bartels 1990).



Abb. 13,2. Claes Dirckz van der Heck (zugeschrieben), „Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk“, 17. Jh.; Rheinisches Landesmuseum Bonn. Ausschnitt aus Abb. 13,1.



Abb. 13,3. Claes Dirckz van der Heck (zugeschrieben), „Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk“, 17. Jh.; Rheinisches Landesmuseum Bonn. Ausschnitt aus Abb. 13.1.



Abb. 13,4. Claes Dirckz van der Heck (zugeschrieben), „Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk“, 17. Jh.; Rheinisches Landesmuseum Bonn. Ausschnitt aus Abb. 13,1.



Abb. 14,1. Jan Brueghel der Ältere, „Hochofen im Walde“, um 1610; Galleria Doria, Rom (aus Braunfels 1957).



Abb.14,2. Jan Brueghel der Ältere, „Hochofen im Walde“, um 1610; Galleria Doria, Rom.
Ausschnitt aus Abb. 14,1.



Abb.14,3. Jan Brueghel der Ältere, „Hochofen im Walde“, um 1610; Galleria Doria, Rom.
Ausschnitt aus Abb. 14,1.



Abb.14,4. Jan Brueghel der Ältere, „Hochofen im Walde“, um 1610; Galleria Doria, Rom.
Ausschnitt aus Abb. 14,1.

ZUSAMMENFASSUNG

In den Jahren von 1994–2000 führte das Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster in einer der wichtigsten historischen Eisenlandschaften Westdeutschlands, dem Märkischen Sauerland, das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennverhüttung zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n. Chr.)“ (im vorstehenden unter dem Kürzel MSL-Projekt) durch. Unter Federführung des Seminars für Ur- und Frühgeschichte waren mit Unterstützung des Landschaftsverbands Westfalen-Lippe (Amt für Bodendenkmalpflege) beteiligt: für die Mineralogie und Archäometallurgie das Max-Planck-Institut (MPI), für Eisenforschung Düsseldorf und das Institut für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (Geologie/Mineralogie, Abteilung Archäometallurgie), für die Geobotanik das Institut für Botanik und Botanischer Garten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und für die Landesgeschichte die Studiendirektoren Hans Ludwig Knau und Manfred Sönnecken. Im Zentrum der Feldforschungen standen von 1994–1996 vier Standorte der Eisenverhüttung (Fundplätze Nr. 11, 72, 90, 105). Gefördert wurde das Forschungsprojekt, das sich zum Ziel gesetzt hatte, die noch kaum bekannte Phase des Aufkommens der Hochofentechnologie in Mitteleuropa zu erforschen, durch die VolkswagenStiftung Hannover in ihrem Schwerpunkt „Archäometallurgie“ (s. S. 1 ff.).

ZUR LAGE DER FORSCHUNGSREGION

Das Sauerland bildet den nordöstlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges (s. S. 9 ff.). Die engere Forschungsregion, das Märkische Sauerland, ist die nordwestliche Teilregion dieses Naturraumes mit den Hauptorten Altena, Lüdenscheid und Meinerzhagen. Untergrund, Relief, Klima, Wasserreichtum und Waldreichtum begründen die Stellung des Märkischen Sauerlandes als mittelalterliches Zentrum der Eisenverarbeitung. Relative Höhendifferenzen von max. 300–350 m prägen das Landschaftsbild dieser Mittelgebirgsregion, die im Süden vom Ebbegebirge überragt wird (bis über 660 m).

Der Untergrund des Märkischen Sauerlandes besteht überwiegend aus Gesteinen mit Erzgängen, die geologisch dem Paläozoikum – Karbon bis Ordovizium – zuzuordnen sind. Viele der Erzlagerstätten, die man heute an der Erdoberfläche oder darunter findet, wurden mit der Kappung des Gebirgsrumpfes am Ende des Perms und der anschließenden Hebung dieses Rumpfes angeschnitten oder freigelegt; viele wurden zudem während der gebirgsverändernden Prozesse durch endogene und exogene Kräfte umgelagert, erodiert und andernorts in neuen, meist weniger erzhaltigen Lagerstätten wieder abgesetzt, wie beispielsweise in den devonischen Schichten. Eisenerze sind im devonischen Untergrund vielerorts zu finden: östlich der Nordhelle (663,30 m) im Kammbereich des Ebbegebirges z. B. Siderit oder Eisenspat ($FeC0_3$), Hämatit oder Roteisenstein (Fe_20_3) und ein durch thermische Einwirkung zu Hämatit umgewandelter Magnetit (Fe_30_4).

Das atlantisch geprägte Höhenklima bringt große Niederschlagsmengen, sommerliche Frische und winterliche Milde mit gemäßigten Temperaturen. Das Märkische Sauerland erhebt sich deutlich über die benachbarten Tiefländer. Zudem ist sein Relief nach Westen und Norden geneigt. So kommt es zu einem Aufgleit- und Staueffekt der Regen bringenden westlichen bis nördlichen Winde, der durch das Ebbegebirge deutlich verstärkt wird. Dementsprechend fallen u. a. hier und im benachbarten Bergischen Land die höchsten Niederschläge Nordrhein-Westfalens. Diese Niederschlagsmengen und die davon abhängige relativ gute, ganzjährige Wasserführung der Bäche und Flüsse waren wesentliche Voraussetzungen zur Nutzung der Wasserkraft durch das frühere Eisengewerbe.

Das Märkische Sauerland gehörte während des Spätmittelalters und der Frühen Neuzeit zu den bedeutendsten Eisenlandschaften Deutschlands. Durch intensive Surveys, die zunächst von Manfred Sönnecken (1928–2003) und ab 1986 gemeinsam mit Hans Ludwig Knau durchgeführt wurden, konnten im westfälischen Teil des Märkischen Sauerlandes weit über 1500 Eisenverhüttungsstandorte erfasst werden, womit dieses Gebiet mit seiner Fundstellendichte zum größten, durch Prospektion erschlossenen mittelalterlichen Eisenproduktionsrevier Europas wurde.

ZU DEN VERHÜTTUNGSPLÄTZEN

Im Fokus des Projektes stand die technologische Umstellung von der direkten, „traditionellen“ Eisendarstellung mit Hilfe von kleinen Rennöfen zur indirekten, „innovativen“ Eisendarstellung in „höheren“ Öfen, deren ältere Ausprägungen in der Technikliteratur als sog. Floßöfen (s. S. 324 f.) bezeichnet werden. Im Märkischen Sauerland lassen sich auf Grundlage ausgewählter Grabungen, zahlreicher Keramik- und 14C-Datierungen zwei Abschnitte der Eisenverhüttung fassen:

1. Rennfeuerverhüttung in Rennöfen: 8.–13. Jahrhundert.
2. Roheisenverhüttung in Floß-/Hochöfen mit Frischherden (sog. Massenhütten): 13.–18. Jahrhundert.

Bisher ist es nicht gelungen, im Märkischen Sauerland und im angrenzenden Bergischen Land eine vorge-

schichtliche Eisenverhüttung aufzufinden. Neben wenigen Belegen für die späte Merowinger- bzw. frühe Karolingerzeit ist schließlich für das 11.–13. Jahrhundert eine ungewöhnlich große Ausbreitung und Entfaltung der Eisenerzeugung in über 1500 Rennhütten belegt. Damit wurde das Märkische Sauerland in der Zeit der Salier- und Stauferherrschaft zu einem aktiven Eisen darstellenden Wirtschaftsraum von offenbar überregionaler Bedeutung. Schriftlichen Überlieferungen fehlen jedoch vollständig.

ZU DEN ÖFEN

Soweit bis jetzt aus Grabungen bekannt ist, wurden im sauerländisch-märkischen Gebiet zwei Typen von Rennöfen verwendet (s. S. 282 ff. *Abb. 3*):

1. *Flacher Rennherd* als ein Ofen mit eingetieftem Herd, Schlackenabfluss und niedrigem Schacht.
2. *Eingemuldeter Schachtofen* als ein Ofen mit Schlackenabstich und höherem Schacht, der sich im Raum Lüdenscheid-Altena konzentriert.

Davon zu unterscheiden ist die *Roheisenverhüttung in Floßöfen* mit Frischherden („Massenhütten") (s. S. 295 ff.). Die durch bloße Vergrößerung des Ofenvolumens aus den Rennöfen abgeleiteten und noch zur Rennfeuerverhüttung zählenden Stuck- oder Stücköfen (s. S. 321 f.) lassen sich für das Märkische Sauerland nicht nachweisen. Im Untersuchungsgebiet ist im Rahmen der Geländeprospektionen durch Sönnecken und Knau jedoch der Nachweis von etwa 100 Massenhütten-Wüstungen in Form von Schlackenhalden gelungen (s. S. 295 ff).

Mit der exemplarischen Auswahl der Grabungsplätze wurde versucht, möglichst jeweils einen Rennofenplatz einem nahe gelegenen Hochofenplatz zuzuordnen, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Erzbasis, im Energieträger Holz und in der Verfahrenstechnik sowie in der Bauweise der Öfen und der Struktur der Verhüttungsplätze in einer zeitlichen Abfolge untersuchen zu können. So bezieht sich der Rennofenstandort am Fernhagen (Nr. 11 [s. S. 21 ff.]) auf den Floßofen an der Kerspe (Nr. 105 [s. S. 103 ff.]), und der Rennofenstandort am Wienhagen (Nr. 72 [s. S. 67 ff.]) auf den Floßofen an der oberen Wipper (Nr. 90 [s. S. 185 ff.]).

Zur Bauart der Floßöfen

Die Ausgrabungen an den vier Fundplätzen haben im direkten Vergleich gezeigt, dass sich die frühen Floßöfen in zahlreichen Parametern sehr deutlich von den „traditionellen" Rennöfen unterscheiden. Der augenfällige Größenunterschied macht offensichtlich, dass mit der Einführung des indirekten Verfahrens eine erhebliche Produktionssteigerung unter gleichzeitig sich verändernden wirtschaftlichen und sozialen Arbeitsbedingungen einherging. Die Verlagerung der Standorte von den höheren Lagen in den Wäldern an die größeren Fließgewässer in den Talniederungen war dazu eine unabdingbare Voraussetzung.

Fundplatz Nr. 105 – Kerspetalsperre (13./14. Jahrhundert)

In der abgelassenen Talsperre konnten zwei Floßöfen ergraben werden. Beide Öfen waren mit ihrer Rückseite in den Hang eingebaut. Die verschlackte, aus Ton geformte Innenwand war bis zu einer Höhe von 1,25 m (Ofen 1: s. S. 114 ff.) und 1,75 m (Ofen 2: s. S. 120 ff.) erhalten. Im Vergleich zu Fundplatz Nr. 90 (Wuppertal) waren bei den beiden älteren Öfen aus der Kerspetalsperre noch verhältnismäßig wenige Steine verbaut. Das Hauptmaterial war – wie auch an den Rennöfen dieser Region – Lehm (zum Aufbau der Ofenwand an Fundplatz Nr. 105: s. S. 117 *Abb. 17*). Die Außenmaße der im Grundriss eher runden Schmelzanlagen liegen jeweils unter 3 m. Dabei kann man von einer ehemaligen Höhe der beiden Floßöfen von etwa 3–3,5 m ausgehen. An Ofen 2 war der Formkanal zum Einsatz einer nicht überlieferten tönernen oder metallenen Windform weitgehend erhalten. Der sehr gute Zustand von Ofen 1 ließ es zu, die innere Form des wannenförmigen Schmelzraums (max. Durchmesser ca. 0,8 m) mit seinem rechteckigem, stark verengtem Herdboden vollständig nachzuzeichnen (s. S. 117 *Abb. 17*). An verschiedenen Stellen der Ofenkonstruktion wurde ausgewählt unterschiedliches Material verwendet (z. B. sog. „Gestübbe" als Auskleidung der inneren Ofenwand, s. S. 114). Die Ofenbrust ist jedoch an beiden Öfen vollständig zerstört.

Fundplatz Nr. 90 – Wuppertal (zweite Hälfte 15. Jahrhundert)

Der Floßofen dieser Fundstelle besaß eine abgerundet quadratische Grundform mit einem max. Außenmaß von etwa 3,5–3,6 m. Im Gegensatz zu den beiden Öfen aus der Kerspetalsperre zeichnet sich der jüngere Floßofen an Fundplatz Nr. 90 durch eine stärkere Verwendung von Konstruktionssteinen am Ofen aus. Er war wahrscheinlich bereits vollständig von einem geschlossenen Raugemäuer aus quarzitischen Sandsteinen umgeben, die besonders im Bereich der Ofenbasis eine beträchtliche Größe aufwiesen (s. S. 193 ff.). Das Gestell im Ofeninneren war nicht erhalten, wohl aber eine innere Aussparung von etwa 1,25 x 1,5 m. Auch die Ofenbrust war vollständig zerstört. Eine Roheisenschicht vor der Ofenbrust deutet die Lage des ehemaligen Abstichs an (s. S. 193).

ZUR PLATZSTRUKTUR

An beiden Floßofenfundplätzen wurden prinzipiell ähnliche Platzstrukturen vorgefunden (Nr. 105: s. S. 143 *Abb. 43*; Nr. 90: s. S. 188 *Abb. 4*). Neben den typischen ausgeräumten und intakten Schlackenhalden und Rohstoffdepots (Erz, Holzkohle) fanden sich verschiedene Arbeitsflächen (z. B. die oberhalb der in den Hang gebauten Öfen [Nr. 90, 105] liegende Beschickungsfläche, von der aus der Möller [Erze, Holzkohle] durch die offene Gicht aufgegeben wurde). Mehrere Hohlwege im unmittelbaren Umfeld, die allerdings noch undatiert und daher nicht sicher mit den Fundplätzen zu verbinden sind, deuten ebenso wie Radspuren am Fundplatz Nr. 105 (s. S. 128 ff.) auf den Transport der Rohstoffe zum Verhüttungsplatz hin. Pfostenspuren rühren von Anbauten bzw. Überdachungen der Öfen (s. S. 128) oder stammen von hölzernen Gerinnen, mit denen Wasser auf ein oberschlächtiges Rad geleitet wurde (s. S. 126 f.). Am Standort Nr. 105 zeichnete sich eine Radstube als Verfärbung ab. Wasser wurde von einem mutmaßlichen Stauteich mehrere hundert Meter über einen Obergraben hangparallel herangeführt. (s. S. 127 *Abb. 26*).

An beiden Fundplätzen dienten verschiedene z. T. aus Stein konstruierte Drainagen, die unter den Öfen (sog. „Abzucht" nach Agricola; s. S. 124 f.) und in deren unmittelbarem Umkreis verliefen, dazu, Wasser vom Ofen fernzuhalten. Im Wippertal (Nr. 90) leitete ein in Holzbohlen gefasster Untergraben das Drainage- bzw. Aufschlagwasser in die Wipper zurück (s. S. 195 ff.).

Die frühneuzeitliche Industrielandschaft wird ab dem 16. Jahrhundert n. Chr. zunehmend ein beliebtes Motiv in der flämischen Malerei (s. S. 361 ff.). Ein um 1610 entstandenes Gemälde von Jan Brueghel dem Älteren (heute Galleria Doria, Rom) vermittelt einen sehr guten Eindruck von einer solchen „Hütte im Wald", wie sie vermutlich in dieser Zeit in Zentraleuropa schon weit verbreitet war (s. S. 386 f. *Abb. 14,1–4*). Die dargestellten Einrichtungen und Arbeitsabläufe sind weitestgehend auf die Fundplätze Nr. 90 und 105 übertragbar und spiegeln sich in einer Reihe weiterer Gemälde niederländischer und flämischer Meister der frühen Neuzeit wieder. Diese Darstellungen stellen für die technikhistorischen Forschungen dieser Zeit, in der schriftliche Überlieferungen weitestgehend fehlen, eine wichtige ergänzende Informationsquelle dar.

ZU DEN ERZEN

Die Erze (zumeist Brauneisenerz [Limonit]) fanden sich in unterschiedlichen Zusammenhängen und Mengen. Dennoch bleibt festzuhalten, dass Erze auf den vier durch das MSL-Projekt montanarchäologisch erschlossenen Fundplätzen (Nr. 11, 72, 90, 105) nur vergleichsweise spärlich vertreten sind. Neben vereinzelten und zumeist kleinen Erzfragmenten, die im Zuge der Beschickung der Öfen zu Boden fielen oder als taubes Gestein in Form größerer Handstücke auf den Halden entsorgt wurden, gab es Hinweise auf regelrechte Rohstofflager (Fundplätze Nr. 90, 105). Die Erze wurden durch Pochen (Fundplätze Nr. 72, 90) und/oder Röstung (Fundplätze Nr. 72, 90) aufbereitet.

Die gefundenen Erze sind hinsichtlich Dichte, Farbe, Verwitterungsgrad usw. außerordentlich variabel. Mangels Vergleichsproben aus in der Nähe liegenden Schürfen und verfallenen Stollen konnten die Erzfunde keinen bestimmten Lagerstätten zugewiesen werden. Nach mineralogischen Untersuchungen war ein dichter kieseliger Eisenstein vorherrschend. Mehr oder weniger schichtparallele Hohlräume und Spalten sind mit glaskopfartigen Strukturen erfüllt. Die Schichtung querende, jüngere Gängchen sind mit Manganoxiden verkittet. Manganerz findet sich in den Glaskopfstrukturen auch als opake Einlagerungen.

ZUR HOLZKOHLE

Holzkohle, entweder aus dem Produktions- oder den verschiedenen Weiterverarbeitungsverfahren, zählt neben Schlacke zu den häufigsten Funden an allen vier Verhüttungsplätzen. Dabei waren Reste regelrechter Holzkohledepots nur im Wienhagen (Nr. 72, s. S. 84), dem Kerspetal (Nr. 105, s. S. 130) und dem oberen Wippertal (Nr. 90, s. S. 199 f.) archäologisch fassbar. An sämtlichen Fundplätzen traten hingegen mehr oder weniger vereinzelte Holzkohlen unterschiedlicher Stückgrößen auf, die entweder bei der Beschickung zu Boden gefallen waren oder aber zusammen mit den verschiedenen Schlackentypen im Anschluss an die verschiedenen Produktions- und Verarbeitungsschritte gemeinsam mit der Schlacke entsorgt worden sind.

Mehrere vollständige Fundeinheiten wurden zur anthrakologischen Analyse von den Floßofenfundplätzen Nr. 90 (s. S. 204 f.) und Nr. 105 (s. S. 132 f.) entnommen. Die Makrorestanalyse ergab für Fundplatz Nr. 105, dass für den Betrieb des älteren Ofens 1 ausschließlich Laubholzarten und keine Nadelhölzer vermeilert wurden (s. S. 134 *Abb. 33; 34*). Das Artenspektrum ist mit neun nachgewiesenen Laubhölzern relativ umfangreich (s. S. 134 *Abb. 32*). Neben Eiche (*Quercus spec.*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Hainbuche (*Carpinus betulus*) wurden Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), Birke (*Betula spec.*), Weide (*Salix spec.*), Linde (*Tilia spec.*), Haselnuss (*Corylus avellana*) und Faulbaum (*Frangula alnus*) vermeilert, wobei Eiche, Hainbuche und Rotbuche überwiegen, während der Anteil der „Weichhölzer" (wie Birke, Schwarz-Erle, Weide) nur ca. 22 % beträgt. Die übrigen Holzarten lassen sich nur anhand weniger Holzkohlen belegen. Ohne pollenanalytische Untersuchungen ist jedoch kaum zu entscheiden, ob tatsächlich eine bewusste Auswahl aus den zur Vermeilerung genutzten Beständen getroffen worden ist.

Auch an Fundplatz Nr. 90 wurden ausschließlich Laubhölzer vermeilert. Die nachgewiesenen Arten umfassen Eiche (*Quercus spec*.) Birke (*Betula spec*.) Buche (*Fagus sylvatica*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), Hasel (*Corylus avellana*), Weide (*Salix spec*.), Faulbaum (*Frangula alnus*), Spindelbaum (*Evonymus europaeus*), Linde (*Tilia spec*.) und Roter Hartriegel (*Cornus sanguinea*) (s. S. 204 *Abb. 25*). Eiche und Birke stellen den größten Anteil an den Holzkohleproben, gefolgt von Buche. Der geringe Durchmesser der untersuchten Holzkohlestücke lässt auf die Vermeilerung von Astholz schließen. Die Abweichungen zwischen den Zusammensetzungen der dem Rennofen und dem Hochofen (s.S. 204 f.) zuweisbaren Proben sind gering.

Auffällig ist der niedrige Anteil Buche in den Schichten des Rennofens und der dafür höhere Anteil der Weide, die zusammen mit der Hainbuche und der Eiche den Hauptteil der vermeilerten Hölzer stellt. Hasel, Spindelbaum, Linde und Roter Hartriegel konnten hier nicht nachgewiesen werden. Die signifikanten Abweichungen deuten wohl auf eine jeweils unterschiedliche Waldzusammensetzung in den Zeiten der Rennfeuer- und der Hochofenverhüttung in der Umgebung dieses Hüttenplatzes hin.

In den unteren Hochofenschichten ist dagegen der Anteil an Schwarz-Erle erhöht, während der Hainbuchenanteil verringert ist. Auch dieser Gegensatz könnte ein Hinweis auf eine unterschiedliche Zusammensetzung des Waldes sein. Die Vermeilerung von vier zusätzlichen Holzarten zur Zeit der Hochöfen und die nachgewiesenen Mengenunterschiede bei einzelnen Baumarten deuten auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Wälder hin, die zum Beispiel auch durch die menschliche Nutzung hervorgerufen worden sein können.

Bisher sind nur die Verbrauchsorte der Holzkohle bekannt. Ein Meilerbetrieb (Produktionsort), der sicher mit der Eisenproduktion zu verbinden wäre, ließ sich im Rahmen der Ausgrabungen nicht nachweisen. Ein an Verhüttungsplatz Nr. 11 dokumentierter Befund eines Platzmeilers (s. S. 30) aus den stratigrafisch oberen Bodenschichten ist als neuzeitlich einzuordnen.

ZUR OFENWAND

Gesteinstücke, verziegelter Lehm und gesinterte, gefrittete, mehr oder weniger stark aufgeschmolzene silikatische Massen sind als Bestandteile der vergangenen Ofenkonstruktionen an allen vier Fundplätzen (Nr. 11, 72, 90, 105) überliefert. Während sich an den Rennfeuerplätzen mehr oder weniger stark thermisch beeinflusster Lehm und nur wenige an der Ofenbasis zur Erhöhung der Stabilität einbezogene Steine im Außenbereich der Ofenwand finden (Fundplätze Nr. 11, 72), treten an den bautechnisch aufwändigeren Floßöfen verstärkt u. a. solche Steine hinzu, die zusätzlich zum umgebenden Raugemäuer auch in den inneren Aufbau des Gestells einbezogen wurden (Fundplätze Nr. 90, 105).

ZU DEN SCHLACKEN

An sämtlichen Fundplätzen ist Schlacke als charakteristisches Abfallprodukt der Eisenproduktion – in unterschiedlichen Typen und Quantitäten – vertreten. Neben Produktionsschlacken (z. B. Fließschlacke, Ofenschlacke) kommen auch andere Schlackentypen vor (z. B. Schlackenkalotten, Schweißkügelchen, Hammerschlag), die auf eine Weiterverarbeitung des produzierten Eisens vor Ort deuten (Fundplätze Nr. 11, 72). An den Rennofenstandorten Nr. 11 und 72 liegt die Weiterverarbeitung der Luppen durch Ausheizen nahe. Stark metallhaltige Schlacken an den Fundplätzen Nr. 90 und 105 werden unter Vorbehalt mit einem möglichen Frischprozess in Verbindung gebracht. Eindeutige analytische Belege hierfür liegen allerdings nicht vor, wie auch archäologische eindeutig nachweisbare Frischherde in unmittelbarer Ofennähe fehlen.

Die Untersuchungen der Schlacken (s. S. 251 ff.) lassen makroskopische Unterschiede erkennen, die man mit Einschränkung(!) zur Charakterisierung der einzelnen Fundplätze heranziehen kann. In grober Gliederung handelt es sich dabei einerseits um dunkle kristalline Schlacken, andererseits um hellere glasartig erstarrte bzw. amorphe Schlacken.

Kristalline Schlacken

Die überwiegende Zahl der an den Rennfeuerplätzen (Nr. 11, 72) vertretenen dunklen Schlacken zeigt mikroskopisch für Fließschlacken typische Strukturen. Mikroskopisch erscheinen sie überwiegend heterogen und mehr oder weniger grobblasig. Das „Fließgefüge“ erweist sich nicht selten als eine Überlagerung von Schlackenanteilen mit sehr unterschiedlichem Gefüge. Immer wieder auftretende Gefügebestandteile sind neben Fayalit und größeren Mengen an Leucit sowie Hercynit metallisches Eisen sehr unterschiedlicher Qualität oder magnetitischer Spinell und Rhönit. Daneben tritt Glas als Zwickelfällung auf. Die Zusammensetzung des Eisens kann in ein und demselben Präparat von ferritisch mit einzelnen Perlitinseln bis zu Eisen mit hohem Anteil an Zementit-Lamellen reichen. Leucit tritt entweder als Bestandteil kotektischer Verwachsungen mit Fayalit oder mit Wüstit auf oder als selbständige idiomorphe Kristalle, teilweise als Großkristalle mit sehr schönen und typischen „Schlackenkränzchen“. Oft bilden sich grobperlitische Strukturen mit Leucit und kotektischem Fayalit bzw. Wüstit (s. S. 251 ff.).

Glasig erstarrte Schlacken

Die ausschließlich an den Floßofenstandorten (Nr. 90, 105) nachgewiesenen glasig erstarrten bzw. amorphen Schlacken sind teilweise homogen, öfter aber stark schlierig mit unterschiedlicher Farbe oder Farbintensität. Die Farben variieren dabei von grünweiß über blauweiß bis blaugrün. Nicht selten handelt es sich um stark eingetrübtes Material ohne erkennbare Kristallisation. Übergänge von heterogener Ofenwand zu partiell glasiger und grobporiger Schlacke sind häufig. Mikroskopisch sind die Glasschlacken dicht bis feinblasig, im Durchlicht farblos bis tief dunkelbraun. Die farbigen Glasschlacken erscheinen im Auflicht-Dunkelfeld intensiv dunkelblau bis weiß, ohne dass in diesen Farbbereichen Kristallisation zu erkennen wäre. In einzelnen Punkten beginnt radialstrahliges Kristallwachstum, das gerne an nicht aufgeschmolzenen Relikten einsetzt (s. S. 251 ff.).

ZUM EISEN

Metallisches Eisen ist an den Fundplätzen relativ selten. Ausgenommen sind dabei solche Metallreste, die in Schlacken eingeschlossen sind und an den Rennfeuerplätzen Nr. 11 und 72 evtl. auch als Luppenfragmente angesprochen werden könnten und die Basis der naturwissenschaftlichen Analysen bildeten. Bei verschiedenen Fragmenten von Fertigprodukten aus Eisen an Fundplatz Nr. 72 muss offen bleiben, in welchem Verhältnis sie zum Verhüttungsplatz stehen (s. S. 85). Dasselbe gilt für entsprechende Funde metallener Gegenstände mit zum Teil unbekannter Funktion an Fundplatz Nr. 105 (s. S. 142). An Floßofenstandort Nr. 90 wurden zwei amorphe Stücke von zusammen etwas mehr als 1,5 kg Gewicht unter Vorbehalt als Roheisen angesprochen (s. S. 214). Eindeutige Barren- oder Masselfragmente fehlen.

Die Zusammensetzung des metallischen Eisens aus den sicher zuweisbaren Schlacken ist überraschend vielfältig. Es handelt sich dabei um

- ferritisches Eisen mit Perlitinseln,
- kohlenstoffreiches Eisen mit Zementit,
- graphitreiches Eisen,
- phosphidreiches Eisen,
- sulfidreiches Eisen.

Ferritisches Eisen ist auf Einschlüsse in fayalitischen Schlacken beschränkt. Der Kohlenstoffgehalt ist klein und äußert sich als kleine Inseln mit reliktischem Perlit im Rost um kleine Eisenkörner. In ein und demselben Präparat können ferritisches Eisen und Eisen mit zahlreichen entweder gedrungenen oder langgestreckten Zementit-Lamellen auftreten. Gelegentlich sind ledeburitische Gefüge zu beobachten. Die Mehrzahl der massiven Eisenstücke besteht aus Metall mit gleichmäßig verteilten Graphitlamellen. Gleichzeitig enthält dieses Eisen zahlreiche kleine, idiomorphe Kristalle von MnS. Neben Graphit kann zusätzlich Zementit auftreten. In einigen Fällen wurden isolierte Bereiche mit stark erhöhtem Phosphorgehalt beobachtet, so dass eutektische Gefüge mit Schreibersit (Glanzeisen) auftreten, möglicherweise auch in der Form von Steadit oder einem quaternären Eutektikum mit P- und S-Anreicherung. Besonders interessant und problematisch erscheint metallisches Eisen, das reich an Sulfiden ist. Es tritt sowohl als massive Einzelstücke als auch in Form von Einschlüssen in fayalitischer Schlacke auf. Dabei handelt es sich bei den sulfidischen Einschlüssen sowohl um Pyrrhotin, teilweise mit Chalkopyrrhotinsäumen, als auch um Kupfereisensulfide in größeren Aggregaten.

Im Märkischen Sauerland wurden durch ein besonderes Frischverfahren Eisen- und Stahlsorten von höchster Qualität erzeugt: der Osemund (s. S. 309 ff.). Durch diesen Begriff steht die historische Grafschaft Mark in enger Beziehung zu Schweden, wo der Osemund seit dem Spätmittelalter eine besondere Rolle spielt und von wo auch wohl die Bezeichnung übernommen wurde.

ZUR VERHÜTTUNGSTECHNOLOGIE DER VERSCHIEDENEN FUNDPLÄTZE

Fundplatz Nr. 105

Die polarisationsmikroskopischen und chemischen Analysen des Schlackenmaterials von Fundplatz Nr. 105 verweisen im Vergleich mit dem direkten Verfahren auf ein kontinuierliches, aber indirektes Verfahren mit deutlich besserem Ertrag (s. S. 251 ff.). Demnach handelt es sich bei dem in der Kerspetalsperre im 13./14. Jahrhundert angewandten Verhüttungsverfahren tatsächlich bereits um eine Flusseisentechnik, für die manganreiche Erze die Basis bildeten. Glasreiche Schlacken, sowohl gekennzeichnet durch ungewöhnlich hohe SiO_2- (überwiegend 55–56 Gew.-% SiO_2) als auch den besonderen Einfluss hoher K_2O-Gehalte, sind charakteristisch. Der Eisengehalt in den Gläsern liegt erwartungsgemäß lediglich bei maximal ca. 15 Gew.-% FeO. Die Öfen aus der Kerspetalsperre arbeiteten wohl grundsätzlich im selben Temperaturbereich wie die „traditionellen" Rennöfen der Region ($T \geq 1150$ °C)[1] mit ihren sehr viel eisenreicheren Schlacken. Allerdings bedienten sich die Kersper Öfen bei deutlich gesenkter FeO-Aktivität eines bisher nicht genutzten eutektischen Bereiches zur Gewinnung eines kohlenstoffreichen Flusseisens.

Die metallografische Analyse von Probenmaterial aus der Kerspetalsperre zeigt ein entsprechend kohlenstoff- und phosphorreiches Roheisen, gekennzeichnet

[1] Vgl. Horstmann 1985.

durch hohe Schwefel-, Arsen- und teilweise auch Kupfergehalte.[2] Weil die Siliziumgehalte nur selten Werte über 1000 ppm erreichen, wurde die Bildung von „weißem" Roheisen (metastabiler Cementit) begünstigt. Dieses Roheisen musste – und das ist kennzeichnend für das indirekte Verfahren – erst in einem weiteren Verarbeitungsschritt, dem sog. Frischen in Schmiedeeisen oder Stahl umgewandelt werden.

Die Frage, ob auch das Frischen vor Ort geschah, lässt sich anhand der Befund- und Fundsituation in der Kerspetalsperre nicht sicher beantworten. Eine entsprechend „verdächtige" Struktur (Planum 2: Quadrat II-p, s. S. 126 *Abb. 23)* ist wegen des schlechten Erhaltungszustands nur unter Vorbehalt als möglicher Frischherd in Betracht zu ziehen.

Die beiden Verhüttungsöfen aus der Kerspetalsperre können als technologisches Bindeglied zwischen dem „traditionellen" direkten Verfahren (Verhüttung im Rennofen) und dem indirekten Verfahren (Verhüttung im Hochofen) angesehen werden, das die fortschreitende technologische Entwicklung und den damit verbundenen Wandel bzw. das Aufkommen einer neuen Verhüttungs- und Ofenbautechnik in der Forschungsregion repräsentiert.

Fundplatz Nr. 90

Die Schlackenserie des jüngsten Fundplatzes Nr. 90 im oberen Wippertal bei Marienheide entspricht in vielen Punkten derjenigen von Fundplatz Nr. 105 aus der Kerspetalsperre, auch wenn die chemischen Analysen des Probenmaterials insgesamt durch ihre sehr große Variationsbreite (SiO_2, Al_2O_3, FeO und MnO) auffallen. Hier wie dort überwiegt im Fundmaterial bei weitem glasige Schlacke als Indiz für das indirekte Verfahren und die Roheisenproduktion. Wie bereits in der Kerspetalsperre deuten die Pauschalanalysen (s. S. 260 *Tab. 1*) eine Korrelation zwischen einem hohen SiO_2-Gehalt und einer gleichzeitig sehr Fe-armen Zusammensetzung an.

Fundplätze Nr. 11 und Nr. 72

Im Gegensatz zu den glasartig erstarrten Schlacken aus der Kerspetalsperre und dem oberen Wippertal bei Marienheide dominieren in Fernhagen (Fundplatz Nr. 11) und Wienhagenerhaus (Fundplatz Nr. 72) kristalline Schlacken. Dieser Schlackentyp deutet auf eine vor Ort angewandte, alternative Technologie. Die Pauschalanalysen zeigen, dass auch der FeO-Gehalt in sämtlichen Proben deutlich höher liegt als an den mit der primären Roheisenproduktion zu verbindenden Plätzen Nr. 90 und Nr. 105.

An Platz Nr. 72 lassen ein geringer Herddurchmesser und die spezifische Konstruktionsweise im erhaltenen Bereich der ausschließlich aus Lehm bestehenden Ofenbasis zusammen mit den Kanälen für mindestens drei Schlackenabstiche noch am ehesten die Rekonstruktion eines Rennofens zu, der im Laufe seiner Betriebszeit mehrfach erneuert worden ist.

Abweichend davon steht die pyroxenführende Olivin-Leucit-Schlacke mit Rhönit und teilweise glasartiger Grundmasse an Fundplatz Nr. 11 möglicherweise eher in Verbindung mit dem Prozess der Um- oder Weiterverarbeitung von Eisen. Eine Rekonstruktion des stark zerstörten Befundes als ausschließlicher Verhüttungsofen muss demnach relativiert werden. Letztlich muss aufgrund des begrenzten Erkenntnispotentials des überlieferten Fundmaterials ungeklärt bleiben, ob es sich um Eisenproduktion oder Weiterverarbeitung bzw. Eisenproduktion mit Weiterverarbeitung gehandelt hat.

Kalk als Flussmittel?

Die Analysen (s. S. 260 *Tab. 1*) zeigen, dass an sämtlichen hier vorgestellten hoch- und spätmittelalterlichen Verhüttungsplätzen calciumarme Schlackenzusammensetzungen die viel zitierte intentionelle Verwendung von Kalk als „Flussmittel" nicht bestätigen. Beim derzeitigen Stand der Forschung ist davon auszugehen, dass Kalk in der Forschungsregion erst in späterer Zeit im Zusammenhang mit der modernen Hochofentechnik der Schlackenschmelze zugegeben worden ist. Die Flusseisentechnik im Märkischen Sauerland und angrenzenden Bergischen Land charakterisiert im Gegensatz dazu eine SiO_2-reiche, „saure" Schlacke.[3]

INDIGENE ODER EXOGENE WURZELN DER ROHEISENTECHNOLOGIE

Die Gründe für die hoch- und spätmittelalterliche Intensivierung der Eisenproduktion, die in allen Landschaften Zentralmitteleuropas feststellbar ist, liegen u. a. in einem enorm gestiegenen Bedarf an Eisen als Baueisen für die zahlreichen erfolgten Stadt- und Burgengründungen mit ihrer Infrastruktur (s. S. 252 f.), in einer zunehmenden Aufrüstung im Zuge territorialer Auseinandersetzungen der Feudalherren (s. S. 355) und im beginnenden Geldmarkt mit Eisen und Stahl als begehrter Handelsware (s. S. 307 ff.).

Demgegenüber ist die Frage nach der Herkunft dieser Technologie nach wie vor kaum zu beantworten. Die Karte der frühen Floßofenbefunde (s. S. 326 *Abb. 3*) zeigt zwar für das 13./14. Jahrhundert eine „Süd-Nord-Schiene" von Mittelitalien über die westlichen Zentralalpen hinweg in die Rheinlande bis nach Schweden

[2] Präparat 2330, vgl. Jockenhövel/Willms 2005, S. 419 ff.

[3] Keesmann/Kronz 2003.

hinauf. Beim jetzigen Forschungsstand ist es aber sicher noch verfrüht, einzelnen Landschaften Europas die Priorität in der Nutzung der Roheisengewinnung zuzubilligen. Es fehlen noch entsprechende Forschungen in den „innovativen" spätmittelalterlichen Kernlandschaften, wie z. B. in Ober- und Mittelitalien, Frankreich oder Burgund.

Die „neue" Technik setzte sich vermutlich rasch im Zuge der auch auf vielen anderen Gebieten fassbaren Mobilität im spätmittelalterlichen Europa durch. Ob es sich bei der Entwicklung des indirekten Verfahrens um eine endogene europäische Entwicklung (s. S. 356 f.) handelt, oder ob diese Entwicklung auf außereuropäische Anregungen (s. S. 357 ff.) zurückzuführen ist, die z. B. im Zuge der Kreuzzüge und des levantinischen Handels ihren Weg aus dem Osten nach Europa fanden, muss dahingestellt bleiben. Dies gilt auch für eine mutmaßliche Herkunft der Roheisentechnologie aus China, wo der Eisenguss nachweislich bereits in den letzten Jahrhunderten vor der Zeitenwende beherrscht wurde (s. S. 357 ff.). So kann nicht sicher ausgeschlossen werden, dass es zu einem Techniktransfer im 12./13. Jahrhundert kam, eventuell im Zusammenhang von Migrationsbewegungen von Ost nach West (z. B. in der Zeit der Goldenen Horde: s. S. 358 f.).

Ohne dass sich bisher ein sicherer Zusammenhang nachweisen ließe, steht fest, dass die „Wege des Wissens" um die Verbreitung der Roheisendarstellung in Form der frühen Floßöfen in ihrer regionalen und überregionalen Vernetzung zukünftig noch intensiv zu erforschen sind. Da Schrift- und Bildquellen, die zur Erhellung der historischen, sozialen, baulichen und technischen Aspekte der Frühzeit des Floßofenverfahrens beitragen können, fehlen, wird die technikgeschichtliche Forschung weiterhin auf systematische archäologische Ausgrabungen angewiesen sein, um den Übergang vom direkten zum indirekten Verfahren der Eisenproduktion inhaltlich und räumlich-zeitlich erklären zu können.

SUMMARY

In the years 1994 to 2000 the interdisciplinary research project "*Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. Eine Produktionskette von der Rennverhüttung zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n. Chr.)*" (the so called MSL-Project) was carried out in one of the most important historical iron producing regions of Western Germany, *Märkisches Sauerland*, under the auspices of the Institute of Pre- and Protohistory of the Westphalian Wilhelms-University Münster. Supported by the Regional Association of Westphalia-Lippe (LWL), *Amt für Bodendenkmalpflege* the archaeometallurgical and mineralogical research work was done by the *Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH* (MPIE) Düsseldorf and the Institute of Geosciences, *Johannes Gutenberg-Universität* Mainz (Geology/Mineralogy, Department of Archaeometallurgy). Geobotanical research was done by the Institute of Botany and Botanical Garden of the Westphalian Wilhelms-University Münster and aspects of the regional history were edited by Hans Ludwig Knau and Manfred Sönnecken. In the years from 1994 to 1996 the focus was on the archaeological fieldwork on four sites of iron production (archaeometallurgical sites No. 11, 72, 90, 105). The research project dealing with the hardly known very early phase of blast furnace technology in Central Europe was funded by the *VolkswagenStiftung* Hannover (pp. 1 ff.).

THE RESEARCH AREA *MÄRKISCHES SAUERLAND*

The mountainous *Sauerland* is the northeastern part of the *Rheinisches Schiefergebirge* (pp. 9 ff.). The closer research area, *Märkisches Sauerland*, is its northwestern subregion, a rural landscape, also including the small towns of Altena, Lüdenscheid and Meinerzhagen. Due to the underground, the relief, the climate and the abundance of water and forest resources *Märkisches Sauerland* established its significant position as a medieval centre of iron industry. Minor differences in height of max. 300–350 m characterize the landscape of this mountainous region, which is dominated by the *Ebbegebirge* in the south (up to 660 m).

The subsoil of *Märkisches Sauerland* predominantly consists of paleozoic substratum with ore veins (Carboniferous to Ordovician). Many of the ore bodies, which are today on or beneath the surface, were cut or exposed during the capping of the mountain at the end of the Permian and the subsequent elevation; many were also rearranged during the mountain changing processes by endogenous and exogenous forces, eroded and moved elsewhere to new, mostly less metalliferous deposits, such as the Devonian Layers. Iron ores can be found in many places in the Devonian substratum. East of the *Nordhelle* (663.30 m) for example, in the ridge area of the Ebbegebirge, there are siderite (*Eisenspat*, $FeC0_3$), hematite (*Roteisenstein*, Fe_20_3) and hematite converted into magnetite (*Magnetit*, Fe_30_4) through thermical influences.

Under Atlantic influence the mountain climate provides lots of rainfall, fresh summers and mild winters with moderate temperatures. *Märkisches Sauerland* rises well above the neighbouring lowlands. Moreover, its relief inclines to the west and to the north. Therefore, and reinforced by the *Ebbegebirge*, winds bring rain from both directions. Accordingly, here and in the neighbouring *Bergisches Land* there is the highest amount of rainfall in North-Rhine-Westphalia. This rainfall and the related relatively good all-year water supply from the rivers and streams were essential conditions for the use of water power by the former iron industry.

During the late Middle Ages and the early modern period *Märkisches Sauerland* was one of the most important iron producing areas in Germany. By intensive surveys, carried out by the late Manfred Sönnecken (1928–2003), also together with Hans Ludwig Knau since 1986, over 1500(!) iron producing and/or iron working sites were detected in the Westphalian part of *Märkisches Sauerland*, making this area with its density of archaeometallurgical sites the largest medieval iron production area in Central Europe exploited by archaeological surveys and smaller excavations.

IRONMAKING SITES

The focus of the research project was on the technological shift from the direct "traditional" method of ironmaking, using small bloomery furnaces (*Rennöfen*), to the indirect "innovative" method of ironmaking in "higher" furnaces of the older kind, which are known as *Floßöfen* from the literature of the history of technology (pp. 324 f.). On the basis of specific archaeometallurgical excavations and numerous ceramic- and 14C-datings, two phases of iron production can be stated for *Märkisches Sauerland*:

1. Iron production in bloomery type furnaces (*Rennöfen*): 8th–13th century AD.
2. Iron production in early blast furnaces (*Massenhütten; Floßöfen*) with finery forges: 13 th–18 th century AD.

So far the attempts to discover a prehistoric iron production site in *Märkisches Sauerland* and the neighbouring *Bergisches Land* have not been successful. In addition to some evidence for the late Merovingian and early Carolingian period an unusually large expansion

and development of the iron production in over 1500 bloomery sites could be proved for the 11th–13th century. Thus in the times of the Salian dynasty and the House of Hohenstaufen an active iron producing economy of apparently supraregional importance existed in *Märkisches Sauerland*. But unfortunately, written sources are completely missing.

THE FURNACES

As far as we know from the excavations, two types of bloomery furnaces were used in the region of *Märkisches Sauerland* (pp. 282 ff. *fig. 3*).

1. *Flacher Rennherd*, a kind of bloomery furnace with a sunken hearth, slag tapping and a low shaft.
2. *Eingemuldeter Schachtofen*, a kind of bloomery furnace with slag tapping and a higher shaft. This kind of furnace is concentrated in the region of Lüdenscheid-Altena.

A completely different method of ironmaking is the production of pig iron in early blast furnaces (*Floßöfen*) with finery hearths (*Massenhütten*) (pp. 295 ff.). High bloomery furnaces (*Stucköfen*) (pp. 321 f.) derived from the small bloomery furnaces by enlarging the furnace volume, but still working on the basis of the direct method of iron production, do not exist in *Märkisches Sauerland*, according to the results of archaeological research so far. In the course of their archaeological surveys Sönnecken and Knau only found about one hundred early blast furnace sites (*Massenhütten*) in the research area in form of slag heaps (pp. 295 ff.).

With an exemplary selection of excavation sites the attempt was made to match each bloomery site to a nearby blast furnace site. The intention was to investigate similarities and differences concerning the ore base, the fuel of wood, the method of iron production, the construction of the furnace and the structure of a smelting site in a chronological order. So the bloomery site of Fernhagen (No. 11 [pp. 21 ff.]) is related to the blast furnace site in the Kerspe-Dam (No. 105: pp. 103 ff.]) and the bloomery site of Wienhagen (No. 72: pp. 67 ff.]) is related to the blast furnace site from Wipper-Valley (No. 90: pp. 185 ff.]).

The construction of the early blast furnaces

The archaeological excavations on the four sites have shown that the early blast furnaces (*Floßöfen*) differ in a number of parameters from the "traditional" bloomery furnaces. The obvious difference in size makes it clear that with the introduction of the indirect method there was a significant increase in production and a change of economic and social working conditions. For that, the relocation of the iron production sites from higher up in the forest areas to the wider river beds in the lowlands was an essential precondition.

Site No. 105 – Kerspe-Dam (13th/14th century)

Two early blast furnaces (*Floßöfen*) were excavated in the area of the drained Kerspe-Dam. Both furnaces were built with their backside into the slope. The inside walls were nearly totally covered with slag. Moulded from loam they were preserved up to a height of 1.25 m (furnace No. 1: pp. 114 ff.) and 1.75 m (furnace No. 2: pp. 120 ff.). Compared with site No. 90 (Wipper-Valley) relatively few stones were used to build the two older furnaces from the Kerspe-Dam. Loam was the main material to shape these early blast furnaces. In this regard they resemble the smaller bloomery furnaces from this region (for a cross section through the wall of the furnace: p. 117 *fig. 17*). The external diameter of the more or less round-shaped furnaces is less than 3.0 m each. The former height of both furnaces is estimated at about 3.0–3.5 m. The hole for a tuyère (*Windform*), made from clay or metal, was preserved in the wall of furnace 2. Unfortunately, the tuyère itself did not exist anymore. But it was possible to examine the completely preserved well (*Gestell*) of furnace No. 1 with its typical shape: a small rectangular hearth bottom about 80 cm (31.5 in) long but only 30 cm (11.81 in) wide (p. 117 *fig. 17*). Two bevelled side-walls form a narrowed hearth at the bottom which is slightly slanted, so that slag and liquid iron can easily run out. Loam mixed with charcoal and small pieces of slag (*Gestübbe*) were used to cover parts of the inner furnace wall (p. 114). The frontside (*Ofenbrust*), which is important to watch the operation of the furnace, was destroyed in both cases.

Site No. 90 – Wipper-Valley (second half of the 15th century)

The early blast furnace (*Floßofen*) of this site had a rounded square shape with a max. outer diameter of approximately 3.5 to 3.6 m. In contrast to the two early blast furnaces from the Kerspe-Dam (Site No. 105), more stones had been used to build the outer furnace wall (*Raugemäuer*) of the younger furnace on site No. 90. The furnace was probably already completely surrounded by a stone wall (*Raugemäuer*) of quartzitic sandstones. These stones were rather large, especially in the lower part of the furnace (pp. 193 ff.). The inner part of the well was not preserved and only marked by a gap of about 1.25 x 1.5 m. Only the stones of the sidewalls were left. The frontside (*Ofenbrust*) was completely destroyed as well, but the furnace seems to have had an open breast. A pig iron layer at the front indicates the position of the former tapping of liquid iron (p. 193).

THE SPATIAL ORGANIZATION OF AN EARLY BLAST FURNACE SITE

The spatial organization of both blast furnace sites is very similar (No. 105: p. 143 *fig. 43*; No. 90: p. 188 *fig. 4*). Besides the typical, partly destroyed (slag was recycled in modern times) and partly intact slag heaps and raw material deposits (ore, charcoal), there were several working areas (for example charging areas built into the slope above the furnaces No. 90, 105). From these charging platforms (*Gicht*) the furnaces could be filled easily with ore and charcoal from their top. Several hollow ways (*Hohlwege*) in the surrounding forests are still undated. Maybe they can be connected with the early blast furnace sites. Together with some traces of wheel tracks (site No. 105: pp. 128 ff.) they possibly indicate the transportation of raw materials (esp. ore, charcoal) to the smelting sites. Some postholes point to outbuildings and/or protective structures above the furnace (p. 128). They may also belong to former wooden channels transporting water to the nearby overshot millwheels (p. 126 f.).

On site No. 105 it was possible to locate the former position of the wheelpit (*Radstube*). Milltrenches carried the water from a pond in a slight fall over a distance of several hundred metres (100 m = 328.1 feet) along the sloping side of the valley (p. 127 *fig. 26*).

On both sites (No. 105, No. 90) a number of drainage-trenches (some of them completely made of stone) were found uphill and alongside the furnaces. In order to keep away the groundwater from the interior of the furnace, a system of diverse draining channels was additionally integrated into the foundations of the younger furnace from the Kerspe-Dam. A special stone built drainage channel, called *Abzucht* by Georgius Agricola (pp. 124 f.), ran beneath furnace No. 2. This kind of drainage is usually unnoticed from the outside, as it is totally covered by the furnace that was built on it. The small trench of only 23 cm (4.72 in.) in diameter was covered with huge plates of sandstone and constructed in the shape of a horseshoe. In the Wipper-Valley (No. 90) a trench with wooden boards on the sides may have been the culvert of the waterwheel or drainage (pp. 195 ff.).

From the 16th century AD on, the early modern industrial landscape became an increasingly popular motif in Flemish paintings (pp. 361 ff.). The painting, called "*Hochofen im Walde*" (Galleria Doria, Rome), from about 1610 by Jan Brueghel the Elder (Galleria Doria, Rome) gives us a very good idea of a typical early blast furnace in the forests, which was probably already widespread at that time in Central Europe (pp. 368 f. *fig. 14,1–4*). The facilities and operations illustrated, are very similar to those archaeologically documented in the spatial organization of the sites No. 90 and No. 105. They are reflected in a number of other paintings from Dutch and Flemish masters of the early modern period (pp. 374 ff.). These paintings represent an important complementary source of information for research on the history of technology because written records are largely missing for this period.

THE ORES

Ironores (mostly limonite) were found in different contexts and quantities. Nevertheless, it is remarkable that ironores are underrepresented on the four sites excavated (No. 11, 72, 90, 105). Besides the scattered and mostly small ore fragments, that either fell to the ground in the course of charging the furnace or were dumped on the slag heaps because of their low iron content (low-grade debris), there was archaeological evidence of typical ironore storages (sites No. 90, 105). Oredressing (dry beneficiation) was made by hand sorting and crushing (sites No. 72, 90) as well as by thermal treatment (ore-roasting) (sites No. 72, 90), in order to concentrate the degree of ore and to improve its condition for smelting.

The ores excavated are extremely variable in density, color and degree of weathering. Because of the lack of comparable samples from ancient nearby opencast mining and galleries it is not possible to assign the different ores to specific deposits. According to the mineralogical analyses a dense siliceous ironstone was predominant. More or less layer-parallel cavities and fissures are filled with hematite-like minerals. Small younger veins crossing the stratification are cemented with manganese oxides. Manganese is also found in the haematite-like minerals as opaque inclusions.

CHARCOAL

In addition to slag, charcoal from either the production or the various processing methods is among the most common finds on all four sites. Remains of real charcoal deposits were identified only at Wienhagen (No. 72: p. 84), Kerspe-Dam (No. 105: p. 130) and Wipper-Valley (No. 90: pp. 199 f.). On all four sites more or less scattered charcoal pieces of various sizes occurred, which either fell to the ground when charging the furnaces or were thrown to the slag heaps together with the various slagtypes during the different production and processing steps.

On the early blast furnace sites (No. 105, 90) several charcoal-sample-units were taken for anthracological analysis. For site No. 105 the analysis revealed that only hardwoods were burned to charcoal to operate the older furnace No. 1, whereas softwoods were not used (p. 134 *fig. 33: 34*). With nine species of hardwoods (p. 134 *fig. 32*) the composition of the charcoal is quite extensive. Besides oak (*Quercus sp.*), beech (*Fagus sylvatica*) and hornbeam (*Carpinus betulus*), even black alder (*Alnus glutinosa*), birch (*Betula spec.*), willow (*Salix sp.*), lime (*Tilia sp.*), hazelnut (*Corylus avellana*)

and alder buckthorn (*Frangula alnus*) were burned to charcoal. Oak, hornbeam and beech predominate, while the proportion of softwoods (such as birch, black alder, willow) is only about 22 percent. The other wood species are only represented by a few charcoal samples. But without palynological analysis it is hard to decide whether certain trees or tree sections were selected from the forest stands for charcoal burning.

On site No. 90 charcoal from hardwood was exclusively used, too. The recorded tree species include oak (*Quercus sp.*), birch (*Betula sp.*), beech (*Fagus sylvatica*), hornbeam (*Carpinus betulus*), black alder (*Alnus glutinosa*), hazel (*Corylus avellana*), willow (*Salix sp.*), buckthorn (*Frangula alnus*), spindle tree (*Euonymus europaeus*), lime (*Tilia sp.*) and common dogwood (*Cornus sanguinea*) (p. 204 *fig. 25*). Oak and birch are the most common tree species detected in the charcoal samples, followed by beech. The small diameter of the charcoal samples analyzed suggests the use of small branches. The differences between the composition of the samples taken from the bloomery furnace and the blast furnace (pp. 204 f.) are rather slight.

In the case of the bloomery furnace the small amount of beech in contrast to a higher proportion of willow, which together with the hornbeam and the oak is the most common tree species of the samples, is remarkable. Hazel, spindle tree, lime and common dogwood could not be verified. The significant deviations of tree species verified in the charcoal samples probably suggest a different composition of the woodland in the vicinity of this site at the times of the earlier bloomery and the later blast furnace technology.

On the other hand the amount of black alder is increased in the samples from the blast furnace, whereas the amount of hornbeam is reduced. This may be regarded as another fact pointing to a different composition of the surrounding woodland. The use of four additional tree species for charcoal burning at the time of the blast furnaces and the verified differences in the composition of the analyzed charcoal samples indicate changes in the composition of the woodland which may have been caused by human use.

So far only the location of charcoal store is known. A charcoalkiln that could be connected with the iron production sites was not found during the archaeological excavations. A charcoalkiln (*Platzmeiler*) (p. 30) on site No. 11 from the upper stratigraphic layers was in operation in modern times.

STRUCTURAL FURNACE MATERIALS

On all four sites (No. 11, 72, 90, 105) rock fragments and sintered or fritted clay from former parts of the furnace wall were found. More or less thermally influenced clay and just a few stones integrated into the exterior furnace walls in order to stabilize the furnace base were found on the bloomery sites No. 11, 72. A lot more stones, however, were found on sites No. 105 and No. 90. In the case of the technically more complex early blast furnaces (*Floßöfen*) they served as exterior furnace wall (*Raugemäuer*) and also as inner part of the well.

SLAG

On all four sites slag of different types and quantities was found as the characteristic waste product of iron production. In addition to slags from the ironsmelting process (tapped slag, furnace slag) other types of slag were found (plano-convex bottoms, hammerscale [*Hammerschlag*]) referring to the ironworking process (postreduction slag) (sites No. 11, 72: pp. 251 ff.). On the bloomery sites No. 11 and 72 the produced blooms were probably processed by reheating. Slag rich in iron oxide on the early blast furnace sites No. 90 and No. 105 possibly came from the finery process. Clear analytical evidence of the finery process (*Frischen*) is not available, nor were clearly identifiable finery hearths found during the archaeological excavations on the early blast furnace sites. Macroscopic differences between the slags can be used (with reservations [!]) to identify the different ironsmelting processes on the different sites. In rough outline, there is dark crystalline slag, and on the other hand brighter (green or blue) glassy slag.

Crystalline slag

The majority of dark-brown slags from the bloomery sites (No. 11, 72) could be identified microscopically as typical tapping slag. These slags are mostly heterogeneous and more or less porous. Their texture is characterized by different layers of a varying mineralogical composition. Besides fayalite and larger amounts of leucite and hercynite as main compound parts, metallic iron (of varying quality) or magnetic spinel and rhönite are frequently found. In the interstitials silicate glass is obvious. Within one sample the metallurgical composition of the iron changes from ferritic iron with perlite grains to iron with a high amount of cementite lamellae. Leucite occurs either as part of cotectic adhesions with fayalite or wüstite, or as (partly large) idiomorphic crystals with typical *Schlackenkränzchen*. There is often a clearly perlitic microstructure with leucite and cotectic fayalite or wüstite (pp. 251 ff.).

Glassy slag

The glassy, amorphous slags, which were found only on those sites with early blast furnaces (No. 90, 105), partially show a homogeneous microstructure. Quite often, however, their structure is intensely streaky of different

colors (or color intensity) ranging from green to blue. Often the material is blurred with no detectable crystallization. Transitions of heterogeneous furnace-wall material to partially glassy and coarsely porous slag are common. Microscopically glassy slags show a dense structure or a matrix with fine bubbles. In transmitted light they appear colorless to dark brown. The colored glassy slags range from intense dark-blue to white in darkfield-reflection without any visible crystallization. In some samples the beginning of radial crystal-growth can be observed, which chiefly starts at non-fused relics (pp. 251 ff.).

IRON

Metallic iron was a relatively rare find on the sites, except for metallic iron enclosed in slags. Those slags (mostly spongy lumps of iron permeated by slag) that came to light during the excavations can be defined as fragments of blooms on sites No. 11 and 72. They were submitted to metallographic examination. In the case of various fragments of finished iron artifacts on site No. 72, it is not yet clear if they are connected with the smelting sites (p. 85). The same applies to some corresponding finds of iron objects of unknown function from site No. 105 (p. 142). On site No. 90 two amorphous fragments of unworked iron, weighing together a little more than 1.5 kg, can be characterized with reservation as cast iron (p. 214). Unique ingots or fragments of cast iron pigs are missing.

The metallographic composition of the iron from the examined slags is surprisingly various

- ferritic iron with perlite grains,
- carbon-rich iron with cementite,
- graphite-rich iron,
- phosphide-rich iron,
- sulphide-rich iron.

Ferritic iron is limited to inclusions in fayalitic slags. The carbon content is low and manifested as small nodules with relic-pearlite in rust around small iron grains. In one and the same sample ferritic iron and iron with many compact or elongated cementite lamellae can occur. Occasionally, ledeburitic microstructures are observed. Most of the metallic iron shows regularly distributed graphite lamellae. This kind of iron contains numerous small idiomorphic crystals of MnS. Cementite can occur in addition to graphite. In some cases isolated spots with an increased phosphorus content were observed, causing a eutectic microstructure with schreibersite (*Glanzeisen*), possibly also in the form of steadite or a quaternary eutectic with a concentration of P and S. Metallic iron, rich in sulphides, is especially interesting and problematic. It occurs as lumps of metallic iron as well as in the form of inclusions in fayalitic slags. The sulphide-inclusions are both, pyrrhotite (in some cases with rims of chalko-pyrrhotite) and copper-iron-sulphides in larger aggregates.

In *Märkisches Sauerland* iron and steel of highest quality, the osmond iron, was produced in a special finery process (pp. 309 ff.). Through the production of osmond iron the historic County of Mark is closely related to Sweden. *Osemund* had reached a high level in Sweden since the late Middle Ages. From there the term was probably adopted.

SMELTING TECHNOLOGY

Site No. 105

In comparison with the direct method of iron production, polarization microscopy and chemical analysis of the slags from site No. 105 confirmed a continuous, but indirect method with a significantly better yield (pp. 251 ff.). Accordingly, the production of liquid cast iron based on the use of specific ores rich in manganese was already practised in the 13th/14th century. Glassy slags, defined by both, an unusually high SiO_2 content (mostly 55–56 weight -%) and the specific impact of a high K_2O content, are characteristic. As expected, the glassy slags do not contain more than 15 weight-% FeO. The smelting temperature in the early blast furnaces from the Kerspe-Dam was basically the same as in the traditional bloomery furnaces of this region ($T \geq 1150°$ C). However, the bloomery furnaces produced slags of significantly higher iron content. On the other hand, unlike the bloomery furnaces the early blast furnaces from the Kerspe-Dam used the significantly lowered FeO-activity of a eutectic level, so far unused, to obtain a carbon rich liquid iron. Accordingly, the metallographic analysis of slag samples from the Kerspe-Dam gives proof of the production of a carbon- and phosphorus-rich cast iron, characterized by high contents of sulfur, arsenic, and copper in some cases. Because the silicon content rarely reaches amounts higher than 1000 ppm, the formation of "white" cast iron (metastable cementite) was predominant. This cast iron – and this is typical of the indirect method of iron production – had to be processed in a finery hearth (*Frischherd*) to get wrought iron or steel of a higher carbon content.

It is not clear if the finery process (*Frischen*) was practised on the same site. A badly preserved structure (Planum 2; Quadrat II-p: p. 126 *fig. 23*) might be described as finery hearth.

Both furnaces from the Kerspe-Dam can be regarded as technological links between the "traditional" direct method of iron production (bloomery furnace) and the indirect method of iron production (blast furnace) – technological links representing the progressive technological development and the associated emergence of a new way of iron production and of the construction of smelting furnaces in the research region.

Site No. 90

In many respects the series of slag samples taken on the most recent site No. 90 in the upper Wipper-Valley near the town of Marienheide corresponds with that from site No. 105 in the Kerspe-Dam, even though the analyses of the samples from site No. 90 show a wider range (SiO_2, Al_2O_3, FeO and MnO) of chemical composition. On both sites glassy slags are predominant. They are a clear indication of the use of the indirect method of ironmaking and the production of cast iron. Like in the samples from site No. 105 (Kerspe-Dam) the overall chemical analysis shows a correlation between a high amount of SiO_2 and a very low Fe content.

Sites No. 11 and No. 72

Unlike on the sites from Kerspe-Dam and the upper Wipper-Valley at Marienheide, where glassy slags are the most common ones, crystalline slags are predominant on the sites in Fernhagen (No. 11) and Wienhagenerhaus (No. 72). This kind of slags indicates an alternative smelting technology. The overall analysis shows that the FeO content in all samples is significantly higher than in those samples of glassy slag from sites No. 90 and No. 105, which are connected with the production of cast iron.

The small diameter of the hearth, the specific way in which the preserved part of the loam-made hearth bottom was built, and the trenches for tapping slag (at least three times) allow the reconstruction of this badly preserved structure on site No. 72 as a probable bloomery furnace that was renewed several times.

On the other hand, pyroxene bearing olivine-leucite-slag with rhönite and a partially glassy microstructure from site No. 11 may rather be related to the processing (reheating and/or smithing) of the produced iron blooms. It is therefore doubtful whether the nearly completely destroyed structure was only used as a smelting furnace. On the basis of the badly preserved archaeological finds it could not be clarified whether the site was used to produce (smelting) and/or to process iron blooms (reheating/smithing).

Lime as a flux?

For all the high and late medieval sites presented here, chemical analyses show that the use of lime as a flux cannot be confirmed because of the low calcium content of the slags (p. 260 *tab. 1*). As far as we know today, lime was added as a flux in *Märkisches Sauerland* only in later periods, in the context of the modern blast furnaces. In contrast to that, the early blast furnace technology in *Märkisches Sauerland* and the adjacent *Bergisches Land* is characterized by "acidic" slags with a high SiO_2 content.

INDIGENOUS OR EXOGENOUS ORIGINS OF THE CAST IRON TECHNOLOGY

The extensive iron production during the European High and Late Middle Ages, verified for nearly all regions of Central Europe, had several causes. Among others they were the enormously increased demand for iron in connection with the foundation of new towns, castles, monasteries and their infrastructures (pp. 251 f.), an increasing armament by the feudal lords during territorial conflicts (p. 355) and the upcoming moneymarket with iron and steel as goods in demand (pp. 307 ff.).

However, it is still hard to answer the question of the origin of this technology. For the 13/14th century the map of the early blast furnace sites (p. 326 *fig. 3*) shows a spread of find spots from the South to the North of Europe, from Central Italy over the western Central Alps to the Rhineland and up to Sweden. But at the current state of research it would be too early to relate the invention of the cast iron technology to a particular region in Europe (with some reservation we exclude Southeastern und Southwestern Europe).

More archaeological research is still needed concerning the "innovative" late medieval landscapes such as Northern and Central Italy, France or Burgundy. Probably the "new" technology of iron production spread fast in the course of a growing mobility in late medieval Europe. The question whether the invention of the indirect method of iron production was an endogenous development within Europe (pp. 356 f.), or whether this technology was based on non-European know-how (pp. 357 ff.) cannot yet be answered. Some technological knowledge may have found its way from Asia to Central Europe, for example during the crusades and the Levantine trade. This may also be assumed when considering the origin of the cast iron technology in China, where cast iron was already produced as early as in the last centuries B.C. (pp. 357 ff.). The notion of a possible transfer of that technology should certainly not be excluded for the 12/13th century. It may have taken place in the course of migration from East to West (perhaps in the era of the Mongolians and the Golden Horde along the Silkroad: pp. 358 f.).

Since definite proof of such theories does not exist so far, more archaeological and historical research should focus on finding out the routes of transfer of technological knowledge within supraregional and regional networks.

Written and pictorial sources that could cast light on the historical, social, structural and technological aspects of the early blast furnace technology are missing. Therefore, research concerning the history of technology will have to rely on systematic archaeological excavations to explain the transition from the direct to the indirect method of iron production in its spatiotemporal context.

LITERATUR

Abdinghoff/Overbeck 1998/1999
Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Die Hüttenstandorte Kerspetalsperre (Märkisches Sauerland) und Oberes Wippertal (Bergisches Land) – Ein Beitrag zur Archäologie früher Hochöfen in Mitteleuropa. Archaeologia Austriaca 82/83, 1998/1999, 536–541.

Abdinghoff/Overbeck 2000
Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Archaeological investigations on early blast furnaces in Central Europe. In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzoni (Hrsg.), Il ferro nelle Alpi. Giacimenti, miniere e metallurgia dall´antichità al XVI secolo; Iron in the Alps. Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century. International conference Bienno 2.–4. October 1998 (Bienno 2000) 128–132.

Agricola 1556/1994
G. Agricola, Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Hrsg. von der Georg-Agricola-Gesellschaft beim Deutschen Museum zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e.V. (1556/München 1994).

Allen 1996
J. R. L. Allen, A possible medieval trade in iron ores in the Severn Estuary of South-West Britain. Medieval Arch. 40, 1996, 226–230.

Andre 1986
B. Andre, Das Dorf Wehr II. Ein Beitrag zur Wehrer Geschichte (Wehr 1986).

Arnoux 1994
M. Arnoux, Moulins à fer et procédé indirect. Energie hydraulique et innovation dans la sidérurgie europeéne (XIIIe–XVIe siècle). In: E. Crouzet-Pavan/J.-C. Maire-Viguent (Hrsg.): Le contrôle des eaux en Europe occidentale, XIIe–XXIe siècle. 11th International economic history congress (Mailand 1994) 29–40.

Arnoux et al. 1991
M. Arnoux/D. Arribet/J.-F. Belhoste/Y. Lecherbonnier/B.G. Awty, La révolution du haut fourneau (fin XVe–début XVIe siècles). In : J.-F. Belhoste/Y. Lecherbonnier/M. Arnoux/D. Arribet/B.G. Awty/M. Rioult (Hrsg.), La métallurgie normande XIIe–XVIIe siècles. La révolution du haut fourneau. Cahiers de l'Inventaire 14 (Caen 1991) 37–72.

Arribet-Deroin 1997
D. Arribet-Deroin, Un haut fourneau primitif en pays de Bray: Glinet (Seine-Maritime). In: P. Beck (Hrsg.), L'innovation technique au Moyen Âge. Actes du 6e Congrès International d'Archéologie Médiévale, Dijon, Mont Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard, 1–5 octobre 1996 (Paris 1998) 151–159.

Arribet-Deroin 2001
D. Arribet-Deroin, Fondre le fer en gueuses au XVIe siècle. Le haut fourneau de Glinet en pays de Bray (Normandie). Thèse de doctorat en archéologie, P. Benoit dir., Université Paris 1 (Paris 2001).

Arribet-Deroin 2011
D. Arribet-Deroin, The sixteenth century blast furnace and finery forge of Glinet at Compainville (Normandy, France): archaeological study. In: A. Hauptmann/ D. Modarressi-Therani/M. Prange (Hrsg.), International conference archaeometallurgy in Europe III, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany, June 29th–July 1st 2011. Abstracts. Metalla, Sonderheft 4 (Bochum 2011) 71–72.

Awty 1981
B. G. Awty, The continental origins of Wealden ironworkers, 1451–1544. Econ. Hist. Rev., 2nd series 34, 1981, 524–539.

Awty 1987
B. G. Awty, The origin of the blast furnace: Evidence from francophone areas. Journal of the Historical Metallurgy Society 21/2, 1987, 96–99.

Awty 2007
B. G. Awty, The development and dissemination of the Walloon Method of ironworking. Technology and Culture 48, 2007, 783–803.

Bachmann 1978
H.-G. Bachmann, Schlacken: Indikatoren archäometallurgischer Prozesse. In: H. W. Hennicke (Hrsg.), Mineralische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle. Diskussionstagung des Arbeitskreises Archäometrie in der Fachgruppe Analytische Chemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker vom 24.–26. Februar 1977 in Heidelberg (Hagen 1978) 66–103.

Bachmann 1993
H.-G. Bachmann, Vom Erz zum Metall (Kupfer, Silber, Eisen). Die chemischen Prozesse im Schaubild. In: H. Steuer/U. Zimmermann (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 1993 (Stuttgart 1993) 35–40.

Baraldi/Calegari 2001
E. Baraldi/M. Calegari, Pratica e diffusione della siderurgia „indiretta" in area italiana (Sec. XIII-XVI). In:

Ph. Braunstein (Hrsg.), La sidérurgie alpine en Italie (XIIe-XVIIe siècles), Collection de l'École française de Rome 290 (Rom 2001) 93–162.

Beck 1884
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 1. Von der ältesten Zeit bis um das Jahr 1500 n. Chr. (Braunschweig 1884).

Beck 1893–95
L. Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung 2. Das 16. und 17. Jahrhundert (Braunschweig 1893–95).

Beckmann 1963
B. Beckmann, Der Scherbenhügel in Siegburg, Siegkreis. Bonner Jahrb. 163, 1963, 469–478.

Beckmann 1975
B. Beckmann, Der Scherbenhügel in der Siegburger Aulgasse 1. Rhein. Ausgr. 16 (Bonn 1975).

Belhoste 1995
J.-F. Belhoste, The origins of direct reduction water-powered ironworks; reflections based on the evolution of terminology. In: E. Tomàs (Hrsg.), La Farga Catalana en el marc de l' arqueologia siderúrgica, Simposi International sobre la Farga Catalana, Ripoll, septembre 1993, Govern d'Andorra, Ministeri d'Afers Socials I Cultura (Andorra la Vella 1995) 385–398.

Belhoste 2001
J.-F. Belhoste, Mutations techniques et filières marchandes dans la sidérurgie alpine entre le XIIIe et le XIV siècle. In: Ph. Braunstein (Hrsg.), La sidérurgie alpine en Italie (XIIe–XVIIe siècle). Collection de l'École Française de Rome (Roma 2001) 515–592.

Benoit/Wabont 1991
P. Benoit/M. Wabont, Mittelalterliche Wasserversorgung in Frankreich. Eine Fallstudie: Die Zisterzensier. In: K. Grewe (Hrsg.), Die Wasserversorgung im Mittelalter. Geschichte der Wasserversorgung 4 (Mainz 1991) 185–226.

Berglund 2011
B. Berglund, Iron production and modernization in Sweden 1150–1350. In: A. Hauptmann/D. Modarressi-Therani/M. Prange (Hrsg.), International conference archaeometallurgy in Europe III, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany, June 29th–July 1st 2011. Abstracts. Metalla, Sonderheft 4 (Bochum 2011) 67–68.

Besta 1939
E. Besta, L´estrazione e la lavorazione dei metalli nella Valtellina medioevale. Atti e memorie del III Congresso Storico Lombardo 1938 (Milano 1939) 357–366.

Binding 1997
G. Binding, Baubetrieb im Mittelalter (Darmstadt 1997).

Biringuccio 1540/1914
V. Biringuccio, De la pirotechnia, Venezia 1540. Classici delle scienze e delle filosofia. Hrsg. von A. Mieli u. E. Troilo (Bari 1914).

Björkenstam/Fornander 1985
N. Björkenstam/S. Fornander, Metallurgy and technology at Lapphyttan. In: E.Hook/R. Palsson (Hrsg.), Medieval iron in society. Papers presented at the symposium in Norberg, May 6–10, 1985. Jernkontorets forskning H 34 (Stockholm 1985) 184–228.

Böhme 2002
H. W. Böhme, Mühle, archäologisches. In: Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 20 (Berlin/New York 2002) 281–287.

Böhne 1928
E. Böhne, Die Eisenindustrie Masenderans. Stahl u. Eisen 48, 1928, 1577–1580.

Borst 1983
O. Borst, Alltagsleben im Mittelalter (Frankfurt 1983).

Brand/Lammers 2004
B. Brand/ D. Lammers, Schmiede und Buntmetallgießer in einem Handwerkerviertel der Bielefelder Altstadt. In: W. Melzer (Hrsg.), Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks. Soester Beiträge zur Archäologie 5 (Soest 2004) 89–98.

Braunfels 1957
W. Braunfels, Industrielle Frühzeit im Gemälde. Erzbergbau und Eisenhütten in der Europäischen Malerei 1500 bis 1850 (Düsseldorf, Berlin 1957).

Braunstein 1986
Ph. Braunstein, Eisen. In: Lexikon des Mittelalters 3 (München 1986) Sp. 1749–1754.

Brentjes 1988
B. Brentjes, Die Ahnen Dschingis-Chans (Berlin 1988).

Buchwald 2005
V. F. Buchwald, Iron and steel in ancient times. Historisk-filosofiske skrifter 29 (Kopenhagen 2005).

Buchwald 2008
V. F. Buchwald, Iron, steel and cast iron before Bes-

semer. Historisk-filosofiske skrifter 32 (Kopenhagen 2008).

Busch 1981
R. Busch, Mittelalterliche und neuzeitliche Töpfereien zwischen Alfeld und Deister. In: Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz in Verbindung mit dem Nordwestdeutschen und dem West- und Süddeutschen Verband für Altertumsforschung (Hrsg.), Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern 48: Hannover, Nienburg, Hildesheim, Alfeld. Teil I: Einführende Aufsätze (Mainz 1981) 224–231.

Cech/Walach 2004
B. Cech/G. Walach, Alpine Bergschmieden des 15. und 16. Jahrhunderts. In: W. Melzer (Hrsg.), Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks. Soester Beiträge zur Archäologie 5 (Soest 2004) 117–128.

Cech 2008
B. Cech (Hrsg.), Die Produktion von Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg. Die Ergebnisse der interdisziplinären Forschungen auf der Fundstelle Semlach/Eisner in den Jahren 2003–2005. Austria Antiqua 2 (Wien 2008).

Celis 1991
G. Celis, Eisenhütten in Afrika. Beschreibung eines traditionellen Handwerks (Frankfurt a. M. 1991).

Claude 1981
C. Claude, Die Handwerker der Merowingerzeit nach den erzählenden und urkundlichen Quellen. In: H. Jankuhn/W. Janssen/R. Schmidt-Wiegand (Hrsg.), Das Handwerk in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. 1. Historische und rechtshistorische Beiträge und Untersuchungen zur Frühgeschichte der Gilde. Bericht über die Kolloquien der Kommission für die Altertumskunde Mittel- und Nordeuropas in den Jahren 1977 bis 1980. Akad. Wiss. Göttingen, Abhandl. phil.-hist. Kl., 3. Folge 122 (Göttingen 1981) 204–266.

Craddock 1997
P. T. Craddock, The inception of the blast furnace process in Britain. Hist. Metallurgy Soc. News 36, 1997, 4.

Crew 2004
P. Crew, Cast iron from a bloomery furnace. Hist. Metallurgy Soc. News 57, 2004, 1–2.

Crew et al. 2011
P. Crew/M. Charlton/Ph. Dillmann/P. Fluzin/C. Salter/ E. Truffaut, Cast iron from a bloomery furnace. In: J. Hošek/H. Cleere/L. Mihok (Hrsg.), The archaeometallurgy of iron, recent developments in archaeological and scientific research (Prag 2011) 239–262.

Crossley 1972
D. Crossley, A 16th-century Wealden blast furnace: a report on excavations at Panningridge, Sussex, 1964–1970. Post-Medieval Arch. 6, 1972, 42–68.

Crossley 1975
D. Crossley, The Bewl Valley Ironworks (Leeds 1975).

Cucini Tizzoni 1999
C. Cucini Tizzoni, Ponte di Val Gabbia III: La forgia i bassofuochi fra Tardoantico e alto Medioevo. – Ponte di Val Gabbia I–II: I bassofuochi di Età Longobarda (o. O. 1999) 93–162.

Dahl 1965
J. Dahl, Jugend der Maschinen. Bilder aus der Enzyklopädie von Diderot und d'Alembert (1751–1772) (München 1965).

Deisenroth 1995
R. Deisenroth, Die geophysikalische Prospektion. In: B. Pinsker (Hrsg.), Eisenland – zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden, 29. Januar–23. Juli 1995 (Wiesbaden 1995) 207–214.

Dillmann/L´Héritier 2007
Ph. Dillmann/M. L´Héritier, Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. Journal of Archaeological Science 34, 2007, 1810–1823.

Dillmann et al. 2007
Ph. Dillmann/D. Arribet-Deroin/P. Benoit/E. Vega, Early modern cast iron and iron at Glinet. In: Norberg-Nora. 700 Years of iron production. Papers presented at an international conference in Norberg and Nora, August 18–22, 2003, Jernkontorets Bergshist. Utskott 78 (Stockholm 2007) 99–106.

Dolukhanov 1996
P. Dolukhanov, The early Slavs: Eastern Europe from the initial settlement to the Kievan Rus (Harlow 1996).

Doswald 1996
C. Doswald, „Erzwege" – Eisenerztransport in der vorindustriellen Schweiz. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Ergebnisse eines Internationalen Workshops (Dillenburg, 11.–15. Mai 1994. Wirtschaftshistorisches Museum „Villa Grün"). Vierteljahrschr. Sozial- u. Wirtschaftsgesch. Beih. 121 (Stuttgart 1996) 151–172.

von den Driesch 1990
K. von den Driesch, Handbuch der gußeisernen Ofen,

Kamin und Takenplatten im Rheinland. Werken und Wohnen. Volkskundliche Untersuchungen im Rheinland 17 (Köln 1990).

Eberl 2002
I. Eberl, Die Zisterzienser. Geschichte eines europäischen Ordens (Stuttgart 2002).

Eibner/Preßlinger 1990
C. Eibner/H. Presslinger, Archäologische Zeugnisse des Admonter Eisenerzbergbaues und der Verhüttung im 12. Jahrhundert. Beiträge zur Mittelalterarchäologie 6, 1990, 43–63.

Eliade 1992
M. Eliade, Schmiede und Alchemisten. Mythos und Magie der Machbarkeit (Freiburg im Breisgau, Basel, Wien 1992).

Engel et al. 2003
Th. Engel/M. Franz/A. Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003).

Eschenlohr/Serneels 1991
L. Eschenlohr/V. Serneels, Les bas fournaux mérovingiens de Boécourt, Les Boulies (JU, Suisse). Cahiers Arch. Jurassienne 3 (Porrentruy 1991).

Eversmann 1804/1975
F. A. A. Eversmann, Uebersicht der Eisen- und Stahl-Erzeugung, in so fern solche auf Wasserwerken vorgeht, in den Ländern zwischen Lahn und Lippe: mit einem Anhange von derjenigen so in den vorliegenden Französischen Departements befindlich ist; auch einer Nachricht von andern in dem Distrikt zwischen Lahn und Lippe vorhandenen metallischen und unmetallischen Werken; nebst Kupfern und einer großen technologischen Charte (Dortmund 1804; [Nachdr. Hirschberg o. J. ca. 1975]).

Evrard 1955
R. Evrard, Les artistes et les usines à fer. Oeuvres d'art inspirées par les usines à fer (Liège 1955).

Fedorov-Davydov 1984
G. A. Fedorov-Davydov, Städte der Goldenen Horde an der unteren Wolga. Materialien zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie 11 (München 1984).

Fehring 1996
G. P. Fehring, Stadtarchäologie in Deutschland. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 1996 (Stuttgart 1996).

Fleming 1986
St. J. Fleming, Medieval metallurgy; the monastic influence. Archaeology 39, 1986, 74–75.

Flüeler/Flüeler 1993
M. Flüeler/N. Flüeler (Hrsg.), Stadtluft, Hirsebrei und Bettelmönch – Die Stadt um 1300 (Stuttgart 1993).

Fluzin 1999
Ph. Fluzin, Ponte di Val Gabbia III: i reperti metallic della forgia. Primi resultati dello studio metallographico. In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzoni (Hrsg.), La miniera perduta: cinque anni di ricerche archeometallurgiche nel territorio di Bienno (Bienno 1999) 189–194.

Foltz 2010
R. Foltz, Religions of the Silk Road. Premodern patterns of globalization. (2nd edition, New York 2010).

von Freeden 2002
U. von Freeden, Die Wassermühle, Ein antikes Erbe. In: W. Menghin, D. Planck (Hrsg.), Menschen, Zeiten, Räume – Archäologie in Deutschland. Eine Ausstellung des Museums für Vor- und Frühgeschichte, Staatliche Museen zu Berlin – Stiftung Preußischer Kulturbesitz und des Verbandes der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland (Stuttgart 2002) 331–333.

Freigang 1998
Chr. Freigang, Mittelalterlicher Baubetrieb. In: R. Torman (Hrsg.), Die Kunst der Gotik. Architektur, Skulptur, Malerei (Köln 1998) 154–155.

Fuchs/Schmidt 1928
A. Fuchs/W. E. Schmidt, Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. 1:25000, Nr. 4911, Blatt Gummersbach (Berlin 1928).

Ganzelewski/Rehren 1994
M. Ganzelewski/Th. Rehren, Das Frischen von Roheisen am Beispiel des spätmittelalterlichen Fundplatzes von Kierspe im Märkischen Kreis. Metalla 1, 1994, 3–5.

Gassmann 2002
G. Gassmann, Mittelalterliche Eisenverhüttungsanlagen in Baden-Württemberg. In: R. Röber (Hrsg.), Mittelalterliche Öfen und Feuerungsanlagen. Beiträge des 3. Kolloqiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks. Materialh. Arch. Baden-Württemberg 62 (Stuttgart 2002) 27–33.

Gassmann 2005a
G. Gassmann, Rezension zu: Th. Engel/M. Franz/A. Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittel-

alter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003). Germania 83, 2005, 484–489.

Gassmann 2005b
G. Gassmann, Allgemeiner Überblick über die römische und mittelalterliche Eisenerzverhüttung in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung überregionaler Vergleichsbeispiele. In: G. Gassmann/A. Hauptmann/Chr. Hübner/T. Ruthardt/Ü. Yalçın (Hrsg.), Forschungen zur keltischen Eisenerzverhüttung in Südwestdeutschland. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 92 (Stuttgart 2005) 27–32.

Gassmann/Hübner 1998
G. Gassmann/C. Hübner, Erzlager und Eisenproduktion im Südwesten. Archäologie in Deutschland, Heft 3, 1998, 6–11.

Gassmann/Yalçın/Hauptmann 1995
G. Gassmann/Ü. Yalçın/A. Hauptmann, Frühmittelalterliche Eisenproduktion in Kippenheim, Südbaden: Ein „missing link“ zwischen Rennverfahren und Roheisentechnologie. Metalla 2/2, 1995, 43–52.

Gelegdorj et al. 2007
E. Gelegdorj/A. Chunag/R. B. Gordon/J.-S. Park, Transitions in cast iron technology of the nomads in Mongolia. Journal of Archaeological Science 34, 2007, 1187–1196.

Gilles 1952
J. W. Gilles, Der Stammbaum des Hochofens. Archiv Eisenhüttenwesen 23, 1952, 407–415.

Gimpel 1975/1980
J. Gimpel, La revolution industrielle du moyen age (Paris 1975), dt. Ausgabe: Die industrielle Revolution des Mittelalters (Zürich 1980).

Götschmann 1985
D. Götschmann (Hrsg.), Oberpfälzer Eisen. Bergbau- und Eisengewerbe im 16. und 17. Jahrhundert. Schr. Bergbau- u. Industriemus. Ostbayern Theuern 5 (Theuern 1985).

Goldenberg 1996
G. Goldenberg, Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Schwarzwald. Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert. In: G. Goldenberg/J. Otto/H. Steuer (Hrsg.), Archäometallurgische Untersuchungen zum Metallhüttenwesen im Schwarzwald. Archäologie und Geschichte. Freiburger Forsch. ersten Jt. Südwestdeutschland 8 (Sigmaringen 1996) 9–274.

Gross/Hildebrandt 2004
U. Gross/L. H. Hildebrandt, Der Wieslocher Schmiedefund. In: W. Melzer (Hrsg.), Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks. Soester Beiträge zur Archäologie 5 (Soest 2004) 105–116.

Grüner 1876
E. Grüner, Mémoire sur le métallurgie du fer en Styrie et Carinthie. Annales des Mines 9, 1876.

Grupe 1996
G. Grupe, Umwelt und Bevölkerungsentwicklung im Mittelalter. In: B. Herrmann (Hrsg.), Mensch und Umwelt im Mittelalter (Wiesbaden 1996) 24–35.

Guénette-Beck et al. 2008
B. Guénette-Beck/M. Senn/V. Serneels/J. Tauber, Hightech in the 13th century: About the iron production at Dürstel, Langenbruck, Baselland, Switzerland. In: Early iron in Europe – prehistoric, roman and medieval iron production. International conference, Hüttenberg, Carinthia, Austria 8th–12th September 2008, book of abstracts (unpublished) 63.

Haas 1979
W. Haas, Eisen in der Architektur vor dem Aufkommen der Eisenarchitektur. In: Die Rolle des Eisens in der historischen Architektur der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. ICOMOS-Deutsches Nationalkomitee, Internationales Colloquium vom 18. bis 22. September in Bad Ems (Hannover 1979) 1–6.

Haasis-Berner 2003
A. Haasis-Berner, Pilgerzeichen des Hochmittelalters. Veröffentlichungen zur Volkskunde und Kulturgeschichte 94 (Würzburg 2003).

Hägermann/Ludwig 1986
D. Hägermann/K.-H. Ludwig (Hrsg.), Europäisches Montanwesen im Hochmittelalter. Das Trienter Bergrecht 1185–1214 (Köln/Wien 1986).

Hähnel 1987
E. Hähnel, Siegburger Steinzeug. Bestandskatalog 1. Führer u. Schr. Rhein. Freilichtmus. u. Landesmus. Volkskde. Kommern 31 (Köln 1987).

Hansen 2006
V. Hansen, Die Seidenstraße – 221 v. Chr. bis 1000 n. Chr. In: Kunst- und Ausstellungshalle Bonn (Hrsg.), Xi‘an. Kaiserliche Macht im Jenseits. Grabfunde und Tempelschätze aus Chinas alter Hauptstadt. Ergebnisse der deutsch-chinesischen Zusammenarbeit im Kulturgüterschutz. Ausstellung 21. April–23. Juli 2006 (Bonn 2006) 81–90.

Harmuth 1986
E. Harmuth, Die Armbrust. Ein Handbuch (Graz 1986).

Hartmann 1938
K. Hartmann, Haus Rhade op de Volme, sein Hofrecht und Hofgericht (Kierspe 1938).

Heidinger 1983
A. H. Heidinger, Olsberg-Assinghausen, Fundchronik: Reg. Bez. Arnsberg. Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe 1, 1983, 160–161.

Henning 1994
J. Henning, Mühlentechnologie und Ökonomiewandel zwischen Römerzeit und Frühmittelalter. Saalburg-Jahrbuch 47, 1994, 5–18.

Henseling 1981
K. O. Henseling, Bronze, Eisen und Stahl. Bedeutung der Metalle in der Geschichte (Hamburg 1981).

L´Héritier et al. 2011
M. L´Héritier/C. Dunikowski/J.-M. Bordeloup/B. Gratuze/Ph. Dillmann, From the bloomery furnace to the building yard. Iron supply for the construction of the cathedral of Bourges. In: A. Hauptmann/D. Modarressi-Therani/M. Prange (Hrsg.), International conference archaeometallurgy in Europe III, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany, June 29th–July 1st 20011. Abstracts. Metalla, Sonderheft 4 (Bochum 2011) 107–108.

Horstmann 1985
D. Horstmann, Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff und die Grundlagen der Wärmebehandlung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. Bericht Nr. 180 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf 1985).

Horstmann 1996
D. Horstmann, Eisenverhüttung im Märkischen Sauerland. In: Geschichtsausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.), Eisen und Stahl erobern die Ruhr. Technikgeschichtliche Vortragsveranstaltung des Geschichtsausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute. Fachausschußbericht 9.012 (Düsseldorf 1996) 21–28.

Horstmann 2003
D. Horstmann, Eisenverhüttung an Loope und Kaltenbach. Ein Vorbericht. In: Th. Engel/M. Franz/A. Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 231–240.

Horstmann/Knau/Sönnecken 1996
D. Horstmann/H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Roheisenerzeugung im oberen Volmetal. Ethnogr.-Arch. Zeitschr. 37, 1996, 309–324.

Hostert/Müller 1995
W. Hostert/K. Müller, Manfred Sönnecken. Biographie. Bibliographie. Veröffentlichungen des Kreiskulturamtes des Märkischen Kreises (Altena 1995).

Hoyland/Gilmour 2004
R. B. Hoyland/B. Gilmour, Swords and swordmakers in medieval Islam. Medieval Islamic swords and swordmaking: Kindi's Treatise "On Swords and Their Kinds" (Oxford 2004).

Janssen 1983
W. Janssen, Ein spätmittelalterlicher Eisenverhüttungsplatz in Reichshof-Windfus bei Eckenhagen, Oberbergischer Kreis, und seine Bedeutung für die Entstehung der Kulturlandschaft. Würzburger Geographische Arbeiten 60 (Würzburg 1983) 51–76.

Jockenhövel 1995
A. Jockenhövel, Der Weg zum Hochofen – die Zeit der spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Massenhütten. In: B. Pinsker (Hrsg.), Eisenland – zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden, 29. Januar–23. Juli 1995 (Wiesbaden 1995) 83–98.

Jockenhövel 1996
A. Jockenhövel, Untersuchungen zur mittelalterlichen Eisengewinnung an Lahn und Dill: Das Dietzhölztal-Projekt (DHT). In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Ergebnisse eines Internationalen Workshops (Dillenburg, 11.–15. Mai 1994. Wirtschaftshistorisches Museum „Villa Grün"). Vierteljahrschr. Sozial- u. Wirtschaftsgesch. Beih. 121 (Stuttgart 1996) 12–29.

Jockenhövel 1997
A. Jockenhövel, The beginning of blast furnace-technology in Central Europe. Historical Metallurgy Society News 37, 1997, 4–5.

Jockenhövel 2000
A. Jockenhövel, Eisenverhüttung im Märkischen Sauerland. Archäologie in Deutschland, Heft 3, 2000, 28–29.

Jockenhövel/Overbeck 2008
A. Jockenhövel/M. Overbeck, Mediaeval iron landscapes, traditions and innovations – The Genesis of early

modern cultural landscapes between the rivers Meuse and Weser. In: Chr. Bartels/C. Küpper-Eichas (Hrsg.), Cultural heritage and landscapes in Europe – Landschaften: Kulturelles Erbe in Europa. Proceedings of the international conference, Bochum, June 8–10, 2007. Veröffentl. Deutsches Bergbau-Museum Bochum 161 (Bochum 2008) 453–466.

Jockenhövel/Willms 1997a
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace technology in Central Europe. In: P. Crew/S. Crew (Hrsg.), Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts of the international conference at Plas Tan y Bwlch 19–25 Sept. 1997. Plas Tan y Bwlch Occasional Papers 3 (Plas Tan y Bwlch 1997) 56–58.

Jockenhövel/Willms 1997b
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace technology in Central Europe. In: G. de Boe/F. Verhaeghe (Hrsg.), Material culture in medieval Europe. Konf. „Medieval Europe" Brügge (Brügge 1997) 17–19.

Jockenhövel/Willms 1998
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Neue mittelalterliche Hochöfen im Märkischen Sauerland. Anschnitt 50, 1998, 131–133.

Jockenhövel/Willms 2002
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Tradition and innovation: New investigations on the end of the bloomeries and the beginning of high furnaces in Central Europe during the High and Late Middle Ages. In: K. Gyu-Ho/ Y. Kyung-Woo/K. Hyung-Tai (Hrsg.), Messages from the history of metals to the future metal age. Proceedings of the V international conference on the beginnings of the use of metals and alloys (BUMA V), 21–24 April, The Korean Institute of Metals and Materials, Gyeongju, Korea (2002) 93–105.

Jockenhövel/Willms 2004
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Tradizione e innovazione: nuove ricerche sulla fine dei bassi fuochi e l'uso die primi forni da ghisa in Centro Europa fra Alto e Basso Medievo. In: W. Nicomedi (Hrsg.), The civilisation of iron from prehistory to the third millenium. Published on the occasion of the 50th anniversary of the Riva Group (Milano 2004) 197–207.

Jockenhövel/Willms 2005
A. Jockenhövel/Chr. Willms, Das Dietzhölzetal-Projekt. Archäometallurgische Untersuchungen zur Geschichte und Struktur der mittelalterlichen Eisengewinnung im Lahn-Dill-Gebiet (Hessen). Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 1 (Rahden/Westfalen 2005).

Jockenhövel/Willms/Abdinghoff/Overbeck 1998
A. Jockenhövel/Chr. Willms/Th. Abdinghoff/M. Overbeck, Archaeological investigations on the beginning of blast furnace technology in Central Europe. In: Extended abstracts. The fourth international conference on the beginning on the use of metals and alloys (BUMA IV), Shimane, Japan, May 25–27, 1998 (Shimane 1998) 65–69.

Jöns 1993
H. Jöns, Eisengewinnung im norddeutschen Flachland. In: H. Steuer/U. Zimmermann (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 1993 (Stuttgart 1993) 63–69.

Jöns 1997
H. Jöns, Frühe Eisengewinnung in Joldelund, Kr. Nordfriesland. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Technikgeschichte Schleswig-Holsteins 1. Univforsch. Prähist. Arch. 40 (Bonn 1997).

Johannsen 1912/1915/1918
O. Johannsen, Die Quellen zur Geschichte des Eisengusses im Mittelalter und in der neueren Zeit bis zum Jahre 1530. Archiv Gesch. Naturwiss. u. Technik 3, 1912, 365–394; 5, 1915, 127–141; 8, 1918, 66–81.

Johannsen 1918
O. Johannsen, Die Anwendung des Gußeisens im Geschützwesen des Mittelalters und der Renaissance. Zeitschr. für hist. Waffenkunde 8, 1918, 1–20.

Johannsen 1925
O. Johannsen, Biringuccios Pirotechnia. Ein Lehrbuch der chemisch-metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens aus dem 16. Jahrhundert. Übersetzt und erläutert von Otto Johannsen (Braunschweig 1925).

Johannsen 1933
O. Johannsen, Gab es in der Karolingerzeit schon Hochöfen? Stahl u. Eisen 53, 1933, 1039–1040.

Johannsen 1953
O. Johannsen, Geschichte des Eisens (3., neu bearb. Aufl. Düsseldorf 1953).

Johannsen 1960
O. Johannsen (Bearb.), Ferraria. Ein eisenhüttenmännisches Gedicht des 16. Jahrhunderts (Duisburg 1960).

Keesmann/Kronz 2003
I. Keesmann/A. Kronz, Schlacken verschiedener Stufen der Eisentechnologie. In: L. Chr. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and medieval direct iron smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and society. Proceedings of the Sandbjerg conference 16th to 20th September 1999. Acta Jutlandica 76/2. Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 153–162. 291–297.

Kellenbenz 1974
H. Kellenbenz, Europäisches Eisen. Produktion – Verarbeitung – Handel. Vom Ende des Mittelalters bis ins 18. Jahrhundert. In: H. Kellenbenz (Hrsg.), Schwerpunkte der Eisengewinnung und Eisenverarbeitung in Europa 1500–1650. Kölner Koll. Intern. Sozial- u. Wirtschgesch. 2 (Köln,Wien 1974) 397–452.

Kempa 1995
M. Kempa, Die Verhüttungsplätze. In: Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb. Mit Beiträgen von Martin Böhm, Andreas Hauptmann, Martin Kempa, Bernd Kromer, Winfried Reife, Hans W. Smettan, Irmtrud und Günther Wagner, Ünsal Yalçın. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 55 (Stuttgart 1995) 147–192.

Kempa/Yalçın 1995
M. Kempa/Ü. Yalçın, Medieval iron smelting in Southern Germany: Early evidence of pig-iron. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995)154–164.

Kenk 1982
R. Kenk, Früh- und hochmittelalterliche Gräber von Kudyrgė im Altai/Frühmittelalterliche Gräber aus West-Tuva. Materialien zur Allgemeinen und Vergleichenden Archäologie 3–4 (München 1982).

Kerl 1863
B. Kerl, Handbuch der metallurgischen Hüttenkunde. Zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbststudium 2 (2., umgearb. u. vervollst. Aufl. Freiberg 1863).

Kippenberger 1957
A. Kippenberger, Eisenguß. In: Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte 4 (München 1957) Sp. 1109–1138.

Klemming 1860
G. E. Klemming, Heliga Birgittas Uppenbarelser, Buch 4, Kap. 7. Svenska Fornskrift-Sällskapet (Stockholm 1860) 15–18.

Knaff 1911
A. Knaff, Beiträge zur Entwicklung der Hochofenprofile im Siegerland. Stahl u. Eisen 31, 1911, 457ff.

Knau 1968
H. L. Knau, Die Altenaer Eisen- und Drahtindustrie von den Anfängen bis zum 18. Jahrhundert. Kritik des Forschungsstandes (unpubl. Staatsarbeit Universität Marburg 1968).

Knau 1992
H. L. Knau, Vom Rennfeuer zum Osemund. Neuere Forschungen zur Frühgeschichte des Eisens. Der Märker 41, 1992, 103–111.

Knau 1995
H. L. Knau, Renn- und Roheisenverhüttung – Osemundfrischen. Zur Geschichte der Eisen- und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 165–171.

Knau 1998
H. L. Knau, Altena als Gewerbesiedlung im späten Mittelalter. Der Märker 47, 1998, 47–58.

Knau/Beier/Sönnecken 2000
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Iron and steel in Siegerland and Sauerland. From the direct to the indirect process in iron production. In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzoni (Hrsg.), Il ferro nelle Alpi. Giacimenti, miniere e metallurgia dall´antichità al XVI secolo; Iron in the Alps. Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century. International conference Bienno 2.–4. October 1998 (Bienno 2000) 133−137.

Knau/Beier/Sönnecken 2001
H. L.Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Iron works and water power – The development of mechanical hammer works in the ‘Südergebirge’, Germany. In: B. Plešingerová (Hrsg.), Archaeometallurgy in the Central Europe III. Internat. conference Herl’any 11.–14.09.2000. Acta Metallurgica Slovaca 7, 2001 (special issue) (Košice 2001) 127–143.

Knau/Beier/Sönnecken 2003
H. L. Knau/Th. Beier/M. Sönnecken, Altena in Westphalia. From bloomery to osemund – difficulties in distinguishing slags. In: L. Chr. Nørbach (Hrsg.), Prehistoric and medieval direct iron smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and society. Proceedings of the Sandbjerg conference 16th to 20th September 1999. Acta Jutlandica 76/2. Humanities Series 75 (Aarhus 2003) 177–182.

Knau/Potyka 1994
H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe, Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994).

Knau/Sönnecken 1986
H. L. Knau/M. Sönnecken, Kartierung von Massenhütten-Wüstungen im oberen Einzugsgebiet der Agger. Der Märker 35, 1986, 50–52.

Knau/Sönnecken 1987
H. L. Knau/M. Sönnecken, Funde von Massenhütten-Wüstungen im bergisch-märkischen Grenzbereich bei Marienheide. Der Märker 36, 1987, 172–179.

Knau/Sönnecken 1989
H. L. Knau/M. Sönnecken, Eisenhütten des 13.–17. Jahrhunderts in den Tälern von Leppe und Gelpe (Oberbergischer Kreis). Der Märker 38, 1989, 10–16.

Knau/Sönnecken 1990
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die mittelalterlich-frühneuzeitlichen Eisenhüttengebiete von Loope und Kaltenbach bei Engelskirchen. Ein Beitrag zur jahrhundertealten Tradition des Eisenhüttenwesens im bergisch-märkischen Wirtschaftsraum. Der Märker 39, 1990, 155–166.

Knau/Sönnecken 1993a
H. L. Knau/M. Sönnecken, Spätmittelalterlicher Floßofen in der abgelassenen Jubach-Talsperre freigelegt. Stahl u. Eisen 113, 1993, 127–128.

Knau/Sönnecken 1993b
H. L. Knau/M. Sönnecken, Spätmittelalterliche Eisenverhüttung in Kierspe. Archäologie in Deutschland, Heft 1, 1993, 51–52.

Knau/Sönnecken 1993c
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Kerspetalsperre (Märkischer Kreis). Ein Talabschnitt jahrhundertealter Tradition insbesondere in der Eisenerzeugung und Verarbeitung. Der Märker 42, 1993, 11–18.

Knau/Sönnecken 1993d
H. L. Knau/M. Sönnecken, Fund einer spätmittelalterlichen Massenhütte in der Jubach-Talsperre, Stadt Kierspe, Märkischer Kreis. Ergebnisse einer Notgrabung. Der Märker 42, 1993, 223–226.

Knau/Sönnecken 1994a
H. L. Knau/M. Sönnecken, Vom Rennfeuer zum Hammerwerk. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 249–318.

Knau/Sönnecken 1994b
H. L. Knau/M. Sönnecken, Katalog der Rennfeuerhütten im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 459–466.

Knau/Sönnecken 1994c
H. L. Knau/M. Sönnecken, Katalog der wassergetriebenen Werke im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 467–500.

Knau/Sönnecken 1996
H. L. Knau/M. Sönnecken, Neue Funde zur Industriearchäologie von Schloß Neuhof bei Lüdenscheid. Ein Beitrag zur Eisengeschichte des oberen Elspetales und zur Bedeutung der v. Neuhoff-Ley. Der Märker 45, 1996, 201–203.

Knau/Sönnecken 1997
H. L. Knau/M. Sönnecken, Nobility and enterprise in iron manufacture in the Late Middle Ages. In: P. Crew/S. Crew (Hrsg.), Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts of the international conference at Plas Tan y Bwlch 19–25 Sept. 1997. Plas Tan y Bwlch Occasional Papers No 3 (Plas Tan y Bwlch 1997) 54–55 (Prepublication).

Knau/Sönnecken 1998
H. L. Knau/M. Sönnecken, Herscheid und der frühe Osemund. Eisenerzeugung und -verarbeitung im späten Mittelalter. In: G. Gierke (Red.), Herscheid. Beiträge zur Heimat- und Landeskunde (Herscheid 1998) 53–64.

Knau/Sönnecken 2003
H. L. Knau/M. Sönnecken, Die Eisenverhüttung im märkischen Sauerland. Vom Rennfeuer zur Massenhütte. In: Th. Engel/M. Franz/A. Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 219–230.

Köstler 1986
J. Köstler, Der Übergang vom Stuckofen zum Floßofen aus metallurgischer Sicht. Ferrum 57, 1986, 28–31.

Kotzur et al. 2004
H.-J. Kotzur (Hrsg.), B. Klein/W. Wilhelmy (Bearb.), Die Kreuzzüge: Kein Krieg ist heilig. Die Kreuzzüge. Katalog-Handbuch zur Ausstellung vom 2. April 2004–30. Juli 2004 im Dommuseum Mainz (Mainz 2004).

Krasa 1931
O. Krasa, Vorgeschichtliche Eisenschmelzen im Siegerland. Stahl u. Eisen 51, 1931, 1287–1289.

Kronz 1997
A. Kronz, Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen – Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken (Friedland 1997).

Kronz/Keesmann 2003
A. Kronz/I. Keesmann, Fayalitische Schmelzen und die Effektivität des metallurgischen Verfahrens. In: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 259–274.

Kronz/Keesmann 2005
A. Kronz/I. Keesmann, Fayalitische Schmelzsysteme – ein Beitrag zur vorneuzeitlichen Eisen- und Buntmetalltechnologie im Dietzhölzetal (Lahn-Dill-Gebiet, Hessen). In: A. Jockenhövel/Chr. Willms, Das Dietzhölzetal-Projekt. Archäometallurgische Untersuchungen zur Geschichte und Struktur der mittelalterlichen Eisengewinnung im Lahn-Dill-Gebiet (Hessen). Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 1 (Rahden/Westfalen 2005) 403–499.

Kuhn 1993
D. Kuhn (Hrsg.), Chinas Goldenes Zeitalter. Die Tang-Dynastie (618–907 n. Chr.) und das kulturelle Erbe der Seidenstraße (Heidelberg 1993).

Kurzel-Runtscheiner 1938
E. Kurzel-Runtscheiner, Stuckofen und Floßofen zur Eisengewinnung und deren älteste Abbildungen. Siegerland 20, 1938, 55–59.

Lackner 1980
H. Lackner, Peter Tunner 1809–97. Ein Leben für das innerösterreichische Eisenwesen. Der Leobener Strauß 8, 1980, 245–296.

Leroy 1997
M. Leroy, La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau: L´utilisation du minerai de fer oolithique en reduction directe (Paris 1997).

Lietzmann o. J.
K.-D. Lietzmann, Schmiedeeisen. Geschichte/Kunst/Technik (Leipzig o. J.).

Lohrmann 1995a
D. Lohrmann, Frühe Nutzung von Wasserkraft im mittelalterlichen Eisengewerbe. Technikgeschichte 62, 1995, 27–47.

Lohrmann 1995b
D. Lohrmann, Von der östlichen zur westlichen Windmühle. Archiv für Kulturgeschichte 77, 1995, 1–30.

Lohrmann 2000
D. Lohrmann, Technischer Austausch zwischen West und Ost zur Zeit der ersten Kreuzzüge. Archiv für Kulturgeschichte 82, 2000, 319–344.

Lohrmann 2002
D. Lohrmann, Mühle, historisch. In: Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 20 (Berlin/New York 2002) 281–287.

Lohrmann 2004
D. Lohrmann, Östliche Mechanik auf dem Weg nach Europa zur Zeit der Kreuzzüge. In: H.-J. Kotzur (Hrsg.), B. Klein/W. Wilhelmy (Bearb.), Die Kreuzzüge: Kein Krieg ist heilig. Die Kreuzzüge. Katalog-Handbuch zur Ausstellung vom 2. April 2004–30. Juli 2004 im Dommuseum Mainz (Mainz 2004) 287–295.

Lüdtke/Schietzel 2001
H. Lüdtke/K. Schietzel (Hrsg.), Handbuch zur mittelalterlichen Keramik in Nordeuropa. Schriften des Archäologischen Landesmuseums 6 (Neumünster 2001).

LWL 1995
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.), Neujahrsgruß (Münster 1995) 16, 80.

LWL 1996
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.), Neujahrsgruß (Münster 1996) 102–103.

Magnusson 1983
G. Magnusson, Some iron production sites and their location. Offa 40, 1983, 139–144.

Magnusson 1985
G. Magnusson, Lapphyttan – an example of medieval iron production. In: Medieval iron in society. Papers presented at the symposium in Norberg, May 6–10, 1985. Jernkontorets forskning H 34 (Stockholm 1985) 21–57.

Magnusson 1993
G. Magnusson, Early Iron Manufacturing in Sweden. In: H. Steuer/U. Zimmermann (Hrsg.), Montanarchäologie in Europa. Berichte zum internationalen Kolloquium „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg/Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990. Archäologie und Geschichte – Freiburger Forschungen zum ersten Jahrtausend in Südwestdeutschland 4 (Sigmaringen 1993) 477–496.

Mahé-Le Carlier et al. 1998
C. Mahé-Le Carlier/N. Dieudonné-Glad/A. Ploquin, Des laitiers obtenus dans un bas-fourneau? Études chimique et minéralogique des scories du site d´Oulches (Indre). Revue d´Archéometrie 22, 1998, 91–101.

Maus 1993
H. Maus, Europas Mitte – reich an Erzen. Lagerstätten in Karte und Bild. In: H. Steuer/U. Zimmermann (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 1993 (Stuttgart 1993) 16–23.

Mayer 2005
H. E. Mayer, Geschichte der Kreuzzüge (10. überarbeitete Aufl., Stuttgart 2005).

McDonnell 2008
G. McDonnell, The monastic ironworking landscape of Rievaulx Abbey, North Yorkshire England. In: Early

iron in Europe – prehistoric, roman and medieval iron production. International conference, Hüttenberg, Carinthia, Austria 8th–12th September 2008, book of abstracts (unpublished), 57.

Meister 1909
A. Meister, Wirtschaftsgeschichte. In: A. Meister (Hrsg.), Die Grafschaft Mark. Festschrift zum Gedächtnis der 300jährigen Vereinigung mit Brandenburg-Preußen 1 (Dortmund 1909) 422–423.

Melzer 2004
W. Melzer (Hrsg.), Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks. Soester Beiträge zur Archäologie 5 (Soest 2004).

Müller-Wille 1981
W. Müller-Wille, Westfalen. Landschaftliche Ordnung und Bindung eines Landes (Münster 1981; Erstaufl. 1952).

Needham 1964
J. Needham, Chinese priorities in cast iron metallurgy. Technic and Culture 5, 1964, 398–404.

Nef 1964
J. U. Nef, The conquest of the material world (Chicago, London 1964).

Nehls 1996
A. Nehls, Als in den Tälern die Hämmer dröhnten. Die Geschichte der Eisenindustrie im Oberbergischen Kreis (Wiehl 1996).

Neu 1989
P. Neu, Eisenindustrie in der Eifel. Aufstieg, Blüte, Niedergang. Werken und Wohnen. Volkskundliche Untersuchungen im Rheinland 16 (Köln/Bonn 1989).

Neu 1997
P. Neu, Die Eisenindustrie der Eifel im 16.–19. Jahrhundert. In: H.-W. Herrmann/P. Wynants (Hrsg.), Wandlungen der Eisenindustrie vom 16. Jahrhundert bis 1960 (Namur 1997) 247–271.

Nicodemi et al. 2011
W. Nicodemi/C. Mapelli/S. Barella/A. Gruttadauria/M. Bonini/C. Da Prato, The furnace „Canecchio" of Fornovolasco. In: A. Hauptmann/D. Modarressi-Therani/M. Prange (Hrsg.), International conference archaeometallurgy in Europe III, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany, June 29th–July 1st 20011. Abstracts. Metalla, Sonderheft 4 (Bochum 2011) 109–111.

Niezoldi 1942
O. Niezoldi, Ein gußeisener Grenzpfahl aus dem Mittelalter. Die Giesserei 29, Heft 8, 1942, 136–137.

Nyquist 1995
O. Nyquist, The history for the future of ironmaking. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 9–28.

von Oettingen 1890
W. v. Oettingen, Tractat [Traktat] über die Baukunst und andere Schriften/Antonio Averlino Filarete. Hrsg. u. bearb. von Wolfgang von Oettingen. Quellenschriften für Kunstgeschichte und Kunsttechnik des Mittelalters und der Neuzeit 3 (Nachdruck der Ausgabe Wien 1890; Hildesheim, New York 1974).

Osann 1971
B. Osann, Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Zur Metallurgie und Wärmetechnik der alten Eisengewinnung. Fachausschußbericht 9.001 Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf 1971).

Overbeck 2011
M. Overbeck, Zu den Wurzeln der Eisenindustrie in Luxemburg. Der hoch- bis spätmittelalterliche Verhüttungsplatz aus dem Genoeserbusch bei Peppange (Luxemburg). Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 5 (Rahden/Westfalen 2011).

Park et al. 2010
J.-S. Park/ E. Gelegdorj/Y.-E. Chimiddorj, Technological traditions inferred from iron artefacts of the Xiongnu Empire in Mongolia. Journal of Archaeological Science 37, 2010, 2689–2697.

Paulinyi 1974
A. Paulinyi, Der Technische Fortschritt im Eisenhüttenwesen der Alpenländer und seinen betriebswirtschaftlichen Auswirkungen (1600–1860). In: M. Mitterauer (Hrsg.), Österreichisches Montanwesen. Produktion, Verteilung, Sozialformen. Sozial- und wirtschaftshistorische Studien (Festschrift Alfred Hoffmann) (Wien 1974) 144–180.

Paulinyi 1996
A. Paulinyi, The transition to the indirect process in the Habsburg Monarchy between the 16th and the 19th century. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 2. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 62 (Stockholm 1996) 143–158.

Paulinyi 2007
A. Paulinyi, Eisenregionen in der Habsburgmonarchie 1600–1850. In: G. Németh (Hrsg.), Growth, decline and

recovery. Heavy industrial regions in transition (Budapest/Miskolc 2007) 87–100.

Pause 1996
C. Pause, Landschaft mit Berg- und Hüttenwerk. In: Landschaftsverband Rheinland (Hrsg.), Das Rheinische Landesmuseum Bonn. Berichte aus der Arbeit des Museums 1 (Bonn 1996) 17–22.

Pelet 1973
P.-L. Pelet, Fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud: les sources archéologiques. Bibliothéque historique vaudoise 49 (Lausanne 1973).

Philippi 1887
F. Philippi (Hrsg.), Siegener Urkundenbuch I. Abtheilung bis 1350 (Siegen 1887).

Pleiner 1996
R. Pleiner, Vom Rennfeuer zum Hochofen. Die Entwicklung der Eisenverhüttung, 9.–14. Jahrhundert. In: U. Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter 800–1400. Tradition und Innovation (Berlin 1996) 249–256.

Pleiner 2000
R. Pleiner, Iron in archaeology. The European bloomery smelters (Prag 2000).

Pleiner 2001
R. Pleiner, Cast iron in the European bloomery period. Archaeometallurgy in the Central Europe III. Internat. conference Herl'any 11.–14.09.2000. Acta Metallurgica Slovaca 7, 2001 (special issue) (Košice 2001) 97–101.

Pleiner 2006
R. Pleiner, Iron in archaeology. Early European blacksmiths (Praha 2006).

Pletneva 1978
S. A. Pletneva, Die Chasaren. Mittelalterliches Reich an Don und Wolga (Leipzig 1978).

Prescher 1985
H. Prescher, Georgius Agricola, Faksimiledruck „Vom Bergwerck XII Bücher", Basel 1557 und Kommentarband (Leipzig 1985).

Preßlinger 1980
H. Preßlinger, Montanhistorische Mitteilungen. Siegel des Herzog Konrad von Plahberg, das älteste Bild eines Stuckofens? Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 125/3, 1980, 175–176.

Preßlinger 2008
H. Preßlinger, Ferrum Noricum – Archäometallurgische Untersuchungsergebnisse von Schlacken und Stahlprodukten. In: B. Cech (Hrsg.), Die Produktion von Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg. Die Ergebnisse der interdisziplinären Forschungen auf der Fundstelle Semlach/Eisner in den Jahren 2003–2005. Austria Antiqua 2 (Wien 2008) 232–250.

Preßlinger/Eibner 1982
H. Preßlinger/C. Eibner, Die Eisenhütte des Abtes Wolfhold von Admont auf dem Dürrnschöberl. Da schau her 5, 1982, 15–17.

Preßlinger/Köstler 1993
H. Preßlinger/H.J. Köstler (Hrsg.), Bergbau und Hüttenwesen im Bereich Liezen (Steiermark). Kleine Schr. Abt. Schloß Trautenfels. Steiermärk. Landesmus. Johanneum 24 (Graz 1993).

Pressouyre/Benoit 1992
L. Pressouyre/P. Benoit (Hrsg.), L'hydraulique monastique. Milieux, réseaux, usages. Actes du colloque international à l'abbaye de Royaumont, 18–20 juin 1992. Colloque à Royaumont 8 (Grâne 1996).

Prestvold 1996
K. Prestvold, Iron production and society. Power, ideology and social structure in Inntrondelag during the early Iron Age: Stability and change. Norw. Arch. Review 29,1, 1996, 41–61.

Quaas 1992
G. Quaas (Hrsg.), Eisenkleider. Plattnerarbeiten aus drei Jahrhunderten aus der Sammlung des Deutschen Historischen Museums. Ausstellung des Deutschen Historischen Museums im Zeughaus Berlin, 12. März – 6. Juli 1992. Bausteine 7 (Berlin 1992).

Quantz 1799
J. Chr. Quantz, Praktische Abhandlung über die Eisen- und Stahlmanipulation in der Herrschaft Schmalkalden (Nürnberg 1799).

Rech 1991
M. Rech, Das obere Dhünntal. Untersuchungen zur mittelalterlichen bis frühneuzeitlichen Siedlungs- und Montangeschichte des Bergischen Landes. Rhein. Ausgr. 33 (Bonn 1991).

Rehder 1986
J. E. Rehder, Primitive furnaces and the development of metallurgy. Journal of the Historical Metallurgy Society 20/2, 1986, 87–92.

Rehren/Ganzelewski 1995
Th. Rehren/M. Ganzelewski, Early blast furnace and finery slags from the Jubach, Germany. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical

innovation and social change 1. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 58 (Stockholm 1995) 172–179.

Reynolds 1985
T. S. Reynolds, Iron and water: technological context and the origins of the water powered iron mill. In: Medieval iron in society. Papers presented at the symposium in Norberg, May 6–10, 1985. Jernkontorets forskning H 34 (Stockholm 1985) 61–80.

de Rijk 2007
P. de Rijk, De scoriis. Eisenverhüttung und Eisenverarbeitung im nordwestlichen Elbe-Weser-Raum. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 31, 2007, 95–242.

Roth 2006
A. Roth, Chasaren. Das vergessene Großreich der Juden (Frankfurt a. M. 2006).

Rubin 2002a
H. Rubin, The development of Chinese ancient iron blast furnace. Journal of University of Science and Technology Beijing 9, spec. issue, April 2002, 27–40.

Rubin 2002b
H. Rubin, Iron and steel making and its features in ancient China. Journal of University of Science and Technology Beijing 9, spec. issue, April 2002, 72–77.

Rudenko 1969
S. I. Rudenko, Die Kultur der Hsiung-nu und die Hügelgräber von Noin Ula. Antiquitas 3, 7 (Bonn 1969).

Saal 1990
W. Saal, Barockzeitliche Industrielandschaft: zur 14. Blickpunkt-Ausstellung im Rheinischen Landesmuseum vom 4. April bis 27. Mai 1990. In: Landschaftsverband Rheinland (Hrsg.), Das Rheinische Landesmuseum Bonn. Berichte aus der Arbeit des Museums (Düsseldorf/Bonn 1990) 27–32.

Scharlipp 1992
W. E. Scharlipp, Die frühen Türken in Zentralasien. Eine Einführung in ihre Geschichte und Kultur (Darmstadt 1992).

Schaur 1929
R. Schaur, Streiflichter auf die Entwicklungsgeschichte der Hochöfen in Steiermark. Stahl u. Eisen 49, 1929, 489–498.

Schmidtchen 1977
V. Schmidtchen, Riesengeschütze des 15. Jahrhunderts. Technische Höchstleistungen ihrer Zeit. Technikgeschichte 44, 1977, 153–173. 213–237.

Schmidtchen 1997
V. Schmidtchen, Technische Innovationen in der Eisenverhüttung, In: H.-W. Herrmann/P. Wynants (Hrsg.), Wandlungen der Eisenindustrie vom 16. Jahrhundert bis 1960 (Namur 1997) 27–55.

Schubert 1937
H. Schubert, Geschichte der Nassauischen Eisenindustrie. Von den Anfängen bis zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges. Veröff. Hist. Kom. Nassau 9 (Marburg 1937).

Schuster 1969
W. F. Schuster, Das alte Metall- und Eisenschmelzen. Technologie und Zusammenhänge. Technikgeschichte in Einzeldarstellungen (Düsseldorf 1969).

Seehase/Krekeler 2001
H. Seehase/R. Krekeler, Der gefiederte Tod. Die Geschichte des englischen Langbogens in den Kriegen des Mittelalters (Ludwigshafen 2001).

Serning 1973
I. Serning, Förhistorisk järnhantering i Dalarna: Fältundersökningar och tekniska undersökninga. Jernkontorets forskning H 9 (Grängesberg 1973).

Serning et al. 1982
I. Serning/H. Hagfeldt/P. Kresten/ B. Hulthén, Vinarhyttan: en medeltida hyttanläggning vid sjön Haggen, Norrbärke Socken, Dalarna/Vinarhyttan: a late medieval iron production site at Lake Haggen, Norrbärke Parish, Dalarna County, Sweden. Jernkontorets forskning H 21 (Stockholm 1982).

Slotta 1986
R. Slotta, Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland 5. Der Eisenerzbergbau 1. Veröff. Dt. Bergbau-Mus. Bochum 38 (Bochum 1986).

Slotta/Bartels 1990
R. Slotta/C. Bartels (Hrsg.), Meisterwerke bergbaulicher Kunst vom 13. bis 19. Jahrhundert. Katalog zur Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum und des Kreises Unna auf Schloß Cappenberg vom 6. September bis 4. November 1990. Veröff. Dt. Bergbau-Museum 48 (Bochum 1990).

Sönnecken 1968
M. Sönnecken, Ausgrabungen auf einer Massenhütte des 13.–15. Jahrhunderts bei Haus Rhade, Gemeinde Kierspe, Kreis Altena. Der Märker 17, 1968, 40–43.

Sönnecken 1971
M. Sönnecken, Die mittelalterliche Rennfeuerverhüttung im märkischen Sauerland. Ergebnisse von Geländeuntersuchungen und Grabungen. Landeskundliche Karten und Hefte der Geographischen Kommission für

Westfalen, Reihe Siedlung und Landschaft 7 (Münster 1971).

Sönnecken 1972
M. Sönnecken, Eisendarstellung im Floßofen an der Wipper bei Meinerzhagen im 14.–15. Jahrhundert. Der Märker 21, 1972, 4–5.

Sönnecken 1973
M. Sönnecken, Fundchronik des Kreises Lüdenscheid für 1972. Der Märker 22, 1973, 14–15.

Sönnecken 1975
M. Sönnecken, Grabungen auf einer Massenhütten-Wüstung des 14.–16. Jahrhunderts am Wehe-Bach in Kierspe. Der Märker 24, 1975, 15–17.

Sönnecken 1977
M. Sönnecken, Forschungen zur spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Eisendarstellung in Kierspe, Märkischer Kreis. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte des Eisenhüttenwesens in Westfalen. Forschungsbericht 9.006 Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf 1977).

Sönnecken 1978
M. Sönnecken, Der mittelalterliche Eisenhüttenbezirk „In der Mark“ bei Radevormwald, Oberbergischer Kreis. Zeitschr. Arch. Mittelalter 6, 1978, 161–172.

Sönnecken 1982
M. Sönnecken, Forschungen zur mittelalterlichen Rennfeuerverhüttung im Kreis Olpe. Ergebnisse von Geländebegehungen und Grabungen. Schr. Kreis Olpe 6 (Olpe 1982).

Sönnecken 1986
M. Sönnecken, Die mittelalterliche und frühneuzeitliche Eisenerzeugung im Märkischen Sauerland. Ergebnisse industriearchäologischer Untersuchungen. Westfäl. Geogr. Stud. 42, 1986, 261–268.

Sönnecken 1994
M. Sönnecken, Grabungsberichte zur Rennfeuerverhüttung. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 391–405.

Sönnecken/Knau 1994
M. Sönnecken/H. L. Knau, Grabungsberichte der Massenhütten im Raum Kierspe. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 407–446.

Sperl 1984
G. Sperl, Die Entwicklung des steirischen Eisenhüttenwesens vor der Einführung des Hochofens. In: P. W. Roth (Hrsg.), Erz und Eisen in der Grünen Mark. Landesausstellung Erz und Eisen in der Grünen Mark (Graz 1984) 83–94.

Sperl 1989
G. Sperl, Mittelalterliche Eisentechnologie in Österreich. In: R. Pleiner (Hrsg.), Archaeometallurgy of iron. International Symposium of the Comité pour la sidérurgie ancienne de l' UISPP. Liblice 5.–9. Oktober 1987 (Prag 1989) 119–124.

Sperl 1998
G. Sperl, Der Floßofen Jan Breughels d. Ä., um 1602. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 143/5, 1998, 202–203.

Sprandel 1968
R. Sprandel, Das Eisengewerbe im Mittelalter (Stuttgart 1968).

Sprandel 1984
R. Sprandel, Zur Geschichte der Eisenerzeugung im Spätmittelalter. Montanwirtschaft Mitteleuropas vom 12. bis 17. Jh. Der Anschnitt, Beiheft 2 (Bochum 1984) 74–76.

Spuler 1943/1965
B. Spuler, Die Goldene Horde. Die Mongolen in Rußland 1223–1502 (Leipzig 1943; 2. erweiterte Aufl. Wiesbaden 1965).

Stark 2008
S. Stark, Die Alttürkenzeit in Mittel- und Zentralasien. Archäologische und Historische Studien. Nomaden und Sesshafte 6 (Wiesbaden 2008).

Steffes 1946
M. Steffes, Die Luxemburger Eisenindustrie (Esch-sur-Alzette 1946).

Steuer 2004
H. Steuer, Die Ostsee als Kernraum des 10. Jahrhunderts und ihre Peripherien. Siedlungsforschung, Archäologie-Geschichte-Geographie 22, 2004, 59–88.

Stephan 1988
H.-G. Stephan, Steinzeug und Irdenware: Diskussionsbeiträge zur Abgrenzung und Definition mittelalterlicher deutscher Steinzeuggruppen. In: D.R.M. Gaimster/M. Redknap/H. H. Wegner (Hrsg.), Keramik des Mittelalters und der beginnenden Neuzeit im Rheinland. BAR International Series 440 (Oxford 1988) 81–117.

Straube 1996
H. Straube, Ferrum Noricum und die Stadt auf dem Magdalensberg (Wien/New York 1996).

Straube 2000
H. Straube, Ferrum Noricum for the Roman Empire

In: C. Cucini Tizzoni/M. Tizzoni (Hrsg.), Il ferro nelle Alpi. Giacimenti, miniere e metallurgia dall´antichità al XVI secolo; Iron in the Alps. Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century. International conference Bienno 2.–4. October 1998 (Bienno 2000) 106–113.

Straube et al. 1964
H. Straube/B. Tarmann/E. Plockinger, Erzreduktionsversuche in Rennöfen norischer Bauart. Mitteilungen der Edelstahlwerke Gebrüder Bohler & CoAG (Klagenfurt 1964).

Stursberg 1964
E. Stursberg, Geschichte des Hütten- und Hammerwesens im ehemaligen Herzogtum Berg. Beitr. Gesch. Remscheids 8 (Remscheid 1964).

Sun 2002
S. Sun, Recent achievements made by the University of Science and Technology Beijing (USTB), China, in the field of Chinese archaeometallurgy. In: K. Gyu-Ho/Y. Kyung-Woo/K. Hyung-Tai (Hrsg.), Messages from the history of metals to the future metal age. Proceedings of the V international conference on the beginnings of the use of metals and alloys (BUMA V), 21–24 April, The Korean Institute of Metals and Materials, Gyeongju, Korea (2002) 61–70.

Szöke 1990
L. Szöke, Schlackenhalden und Schürfgruben im Braunen Jura zwischen Reutlingen und Weilheim an der Teck. Fundber. Baden-Württemberg 15, 1990, 353–382.

Tauber 2011
J. Tauber, A 13th century blast furnace near Langenbruck (BL, Switzerland). In: A. Hauptmann/D. Modarressi-Therani/M. Prange (Hrsg.), International conference archaeometallurgy in Europe III, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany, June 29th–July 1st 20011. Abstracts. Metalla, Sonderheft 4 (Bochum 2011) 69–70.

Tauber/Serneels 1997
J. Tauber/V. Serneels, An early blast furnace at Dürstel (Langenbruck/Baselland/CH). In: P. Crew/S. Crew (Hrsg.), Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts of the international conference at Plas Tan y Bwlch 19–25 Sept. 1997. Plas Tan y Bwlch Occasional Papers 3 (Plas Tan y Bwlch 1997) 48.

Tholander/Blomgren 1986
E. Tholander/S. Blomgren, Some aspects of the origin of the blast furnace. Journal of the Historical Metallurgy Society 20/2, 1986, 79–86.

Tribbick 1974
R. C. Tribbick, Evidence of iron working at Braughing. Journal of the Historical Metallurgy Society 8/2, 1974, 112–115.

Truffaut 2008
E. Truffaut, Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg – Besonderes Erz oder besonderes Know-How? In: B. Cech (Hrsg.), Die Produktion von Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg. Die Ergebnisse der interdisziplinären Forschungen auf der Fundstelle Semlach/Eisner in den Jahren 2003–2005. Austria Antiqua 2 (Wien 2008) 251–271.

Türk 2003
K. Türk, Mensch und Arbeit. 400 Jahre Geschichte der Arbeit in der bildenden Kunst (Essen 2003).

Tunner 1858
P. Tunner, Die Stabeisen und Stahlbereitung in Frischeherden, oder Der wohlunterrichtete Hammermeister (2.Aufl. 2 Bände, Freiberg 1858).

Tylecote 1976
R. F. Tylecote, A history of metallurgy (London 1976).

Tylecote 1986
R. F. Tylecote, The prehistory of metallurgy in the British Isles (London 1986).

Tylecote 1987
R. F. Tylecote, The early history of metallurgy in Europe (London, New York 1987).

Uhlig 1986
H. Uhlig, Die Seidenstraße. Antike Weltkultur zwischen China und Rom (Bergisch Gladbach 1986).

Verse 2008
F. Verse, Archäologie auf Waldeshöhen. Eisenzeit, Mittelalter und Neuzeit auf der „Kalteiche“ bei Haiger, Lahn-Dill-Kreis. Münstersche Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie 4 (Rahden/Westfalen 2008).

Wald/Sahm 1987
D. Wald/P. S. Sahm, Eisenguß. Die Eisengießerei in der Oberpfalz, gespiegelt an der Entwicklung in der übrigen Welt. In: H. Wolf (Hrsg.), Die Oberpfalz, ein europäisches Eisenzentrum. 600 Jahre Groß Hammereinung. Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern 12/1 (Theuern 1987) 475–494.

Wagner 1997
D. B. Wagner, The traditional Chinese iron industry and its modern fate. Nordic Institute of Asian Studies 32 (Richmond 1997).

Wagner 2008
D. B. Wagner, Ferrous metallurgy. In: J. Needham,

Science and civilisation in China 5. Chemistry and chemical Technology 11 (Cambridge 2008).

Wayman/Michaelson 2007
M. L. Wayman/C. Michaelson, Early Chinese ferrous swords from the British Museum collections. In: S. La Niece/D. Hook/P. Craddock (Hrsg.) Metals and mines. Studies in archaeometallurgy (London 2007) 226–232.

Weber 1993
W. Weber, Der Blasofen im Wisserbachtal. In: H.-H. Wegner (Bearb.), Der Westerwald. Kreis Altenkirchen und Westerwaldkreis. Führer Arch. Denkmälern Deutschland 26 (Stuttgart 1993) 191–195.

Weber 2004
W. Weber, Der Blasofen im Wisserbachtal bei Wissen, Kreis Altenkirchen. Ein frühneuzeitlicher Vorläufer des Hochofens. Ber. zur Arch. an Mittelrhein u. Mosel. 9, Trierer Zeitschrift Beih. 28 (2004) 183–196.

Weisgerber/Seifert 1992
G. Weisgerber/M. Seifert, Mittelalterliche Schmiede und ihre Gebläse. Der Anschnitt 44, 1992, 2–17.

Wertime 1964
T. A. Wertime, Asian influences on European metallurgy. Technology and culture 5, 1964, 391–397.

Wetterholm 1996
A. Wetterholm, Early medieval blast furnaces in Nora Parish, Örebro Country – A new way of determining the age of a blast furnace. In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 2. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 62 (Stockholm 1996) 163–166.

Wieczorek et al. 2005
A. Wieczorek/M. Fansa/H. Meller (Hrsg.), Saladin und die Kreuzfahrer (Mainz 2005).

Wieczorek/Lind 2007
A. Wieczorek/Chr. Lind (Hrsg.), Ursprünge der Seidenstraße. Sensationelle Neufunde aus Xinjiang, China. Ausstellungskatalog der Reiss-Engelhorn-Museen, Mannheim (Stuttgart 2007).

Wied 1990
A. Wied, Lucas und Marten van Valckenborch (1535–1597 und 1534–1612). Das Gesamtwerk mit kritischem Œuvrekatalog (Freren 1990).

Wied 1992
A. Wied, Lucas van Valckenborch. In: E. Mai/H. Vlieghe (Hrsg.), Von Bruegel bis Rubens. Das goldene Jahrhundert der flämischen Malerei. Katalog zur Ausstellung (Köln 1992) 302.

Williams 2003
A. Williams, The knight and the blast furnace (Leiden 2003).

Willms 1992
Chr. Willms, Auswertung von Roteisenerz-Haufwerk an vorneuzeitlichen Eisenverhüttungsplätzen im Dietzhölztal (Lahn-Dill-Kreis). Arch. Korrbl. 22, 1992, 287–299.

Willms 1993a
Chr. Willms, Archäologie ohne Ausgrabung. Ein Beitrag zu den Möglichkeiten und Grenzen von Prospektionsmethoden. Der Märker 42, 1993, 177–181.

Willms 1993b
Chr. Willms, Zur Anwendung von Sieb- und Schlämmverfahren bei archäometallurgischen Ausgrabungen. Germania 71, 1993, 217–226.

Willms 1994a
Chr. Willms, Vorbereitung einer Grabung im Kerspetal. In: H. L. Knau/R. Potyka (Bearb.), Kierspe. Wirtschaft – Kultur – Geschichte (Stuttgart 1994) 447–455.

Willms 1994b
Chr. Willms, Untersuchungen auf einer frühen „Massenhütte“ im oberen Wippertal. Arch. Rheinland 1994, 132–139.

Willms 1995
Chr. Willms, Hoch- und spätmittelalterliche Eisengewinnung an der oberen Dill/Dietzhölze. In: B. Pinsker (Hrsg.), Eisenland – zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden, 29. Januar–23. Juli 1995 (Wiesbaden 1995) 57–81.

Willms 1996a
Chr. Willms, Struktur und Organisation der Verhüttung im Dill/Dietzhölze-Revier. In: A. Jockenhövel (Hrsg.), Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Ergebnisse eines Internationalen Workshops (Dillenburg, 11.–15. Mai 1994. Wirtschaftshistorisches Museum „Villa Grün“). Vierteljahrschr. Sozial- u. Wirtschaftsgesch. Beih. 121 (Stuttgart 1996) 30–50.

Willms 1996b
Chr. Willms, Archäologische Untersuchungen zur frühen Eisengewinnung im Märkischen Sauerland. In: Geschichtsausschuss des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.), Eisen und Stahl erobern die Ruhr. Technikgeschichtliche Vortragsveranstaltung des Geschichtsausschusses des VDEh. Fachausschussbericht 9.012 (Düsseldorf 1996) 29–43.

Willms 1997a
Chr. Willms, Archäologische Erforschung von zwei frühen Hochöfen in der Kerspetalsperre. Der Märker 46, 1997, 11–15.

Willms 1997b
Chr. Willms, Erkenntnisse zur frühen Hochofentechnologie. Archäologie in Deutschland, Heft 3, 1997, 50.

Willms 2003
Chr. Willms, Vorbereitung und Durchführung einer Grabung auf einer frühen Floßofenhütte im oberen Wippertal. In: Th. Engel/M. Franz/A. Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 213–218.

Willms/Jockenhövel 1996
Chr. Willms/A. Jockenhövel, Eisen und Stahlerzeugung im Märkischen Sauerland, eine Produktionskette von der Rennfeuerverhüttung bis zum Beginn des Osemundfrischens (ca. 800–1600 n.Chr.). In: G. Magnusson (Hrsg.), The importance of ironmaking. Technical innovation and social change 2. Papers presented at the Norberg conference on May 8–13, 1995. Jernkontorets Bergshist. Utskott H 62 (Stockholm 1996) 177–184.

Wilsdorf 1987
H. Wilsdorf, Montanwesen. Eine Kulturgeschichte (Leipzig 1987).

Yalçın 2000
Ü. Yalçın, Zur Technologie der frühen Eisenverhüttung. Arbeits- u. Forschungsber. Sächs. Bodendenkmalpfl. 42, 2000, 307–316.

Yalçın/Hauptmann 2003
Ü. Yalçın/A. Hauptmann, Archäometallurgie der früh- und hochmittelalterlichen Eisenverhüttung im Vorland der Schwäbischen Alb. In: Th. Engel/M. Franz/A.Hauptmann (Hrsg.), Abbau und Verhüttung von Eisenerzen im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb. Anhang: Die Eisenproduktion im frühen und hohen Mittelalter – Archäologie, Metallurgie, Landesgeschichte. Internationales Kolloquium am 4.–5. November 1994 in Schwäbisch Gmünd. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 86 (Stuttgart 2003) 127–157.

Yalçın/Lychatz 1995
Ü. Yalçın/B. Lychatz, Früh- und hochmittelalterliche Eisengewinnung im Vorland der mittleren Schwäbischen Alb: Naturwissenschaftlich-technologische Aspekte zur Rekonstruktion der Eisenverhüttung. Metalla 2/2, 1995, 53–61.

Zimmermann 2000
B. Zimmermann, Mittelalterliche Geschoßspitzen. Kulturhistorische, archäologische und archäometallurgische Untersuchungen. Schweizer Beiträge zur Archäologie und Kulturgeschichte des Mittelalters 26 (Basel 2000).

Zinke 1977
D. Zinke, Patinirs „Weltlandschaft“. Studien und Materialien zur Landschaftsmalerei im 16. Jahrhundert (Bern 1977).